

MANUAL DE RADIOASTRONOMÍA



Grupo Astronómico Omega Centauro
1999



Indice

Prefacio	3
Introducción	4
Historia	6
El espectro electromagnético	7
Frecuencia y Longitud de onda	7
Polarización	10
Radiación Térmica	11
Radiación no Térmica	12
Ventana atmosférica	13
Fuentes de radiación	14
Apendice A	
Radiastronomía en Argentina	16
Fuentes	17

Prefacio

En 1998, surgió la idea, por parte de un sector del Grupo Astronómico Omega Centauro, de construir nuestro propio radiotelescopio. Sin embargo, carecíamos de los conocimientos técnicos suficientes para encarar el proyecto. Además, ninguno poseía siquiera los conceptos teóricos básicos de la radioastronomía.

Este manual constituye un intento para comenzar a comprender las bases de la radioastronomía moderna. Se incluyen conceptos teóricos sobre la radiación electromagnética, la transmisión y recepción de señales de radio, fuentes astronómicas de emisión de radio y algunos ejemplos prácticos.

El material en el cual se basa este trabajo proviene de diversas fuentes: el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA (JPL), el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), libros de autores nacionales y extranjeros y revistas especializadas.

Espero que este manual sirva para empezar a explorar el maravilloso mundo del universo no visible.

*Pablo M. González
Haedo, Junio de 1999*

Dedicado a Alfredo I. Ramos

Que el próximo milenio nos encuentre mirando hacia el cielo.

Introducción

La radioastronomía estudia los fenómenos celestes por medio de las ondas de radio. Las que captan los radiotelescopios tienen longitudes de onda comprendidas entre unos pocos milímetros y alrededor de 30 m. Estas longitudes de onda, mayores que las de las ondas visuales, pueden atravesar fácilmente las nubes de la atmósfera terrestre y también el polvo interestelar. Además, presentan la ventaja de ser detectadas sin interferencias de día y de noche, lo cual permite realizar observaciones durante las 24 horas del día.

Radiotelescopio

El radiotelescopio es un instrumento similar al telescopio óptico. La radiación se recibe en una superficie reflectora de forma parabólica, similar al espejo de un telescopio óptico, y compuesta por una malla de alambre. En los radiotelescopios de pequeñas dimensiones la malla se reemplaza por una superficie metálica continua.

Las ondas de radio que llegan a esa superficie son reflejadas y dirigidas hacia el foco de la parábola, donde las capta una antena denominada dipolo. En ésta, las ondas inducen una corriente eléctrica muy débil, "serial" que pasa luego a través de un equipo electrónico que la amplifica y la registra por medio de un mecanismo inscriptor. Un adecuado sistema mecánico orienta la estructura metálica que sostiene la malla de alambre, según las coordenadas, ángulo horario y declinación, de tal manera que cualquier objeto celeste puede ser seguido fácilmente en su movimiento diurno.

Un radiotelescopio muy original es el de Arecibo, Puerto Rico. Su antena, instalada en una depresión natural, tiene 300 m de diámetro y es fija. El radiotelescopio del Instituto Argentino de Radioastronomía, instalado en Pereyra Iraola, tiene 30 m de diámetro.

Los datos que reciben los radiotelescopios proceden de dos fuentes: 1) radiación emitida por los cuerpos celestes; 2) señales enviadas desde la Tierra y devueltas por objetos celestes relativamente cercanos (sistema planetario).

Con este último procedimiento, conocido como radar, se han obtenido ecos de la Luna, de los planetas más cercanos como Mercurio, Venus, Marte, y de los meteoros que penetran en la atmósfera terrestre.

Radiaciones

Las radiaciones de los objetos celestes son de diversa índole. La *radiación térmica* proviene de un cuerpo incandescente y responde a la ley de Planck de acuerdo con una determinada temperatura. Otro tipo de radiación proviene de partículas que se mueven a gran velocidad en campos magnéticos muy intensos: es la *radiación sincrotrón* o *radiación no térmica*. Se supone que también generan radiación otros fenómenos desconocidos.

El radiotelescopio capta las señales emitidas por aquellos objetos celestes que se encuentran en la dirección hacia donde se apunta el instrumento. En cada registro, el equipo electrónico sólo amplifica las radiaciones correspondientes a una determinada longitud de onda. Obtenida así la intensidad de radiación para distintas longitudes de onda (por ejemplo 20 cm, 50 cm, 70 cm, etc.) se puede lograr el *espectro de radio* que corresponda al observado. La diferencia entre el espectro visible y el de radio consiste en los métodos de medida, pues ambos corresponden a distintas regiones, espectro de las radiaciones

electromagnéticas, que comprende desde longitudes de onda de un millonésimo de angstrom (rayos gamma) hasta varios kilómetros de longitud (ondas largas de radio).

Hidrógeno interestelar

El reconocimiento de la forma espiral de Vía Láctea es una de las más importantes realizaciones de la radioastronomía. Esto fue posible por el estudio de la línea espectral correspondiente a la longitud de onda de 21 cm producida por el hidrógeno neutro, la que puede ser detectada mediante los radiotelescopios. La posibilidad de su observación había sido sugerida en 1944 por el astrónomo holandés van de Hulst, y se la detectó recién en 1951, y casi en forma simultánea, en Estados Unidos de América, Inglaterra y Holanda.

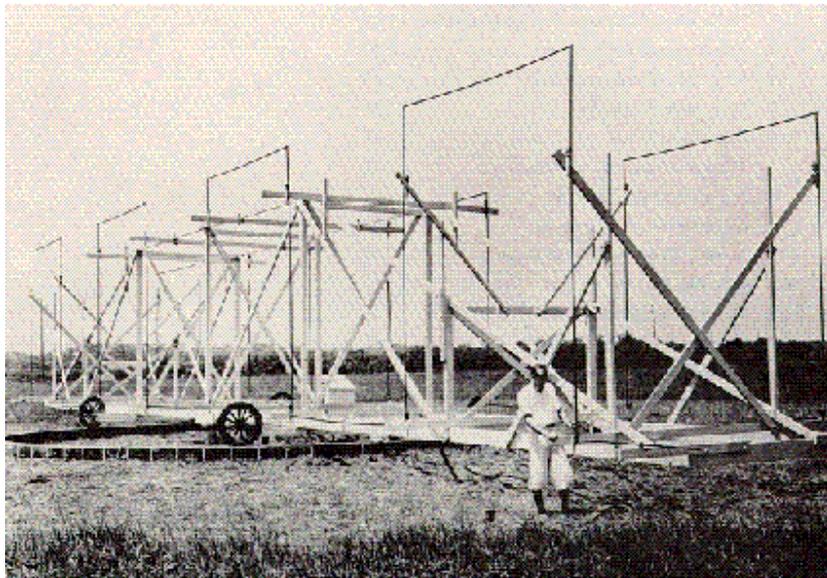
El método que se emplea para analizar la distribución del hidrógeno neutro consiste en apuntar el radiotelescopio hacia una determinada dirección del cielo y medir la intensidad de la línea de 21 cm de longitud de onda.

Historia

Durante mucho tiempo, el estudio de la astronomía se limitaba a observar la parte visible del espectro electromagnético, a la que llamamos luz. Pero hasta 1931 se ignoraba que existía radiación en otras longitudes de onda.

En 1931, Karl Jansky, un ingeniero de los laboratorios Bell, investigaba las interferencias que sufrían las ondas de radio mediante una antena especialmente diseñada para captar ondas de 14,6 metros de longitud. Él esperaba encontrar interferencias debidas a tormentas eléctricas, pero recibía un ruido estático de origen desconocido.

Luego de diferentes estudios, concluyó que la señal de radio no provenía de ninguna fuente terrestre... sino de la Vía Láctea.



Antena de Jansky, hecha de madera y montada sobre ruedas de Ford.

De esta forma, los científicos comenzaron a observar el cielo mediante otros instrumentos, además de los telescopios ópticos.

El espectro electromagnético

La radiación electromagnética es producida por cambios en los campos eléctricos y magnéticos, que se originan por movimientos de cargas eléctricas. Esta radiación transporta energía de un punto a otro, y se propaga en el espacio a 299.792 kilómetros por segundo.

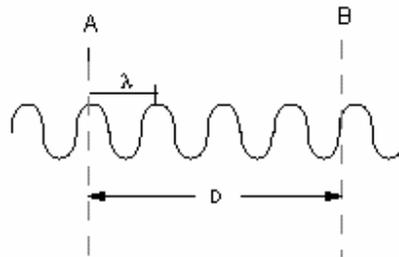
La luz es parte del espectro electromagnético. Otras formas de radiación electromagnética son los rayos X, microondas, radiación infrarroja y ultravioleta y las ondas de radio.

Frecuencia y longitud de onda

La radiación se propaga en una frecuencia determinada. La frecuencia es la cantidad de veces que el campo electromagnético oscila. Se mide en Hertz (Hz), llamadas así en honor a Henrich Herz, la primera persona en generar ondas de radio. Un Hezt es una oscilación (ciclo) por segundo.

La longitud de onda es la distancia entre dos crestas o picos de radiación, es decir, cuando se completa un ciclo. Se mide en unidades de longitud métricas, metros, centímetros, milímetros y si es muy pequeña, en Angstroms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

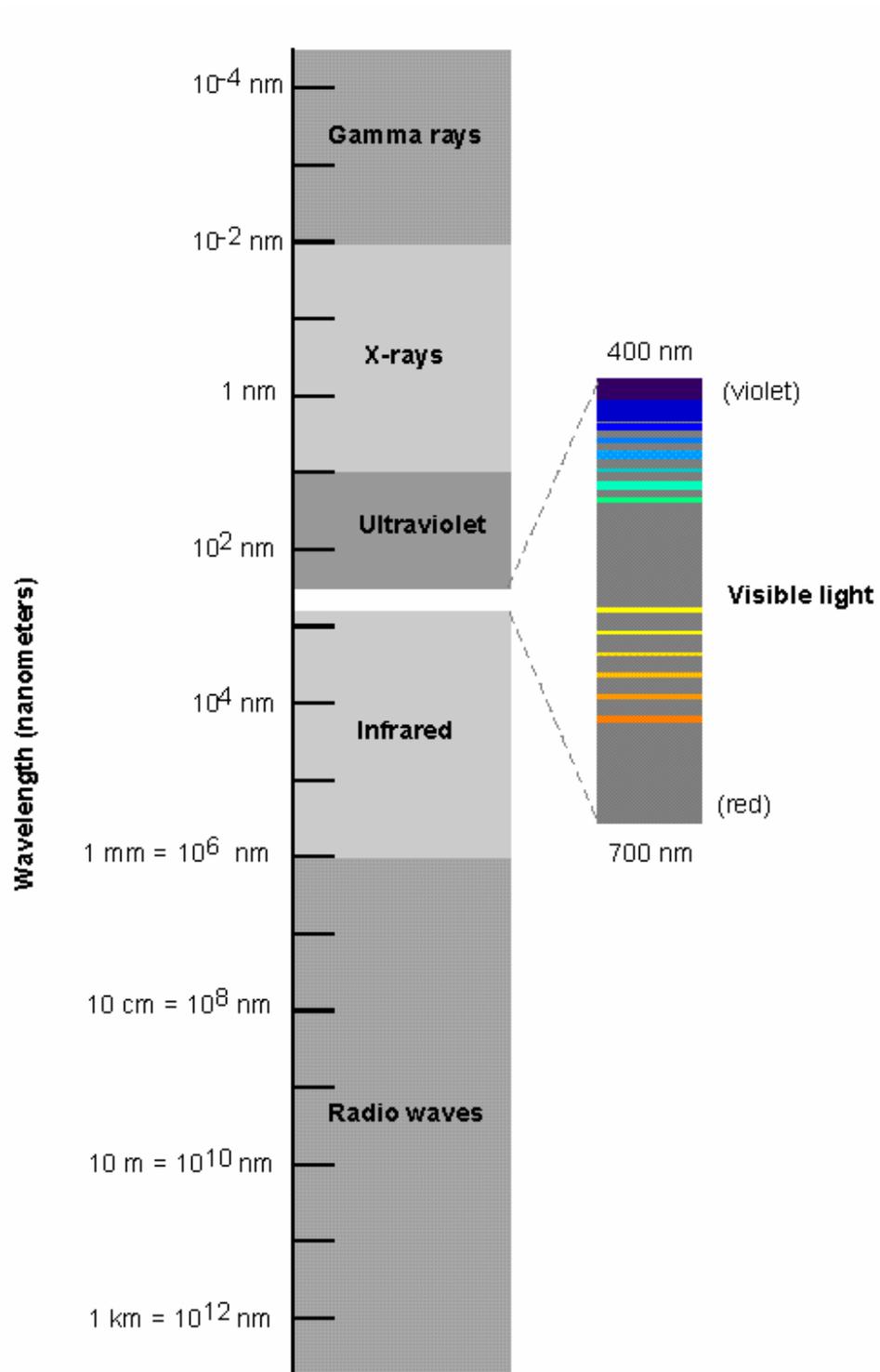
La relación entre frecuencia y longitud de onda es inversa: a mayor frecuencia, menor longitud de onda y viceversa.



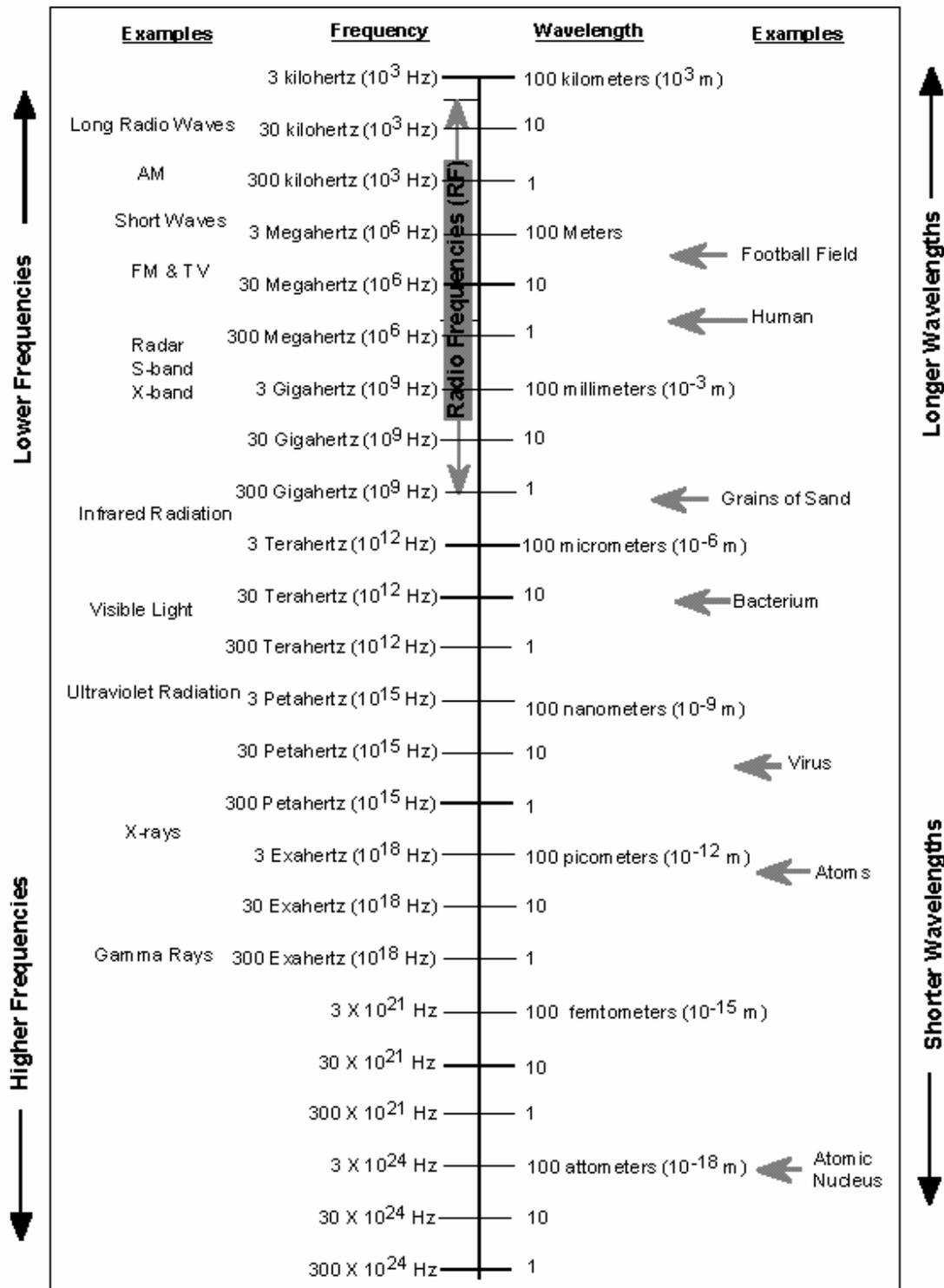
$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{velocidad de la luz}}{\text{longitud de onda}}$$

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

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

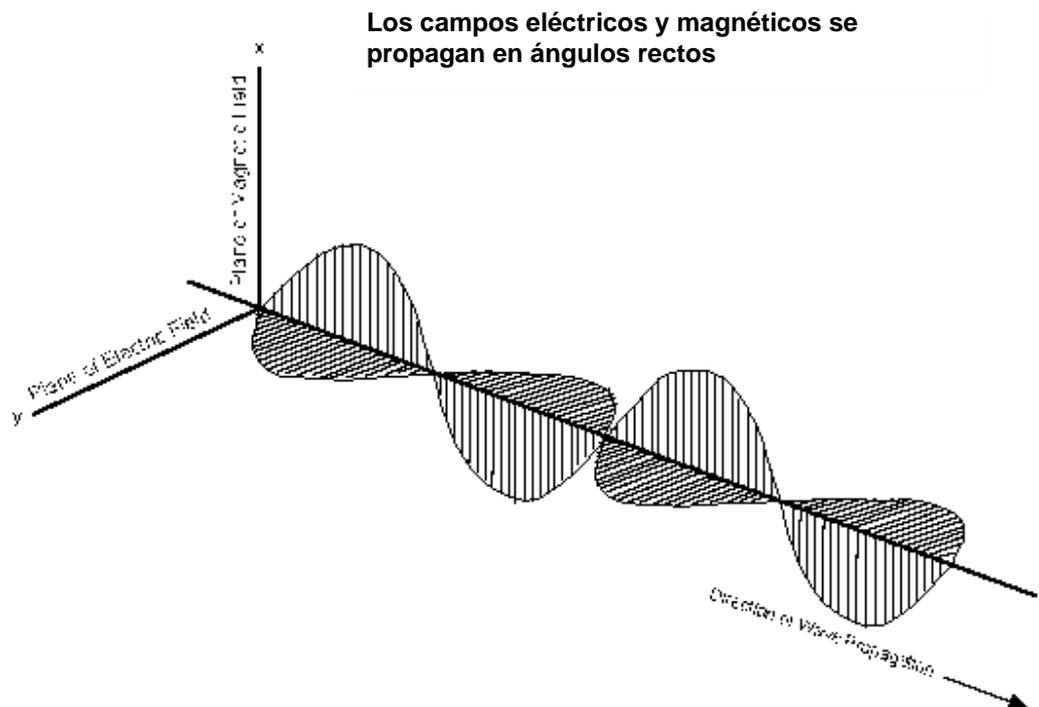


El Espectro Electromagnético: Frecuencia / Longitud de onda



Polarización

Si la radiación se propaga en el vacío, sin interferencias, lo hace en línea recta. El campo eléctrico y el magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación, y desfasados 90° entre sí. El campo magnético se denomina *vector magnético*, y el campo eléctrico, *vector eléctrico*.



Si el vector eléctrico se mueve en un ángulo constante con respecto al horizonte, se dice que la onda está linealmente polarizada (horizontal: paralela al horizonte terrestre; vertical: a 90°).

La onda también puede estar circularmente polarizada, si el ángulo del vector rota alrededor de la línea imaginaria de propagación de la radiación.

Radiación térmica

Todo objeto que posee energía térmica emite radiación. Se denomina *cuerpo negro perfecto* a un objeto que absorbe toda la energía que le llega, y emite energía en todas las frecuencias al mismo ritmo que absorbe; es decir, que el cuerpo negro no retiene nada de energía.

Por supuesto que el cuerpo negro es un ente ideal, pero sirve como modelo teórico para el estudio de la radiación térmica que recibe un detector.

Para ilustrar este concepto, se ejemplifica a continuación en que longitudes de onda emiten los cuerpos celestes que se estudian en radioastronomía:

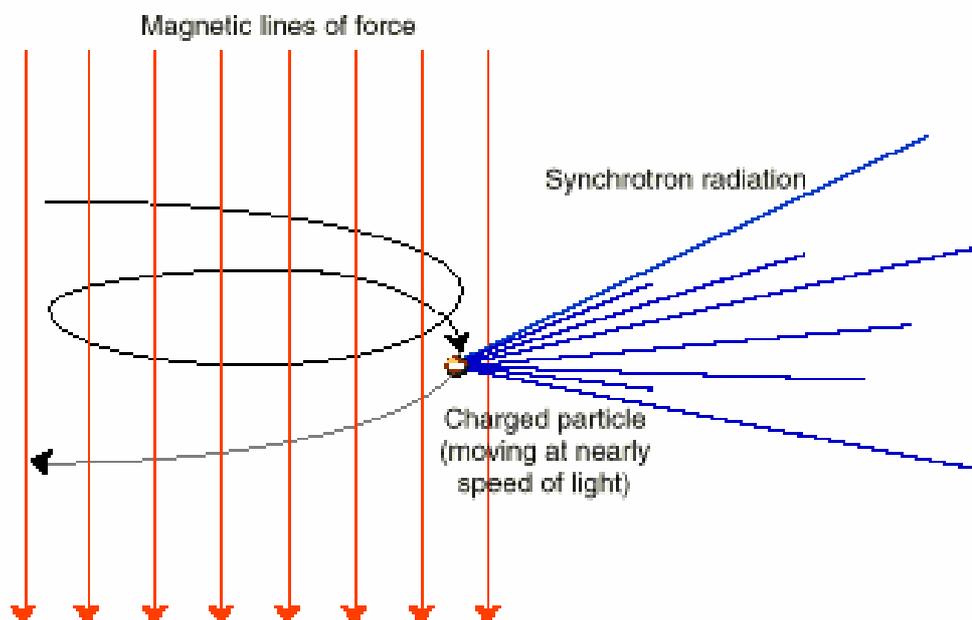
Tipo de radiación	Rango de long. de onda (en nanómetros [10^{-9} m])	Temperatura	Fuentes típicas
Rayos gamma	Menor a 0,01	Mas de 10^8 °K	Fuentes demasiado calientes, reacciones nucleares dentro de agujeros negros.
Rayos X	0,01 – 20	10^6 – 10^8 °K	Gas en grupos de galaxias, remanentes de supernovas, corona solar.
Radiación Ultravioleta	20 – 400	10^5 – 10^6 °K	Remanentes de supernovas, estrellas muy calientes.
Luz visible	400 – 700	10^3 – 10^5 °K	Exterior de las estrellas.
Infrarrojo	10^3 – 10^6	10 – 10^3 °K	Nubes de polvo y gas, planetas.
Ondas de Radio	Mas de 10^6	Menor que 10 °K	Nubes de polvo oscuras.

Radiación no térmica

Radiación sincrotrón

Además de toda la radiación de origen térmico, mucha de la radiación de nuestro universo como la generada por galaxias, particularmente la radiación de fondo, tiene origen no térmico.

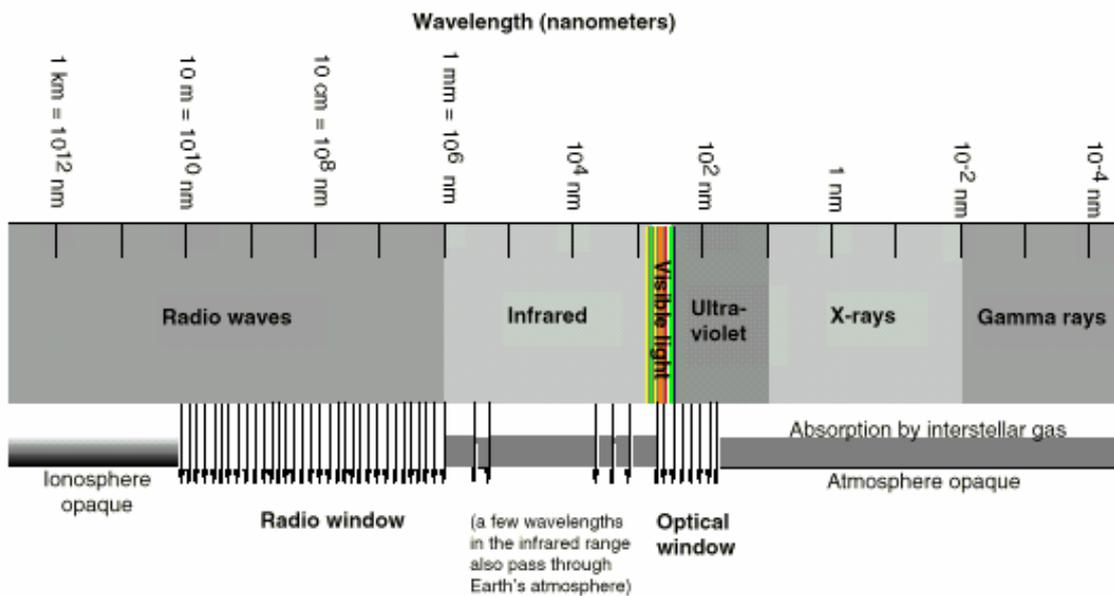
El mecanismo es el siguiente: una partícula cargada eléctricamente que interactúa dentro de un campo magnético, se mueve en forma espiral respecto a las líneas de fuerza del campo e irradia radiación sincrotrón.



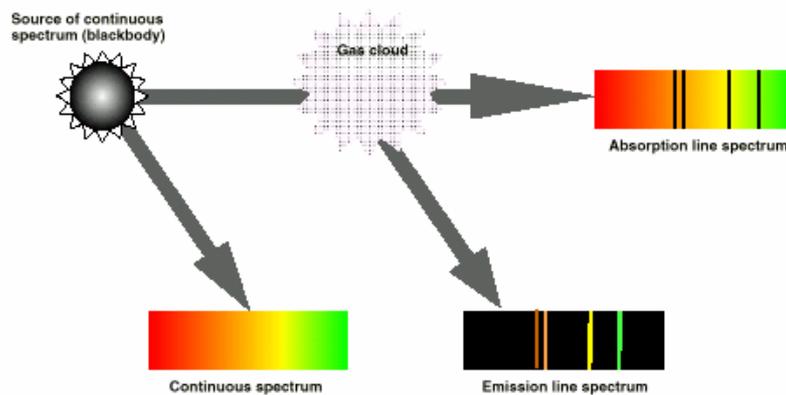
Ventana atmosférica

La atmósfera de la Tierra presenta una barrera opaca a la mayoría del espectro electromagnético. Absorbe la mayoría de las longitudes de onda más cortas que la ultravioleta, la mayoría de las longitudes entre el infrarrojo y las microondas, y muchas ondas de radio.

Sin embargo, quedan “ventanas” por las cuales se pueden detectar radiaciones. Se presentan en forma gráfica a continuación:



Un cuerpo negro emite en todas las longitudes de onda. Pero cuando la radiación pasa a través de una nube de gas, algunos electrones de esta nube absorben algo de energía, en este caso, el espectro deja de ser continuo para transformarse en un espectro de absorción. De la misma forma, si algunos electrones de la nube emiten energía en ciertas longitudes de onda, se forma un espectro de emisión.



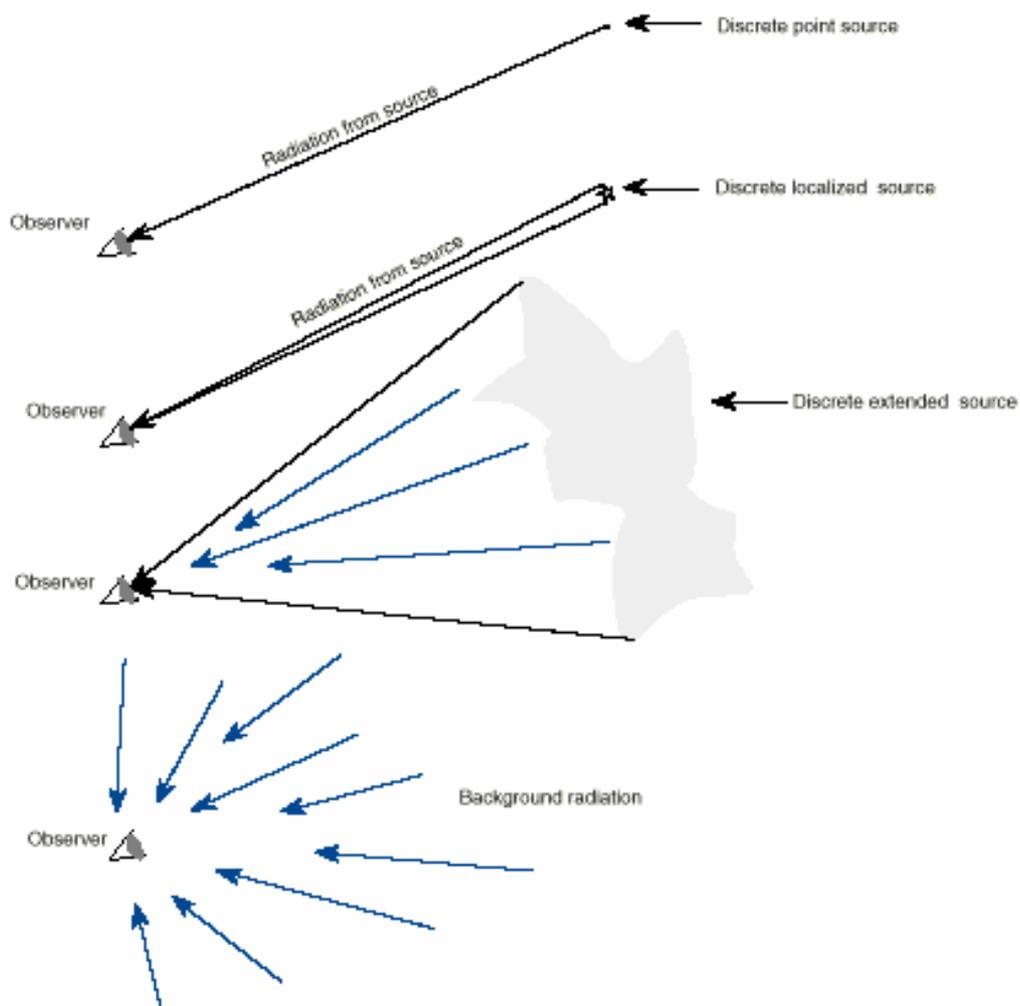
Fuentes de radiación

La radiación puede provenir de diversas fuentes. Se puede asociar una fuente de radiación con un objeto visible o un sector del espacio, en ese caso se dice que la fuente es *discreta*.

Las fuentes discretas pueden ser puntuales, localizadas o extendidas.

En las fuentes puntuales, la radiación parece provenir de un solo punto (es un caso ideal). En las fuentes localizadas, la fuente discreta es muy pequeña, como el caso de una sola estrella. En las fuentes extendidas, la radiación proviene de un sector del cielo, como por ejemplo nuestra Vía Láctea o en centro galáctico.

Si la fuente de radiación proviene de un sector amplio del cielo, se denomina *radiación de fondo*. Si se observa un objeto puntual, se puede considerar que una fuente extendida es una radiación de fondo, pero se considera en forma general que la *radiación cósmica de fondo* es la verdadera radiación de fondo.



Algunos tipos de fuentes

Fuentes planetarias

- ◆ Júpiter y sus satélites

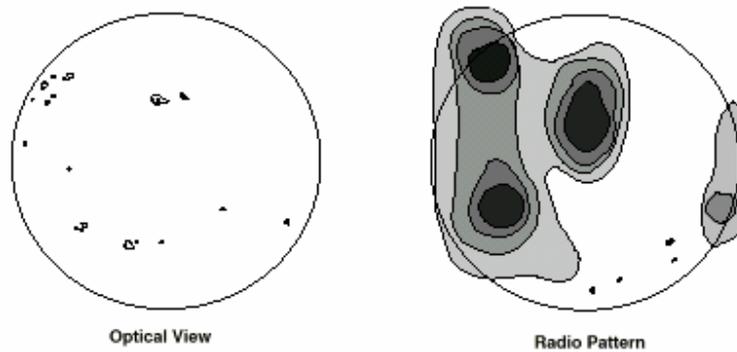
Fuentes estelares

- ◆ Estrellas variables (regulares, irregulares, dobles eclipsantes, etc.)
- ◆ Pulsars
- ◆ El sol

Fuentes galácticas y extragalácticas

- ◆ Centro galáctico
- ◆ Radiogalaxias
- ◆ Quasars
- ◆ Blazars
- ◆ Galaxias Seyfert

Comparación entre fuentes ópticas y de ondas de radio en el Sol

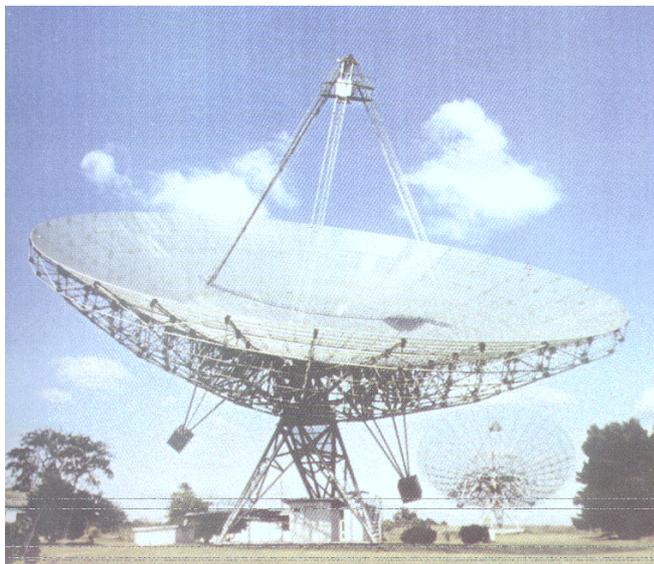


APÉNDICE

Radioastronomía en Argentina

Las ondas de radio son la forma menos energética de radiación electromagnética. Ocupan el extremo opuesto a los rayos gamma en el espectro y, a diferencia de ellos, pueden atravesar libremente la atmósfera terrestre. Debido a que muchos procesos físicos que ocurren en el universo liberan energía en forma de radio-ondas, estas señales traen a nosotros gran cantidad de información valiosa para entender diversas situaciones astrofísicas. Las señales de radio provenientes del cosmos son muy débiles y hacen falta instrumentos especiales para poder detectarlas y medirlas. Estos instrumentos se llaman *radiotelescopios*.

Un radiotelescopio es, básicamente, una antena. Como la señal que se busca es muy débil, se utiliza una superficie colectora (el disco de la antena) que refleja la emisión



recibida y la concentra en un punto (el foco de la antena). Allí, la señal es recogida y amplificada por un receptor electrónico, y luego es enviada por medio de cables coaxiales a una computadora donde es analizada. Con la información que lleva la señal es posible construir un mapa de la región observada del cielo, que muestre las diferentes fuentes de radio que hay en ella. Los radiotelescopios pueden observar, de acuerdo con el tipo de receptor que posean, toda la emisión que llegue en un cierto ancho de banda (en cuyo caso se habla de "emisión continua"), o bien pueden discriminar la radiación de acuerdo con la frecuencia, a fin de determinar el espectro de esta (se habla entonces de "emisión de línea", debido a las marcas o líneas que suelen aparecer en los espectros). Como cada elemento químico emite un conjunto de líneas bien conocidas, los radiotelescopios del último tipo pueden ser usados para determinar la clase y cantidad de materia que hay en una cierta región del espacio (por ejemplo, el contenido de una cierta nube en el medio interestelar).

En la Argentina existen dos radiotelescopios dedicados a fines astronómicos. Estos instrumentos pertenecen al Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), ubicado en el Parque Pereyra Iraola, en la provincia de Buenos Aires (ver figura adjunta). Estos telescopios constan de un disco parabólico de 30 metros de diámetro con un montaje ecuatorial que permite orientarlos hacia diferentes lugares del cielo y mantener el rastreo de un punto arbitrario compensando el movimiento de rotación de la Tierra. Uno de los instrumentos posee un receptor enfriado por medio de helio líquido (lo cual aumenta la sensibilidad del equipo electrónico) y tiene capacidad para detectar diversas líneas espectrales, entre ellas, la del hidrógeno neutro (longitud de onda: 21cm). Este aparato fue utilizado para realizar extensos relevamientos de la distribución del gas de hidrógeno en la galaxia. El otro radiotelescopio se dedica a los estudios de la emisión continua, tanto galáctica como extra galáctica. Fue empleado en estudios de *quasars*, nubes de gas ionizado llamadas *regiones HII* y remanentes de supernovas. En el Instituto de Radioastronomía se trabaja no sólo con datos de radio obtenidos por medio de las antenas, sino que además se utilizan datos colectados por diversos observatorios orbitales, como el Compton. Esto se debe a que la comprensión profunda de los procesos físicos que ocurren en los objetos astronómicos requiere de la interpretación de la emisión observada a todas las longitudes de onda y no sólo en una banda especial.

Fuentes de información

- *Basics of Radio Astronomy*, Jet Propulsion Laboratory, NASA
- *Astronomía Elemental*, Alejandro Feinstein. Ed. Kapeluz
- *Radioastronomía en Argentina*, Gustavo E. Romero y Jorge A. Combi – Instituto Argentino de Radioastronomía. Revista CIENCIA HOY.