# Taller de Ciencia para Jovenes 2002

## Observaciones radioastronómicas I: el indice espectral de fuentes térmicas y no-térmicas

### Introducción

Muchos objetos celestiales — de naturalezas muy variadas — emiten radiación en ondas de radio. El universo mismo emite en radio: la famosa "radiación de fondo" que es remanente del Big Bang cuando se nació el universo tiene su emisión máxima a longitudes de onda de 1 mm. Afuera de nuestra galáxia, algunas de las fuentes más poderosas son los quaseres (objetos quasi-estelares) y otras galáxias activas. Dentro de la Via Lactea se observa en radio los remanentes de supernovas, nebulosas planetárias, regiones HII, hidrógeno neutro, máseres, y nubes moleculáres, entre otras fuentes. Algunas fuentes emiten en el continuo (a muchas frecuencias), otras emiten en líneas espectrales (a frecuencias específicas).

Emisoras de ondas de radio generalmente se clasifican en dos grupos: fuentes térmicas y fuentes no-térmicas. El mecanismo que produce la emisión es distinto entre las dos clases. Esencialmente, emisión cuya intensidad aumenta en el caso que la temperatura física de la fuente sea mayor se clasifica como emisión térmica. Emisión de cuerpo negro y de dispersión de partículas cargadas son los ejemplos más importantes. Emisión no-térmica generalmente resulta del movimiento de electrones dentro de un campo magnético. Si los electrones tienen poca energía esta emisión se llama radiación ciclotrónica; si los electrones tienen mucha energía (es decir, si tienen velocidades relatavistas) entonces la emisión se llama radiación sincrotrónica. La radiación ciclotrónica y sincrotrónica es radiación no-térmica del continuo en el sentido que la emisión ocurre a muchas frecuencias. Otro ejemplo importante de emisión no-térmica pero de líneas espectrales (que ocurre solamente a ciertas frecuencias particulares) son los máseres.

En ondas de radio, la densidad de flujo de un cuerpo negro se encuentra por

$$S = \frac{2k\nu^2}{c^2} \int \int T d\Omega$$

donde $S$ es la densidad de flujo, $k$ es la constante de Boltzmann, $\nu$ es la frecuencia de las ondas, $c$ es la velocidad de la luz, $T$ es la temperatura del objeto, y $d\Omega$ es un elemento de ángulo sólido. Cuando se hace la integral sobre el ángulo sólido de la fuente, y suponiendo una temperatura constante, se queda con la forma

$$S = \frac{2k\nu^2}{c^2} T \Omega_f$$

donde $\Omega_f$ es el ángulo sólido de la fuente.

Si suponemos que la densidad de flujo de la emisión de un astro es proporcional a alguna potencia de la frecuencia, $S \propto \nu^n$, entonces se dice que el exponente $n$ es el *indice espectral* de la radiación. En el caso de un cuerpo negro se nota que el indice espectral es $+2$.

### Procedimiento

1. Observamos dos fuentes con el radio-telescopio de Haystack Observatory, de 37 métros de diámetro. Dado el tiempo programado para nuestras observaciones (de 9:00 a 14:00 horas) y las posiciones de los astros en julio de 2002, observaremos el planeta Saturno y el remanente de supernova el Cangrejo.

2. Observamos las fuentes a dos frecuencias distintas, una en la banda-K (de 21 a 24 GHz) y la otra en la banda-Q (de 36 a 45 GHz). Para Saturno, utilizamos un modo de observación de apuntar el telescopio hacia el planeta y lo seguimos a lo largo de su trayectória por el cielo. Para el Cangrejo, utilizamos otro

modo de observación en el cual estacionamos el telescopio, apuntado a un cierto punto sobre la trayectória de la fuente, y la observamos cuando deriva en frente del telescopio.

3. Las observaciones nos darán valores para la temperatura de antena, los cuales tendremos que calibrar para quitar efectos tales como la absorción de la atmósfera y la eficiencia de la antena. Este proceso nos dará valores para la temperatura del brillo de la fuente en ambas frecuencias, las cuales convertimos a densidades de flujo.

4. Utilizando estas densidades de flujo, resolvemos la ecuación $S = C\nu^n$ (donde $C$ es una constante), hallando el indice espectral, $n$. En base de los valores de $n$, clasificamos la emisión de Saturno y del Cangrejo como térmica o no-térmica. Un análisis más detallado del valor de $n$ puede dar información sobre las condiciones físicas dentro de la fuente.

Precaución: Para fuentes extendidas (o resueltas) hay que darse cuenta de la diferencia del tamaño del haz del telescopio a las dos frecuencias, lo cual da resoluciones distintas en los dos mapas. El tamaño del haz en radianes es dado por $\theta = 1.2\lambda/D$ donde $\lambda$ es la longitud de onda de las observaciones y $D$ es el diámetro del telescopio. Se puede corregir por este efecto por disminuir la resolución del mapa a banda-Q ($\lambda = 7$ mm) a la del mapa a banda-K ($\lambda = 13$ mm).