

Índice espectral de una radiofuente

En las observaciones radioastronómicas de objetos puntuales que realizamos con la antena de PARTNeR, el resultado obtenido tras las correspondientes correcciones (sustracción de la temperatura del sistema, corrección de la absorción atmosférica y uso de la curva de ganancia de la antena) nos indica el flujo radio procedente de la fuente, integrado en cada una de las dos bandas de trabajo, S y X. Estos valores del flujo recibido se representan mediante dos puntos en la gráfica del espectro total en radiofrecuencia de la fuente observada.

¿Cuál es la causa de que la radiación electromagnética sea emitida con diversas frecuencias? Las diferencias en la frecuencia de la emisión, junto con otras características que podemos observar, nos dan una valiosa información sobre la fuente emisora, así como sobre el medio a través del cual se ha propagado la radiación.

La radiación electromagnética es producida por dos tipos de mecanismos: térmicos y no térmicos.

Mecanismos de emisión térmicos

La radiación electromagnética es generada por cargas eléctricas aceleradas, es decir, por cargas cuya velocidad o cuya dirección de movimiento sufre cualquier variación. En un objeto caliente, las moléculas que lo forman vibran (si se trata de un sólido) o están colisionando continuamente entre sí (si se trata de un líquido o de un gas), moviéndose en todas direcciones y a diferentes velocidades. Cada una de estas colisiones produce la radiación electromagnética en todas las frecuencias del espectro electromagnético. Así pues, la materia que se calienta por encima del cero absoluto emite radiación electromagnética. La intensidad de la emisión y la distribución de frecuencias en el espectro electromagnético dependen de la temperatura de la materia que emite.

En general, cuanto más caliente está un objeto, menor es la longitud de onda de la radiación que emite. Pero debemos hacer una importante matización. En realidad, lo que ocurre es que para temperaturas más altas, hay más energía emitida en todas las longitudes de onda, pero la cantidad máxima de energía se irradia en longitudes de onda más cortas. Esta relación se conoce como ley de Wien.

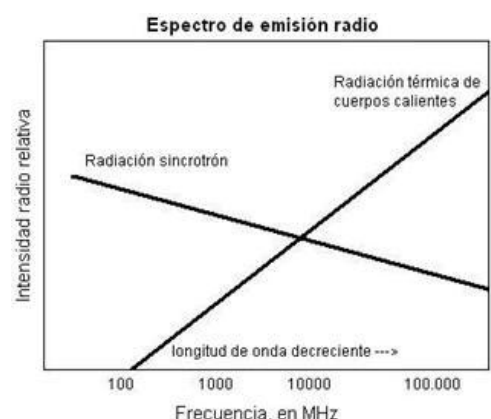
La radiación de origen térmico tiene una característica que ayuda a distinguirla de otros tipos de radiación: la intensidad de la radiación de origen térmico aumenta generalmente con la frecuencia.

Mecanismos de emisión no térmicos

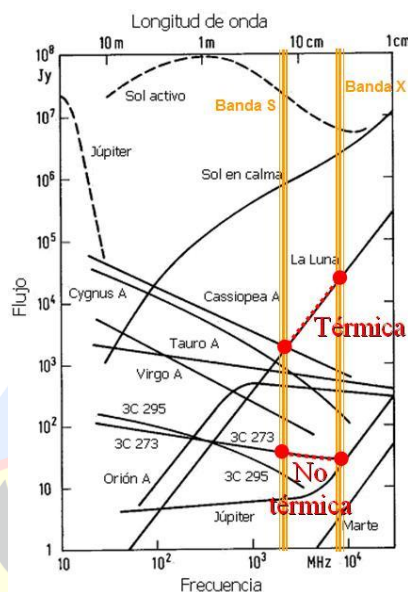
La radiación también puede ser producida por mecanismos que no guardan relación con la temperatura del objeto, es decir, hay también radiación de origen no térmico.

El mecanismo principal que da origen a este tipo de radiación no guarda relación con la temperatura, sino con la interacción de partículas cargadas con campos magnéticos. Cuando una partícula cargada se sumerge en un campo magnético, esta sufre la acción de una fuerza que la obliga a describir una trayectoria circular o espiral alrededor de las líneas de fuerza magnéticas. La partícula, al ser acelerada, emite radiación electromagnética. Cuando las condiciones son tales que la velocidad de la partícula alcanza valores comparables a la velocidad de la luz, emite un tipo de radiación denominada sincrotrón.

Una diferencia muy importante entre la radiación de origen térmico y la originada por mecanismos no térmicos es que mientras que la intensidad, y por tanto la energía, de la radiación térmica aumenta con la frecuencia, la intensidad de la radiación de origen no térmico disminuye generalmente con la frecuencia, tal y como puede verse en la figura de la derecha.



En la siguiente figura aparecen representados los valores del flujo radio para una serie de objetos celestes. Se han señalado, en color naranja, las dos bandas de trabajo de la antena de PARTNeR. Si nos fijamos en los puntos rojos, que representan los flujos recibidos en cada una de las bandas procedentes de la Luna y del cuásar 3C 273, vemos claramente reflejados los dos tipos posibles de emisión, térmica y no térmica.



Diferencias entre fuentes con emisión térmica y fuentes con emisión no térmica

Índice espectral

El índice espectral de una fuente, α , se obtiene a partir de la emisión recibida a dos frecuencias distintas, S_1 y S_2 , siendo en este caso la pendiente del flujo entre las dos frecuencias, ν_1 y ν_2 , y calculándose como:

$$\alpha = \frac{\log(S_1/S_2)}{\log(\nu_1/\nu_2)} \quad [1]$$

El uso del índice espectral asume que la emisión sigue la forma de una ley de potencias, es decir, $S \approx \nu^\alpha$ donde S es el flujo electromagnético, ν es la frecuencia y α el índice espectral. Se usa mucho en radioastronomía y da una idea de la forma de la emisión y por lo tanto de las características físicas del cuerpo que genera esa emisión.

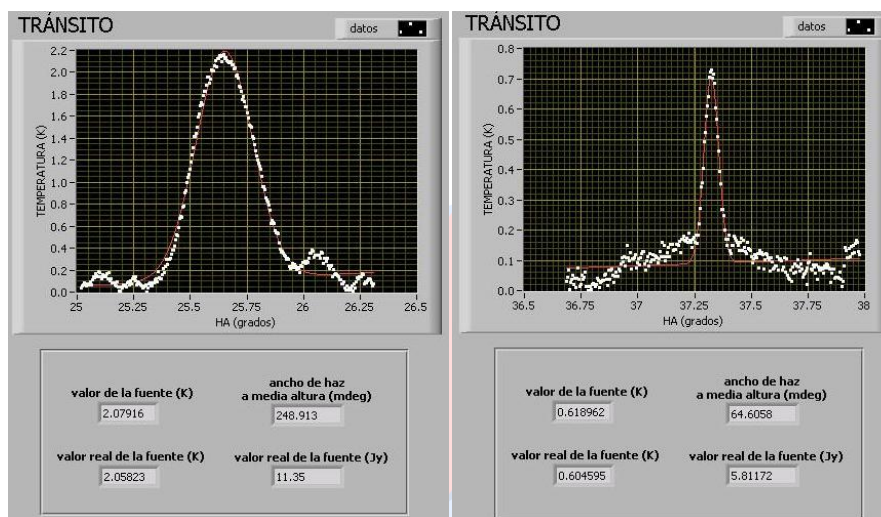
Para emisión térmica, el valor de α , en general, es positivo y varía entre 0 y 2, indicando que el espectro de la emisión térmica es una curva creciente con la frecuencia. Para emisión sincrotrón (esto es, no térmica), los valores de α son negativos y varían entre -0,5 y -1,5; lo cual indica que el espectro de la emisión no térmica es una curva que disminuye con la frecuencia.

Así, un cuerpo con emisión térmica en la zona donde la aproximación de Rayleigh-Jeans es válida (bajas frecuencias o longitudes de onda elevadas) tiene un índice espectral de +2. Un cuerpo celeste que emite radiación sincrotrón tiene un índice negativo con un valor de -0,7. Para el rango de valores entre -0,5 y 0, un índice de -0,1 indica emisión térmica o de frenado, mientras que un índice espectral cercano a -0,5 indica emisión sincrotrón.

Anexo: cálculo del índice espectral de 3C 286

Vamos a calcular el índice espectral de una de las radiofuentes que observamos con PARTNeR, el cuásar 3C 286.

Como hemos indicado anteriormente, medimos primero el flujo precedente de la fuente en las dos bandas S y X. Esto lo hacemos realizando una serie de tránsitos sobre la fuente. En las siguientes figuras mostramos algunos tránsitos realizados, a la izquierda en banda S y a la derecha en banda X.

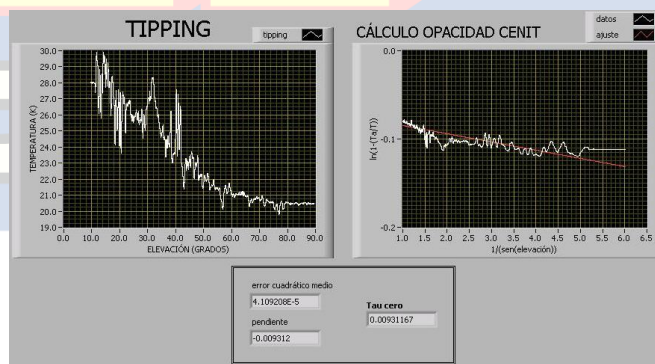


Tránsito en Banda S

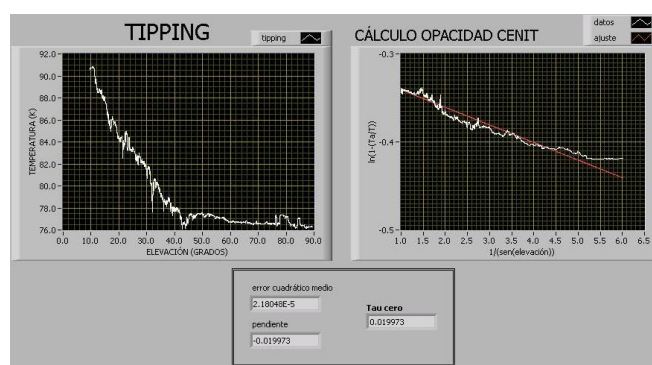
Tránsito en Banda X

Una vez realizados los tránsitos, hacemos la *tipping* para calcular la opacidad en el cenit a partir de la curva obtenida.

La realización de varios tránsitos nos permitirá mejorar la relación señal-ruido y hacer una media de los valores de la temperatura de la fuente. Para 3C 286, estos valores han sido de 2,05823 K en banda S, y de 0,604595 K en banda X.



Tipping an Banda S



Tipping en Banda X

El valor del flujo se obtiene usando las curvas de sensibilidad para cada una de las bandas, que vienen expresadas como polinomios (véase Reducción de datos en PARTNeR). El resultado final del flujo, en Jy, es de 11,35 Jy en banda S, y de 5,812 Jy; tal y como puede apreciarse en las partes inferiores de las figuras de los tránsitos.

Estos valores nos permiten calcular a partir de la expresión [1] el índice espectral, que es:

$$\alpha = -0,506$$

Se trata, pues, de una emisión no térmica debida a radiación sincrotrón.

Como comprobación, se muestra el flujo radio de 3C 286. Asimismo, se indican los valores del flujo para las frecuencias centrales de las bandas de trabajo. Se observa un acuerdo bastante aceptable entre los valores correctos y los medidos en nuestra observación. El valor para el índice espectral de 3C 286 es de -0,65, ligeramente mayor que el obtenido por nosotros.

