

Science in School – número 30

Medir la temperatura de la superficie de una estrella mediante el análisis de su espectro

(Actividad del campus astronómico del ESO)

Edad

Estudiantes de secundaria entre 16 y 18 años

Introducción

La ley de Wien relaciona la longitud de onda del máximo de emisión de un cuerpo negro y su temperatura T:

$$T = (2.9 \cdot 10^7) / \lambda_{\max}$$

donde T es la temperatura de la estrella en Kelvin (K), λ_{\max} es en Angström (Å), y $2.9 \cdot 10^7$ es la constante de desplazamiento de Wien.

Los espectros estelares tienen dos partes: un continuo que abarca todo el espectro de emisión y líneas oscuras sobre el continuo. Hay documentos descargables con ejemplos de espectros de estrellas.

En esta actividad no haremos caso de las líneas oscuras y nos centraremos en el continuo. Como podemos considerar una estrella como un cuerpo negro (lo que es cierto en la mayoría de los casos), podemos usar la ley de Wien para averiguar la temperatura de su superficie analizando la longitud de onda del máximo de emisión.

Los espectros que obtuvimos en el campus estaban en el rango 4000–7000 Å que comprende casi toda la región visible. Si miramos el máximo y el mínimo de este intervalo, $\lambda_{\min} = 4000 \text{ Å}$ and $\lambda_{\max} = 7000 \text{ Å}$ y aplicamos la ley de Wien, obtenemos $T = 7250 \text{ K}$ y $T = 4150 \text{ K}$, respectivamente, con una precisión de 50 K. Este cálculo implica que, con el equipamiento de que disponíamos en el campus, podíamos medir la λ_{\max} de las estrellas incluidas en este rango, es decir, estrellas de las clases F, G y K. Las más calientes y las más frías quedan fuera del rango de nuestros aparatos de medida.

Esta es la lista de estrellas que observamos en el campus, su tipo espectral, la temperatura de la superficie que medimos y la que se encuentra en la literatura.

<i>Estrella</i>	<i>Tipo espectral</i>	<i>Temperatura en la superficie</i>
Aldebaran	K5	4000
Bellatrix	B2	22000
Betelgeuse	M1,5	3600
Capella (*)	G8+G0	4900+5700
Dubhe	K0	4700
Pollux	K0	4800
Sirius	A1	9900

(*) Capella es una estrella doble pero las dos partes son similares, por lo que asumimos que la temperatura medida es la media de las dos.

Con esta tabla y con otras consideraciones previas podemos decir que Capella, Dubhe y Pollux son estrellas adecuadas para esta actividad; Aldebaran está en el límite de nuestra capacidad de medida; y Bellatrix, Betelgeuse y Sirius son demasiado frías o calientes para nuestros instrumentos.

Otras cuestiones que tener en cuenta

- Los espectros que tomamos en el campus difieren de los reales porque la atmósfera de la Tierra interacciona con la luz estelar. Esto origina la llamada extinción, que es mucho mayor en las longitudes de onda rojas de la luz estelar (también se conoce como enrojecimiento atmosférico). Más aún, nuestro sensor es más sensible a la luz roja que a la azul: por debajo de 5000 Å y hasta 4000 Å la sensibilidad es muy pobre.
- Las estrellas que están entre los últimos tipos B y el primer F (en particular, las estrellas A) muestran líneas de Balmer intensas en la región azul, y debilitan el espectro de esa región. Esto significa que muestran una desviación significativa de la curva del cuerpo negro y hacen difícil una interpretación significativa de la ley de Wien en esas estrellas.

Hay que tener en cuenta este efecto cuando intentamos medir la temperatura con precisión; sin embargo, nosotros no lo tuvimos en cuenta en esta actividad porque hace falta un enfoque de nivel universitario para analizarlo. A pesar de esto obtuvimos unos resultados valiosos y significativos.

Materiales

- Los tres documentos descargables con datos espectrales de la web *de Science in School*:
 - las imágenes de los espectros
 - las tablas de los espectros con los datos de luminosidad (solo para profesores)
 - las tablas de los espectros sin los datos de luminosidad (para alumnos)
 Los espectros de Aldebaran, Betelgeuse, Capella, Dubhe, Pollux, Sirius y Bellatrix obtenidos por los participantes en el Campus.
- Un programa para manejar tablas (por ejemplo, Excel)

Procedimiento

- Abre las tablas de los espectros sin los resultados de luminosidad. Cada pestaña contiene los datos de una estrella; en cada tabla hay:
 - Columna 1 Numeración de los píxeles del sensor, de izquierda a derecha (ahora no hay que tenerlas en cuenta);
 - Columna 2: longitudes de onda que corresponden a cada píxel;
 - Columna 3: número de fotones incidentes en cada longitud de onda detectados durante el tiempo de exposición.
- Calcula la relación entre el número de fotones a cada longitud de onda y anótalos en la columna 4. Esta relación indica el lugar de máxima luminosidad del espectro.

El sensor de nuestros instrumentos (como cualquier CCD) mide el número de fotones incidentes (como muestra la columna 3), no la energía incidente. La energía de cada fotón se calcula mediante la ecuación:

$$f_{\text{otón}} = (\text{constante de Planck} * \text{velocidad de la luz}) / \text{longitud de onda}$$

Se define la luminosidad como la energía por unidad de superficie y tiempo que llega desde una estrella; en nuestro caso, la energía captada durante el tiempo de exposición multiplicada por la superficie del telescopio. En otras palabras, es la suma de la energía de cada fotón detectado durante el tiempo de exposición del telescopio.

$$\text{Luminosidad} = \sum E_{\text{fotón}} = (\text{número de fotones}) * [(\text{constante de Planck} * \text{velocidad de la luz}) / (\text{longitud de onda})]$$

Como solo estamos interesados en identificar la longitud de onda del máximo de luminosidad y no el valor real de la luminosidad, podemos obviar los valores constantes y considerar que la siguiente relación nos dará una estimación precisa de la luminosidad.

$$\text{Luminosidad} = (\text{número de fotones}) / (\text{longitud de onda})$$

- Representa la luminosidad (eje Y) frente a la longitud de onda (eje X).
La gráfica no es la típica de una distribución de energía en el cuerpo negro; tiene un perfil irregular debido a que no se han tenido en cuenta las líneas de absorción. De hecho, un espectro de una estrella no se ajusta a la curva del cuerpo negro, los astrónomos han desarrollado otros métodos para calcular con precisión la temperatura de la superficie de las estrellas.
- Halla el valor máximo de la luminosidad a partir de la gráfica (también se puede obtener a partir de la tabla) y la longitud de onda a la que corresponde.
- Utiliza la ley de Wien para calcular la temperatura de la superficie de la estrella.

Si tenemos en cuenta las limitaciones y las aproximaciones del modelo que hemos presentado aquí, con esta actividad obtenemos valores bastante aproximados de la temperatura de la superficie de las estrellas y puede ser comprendida fácilmente por alumnos de secundaria.