

LAS ESTRELLAS

2c.1) Temperatura de las Estrellas

Leyes de la radiación

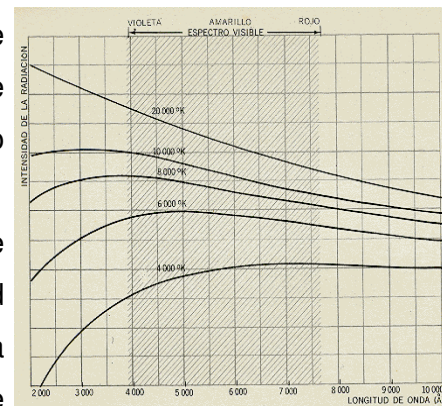
El estudio de la radiación, o de la energía emitida por los cuerpos celestes, es de enorme importancia para tratar de explicar los procesos que le dan origen, su constitución física, y la vinculación con algunos parámetros físicos, tales como: temperatura, masa o densidad.

Varias leyes relacionan la temperatura de un cuerpo con la cantidad de energía que éste emite. Estas leyes se aplican a lo que se denomina cuerpo negro o radiador perfecto, es decir, el cuerpo incandescente de mayor eficiencia, capaz de absorber toda la radiación que recibe y a su vez emitir toda la radiación posible a la temperatura determinada.

Las gráficas corresponden a las **curvas de Planck** para diferentes temperaturas. El máximo de intensidad de la radiación corresponde a una determinada longitud de onda, la que depende de la temperatura del cuerpo emisor.

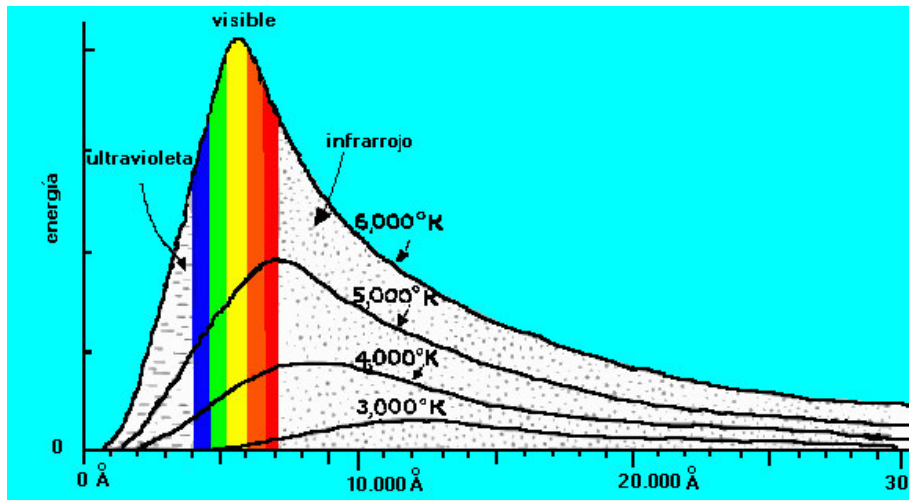
Fig.1 →

La ley de Planck es la más general de las leyes de radiación, y mediante ella es posible calcular la intensidad de la energía que corresponde a una longitud de onda determinada y a una temperatura dada. La Fig. 1 se



representan los diversos casos según distintas temperaturas del cuerpo emisor. Sobre las

abscisas se representan las longitudes de onda y sobre las ordenadas la intensidad de la radiación. La intersección de una abscisa cualquiera con una de las curvas, determina un punto que indica el valor de la intensidad de la radiación para la temperatura que corresponda a esa curva. Si se suman las intensidades de la radiación proporcionadas por una determinada



curva de temperatura, correspondientes a las longitudes de onda comprendidas entre 4000(A) y 5200 (A) (banda que corresponde al color azul), se obtiene la energía total emitida por el cuerpo en esa región del espectro.

De esa manera, la superficie delimitada por la curva y el eje de las abscisas equivale a la energía total emitida por el radiador, que es un cuerpo incandescente. Observamos que a medida que crece la temperatura, la superficie debajo de la curva aumenta muy rápidamente, lo que significa que la radiación total crece fuertemente con el incremento de la temperatura.

Así se comprenderán las siguientes leyes:

2c.2) Ley de Stefan-Boltzmann

Ley de Stefan – Boltzmann, que dice: "La energía total emitida por un cuerpo en un segundo de tiempo y por centímetro cuadrado de superficie es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta", es decir: $E = \sigma T^4$

Donde la constante $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5}$ (erg/cm²). La energía **E** se indica en erg (unidad de energía), y la temperatura **T**, en grados Kelvin (°K).

Aquí, matemáticas aparte, lo importante del enunciado es que a mayor temperatura, (cantidad de energía), la emisión de energía, (luz y el resto del espectro

electromagnético siguiendo el ejemplo de las curvas de Planck) será mayor, mucho mayor ya que la constante se multiplica por la cuarta potencia de la temperatura.

Si la temperatura sube al doble la energía emitida sube 16 veces o sea 2^4 .

2c.3) Ley de Wien

A medida que disminuye la temperatura, el máximo de radiación, que es único, se desplaza para cada curva hacia longitudes de onda mayores, o sea hacia el rojo, como se advierte en la misma figura N° 1.

Hablamos de la **ley de Wien**: "A una temperatura dada, la radiación es más intensa en una determinada longitud de onda, la que es inversamente proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo radiante", o sea:

Donde λ_m es la longitud de onda en angstroms, para la cual la radiación es máxima, T la temperatura en grados Kelvin, y una constante $C = 29.000.000$ °K.

$$\lambda_m = \frac{C}{T}$$

Una conclusión importante que se desprende de todo este análisis es que cuando la temperatura de un cuerpo incandescente aumenta, el color del mismo cambia del rojo al amarillo; luego al verde; luego al azul; etc. Es similar a la que se observa en una llama: cuando su color es rojo, la temperatura es menor que cuando se presenta azul.

Otra vez, matemáticas aparte, simplificando mucho podemos decir que la longitud de onda es inversamente proporcional a la temperatura, y un ejemplo claro lo tenemos con las llamas, con el sol o con el punto de una soldadora eléctrica, que obliga a protegerse los ojos con un filtro ultravioleta porque su temperatura es tan elevada que emite los picos de energía electromagnética en las regiones invisibles del espectro.

A modo de repaso, ahora con otros conocimientos, diremos entonces que el espectro electromagnético comprende toda la energía que conocemos en forma de cuantos de energía, y que si lo agrupamos desde su mayor longitud de onda, hasta la menor, obtendremos una banda continua que comprende por su orden las ondas de radio, los infrarrojos, los colores visibles, (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta), el ultravioleta, (que se subdivide en cercano y lejano), los rayos x y los rayos gamma.

Veamos por lo tanto, que analizando la radiación que nos llega de las estrellas, somos capaces de obtener mucha información sobre las mismas. Esto ayuda a catalogar las estrellas en grupos atendiendo al espectro observado y a la cantidad de energía que emiten.

2c.4) Clasificación Espectral de Harvard

La clasificación espectral basada en la presencia de líneas de absorción de elementos aparecidos en el transcurso de la evolución atmosférica estelar, también, es conocida como **Clasificación Espectral de Harvard**. El tipo espectral se designa con la escala de letras mayúsculas O, B, A, F, G, K, M, R, N y S. En esta escala cada letra conlleva una subdivisión que va de 0 hasta 9. O sea que podemos decir que al Sol le corresponde una clasificación espectral **G₂**. Esta clasificación es la sucesión decreciente de temperatura que hay en la fotosfera (superficie de la estrella) y que se encuentra directamente relacionada con su edad y su secuencia cromática (color). De la relación de la clasificación espectral con la Magnitud Absoluta, (es decir su luminosidad real independiente de la distancia) y conociendo su temperatura mediante las leyes de la radiación que acabamos de ver es posible construir un diagrama que seguramente es el más importante en la astrofísica estelar.

O B A F G K M

Las estrellas más calientes (O) tienen temperaturas de unos 40.000 °C; en el otro extremo, las más frías (M), alcanzan sólo 2.500 °C; en este esquema, el Sol, con una temperatura superficial de 6.000 °C, resulta una estrella de tipo espectral intermedio entre las más calientes y las más frías: es una estrella tipo G.

Este sistema de clasificación se corresponde además con los colores de las estrellas: las de tipo (O) son azules-violáceas y las de tipo M, rojas; el Sol (tipo G) es amarillo. Los colores observados también se relacionan con la temperatura, ya que las estrellas más calientes emiten la mayor parte de su luz en la zona azul del espectro electromagnético, mientras que las más frías lo hacen en la zona roja.

En las estrellas más calientes, las distintas capas interiores deben vencer mayor atracción gravitacional que las capas más externas, y por lo tanto la presión del gas debe ser mayor para mantener el equilibrio; como consecuencia, mayor es la temperatura

interna. Implica que la estrella debe "quemar" combustible a gran velocidad, lo que produce una ingente cantidad de energía. Esta clase de estrellas sólo puede tener una vida limitada: unos pocos millones de años.

Las estrellas frías (generalmente pequeñas y con una fuerza de gravedad débil) sólo producen una modesta cantidad de energía; en consecuencia aparecen brillando tenuemente. Así, estas estrellas pueden existir como tales sólo algunas decenas de miles de millones de años.

En la siguiente Tabla se indican la temperatura característica, de cada tipo espectral (TE).

Tipo Espectral	Temperatura (grados K)	Características
O	20.000 a 35.000	Estrellas azules. Pocas líneas espectrales y débiles. Muestran múltiples átomos ionizados, especialmente He III, C III, N III, O III, Si V.
B	15.000	Estrellas blanco azuladas. La línea de He II no es visible. Son observables líneas de O II, Si II y Mg II. Aparece la línea del He I. Sigue habiendo pocas líneas
A	9.000	Estrellas blancas. La línea del H I (líneas de Balmer) domina el espectro. La He I no es visible. Comienzan a aparecer la líneas de los metales neutros.
F	7.000	Estrellas blanco amarillentas. Notable aumento de la cantidad de líneas de H I, pero disminuyen en intensidad. Las líneas de metales ionizados aumentan.
G	5.500	Estrellas amarillas. La intensidad de las líneas de los metales neutros aumentan, mientras que disminuyen las del H I.
K	4.000	Estrellas amarillo anaranjadas. El espectro está dominado por las líneas de los metales. Bandas moleculares OTi.
M	3.000	Estrellas rojas. Las bandas de OTi son muy prominentes. Son visibles varias líneas de metales neutros. Para espectros mas allá del M4 las líneas de absorción del OTi son muy severas, y se dificulta observar el espectro continuo.

En la tabla aparecen varios elementos con números romanos, estos indican el estado de ionización de los mismos siendo I el elemento neutro, II el ionizado una vez, III el ionizado dos veces, etc. El número de átomos presentes de un cierto elemento es proporcional a la intensidad de las líneas de absorción.

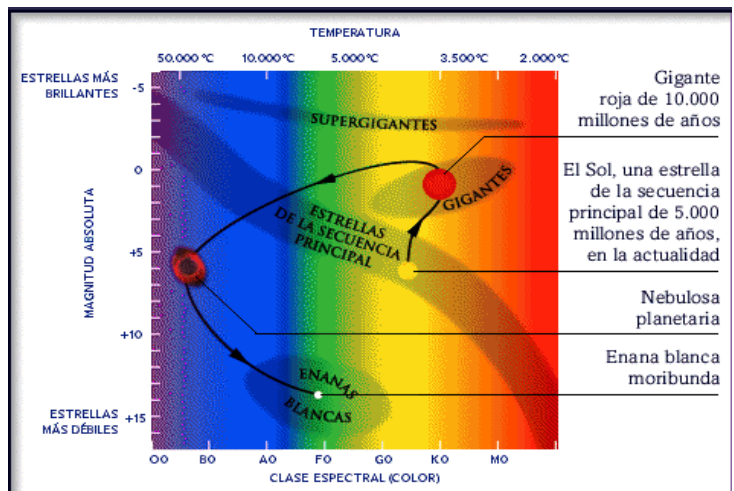
2d.1) Diagrama Hertzsprung-Russell

Representando ambas características en un diagrama (el llamado diagrama H-R), vemos que la mayor parte de las estrellas se sitúan en una franja denominada Secuencia Principal, (que ya explicaremos).

El diagrama Hertzsprung-Russell, conocido abreviadamente como diagrama HR, recibe su nombre del danés Ejnar Hertzsprung y del norteamericano Henry Norris Russell, que lo descubrieron independientemente entre 1905 y 1913.

En este diagrama se representan las estrellas en un gráfico de temperatura superficial frente a luminosidad (la luminosidad crece hacia arriba y la temperatura crece de derecha a izquierda). La asociación de datos en este diagrama produciría resultados sorprendentes para comprender las estrellas.

El diagrama HR es una herramienta básica en astrofísica, porque una vez situadas en él cierto número de estrellas, se descubren ciertas características interesantes. Las estrellas más frías, que emiten luz roja, se sitúan a la derecha y hacia abajo en el diagrama. Las estrellas más calientes, que emiten luz blanca o azul, a la izquierda y arriba. Al representar una cantidad suficiente de estrellas se observa una banda en forma de diagonal que sube de abajo a la derecha hacia arriba a la izquierda. Esa banda se conoce como secuencia principal, y está compuesta por estrellas que siguen su ciclo vital de fusión de hidrógeno en helio, como veremos más adelante.



Estrellas muy grandes como las **gigantes** y **supergigantes rojas** se sitúan arriba y a la derecha en el diagrama HR, fuera de la secuencia principal. Las estrellas **enanas blancas**, que han agotado su combustible nuclear y son en realidad cadáveres estelares, se sitúan abajo a la izquierda.

Estrellas muy grandes como las **gigantes** y **supergigantes rojas** se sitúan arriba y a la derecha en el diagrama HR, fuera de la secuencia principal. Las estrellas **enanas blancas**, que han agotado su combustible nuclear y son en realidad cadáveres estelares, se sitúan abajo a la izquierda.

Dado que la temperatura de una estrella puede determinarse a partir de su color, y conociendo la distancia a la que se halla, puede determinarse su luminosidad a partir de su

magnitud visual, el diagrama HR nos permite por tanto predecir las características de una estrella con dos parámetros observables como son la distancia y la magnitud absoluta.

El uso del Diagrama HR depende sólo del uso de la lógica sencilla de hacer las preguntas correctas. Si una estrella es de color rojo podemos estar seguros que su superficie es relativamente fría, como nos lo dice la ley de Wien, pero si emite una gran cantidad de luz esto “parecería” ir en contra de la ley de Stefan. ¿Cómo es esto posible?

Sencillamente es una **cuestión de tamaño**, emite poca luz por km^2 , pero es tan grande que la suma de sus millones de km^2 la transforma en un impresionante foco cósmico. **Gigantes** y **Supergigantes Rojas**, estrellas con hasta el tamaño de la mitad del sistema solar.

De la misma forma estrellas muy calientes que emiten muy poca luminosidad no contradicen lo que hemos visto, simplemente son muy pequeñas, estrellas del tamaño de la Tierra. **Enanas Blancas**.

En los próximos módulos aprenderemos como suceden estos cambios.