La medida de la luz, conceptos básicos

Un astro emite una luminosidad, <<L>>, o energía radiada por segundo en cualquier dirección, así por ejemplo, el Sol emite $Lo = 4 \cdot 10^{33} erg \cdot \sec^{-1}$. El conocimiento de la luminosidad de un astro es importante porque nos informa sobre los procesos físicos que se desarrollan en su seno.

Por cada centímetro cuadrado de la superficie del astro, sale al espacio un flujo, <<q>>, o energía radiante por segundo y centímetro cuadrado. Si el astro emite la energía de modo uniforme por toda su superficie esférica, será

$$L = 4\pi R^2 \cdot q$$

Siendo R el radio del astro. Si la luz no fuera extinguida en su camino, toda la que saliera del astro llegaría a la superficie de la esfera de radio r de modo que

$$4\pi R^2 q = 4\pi r^2 f$$

Siendo f el flujo recibido en la superficie situada a la distancia r del astro. Por lo tanto

$$f = q\frac{R^2}{r^2}$$

Vemos que flujo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia; la luz de los objetos más lejanos nos llega más debilitada, como es conocido y esperable.

Cuando en lugar de un astro puntual observamos uno extenso como puede ser un cometa cercano, podemos distinguir y especificar la luz procedente de diferentes zonas observables de la fuente. Se define entonces la intensidad, I, o energía radiante emitida por segundo, por una región de una fuente que se observa desde aquí bajo un ángulo sólido de 1 segundo de arco al cuadrado.

Se comprende que si sumamos la luz de todas las zonas observables de la fuente obtendremos el flujo total, f, emitido por toda la fuente y llegado aquí, por lo que

$$f = \int_S I ds$$

Vimos como el flujo, f, de un astro, recibido en la Tierra, dependía mucho de la distancia de tal astro, concretamente según el inverso del cuadrado de la distancia. En cambio la intensidad, I, tiene el grán interés de que no depende de la distancia. En efecto, el área real en la fuente que corresponde a un ángulo sólido de un segundo al cuadrado, será mayor cuanto mayor sea r, concretamente aumentará con el cuadrado de r. Por otra parte la luz se pierde con el cuadrado de r. Ambos efectos se compensan y finalmente resultará que la intensidad es independiente de la distancia. Cuando observamos la fuente con gran detalle (alta resolución espacial) podemos obtener la intensidad, I, con mayor precisión y en mayor número de puntos de la imagen de la fuente, pero su valor no debe ser diferente, salvo los errores obtenidos cuando observamos con baja resolución espacial.

Fotometría

Hiparco (190 ac – 120 ac) clasificó las estrellas en 6 categorías, siendo las más brillantes de la primera y las apenas perceptibles a simple vista de la sexta. Para acomodarse a las apreciaciones de Hiparco, se define la magnitud, m, de una estrella, mediante la fórmula

$$m = -2.5 \log \frac{f}{fo}$$

Donde f es el flujo recibido en la tierra y fo es una constante. Hay que resaltar de esta fórmula el logaritmo (pues más o menos logarítmica era la respuesta del ojo de Hiparco, como la de cualquier humano), el signo menos (con lo cual las estrellas más brillantes tienen menor magnitud, como ocurría en las categorías de Hiparco) y la constante fo (que ajusta y hace corresponder la escala de magnitudes a la de Hiparco). La magnitud está estrechamente relacionada con el flujo.

Si una estrella tiene una magnitud muy alta, es decir, se la observa débil, se debe o bien a que está lejos, o bien a que es intrínsecamente débil. Para comparar la luz de las estrellas, eludiendo el efecto de la distancia, se define la magnitud absoluta, M, como la magnitud, m, que tendría la estrella si fuera desplazada hasta situarla a una distancia convencional de 10 pc, la unidad parsec, abreviadamente pc, o segundo de paralaje, se define como la distancia a la que una unidad astronómica subtiende un arco de 1 segundo de paralaje y viene a ser 3.26 años luz.

La magnitud absoluta está íntimamente relacionada con la luminosidad y resulta sencillo probar aprovechando que se conocen bién la magnitud absoluta del sol y su luminosidad Mo y Lo que :

$$Mo = 4.72 - 2.5 \log \frac{L}{Lo}$$

Cuando la fuente es extensa empleamos la magnitud del flujo por segundo de arco al cuadrado, μ, que es la magnitud que corresponde a un flujo numéricamente igual a la intensidad. Se define como,

$$\mu = -2.5 \log \frac{I}{fo}$$

En la práctica el campo de observación no será precisamente de 1 segundo de arco al cuadrado, dependiendo de las características del telescopio, sino de un ángulo sólido A. Si detectamos m al emplear A, es facil probar que

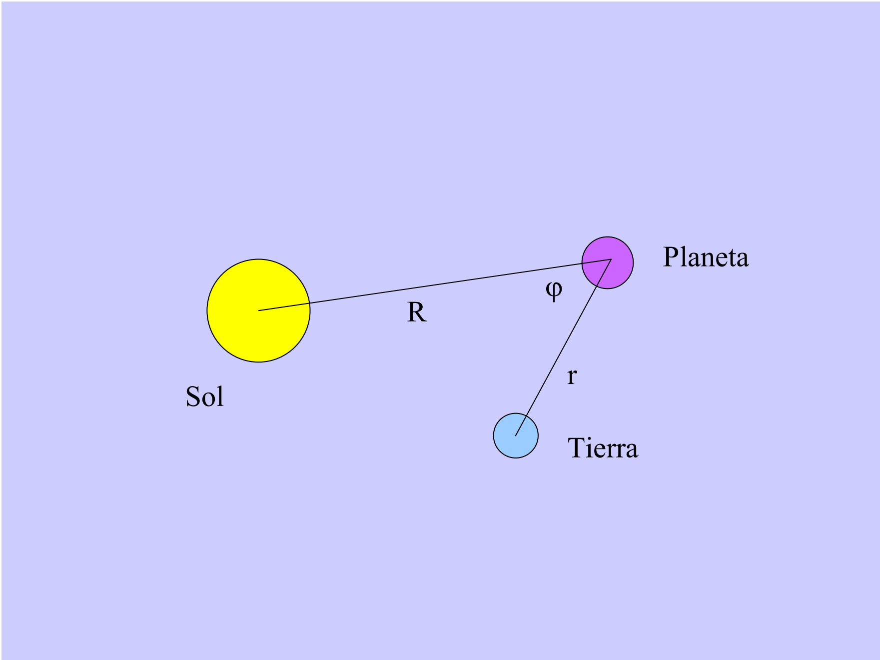
$$m = -2.5 \log \frac{A.I}{fo}$$

$$m = -2.5\log\frac{I}{f_0} - 2.5\log A$$

$$\mu = m + 2.5\log A \qquad (2)$$

Siempre que en cualquier punto de A podamos admitir magnitud constante.

Fotometría de planetas



En el caso de los planetas, la magnitud observada depende de varios factores

1 – De la distancia del planeta al Sol
2 – La distancia a la Tierra r
3 – Del ángulo de fase φ

Si Io es la intensidad luminosa que refleja el planeta en la dirección del Sol, su intensidad en otra dirección, que hace un ángulo φ con la del Sol (ángulo de fase) es función únicamente de Io y φ, es decir,

$$I = Io \cdot f(\varphi)$$

Donde $f(\varphi)$ es 1 cuando φ es 0. El flujo emitido por el planeta, que llega a la Tierra se puede poner como,

$$F = \frac{I}{r^2 \cdot R^2}$$

Si ponemos la magnitud en función del flujo de acuerdo con (1) tendremos,

$$m = -2.5 \log \frac{F}{fo}\ ; \qquad m = -2.5 \log \frac{I}{fo \cdot r^2 \cdot R^2}\ ; \qquad m = C - 2.5 \log \frac{Io \cdot f(\varphi)}{fo \cdot r^2 \cdot R^2}$$

Es decir que ,

$$m = m_0 + 5 \cdot \log(r \cdot R) - 2.5 \log f(\varphi)$$

Donde m_0 es la magnitud que tendría el planeta situado a una distancia de 1 u.a. del Sol y de la tierra formando un ángulo de fase de cero.

Fotometría de asteroides y cometas, el sistema HG

La unión astronómica internacional IAU adoptó para la predicción de la magnitud de asteroides y cometas el sistema HG (Bowell et al. 1989) que consiste en lo siguiente, H se corresponde con m_0 y G es un factor de abrillantamiento por distancia al Sol (R), el factor de fase se considera 0 de modo que queda,

$$m = H + 5 \cdot \log r + G \cdot \log R$$

En el caso de los asteroides se suele tomar G=5, para el caso de los cometas depende, se suele tomar 5 para el incremento de brillo por efecto de la distancia como en el caso de los asteroides y otros 5 por aumento del brillo por la fluorescencia debida a la aproximación al Sol, pero se debe ajustar en cada caso.

Glosario:

Unidad Astronómica (u.a.)= distancia media de la Tierra al Sol.
Erg = Ergio, unidad básica de energía en el sistema cgs

Bibliografía :

Introducción a la Astrofísica
Eduardo Battaner, 1999

Astronomie espherique
Danjon

Autor : Juan Lacruz