LA MAGNITUD ESTELAR

1.La sensación de la magnitud estelar
Los objetos astronómicos, ya sean astros con luz propia, o bien astros que reflejan la luz que reciben de otros astros, emiten luminosidad o brillo que recibimos al observarlos provocando en nosotros la sensación de "mayor o menor magnitud".

El mayor o menor brillo se puede deber a diferentes factores, como el tamaño del objeto, la distancia a la que se encuentra de nosotros, la potencia de los procesos de combustión o desintegración nuclear si es un astro con luz propia, la estructura o composición del objeto si se trata de un astro que refleja la luz, etc.

La observación visual de las estrellas nos produce una sensación, la *magnitud,* o *magnitud visual*, o también*, magnitud aparente*, que es originada por una causa que llamaremos *brillo,* o también*, luminosidad*.

La definición de la magnitud estelar debe precisarse mediante la fijación de una escala de magnitudes y, fundamentalmente, del cero de dicha escala.

Desde Hiparco se admite que las estrellas más brillantes se indiquen con el número uno, y las que están ya en el límite de la visibilidad, a simple vista, con el número 6.

Por otra parte, y según la conocida ley de Fechner, las sensaciones siguen los términos de una progresión aritmética cuando las causas que provocan dichas sensaciones siguen los términos de una progresión geométrica.

Así, para cambios de la *sensación de magnitud* en progresión aritmética:

$$\text{Magnitud } m = 1, 2, 3, 4, ...$$

los cambios correspondientes de la causa, *el brillo*, siguen una progresión geométrica:

$$\text{Brillo } e = e_1,\ k.e_1,\ k^2.e_1,\ k^4.e_1\ k^5.e_1$$

Los brillos estelares han de seguir, pues, una progresión geométrica, y puesto que en una progresión geométrica cualquiera el término n-simo se obtiene por

$$e_n = k^{n-1}.e_1$$

el cociente de dos términos, de órdenes m y n, resulta ser la razón de la progresión elevada a su diferencia, podemos establecer para el brillo estelar una expresión parecida:

$$\frac{e_m}{e_n} = k^{m-n}$$

Esto es, las veces que la estrella de luminosidad e_m es mas brillante o más luminosa que la estrella de luminosidad e_n, resulta ser igual a k elevado a la diferencia de las magnitudes.

2. Estimación visual de la magnitud aparente por comparación

La magnitud aparente o visual de una estrella es la que presenta a la observación desde la Tierra a la distancia real.

Existe un método empírico para medir la sensación de magnitud estelar aparente o visual, que se conoce en astronomía como Método de Argelander.

Este método se aplica por comparación del brillo que presenta la estrella cuya magnitud queremos medir con el brillo de otras dos estrellas de magnitud conocida, Una que brilla más y la otra que brilla menos que la estrella cuya magnitud queremos medir. La cmparación del brillo se hace mediante una escala de grados que se muestra a continuación.

Primer paso: Establecer intuitivamente el grado de diferencia.
Sean dos estrellas, A y B, de magnitudes conocidas m_a y m_b, y supongamos que queremos medir la magnitud de una estrella V que aparenta tener menos brillo que A y más brillo que B.

ESCALA DE GRADOS

Grado 1
Diremos que A es más brillante que V (nuestra estrella de estudio) en 1 grado (A(1)V) cuando ambas estrellas parecen de igual brillo al primer golpe de vista, pero, después de un atento examen, parece, salvo raros instantes, que A es ligeramente más brillante que V

Grado 2
Diremos que A es más brillante que V en 2 grados (A(2)V), cuando ambas estrellas parecen de igual luminosidad aparente a la primera ojeada, pero, rápidamente y sin vacilar, observamos que A es más brillante que V.

Grado 3
Podremos decir que A es más brillante que V en tres grados (A(3)V), cuando desde el primer momento se percibe una ligera diferencia de brillo entre A y V.

Grado 4
A es más brillante que V en 4 grados (A(4)V), cuando hay una notable diferencia de brillo entre A y V

Grado 5
Se escribe (A(5)V), cuando se observa una verdadera desproporción entre ambas estrellas.

En caso de dudas en algunos de los grados anteriores, puede adjudicarse "un grado intermedio".

Segundo paso: Obtener la magnitud visual o aparente de la estrella V por aplicación de la fórmula de Argelander:

Sea a el número de grados de diferencia entre el brillo de A y el brillo de V (A brilla más que V). Y sea b el número de grados de diferencia entre el brillo de V y el brillo de B (V brilla mas que B).

. Para obtener la expresión de la magnitud visual de nuestra estrella, bastará usar la expresión:

$$m_v = m_a + \frac{a}{a+b}(m_b - m_a)$$

NOTAS:

. Lógicamente, para poder aplicar este método, es preciso que en el campo del ocular existan estrellas de más y de menos magnitud que la nuestra de estudio.

. Como norma, suele recomendarse que 0,5 magnitud < mb - ma < 1,0 magnitud.

3. Una escala de medición. La constante de proporcionalidad

Establecer la razón de la progresión del brillo estelar es establecer una escala de medición de la magnitud. El convenio para diseñar la escala es que la razón sea k = 2,512.

Si e_m y e_n son los brillos de dos estrellas de magnitudes *m* y *n*, la razón *k* de la progresión geométrica de los brillos vendrá definida por la relación:

$$\frac{e_m}{e_n} = k^{m-n}$$

(fórmula de Pogson)

La fórmula de Pogson nos dice que el cociente de dividir el brillo de una estrella de magnitud m por el brillo de otra estrella de magnitud n (esto es, el número de veces que la estrella de magnitud m <u>brilla más</u> que la estrella de magnitud n) se obtiene elevando a la diferencia de las magnitudes la constante de proporcionalidad k = 2,512.
tomando logaritmos decimales:

$$\log e_m - \log e_n = (m-n).\log k$$

y se tiene:

$$m - n = \frac{1}{\log k}(\log e_m - \log e_n)$$

y, si consideramos que el brillo es proporcional al cuadrado de la distancia a la que se encuentra la estrella:

$$m_1 - m_2 = \frac{1}{\log k}(\log d_1^2 - \log d_2^2) = \frac{2}{\log k}(\log d_1 - \log d_2)$$

4. El cero de la escala de medición. La magnitud absoluta

La diferencia de magnitudes depende de la diferencia de los logaritmos de las distancias. Para una misma estrella, la diferencia de magnitudes aparentes depende de la diferencia de los logaritmos de las distancias.

Si es M la magnitud correspondiente a una distancia de 10 parsecs, y m la magnitud aparente correspondiente a la distancia real a la que se encuentra la estrella, se tiene:

$$M - m = \frac{2}{\log k}(\log 10 - \log d) \Rightarrow M = m + \frac{2}{\log k}(1 - \log d) = m + \frac{2}{\log k} - \frac{2}{\log k}\log d$$

La magnitud visual mostrada por una estrella si se encontrara a una distancia de 10 parsecs, se denomina magnitud absoluta de la estrella. Está dada, por tanto, por la siguiente expresión:

$$M = m + \frac{2}{\log k} - \frac{2}{\log k}.\log d$$

Tomando para k el valor convenido, k = 2,512, de donde 1/log k = 2,5. Por tanto, es la fórmula de la magnitud absoluta la siguiente:

$$M = m + 5 - 5.\log d$$

Sobre esta relación se basan muchas teorías de la astronomía contemporánea. De ahí su gran importancia.

En definitiva, las estrellas y demás astros se encuentran clasificados por órden creciente de su brillo aparente, según una escala escogida arbitrariamente.

Quedan, pues, clasificadas por razones históricas según los términos de una progresión geométrica de razón k = 2,512. De esta forma queda definida una escala de magnitudes cuyo cero se ha elegido de modo que se respeten por término medio, las magnitudes de un gran número de estrellas cuya observación data del siglo XIX. Esta escala conduce a asignar magnitudes ligeramente negativas a las estrellas más brillantes conocidas.

Hemos de distinguir, según el procedimiento empleado para medir la magnitud de una estrella, los valores visuales, m_v, fotográficos, m_f , fotovisuales, m_{fv}, radiométricos, m_r, fotoeléctricos, m_{fe}, etc..

A cada una de estas formas de medir la magnitud corresponde una mayor o menor sensibilidad para tales o cuales radiaciones procedentes de la estrella, y los números diferentes obtenidos para estos valores caracterizan tal o cual tipo de estrella.

En particular, el índice de color, $i = m_f - m_v$, diferencia entre la magnitud fotográfica y la magnitud visual, siempre medible, suple frecuentemente el tipo espectral de las estrellas muy débiles.

También es importante el índice de calor, $i' = m_v - m_r$, también medible siempre, diferencia entre la magnitud visual y la magnitud radiométrica.

5.Cálculo práctico de la magnitud absoluta

Conocida la distancia real, d, de una estrella, medida en parsecs, y estimada la magnitud visual, m, mediante el método de Argelander, es inmediato calcular su magnitud absoluta y comparar su luminosidad con la luminosidad del Sol.

El Sol, que se encuentra a una distancia real de d = 8 minutos y 20 segundos - luz, que en parsecs corresponde a $0,4863.10^{-6}$ parsecs , brilla con una magnitud visual aparente de m = -26,7, esto quiere decir que si se trasladara a una distancia de 10 parsecs de nosotros, su magnitud absoluta puede calcularse de inmediato.

5.1. Magnitud absoluta del Sol:

Magnitud aparente: -26'7

Distancia de la Tierra: 8 min 20 seg luz = $0'4863.10^{-6}$ parsecs

$M_{ab} = M_{ap} + 5 - 5*\log(d) = -26'7 + 5 - 5.\log(0'4863.10^{-6}) = -26'7 + 5 - 5.(-5.3130) = -21'7 + 26'5652 = 4'86$

Es decir, si el Sol se encontrara a una distancia de 10 parsecs (32'6 años luz), se observaría desde la Tierra como una estrella de magnitud 4'86.

5.2. Comparación del brillo absoluto de una estrella con el brillo absoluto del Sol:

Si es $M_{ab}(Sol)$, y es $M_{ab}(estrella)$, utilizando la fórmula de Pogson podemos establecer las veces con las que tal estrella es más brillante que el Sol:

$$\frac{Brillo\ (estrella)}{Brillo\ (Sol)} = 2,512^{M_{ab}(Sol)-M_{ab}(estrella)} = 2,512^{4,86-M_{ab}(estrella)}$$

Veamos algunos ejemplos de cálculo de magnitud absoluta y de comparación de brillo con el Sol:

5.1.1. Magnitud absoluta de la estrella Arcturus (α-Bootes):

Magnitud aparente: 0

Distancia de la Tierra: 35 años luz = 10'7361 parsecs

$M_{ab} = M_{ap} + 5 - 5*\log(d) = 0 + 5 - 5.\log(10'7361) = 0 + 5 - 5.(1'0308) = 5 - 5'1542 = -0'1542$

Es decir, si Arcturus se encontrara a una distancia de 10 parsecs (32'6 años luz), se observaría desde la Tierra como una estrella de magnitud - 0'15. Es decir, se vería aún más brillante, pues la distancia real es poco más de 10 parsecs (10'73 parsecs).

Si comparamos Arcturus con el Sol, encontramos la siguiente relación de brillo:

$$\frac{Lu\min osidad_{Arcturus}}{Lu\min osidad_{sol}} = (2'512)^{m_{ab}(sol)-m_{ab}(estrella)} = 2'512^{4'86-(-0'15)} = 2'512^{5'01} = \\ = 100'948$$

O sea, Arcturus es una estrella unas 100 veces mas brillante que el Sol.

5.1.2. Magnitud absoluta de la estrella Aldebaran (α-Tauro):

Magnitud aparente: 1.1

Distancia de la Tierra: 68 años luz = 20'8588 parsecs

M_{ab} = M_{ap} + 5 - 5*log(d) = 1'1 + 5 - 5.log(20'8588) = 1'1 + 5 - 5.(1'31929) = 6'1 - 6'5964 = - 0'49

Es decir, si Aldebaran se encontrara a una distancia de 10 parsecs (32'6 años luz), se observaría desde la Tierra como una estrella de magnitud - 0'49. Es decir, se vería aún más brillante, pues la distancia real es más de 10 parsecs (poco más del doble).

Si comparamos Aldebaran con el Sol, encontramos la siguiente relación de brillo:

$$\frac{Lu\min osidad_{Aldebaran}}{Lu\min osidad_{sol}} = (2'512)^{m_{ab}(sol)-m_{ab}(estrella)} = 2'512^{4'86-(-0'49)} = 2'512^{5'35} = \\ = 138'071$$

O sea, Aldebaran es una estrella unas 138 veces mas brillante que el Sol.

6. Uso de la magnitud absoluta para calcular la distancia de un astro

Si es posible establecer para una estrella la magnitud absoluta M mediante comparación espectral con estrellas de magnitud absoluta conocida, y, además, podemos estimar su magnitud aparente m mediante el método de Argelander, entonces tendremos un método para estimar la distancia real de la estrella:

$$M = m + 5 - 5.\log d \Rightarrow \log d = \frac{m+5-M}{5} \Rightarrow d = 10^{\frac{m+5-M}{5}}$$

7. La magnitud del Sol visto desde otro planeta

El Sol, visto desde nuestro planeta, a una distancia de una unidad astronómica, tiene una magnitud visual o aparente de -26.7. ¿Cuál será la magnitud del Sol visto desde otro planeta que dista del mismo d' unidades astronómicas?.

Puesto que la magnitud absoluta viene dada por la expresión:

$$M = m + 5 - 5.\log d$$

siendo d la distancia al planeta y m la magnitud visual.

Para el planeta Tierra: $M = -26.7 + 5 - 5.\log d$

Para el planeta X: $M = m' + 5 - 5.\log d'$

Igualando ambas expresiones:

$$-26.7 - 5.\log d = m' - 5.\log d'$$

despejando m':

$$m' = -26.7 + 5.\log (d'/d)$$

que es la fórmula que nos da la magnitud visual del Sol visto desde el planeta X, a d' unidades astronómicas de distancia del Sol.

Por ejemplo, la magnitud con la que se verá el Sol desde el planeta Saturno, a 9.54 unidades astronómicas, será:

$m' = -26{,}7+5.\log 9{,}54/1 = -26{,}7+5.\log 9{,}54 = -26.7 + 5.0{,}9795 = -26.7 +4{,}8977 = -21.8$

Es decir, desde Saturno, el sol presenta una magnitud visual de -21.8. Naturalmente, brilla menos que visto desde la tierra.