Observatorio
Astronómico
Nacional

Universidad
Nacional
de Colombia

Magnitud, Flujo y Luminosidad

Mario A. Higuera G.
profesor Asociado
mahiguerag@unal.edu.co

Magnitud Aparente

Hipparco de Nicea
190 a.C. -120 a.C.

RECOPILO EN UN CATÁLOGO ALREDEDOR DE 1000 ESTRELLAS APRECIABLES A SIMPLE VISTA, Y LAS AGRUPO EN SEIS CATEGORÍAS A LAS QUE DENOMINÓ MAGNITUDES.

- La magnitud aparente (m) es la medida que indica qué tan brillante parece un objeto en el firmamento.

- Su valor depende tanto de la luminosidad intrínseca como de que tan distante se encuentre.

El astrónomo británico Norman R. Pogson (1856) define la escala moderna de magnitudes con base en comparar los brillos de estrellas. Así, una estrella de primera magnitud es del orden de 100 veces más brillante que una de sexta

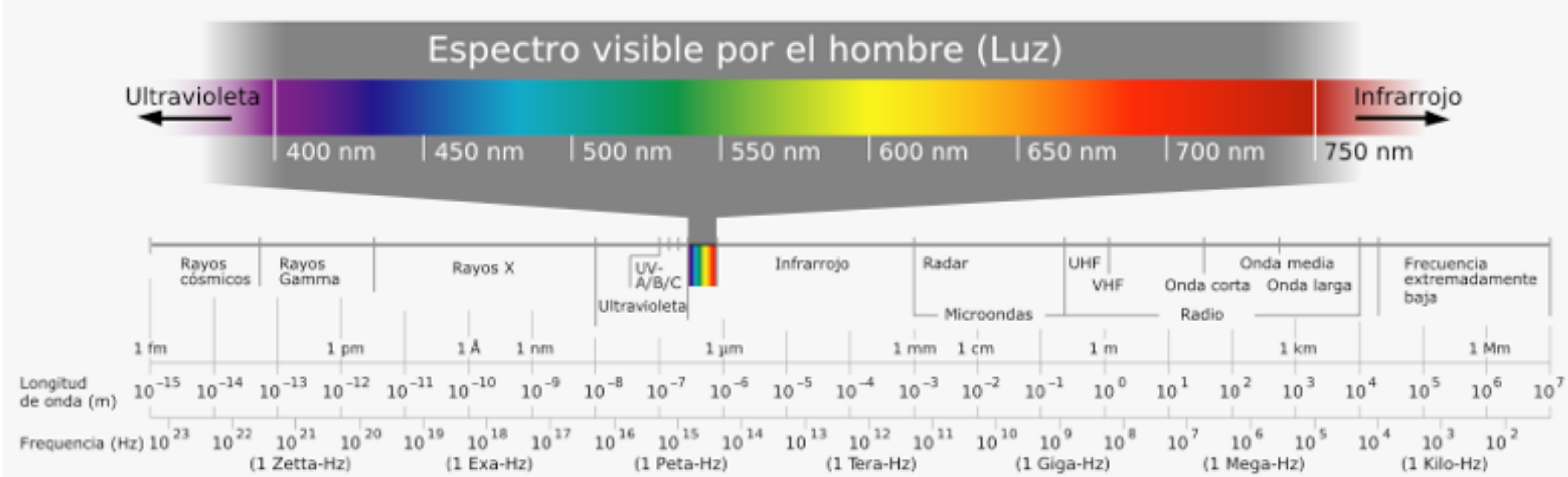
Magnitud

Magnitud: es la medida del brillo de un astro

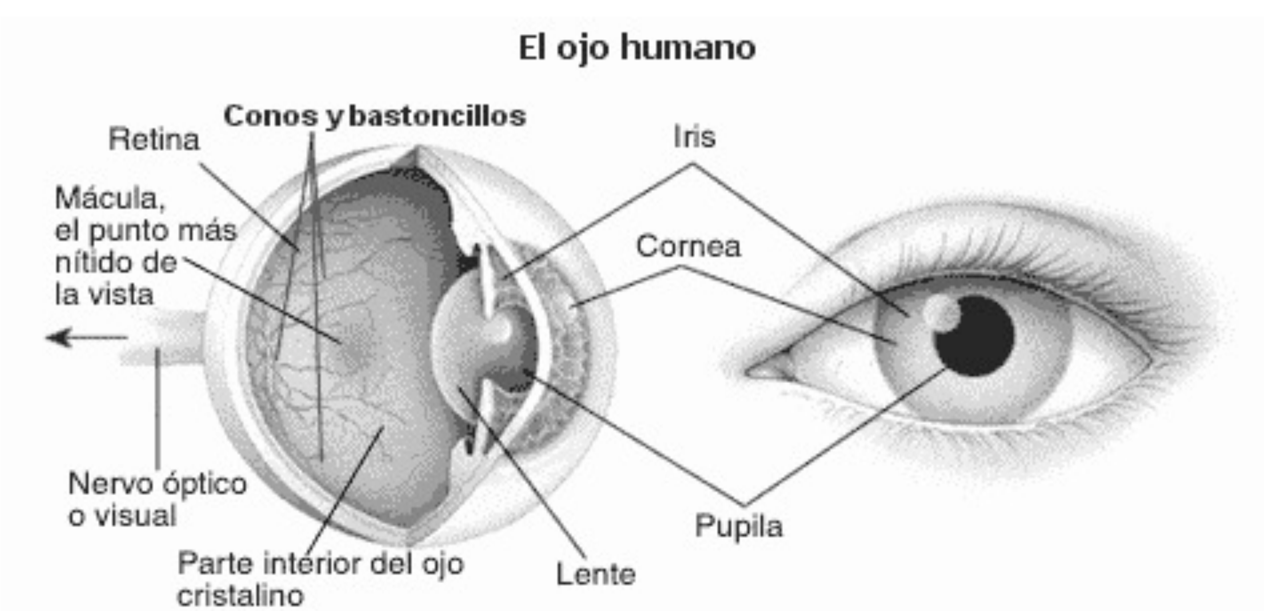
Una magnitud Z, se representa con el símbolo Zm. Así 1m, (Alfa) las estrellas más brillantes al ojo desnudo; 2m, (Beta) las siguientes estrellas más brillantes. ....; 6m, (Zeta) las más débiles al ojo.

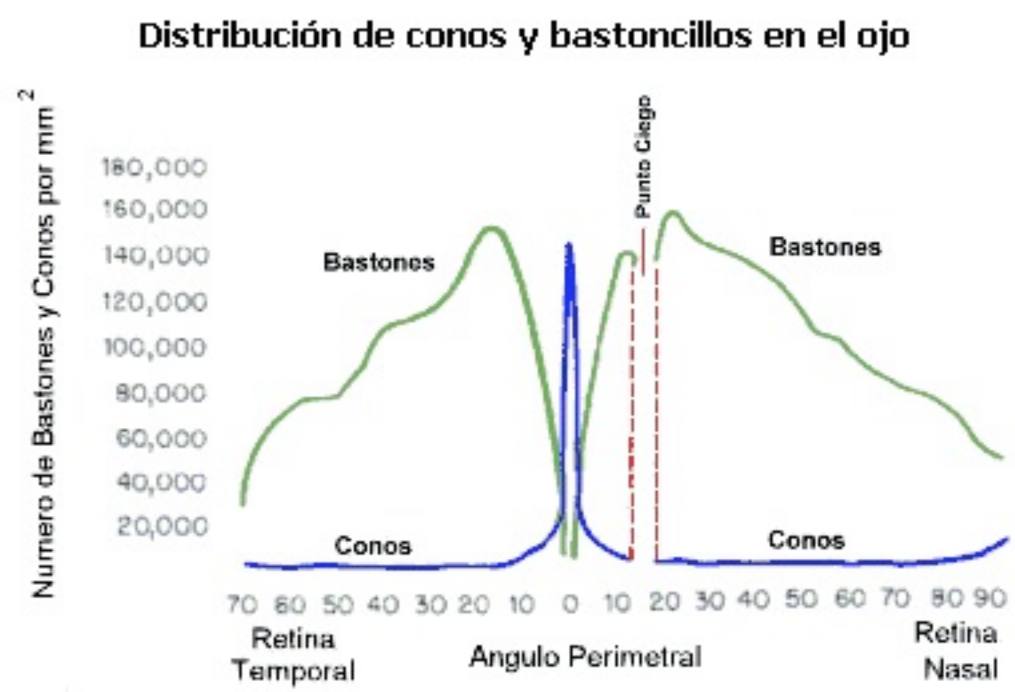
Astro / Objeto	**magnitud aparente**
Sol	-26.8
Luna Llena	-12.5
Venus en su máximo brillo	-4.4
Sirio (La estrella más brillante)	-1.4
Alfa Centauri (Estrella más cercana)	-0.3
Vega (Lyra)	0.04
Límite visual en total oscuridad	6.0
Límite con binoculares	9.0 - 10.0
Límite con un telescopio de 16 pulgadas	13.0 - 14.0
Plutón	15.0
Límite visual con los más grandes telescopios	19.5
Límite fotográfico con los más grandes telescopios	24.0
Límite con el Telescopio Espacial Hubble	28.0

✳ Las magnitudes que son numéricamente pequeñas ó negativas hacen referencia a objetos celestes más brillantes.



La magnitud aparente de un objeto depende del instrumento usado para medirla. El ojo humano tiene una mayor sensibilidad a la radiación en longitudes de onda de 550 nm y decrece hacia longitudes de onda mas largas (rojo) y longitudes más cortas (violeta). La magnitud correspondiente al ojo se denomina magnitud visual (mv).





Source: www.desarrolloweb.com

Si se tuviere el caso ideal en el que se midiera la radiación proveniente de un astro en todas las longitudes de onda, se obtendrá la magnitud bolométrica (mbol).

Un bolómetro consiste de un cuerpo absorbente de calor conectado a un sumidero de calor (un material mantenido a temperatura constante) a través de un material aislante, así cualquier radiación absorbida por el detector aumenta su temperatura por encima del sumidero de calor que actúa de referencia

William Herschel (1782-1871) advirtió que, por término medio, la intensidad luminosa de la primera magnitud es cien veces superior a la sexta,

$$\frac{\text{Estrella(m=1)}}{\text{Estrella(m=6)}} = 100$$

Ernst Heinrich Weber (1795 – 1878) psicólogo y anatomista alemán, propone que la relación entre el estímulo y la percepción corresponde a una escala logarítmica. Esta relación logarítmica nos hace comprender que si un estímulo crece como multiplicado por un factor constante, la percepción evolucionará como una cantidad añadida.

Ley de Weber-Fechner

cambio de magnitud del estímulo

$$dp = k\frac{dm}{m} \longrightarrow p = k\ln\frac{m}{m_0}$$

cambio percibido en el estímulo

magnitud del estímulo

nivel de estímulo por debajo del cual no se percibe sensación

El astrónomo británico Norman Robert Pogson (1856) define la escala moderna de magnitudes con base en comparar el brillo de un astro de una magnitud dada con respecto a una de siguiente valor según la escala de hiparco,

$$\frac{m}{m+1}$$

Pogson encuentra que la razón de brillo entre dos clases consecutivas deberá ser,

$$100^{1/5} = 2.512$$

Pogson, N. R. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1856. Vol. 17

Dr. Bruhns, in their papers on the subject, have been adopted. (*Astronomische Nachrichten*, Nos. 928 and 1047.) The other columns furnish the magnitudes of the planets for the first day of each month, calculated on the assumed ratio of the light of 2·512, *i. e.* that a star of any magnitude, as for instance the eighth, contains 2·512 times the light of the next less, or ninth magnitude. A comparison of the brightest predicted magnitude of any planet with the number in column M, will show whether such planet is favourably situated for observation in the year 1857 or not. Thus, for *Polyhymnia*, which comes in opposition about the middle of March, when a little past its aphelion passage, the brightest magnitude will be 12·7, or 1·5 magnitude fainter than if at mean distance; while for *Phocea*, which will be very favourably situated at its opposition in July, the sun being in apogee and *Phocea* in perihelion, the magnitude will be 1·5 brighter than at mean distance. It must, however, be remembered, that an error in the assumed value of M for any planet will cause a corresponding error in the ephemeris throughout the year, and at present these quantities are by no means satisfactorily determined, especially for the more recently discovered planets. But, perhaps, the greatest use of such an ephemeris will be on the occasion of the earliest observations after conjunction, when an approximate knowledge of the magnitude may save the annoyance of mistaking an adjacent star for the object sought, an accident of too common occurrence even to experienced observers. Six planets have been omitted for want of ephemerides: for one of these, *Daphne*, no elements have yet been computed. For the remaining five, the numbers M may be taken as follows:—*Leucothæa*, 12·5; *Leda*, 11·5; *Lætitia*, 8·8; *Harmonia*, 8·5; and *Isis*, 10·3. Their magnitudes at any time may then be found by the formula,—

$$m = \mathrm{M} - 5 \log (a \,.\, \overline{a - 1}) + 5 (\log r + \log \Delta).$$

The magnitude-ephemeris will also be a severe test of the truth of the adopted light ratio; for if that ratio be really the one employed by the majority of observers, the correction for any one planet will be the constant one due to the number in the column M; but if, on the contrary, the ratio should be false, the ephemeris will run wide of truth, especially as each planet approaches conjunction, but this I do not anticipate.

The considerations which led to the adoption of the light ratio here employed were as follows:—I had read with much interest the remarks made by the Rev. W. R. Dawes, in the *Monthly Notices*, vol. xi. pages 187–198, and intended to make use of his proposed ratio of 4, when the very different result of 2·43, obtained by Mr. Johnson from his heliometric equalisation experiments, as given in his appendix to vol. xii. of the *Radcliffe Observations*, on the 'Photometry of Stars,' threw uncertainty upon a matter I had regarded as settled. The subject being one of especial importance in the pursuits which had occupied most of my leisure hours, viz., chart-making and variable star-observing, I at once set to work with a little modification of the method of reduced apertures,

Diferencia en magnitud	Razón de Brillo (Luminosidad)
0.1	1.10
0.5	1.58
1.0	2.512
2.0	$2.512 \times 2.512 = 6.31$
2.5	10.0
3.0	$2.512 \times 2.512 \times 2.512 = 15.85$
4.0	$2.512 \times 2.512 \times 2.512 \times 2.512 = 39.82$
5.0	$2.512 \times 2.512 \times 2.512 \times 2.512 \times 2.512 = 100.0$
10.0	$100.0 \times 100.0 = 10000.0$
.	.
etc	etc

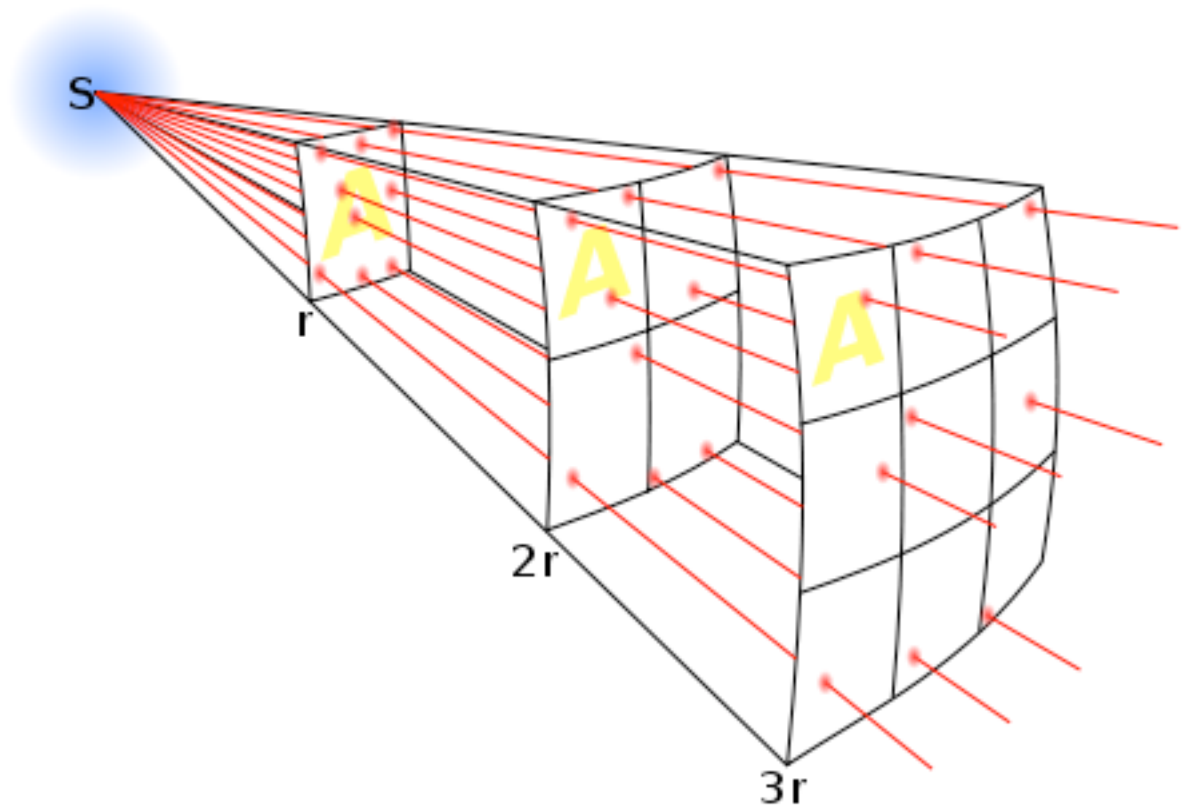
La razón de brillos cumple una relación dada por,

$$100^{\frac{\Delta m}{5}}$$

✳ La escala de magnitudes se establece en base a un cociente de brillos, entonces se sigue que los brillos siguen una progresión geométrica cuando las magnitudes siguen una progresión aritmética.

Una **progre** **geométrica** *geométrica* por una sec elementos e uno de ellos multiplicand una constan *razón* o *fact* progresión

En matemát **aritmética** e tales que la términos su la secuencia cantidad llar **progresión**



La **ley del inverso del cuadrado** establece que la densidad de lineas de flujo representadas, por ejemplo, en el sonido o la luz, que se propaga desde una fuente puntual en todas direcciones por igual, disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia a la fuente de emisión.

$$\frac{F(r)}{F(2r)} = \frac{1/r^2}{1/(2r)^2} = 4$$

Sea ahora el caso de dos fuentes de igual luminosidad pero que se ubican una de la otra a diferentes distancias,

Diferencia en magnitud aparente	**Razón de distancias**
0.1	1.05
0.5	1.26
1.0	1.58
2.0	2.51
2.5	3.16
3.0	3.98
4.0	6.31
5.0	10.0
10.0	100.0
etc	etc

La razón de distancias cumple una relación dada por,

$$[100^{\frac{\Delta m}{5}}]^{1/2}$$

✳ Mientras las magnitudes se adicionan (progresión aritmética), las distancias se multiplican por un factor que es la raíz cuadrada del factor de multiplicación dado por la razón de brillos (progresión geométrica).

Primera norma de las magnitudes: Las magnitudes que son numéricamente pequeñas ó negativas hacen referencia a objetos celestes más brillantes.

Segunda norma de las magnitudes: Al considerar brillos relativos de objetos, las magnitudes se adicionan mientras que los brillos o luminosidades se multiplican.

Tercera Norma de las Magnitudes: Las magnitudes se adicionan, las distancias se multiplican por un factor que es la raiz cuadrada del factor de multiplicación dado por la segunda norma.

- ***Ejercicio 11.*** Dos estrellas tienen magnitudes aparentes $m(a) = 12{,}5$ y $m(b) = 4{,}0$. ¿Determine cuantas veces es una estrella más brillante que la otra ?

- ***Ejercicio 12.*** Considérense dos estrellas a y b que emiten la misma cantidad de energía pero la estrella b esta 10 veces más distante que la estrella a; cuando se observa la estrella b ella tiene un brillo igual a $1/100$ veces el de la estrella a. ¿ Cual es la diferencia de magnitudes entre las dos estrellas ?

- ***Ejercicio 13.*** Considérense ahora otras dos estrellas a_0 y b_0; al medir sus magnitudes se encuentra que la diferencia de magnitudes entre a_0 y b_0 es 5. Sin embargo del análisis espectroscópico se encuentra que ambas estrellas son idénticas, por lo tanto emiten la misma cantidad de energía, luego la diferencia en magnitud se debe solamente a la distancia. ¿Quien y cuantas veces esta una estrella más distante de la otra ?

La densidad de flujo de una estrella depende del brillo intrínseco y de la distancia a la cual se realiza la observación. Por esta razón y debido a que las estrellas están situadas a diferentes distancias de la Tierra, las magnitudes aparentes no dan información específica sobre el brillo intrínseco de ellas.

Magnitud Absoluta

La magnitud absoluta se define como la magnitud aparente de una estrella, si es observada a una distancia de 10 parsecs.

$$100 = 2.512^5$$

$$\frac{F_a}{F_b} = 2.512^{-(m_a - m_b)}$$

$$m_a - m_b = -2.5 \log \frac{F_a}{F_b}$$

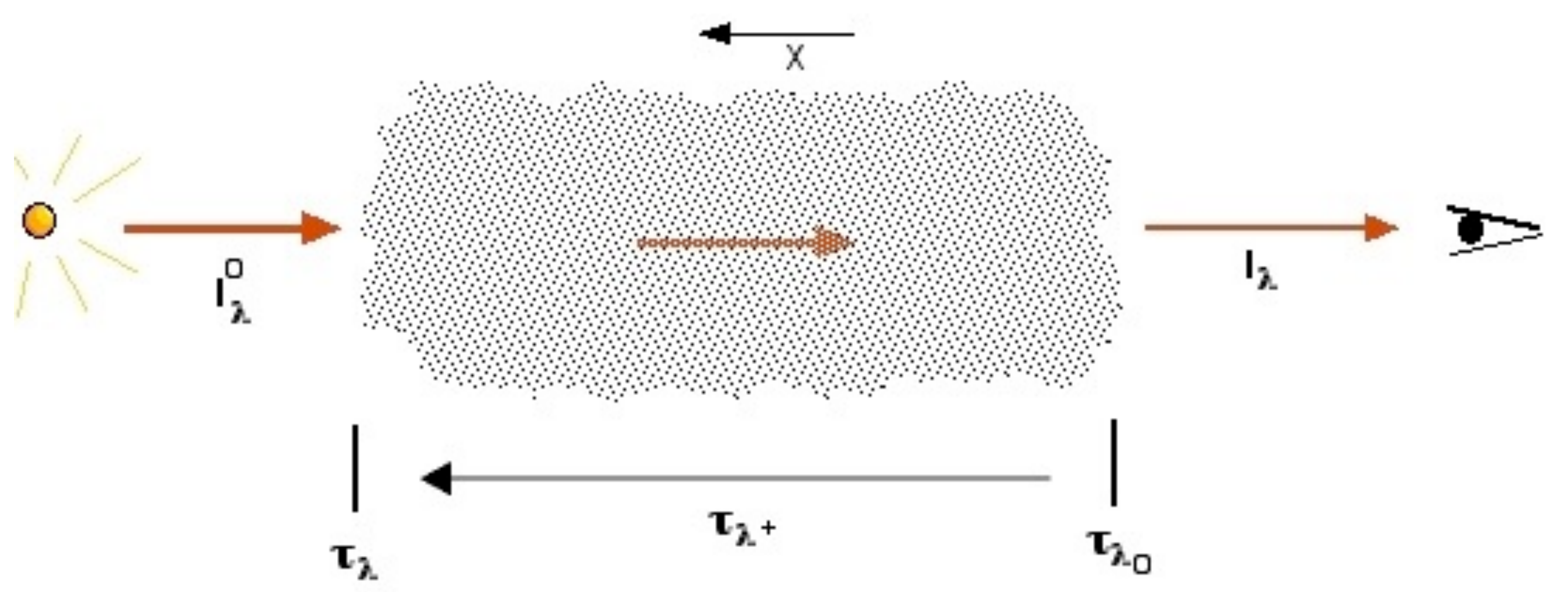
$F(r) \propto \frac{1}{r^2}$

$$m_a - m_b = -5 \log \frac{r_b}{r_a}$$

$r_a = 10\text{pc}$

$$m - M = 5 \log r - 5$$

Absorción Interestelar



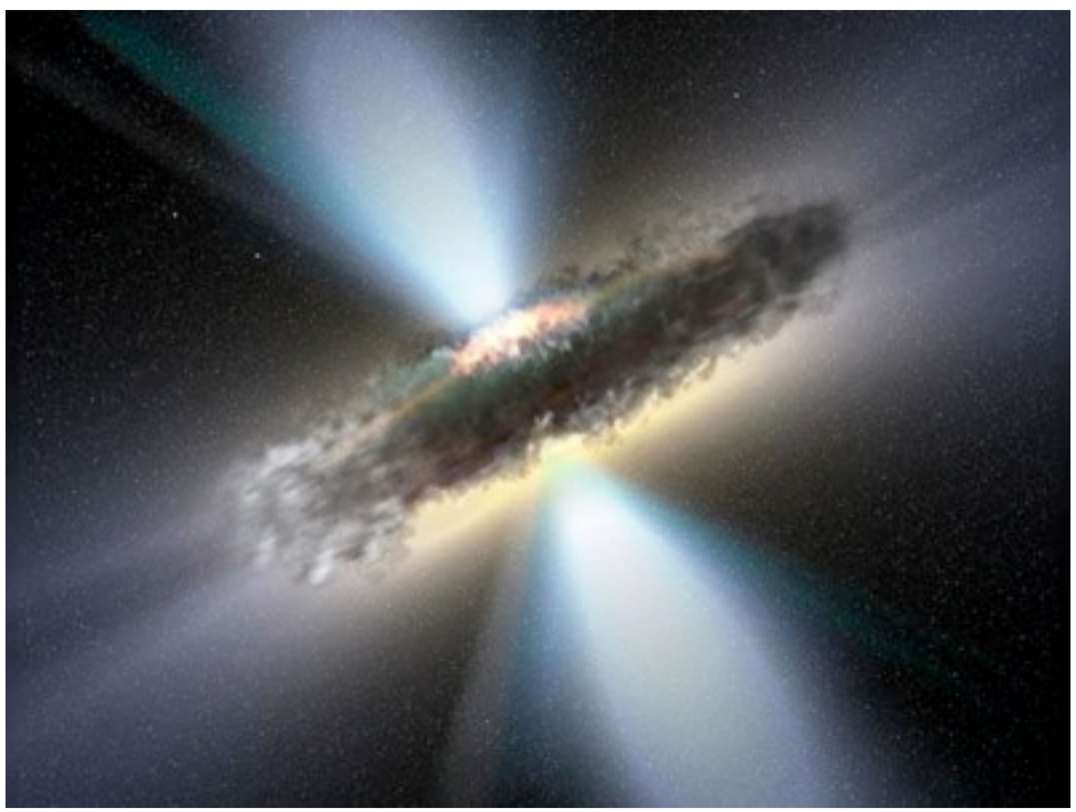
$$dI_\lambda = -I_\lambda \rho(x) k_\lambda dx = -I_\lambda d\tau_\lambda$$

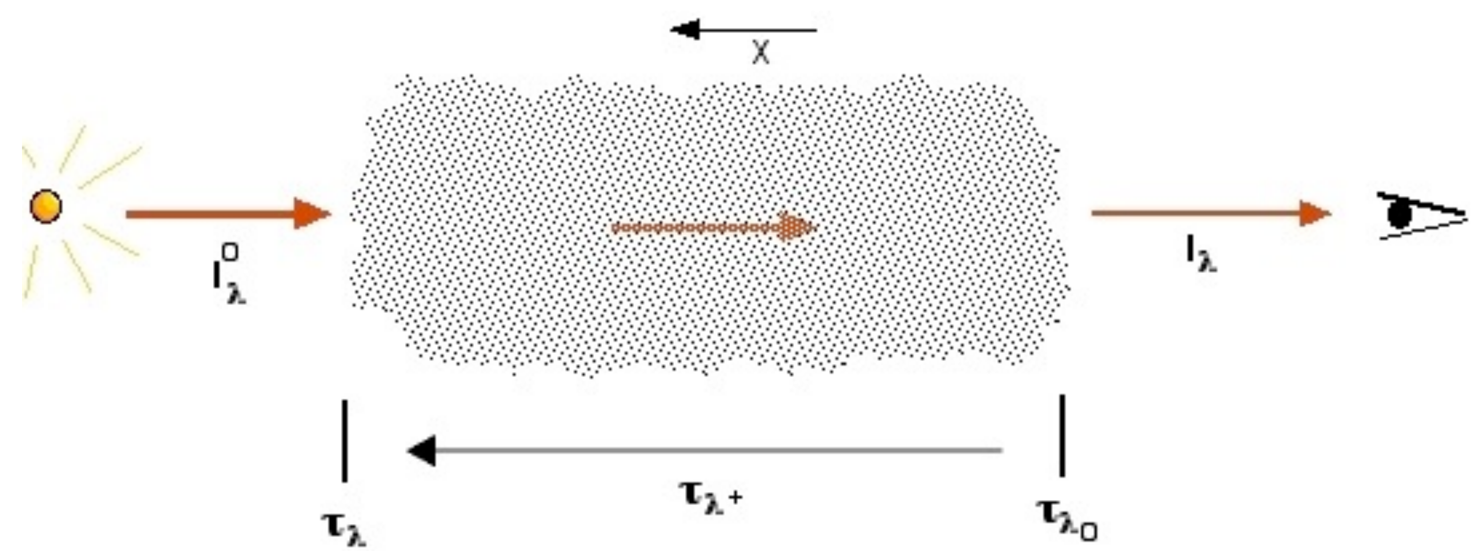
$$d\tau_\lambda = \rho(x) k_\lambda dx$$

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\tau_\lambda}$$

$$\tau_\lambda = k_\lambda \int_0^x \rho(x) dx = k_\lambda N(x)$$

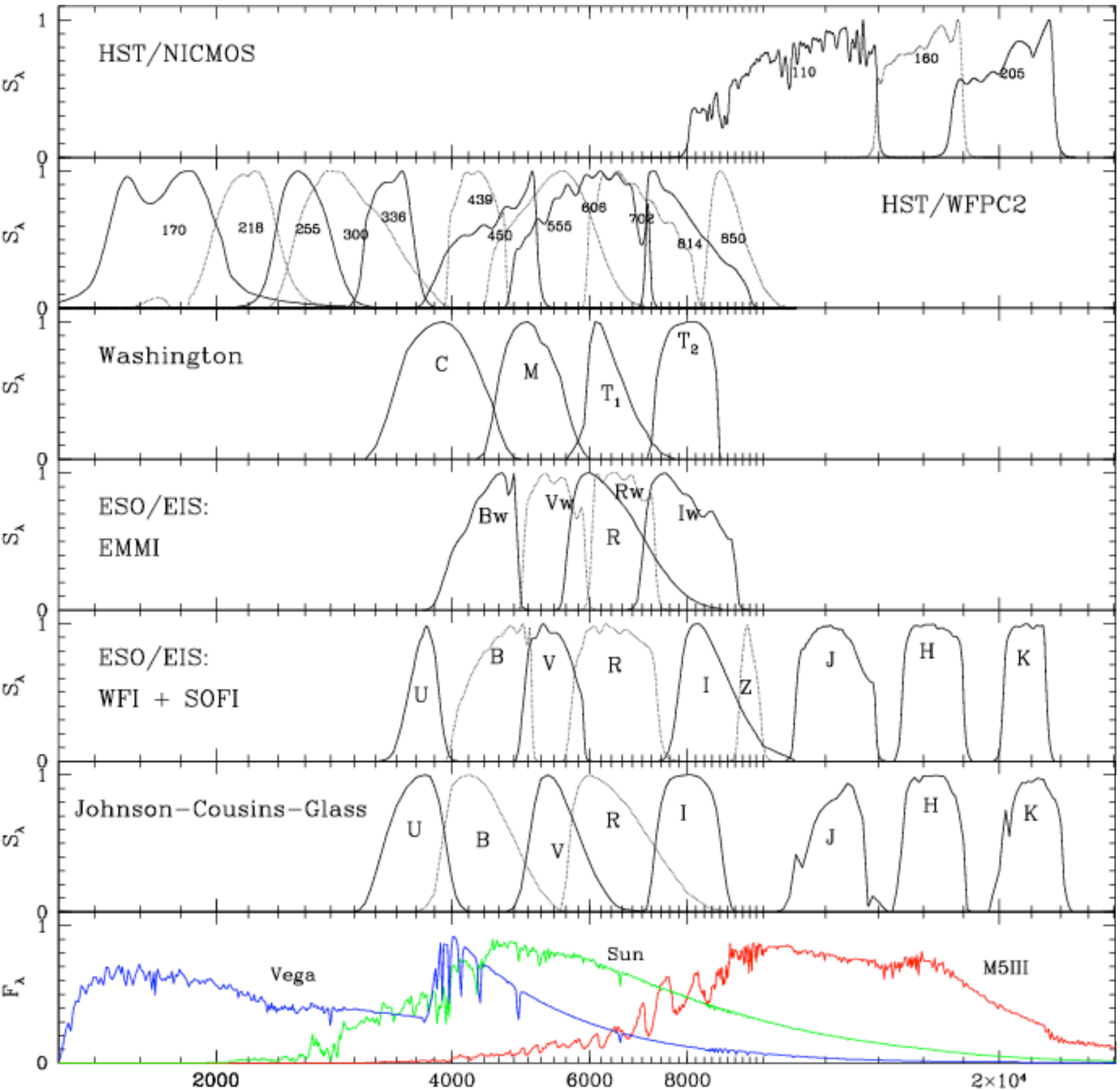
$$A_\lambda = -2{,}5 \log_{10} \frac{I_\lambda}{I_{o\lambda}} = -2{,}5(\log_{10} e)(-\tau_\lambda). = 1{,}086\tau_\lambda$$





$$m - M = 5 \log r - 5 + 1,086\tau, \quad (d\tau_\lambda = \rho(x) k_\lambda dx)$$

Indices de Color



$$U - B, \quad B - V$$

Estrella	d(pc)	V	B-V	M_V	Tipo
Sol	–	-26.74	0.65	4.83	G2 V
Rigel Centauro	1.33	-0.01	0.71	4.37	G2 V
	1.33	1.33	0.88	5.71	K1 V
Sirio	2.65	-1.46	0.00	1.42	A1 V
Procyon	3.4	0.38	0.42	2.71	F5 IV
Altair	5.0	0.77	0.22	2.30	A7 V
Fomalhaut	6.7	1.16	0.09	2.02	A3 V
Vega	7.5	0.03	0.00	0.65	A0 V
Arturo	10.3	-0.04	1.23	-0.10	K1 III
Pollux	10.6	1.14	1.00	1.00	K0 III

Extincion y enrojecimiento

$$\begin{aligned} B - B_0 &= 5\log r - 5 + A_B \\ V - V_0 &= 5\log r - 5 + A_V \end{aligned}$$

$$(B - V) - (B_0 - V_0) = A_B - A_V$$

$$E_{(B-V)} = (B - V) - (B - V)_0$$

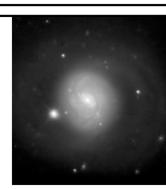
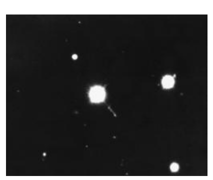
Objeto	U-V	B-V	V-R	V-I	V-J	V-H	V-K	V-L
 NGC 1068	0.98	0.85	0.75	1.38	2.47	3.37	4.02	5.94
 3C 273	-0.68	0.20	0.24	0.74			3.60	
 M 51	1.51	0.96	0.90	1.70	2.28		3.31	3.50

Tabla 3.8: Comparación de colores entre la galaxia Seyfert NGC 1068 (Imagen: Kopernik Astro Society), la fuente cuasi esterlar 3C 273 (Imagen: NOAO/AURA/NSF) y una galaxia espiral tipica (Imagen: SEDS)

NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE

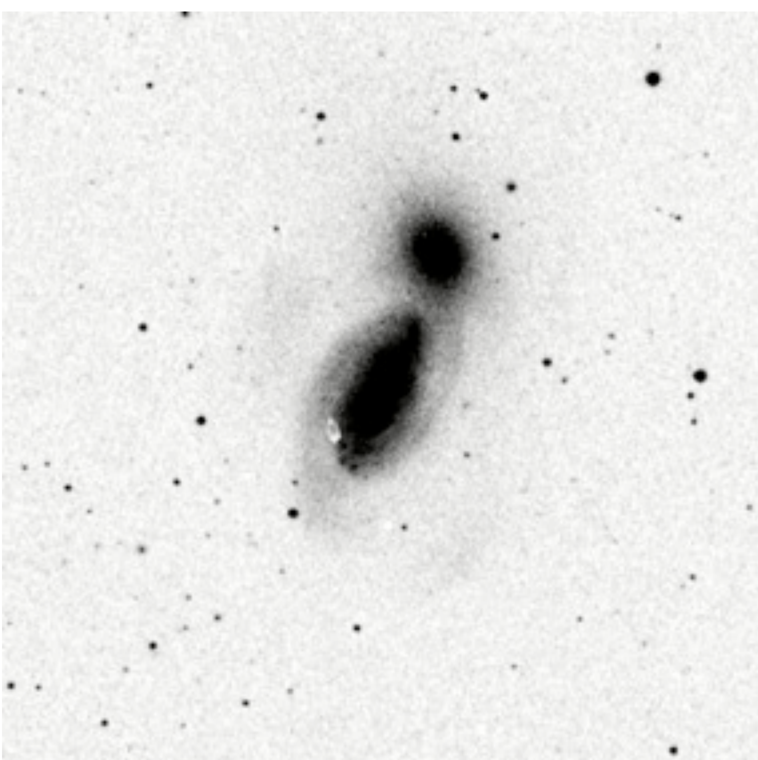
Date and Time of the Query: 2009-08-24 T14:04:35 PDT

Help | Comment | NED Home

You have selected the following parameters to search on:

Parameters for Distances and Cosmology: H_o= 73.0; Ω_{matter} = 0.27; Ω_{vacuum} = 0.73;
Derived Quantities use a Redshift corrected to a Reference Frame defined by the 3K CMB

NED results for object NGC 3227



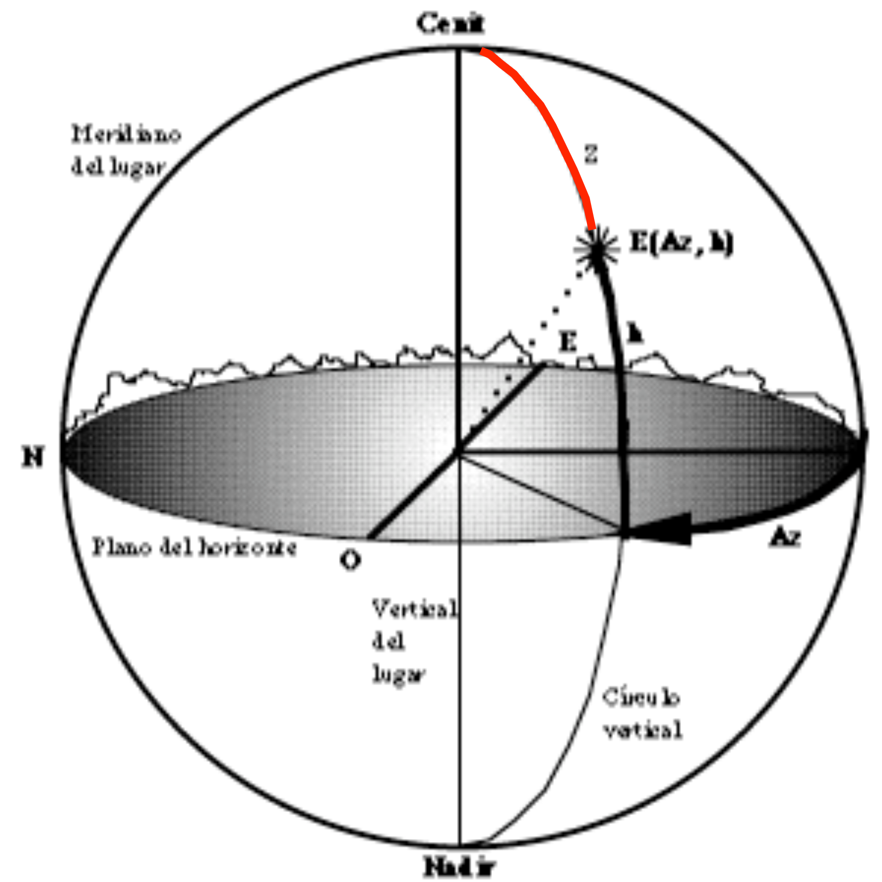
FOREGROUND GALACTIC EXTINCTION for NGC 3227 (Back to INDEX)

```
Galactic Extinction (Burstein & Heiles): A_B = 0.020 mag  1982AJ.....87.1165B
Galactic Extinction (Schlegel et al.):   A_B = 0.098 mag  1998ApJ...500..525S
 E(B-V) = 0.023 mag.
 The values listed below are calculated following Schlegel et al. Appendix B.
 See Notes on Galactic Extinction for important caveats.
```

Bandpass	U	B	V	R	I	J	H	K	L'
Wavelength [um]	0.34	0.44	0.54	0.65	0.80	1.27	1.67	2.22	3.81
A_lambda [mag]	0.123	0.098	0.075	0.060	0.044	0.020	0.013	0.008	0.003

Extinción atmosférica

Un efecto que hay que corregir cuando se calibran magnitudes instrumentales es el denominado extinción atmosférica, o atenuación de la luz estelar por la atmósfera.

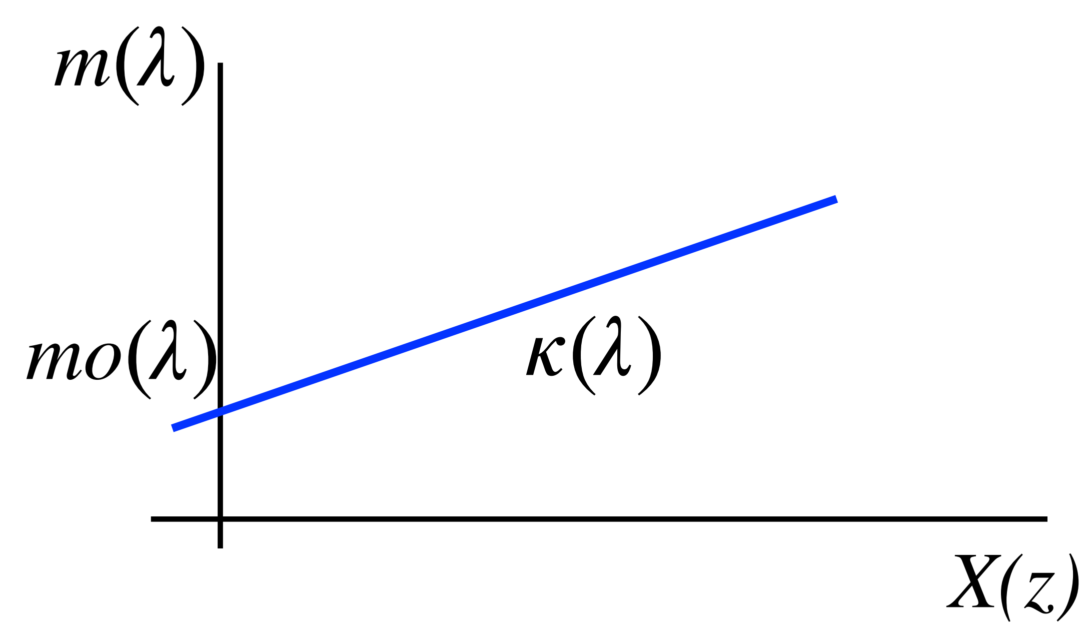


Entre mayor sea la trayectoria que la luz atraviesa en la atmósfera, mayor será la atenuación. La trayectoria a través de la atmósfera se le conoce como la masa de aire.

A una longitud de onda en particular, se puede relacionar la magnitud de un objeto por fuera de la atmósfera terrestre $mo(\lambda)$ con la magnitud observada en la superficie $m(\lambda)$,

$$m(\lambda) = m_0(\lambda) + \kappa_\lambda X(z)$$

en donde, $X(z)$ es la masa de aire y $\kappa(\lambda)$ es el coeficiente de extinción y z la distancia cenital.



Masa de aire

$$X = \sec z$$

Young 1994,

$$X = \frac{1.002432\ \cos^2 z_{\mathrm{t}} + 0.148386\ \cos\ z_{\mathrm{t}} + 0.0096467}{\cos^3 z_{\mathrm{t}} + 0.149864\ \cos^2 z_{\mathrm{t}} + 0.0102963\ \cos\ z_{\mathrm{t}} + 0.000303978}$$

Pickering 2002,

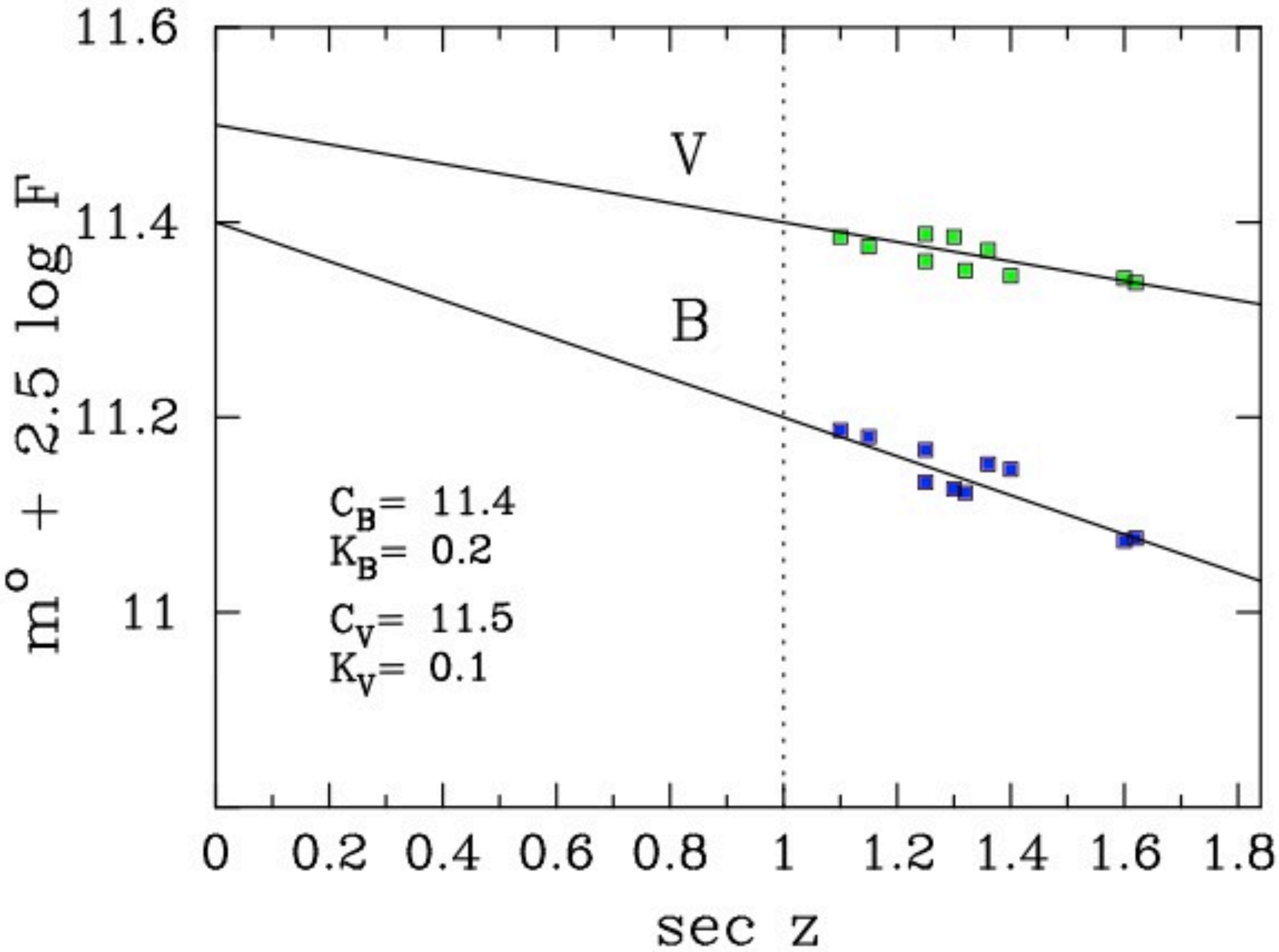
$$X = \frac{1}{\sin(h + 244/(165 + 47h^{1.1}))}$$

$$m(\lambda) = m_0(\lambda) + \kappa_\lambda X(z)$$

$$m_\lambda = C_\lambda - 2.5\log F_\lambda \ \text{(cuentas/s)}$$

$$m_{0\lambda} + 2.5\log F_\lambda = C_\lambda - \kappa_\lambda X$$

Para estrellas estandar
→ Recta de Bouger



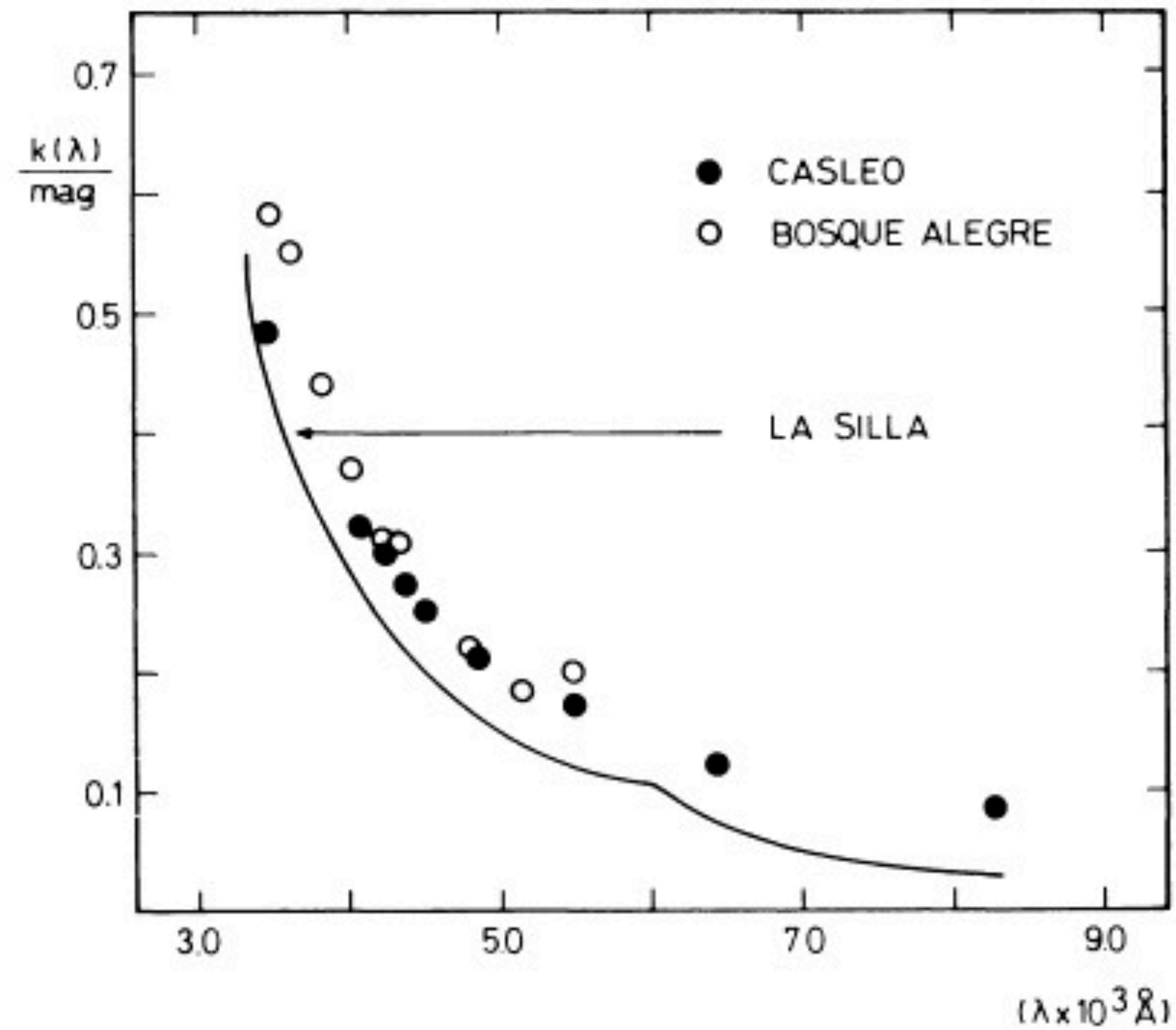
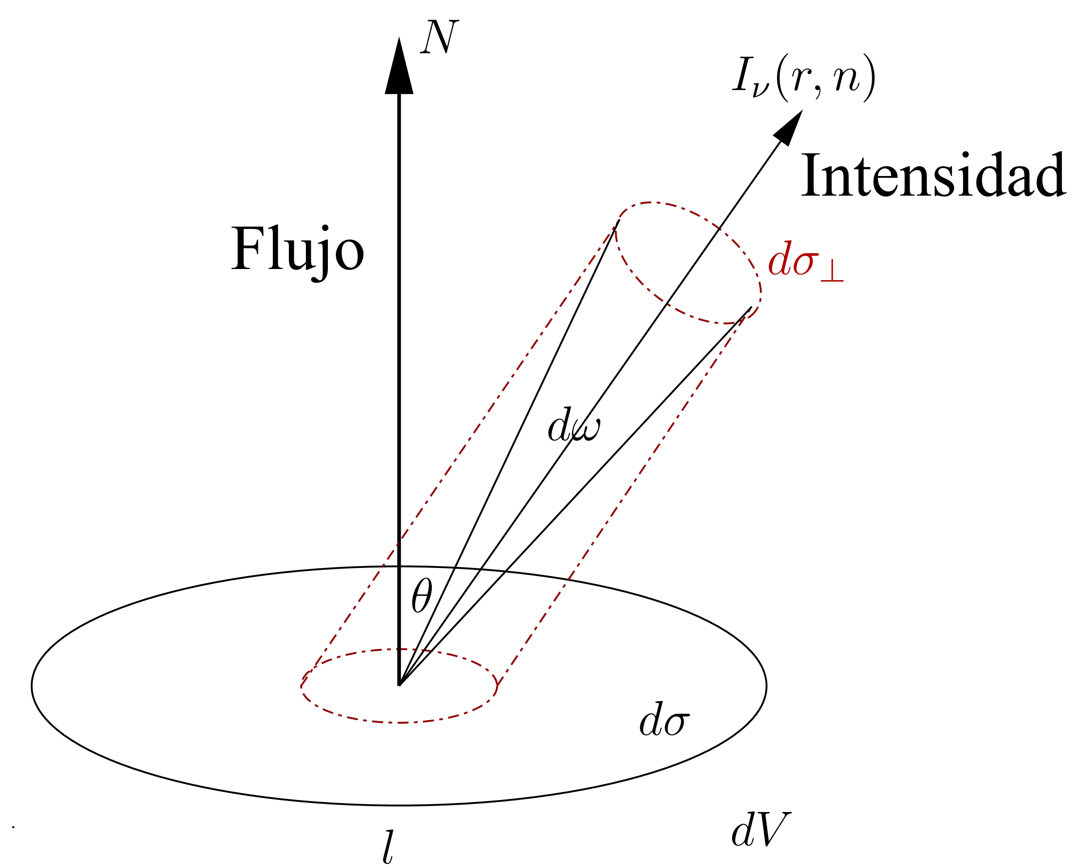


Fig. 1. Extinction curve obtained at CASLEO (dark circles) from photometric measurements carried out in 9 spectral bands between 3500 and 8300 Å. For comparison, the extinction curves of La Silla and Bosque Alegre Observatories are also shown.

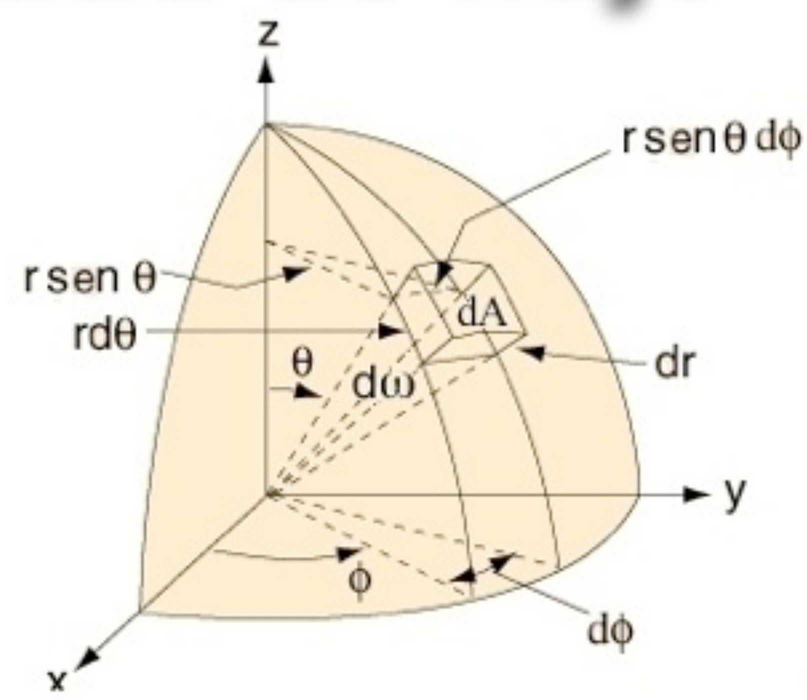
Washington systems, for example, we can establish quite reliably the following values:

$$
\begin{array}{llll}
K_u = 0.48\,, & K_v = 0.32\,, & K_b = 0.23\,, & K_y = 0.17\,, \\
K_{by} = 0.06\,, & K_{c_1} = 0.07\,, & K_{m_1} = 0.02\,, & \\
K_C = 0.40\,, & K_{M_1} = 0.19\,, & K_{T_1} = 0.13\,, & K_{T_2} = 0.09\,, \\
K_{CM} = 0.21\,, & K_{MT_1} = 0.06\,, & K_{T_1T_2} = 0.04\,, &
\end{array}
$$

Intensidad, densidad de flujo



Lápiz de radiación emergiendo de un elemento de superficie dσ en un cilindro de longitud l



De manera equivalente al caso de un ángulo plano que se define como la razón entre el arco del círculo al radio (ø = a/r), el elemento de ángulo sólido dw en esteroradianes es la razón entre el elemento de área superficial esférica y el cuadrado del radio, dw = dA/r2. El ángulo sólido en términos de los ángulos polar y azimutal se escribe: dω = sen θdθdφ con r = 1.

En el análisis del campo de radiación es necesario considerar la cantidad de energía dEv en un intervalo de frecuencia (v, v+dv) que es transportada a través de un elemento de área dσ y en direcciones confinadas a un elemento de ángulo sólido dω, durante un tiempo dt,

$$dE_\nu = I_\nu d\sigma \cos\theta d\nu d\omega dt$$

$$f_\nu = \int_{4\pi[\mathrm{str}]} I_\nu \cos\theta d\omega d\nu$$

$$I = \int_0^\infty I_\nu d\nu$$

$$F = \frac{1}{d\sigma dt}\int dE = \pi I$$

Luminosidad

El flujo total o luminosidad se define como la energía por unidad de tiempo emitida por una estrella en todas las direcciones, es decir en un ángulo sólido de 4π esteroradianes. Si la radiación es isotrópica, es decir, la intensidad $I\nu$ es independiente de la dirección, la luminosidad se expresa,

$$L = 4\pi R^2 F$$

donde F es la densidad de flujo que pasa a través de una superficie que rodea la estrella a una distancia R. El término 4πR^2 corresponde al área superficial del astro, obtenido de derivar el volumen de la esfera con respecto al radio.

De la misma forma, se puede definir la luminosidad específica como la energía emitida por una estrella, a una frecuencia dada y por unidad de tiempo,

$$L_\nu = 4\pi R^2 F_\nu$$