



Astrofísica de altas energías

Introducción

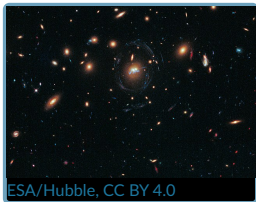
Alexis Andrés

Instituto de Astronomía - UNAM

Taller de Astrofísica de Altas-energías y Cosmología
Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala

18 de noviembre de 2024

Conceptos fundamentales

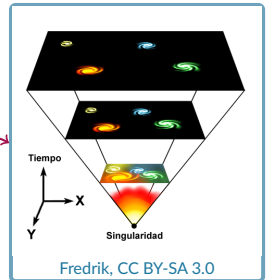
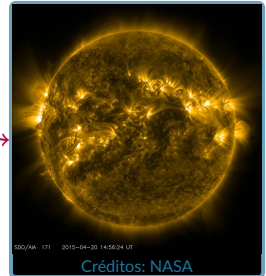


¿Qué mecanismos físicos producen la radiación del Sol?

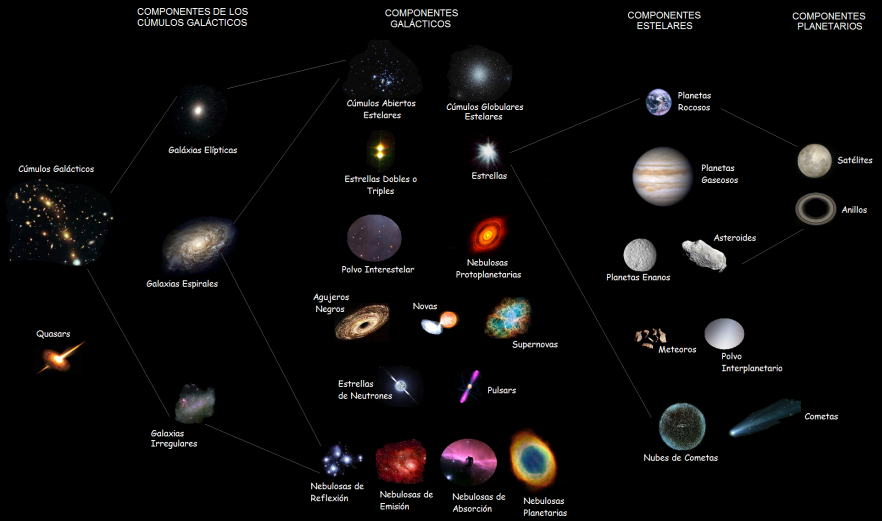
¿Cuál es el destino de las estrellas?

¿Cómo se forman las galaxias?

Comprender la expansión del universo



El Universo y sus componentes



Fernando T. de Gorocica

Pequeñas tareas



Se te motiva a participar

Mario indica un ejercicio/problema



Pan comido

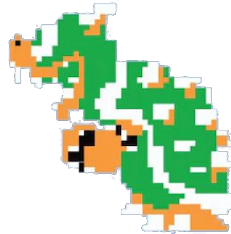


Requieres de más «concentración»



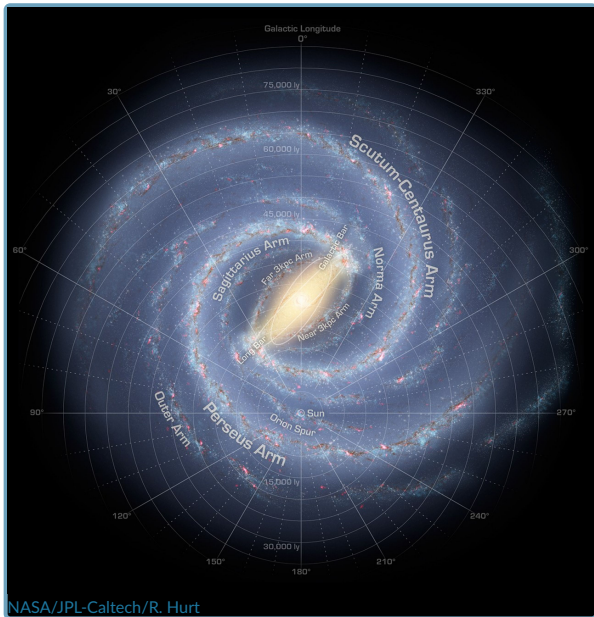
Necesitas más poder

Bowser representa a la astrofísica

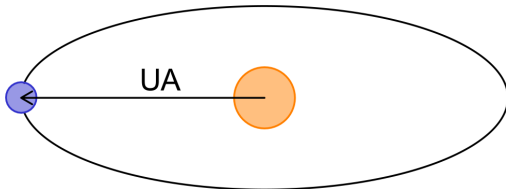


Escalas en el universo

La Vía Láctea



Unidades de distancia



Unidad astronómica (UA)

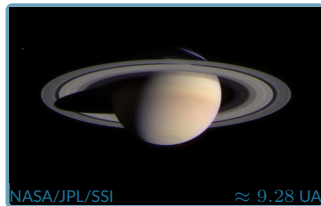
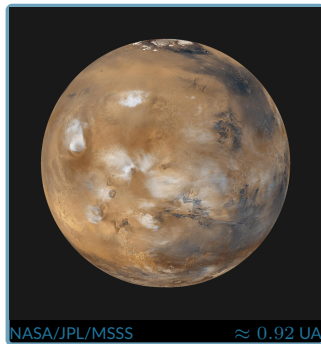
Distancia promedio entre el Sol y la Tierra

$$1\text{UA} \approx 1.5 \times 10^{11}\text{m}$$

Adecuada para objetos dentro del sistema solar

Proxima Centauri

- Es la ★ más cercana al sistema solar
- 268 770 AU



Unidades de distancia

Paralaje estelar

Cambio de posición aparente de las estrellas

El ángulo de paralaje es θ :

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{1\text{UA}}{d}$$

Parsec (pc)

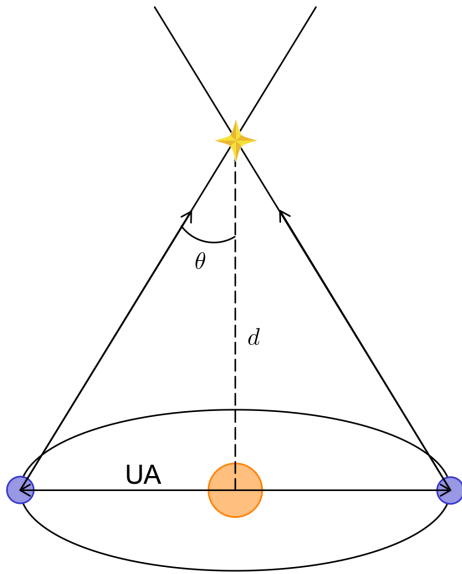
Distancia d tal que $\theta = 1''$



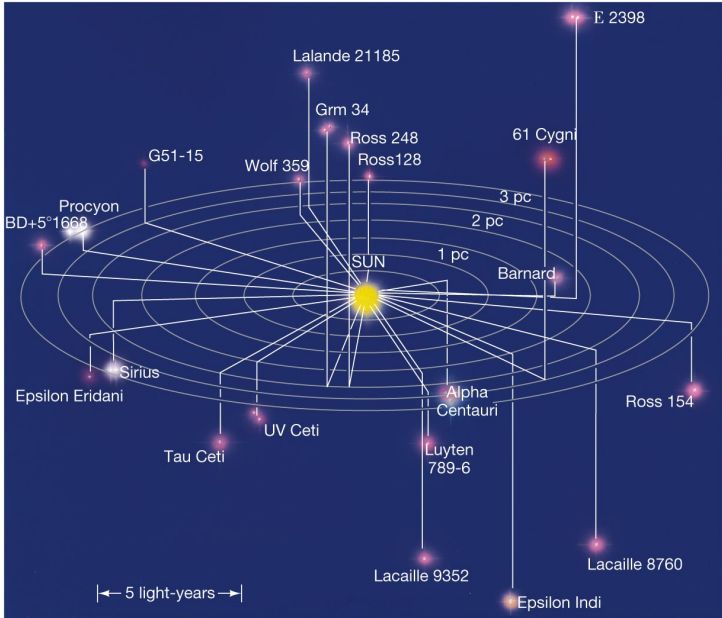
En estas condiciones:

$$1\text{pc} = 3.086 \times 10^{16} \text{ m}$$

(Recordar que $1'' \equiv \frac{\pi}{180 \times 60 \times 60} \text{ (rad)}$)



Distancias estelares



Proxima Centauri

- 1.33 pc

Barnard

- 1.83 pc

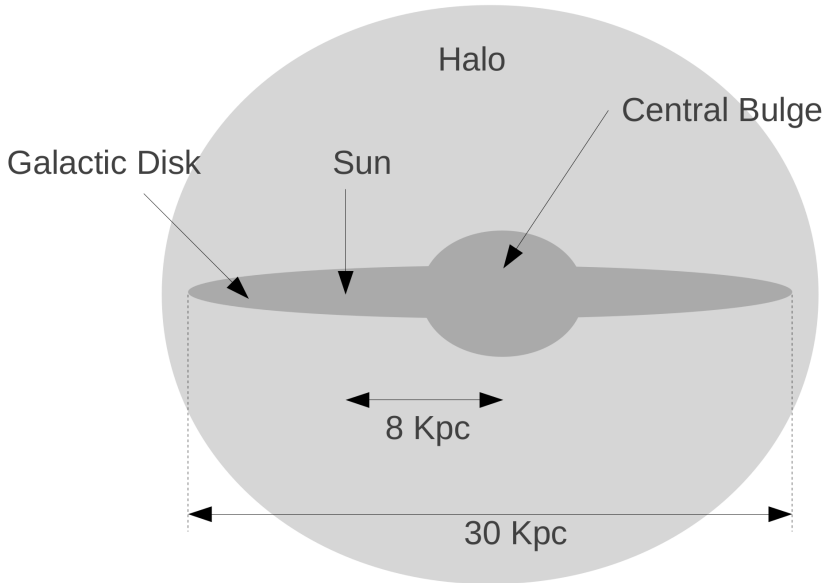
61 Cygni

- 3.49 pc

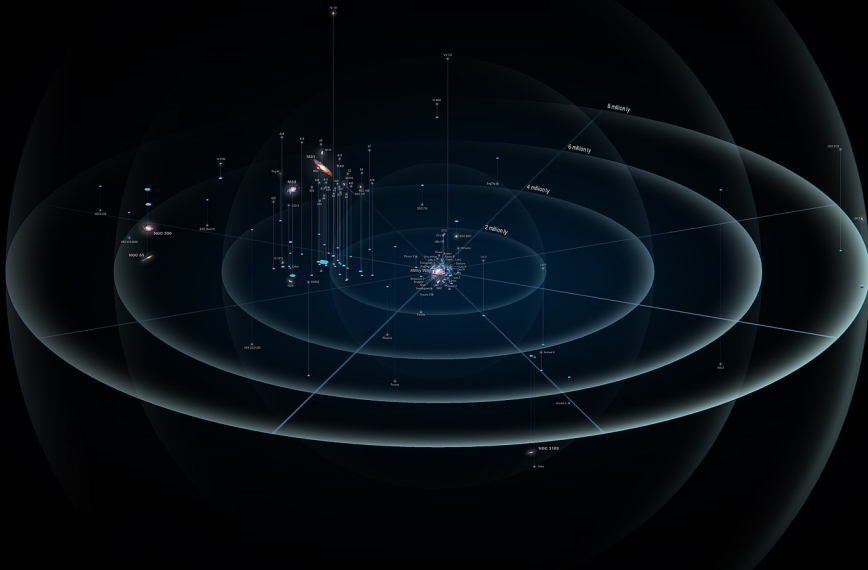
Epsilon Indi

- 3.63 pc

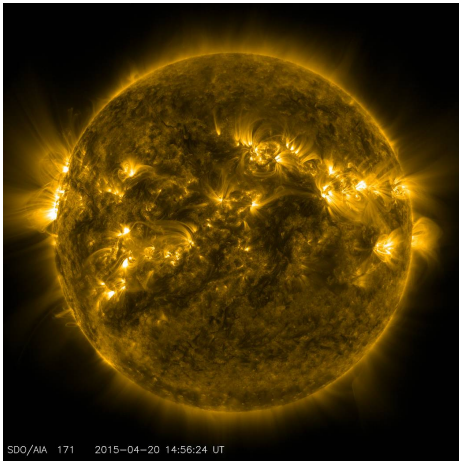
Distancias galácticas



Local Group and nearest galaxies



Masas



Masa solar

$$M_{\odot} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Proxima Centauri

$$\sim 0.12 M_{\odot}$$

Masa de la Vía Láctea

$$\sim 5 \times 10^{11} M_{\odot}$$

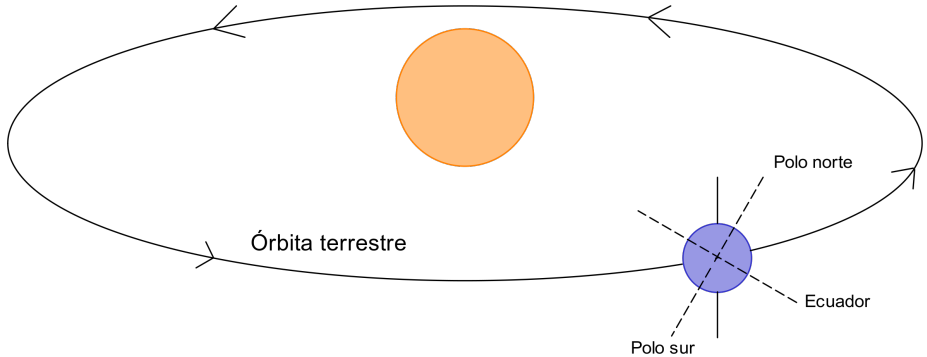
Masa de Andrómeda

$$\sim 1.40 \times 10^{12} M_{\odot}$$



Sistemas de coordenadas

La eclíptica



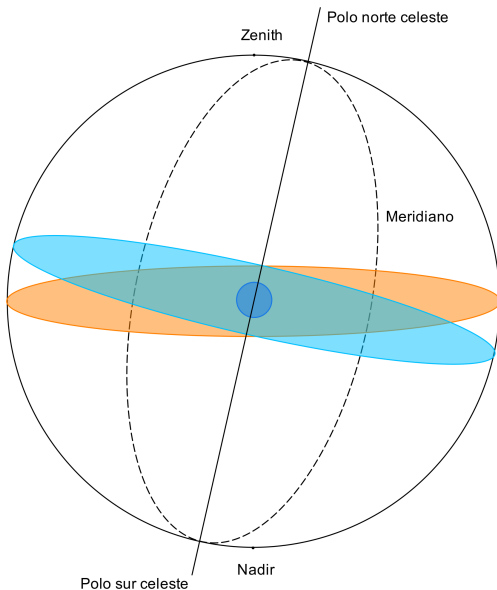
Eclíptica

Plano de la órbita terrestre alrededor del Sol

Angulo entre el plano del ecuador y la eclíptica:

$$\phi \approx 23.5^{\circ}$$

La esfera celeste



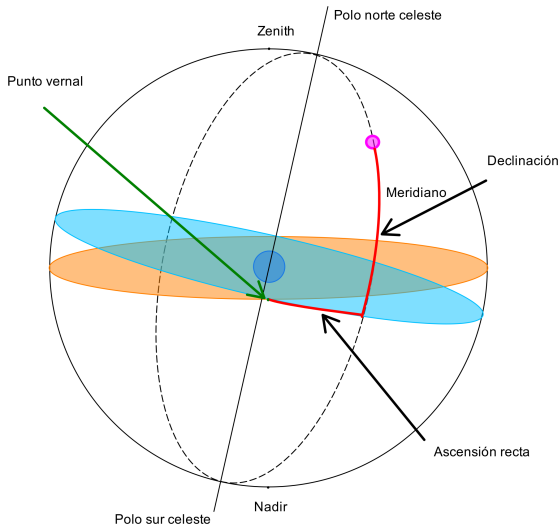
Esfera celeste

Esfera de radio infinito centrada en la Tierra

En la figura:

- Eclíptica
- Polo norte celeste
- Polo sur celeste
- Ecuador celeste
- Zenit
- Nadir
- Meridiano

Coordenadas ecuatoriales



Punto vernal

Punto de intersección de la eclíptica con el ecuador celeste

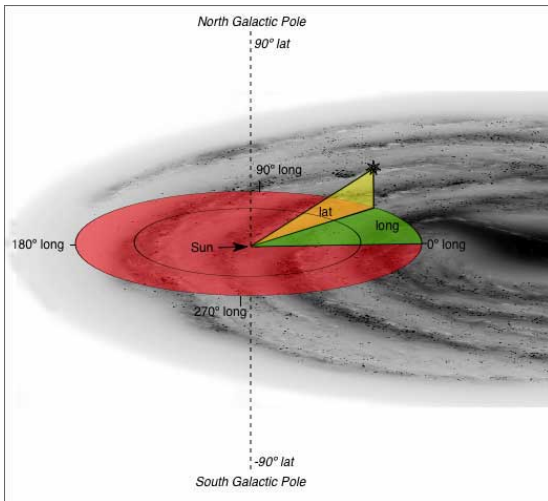
Ascensión recta (α)

Ángulo sobre el plano del ecuador celeste desde el punto de vernal hacia el objeto

Declinación (δ)

Distancia angular de un objeto respecto al ecuador celeste

Coordenadas galácticas



Longitud galáctica

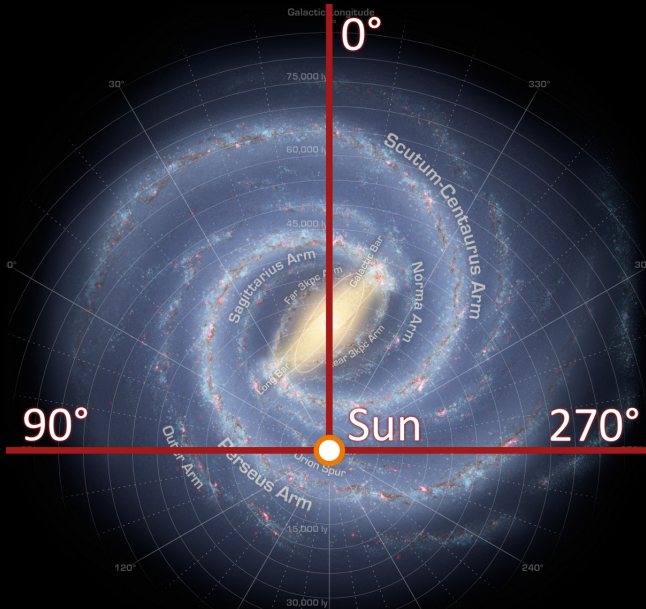
Ángulo l sobre el plano galáctico desde el centro galáctico hacia el objeto

Latitud galáctica

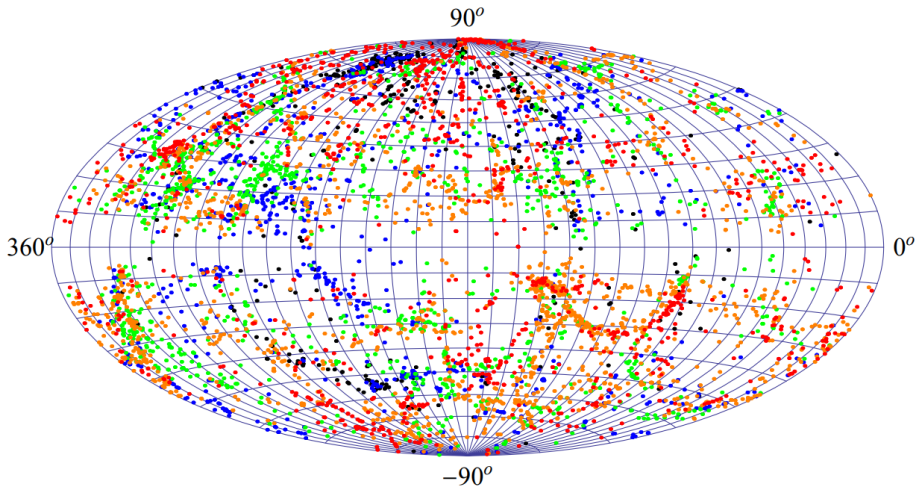
Es la distancia angular b de un objeto con respecto al plano galáctico.

Créditos: The university of Alabama

Coordenadas galácticas



Coordenadas galácticas



Caramete & Biermann

Observaciones astronómicas

Espectro electromagnético

Onda electromagnética

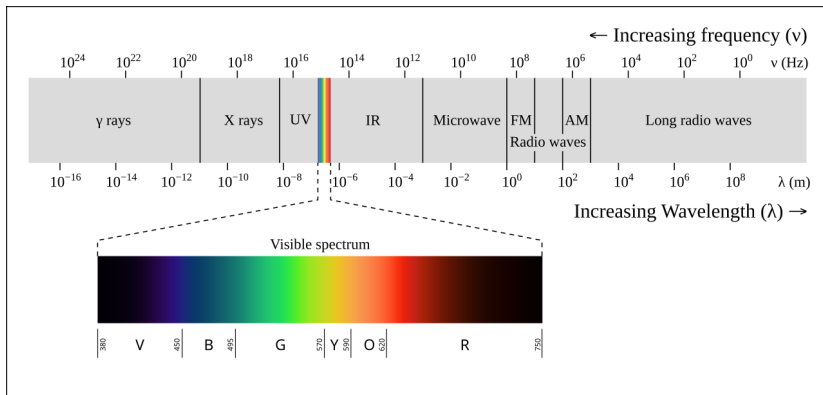
- Longitud de onda (λ)
- Frecuencia (ν).

$$c = \lambda \nu = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

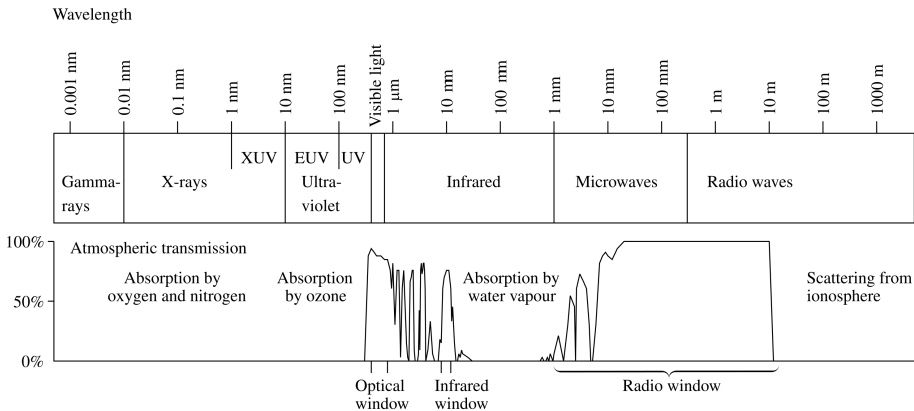
Partícula (fotón)

- Frecuencia (ν)
- Su energía

$$E = h\nu$$



Observaciones a través de la atmósfera



(Karttunen et al. 2017)

Flujo y luminosidad

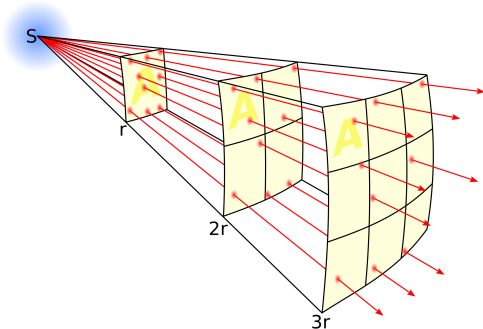
Flujo

Cantidad de luz (energía) detectada por unidad de área y tiempo

- Inversamente proporcional al cuadrado de la distancia

Asumiendo isotropía:

$$F \propto \frac{1}{4\pi r^2}$$



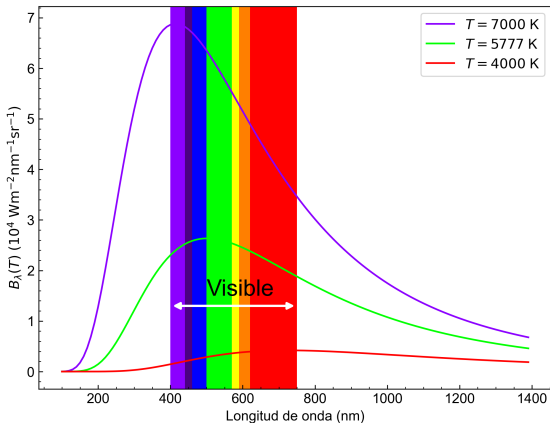
(Borb, CC BY-SA 3.0)

La constante de proporcionalidad es la luminosidad, L :

Luminosidad

Energía total en forma de luz que una estrella libera por unidad de tiempo

Radiación de cuerpo negro



Cuerpo negro

Objeto idealizado que absorbe toda la luz que incide sobre él, sin reflejar ni transmitir ninguna.

Una estrella puede aproximarse como un cuerpo negro

Su «espectro» se describe mediante la distribución de Planck:

$$B_\nu(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/(\lambda kT)) - 1}$$

Ley de Stefan-Boltzmann

Enunciado

Un cuerpo negro con temperatura superficial T , emite un flujo de energía

$$F = \pi B(T) \int_0^{\infty} \pi B_{\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4,$$



siendo $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ la constante de Stefan-Boltzmann.

- F tiene unidades de [energía]/[tiempo * área]

La **Luminosidad** está dada por

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

- L tiene unidades de [energía]/[tiempo]

Color de las estrellas

Temperatura (K)	Ejemplo	Color
28 000 - 11 000	Virgo	
11 000 - 7 500	Vega	
6 000 - 5 000	Sol	
5 000 - 3 600	Arturo	
3 600 - 2 000	Antares	

CLASIFICACIÓN ESPECTRAL CLÁSICA

O



Clase O. ≥ 30000 K
Masas solares ≥ 16
Radios solares $\geq 6,6$
Luminosidad ≥ 30000

B



Clase B. 10000-30000 K
Masas solares 2,1-16
Radios solares 1,8-6,6
Luminosidad 25-30000

A



Clase A. 7500-10000 K
Masas solares 1,4-2,1
Radios solares 1,4-1,8
Luminosidad 5-25

F



Clase F. 6000-7500 K
Masas solares 1,04-1,4
Radios solares 1,15-1,4
Luminosidad 1,5-5

G



Clase G 5200-6000 K
Masas solares 0,8-1,04
Radios solares 0,96-1,15
Luminosidad 0,6-1,5

K



Clase K. 3200-5200 K
Masas solares 0,45-0,8
Radios solares 0,7-0,96
Luminosidad 0,08-0,6

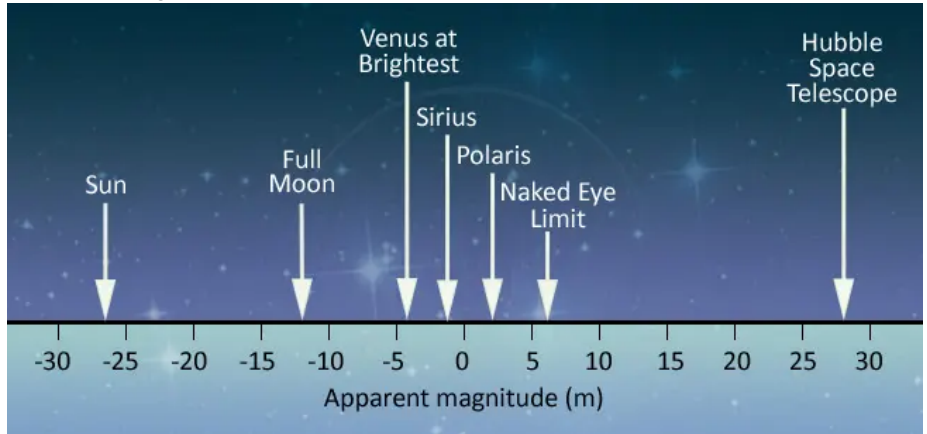
M



Clase M. 2400-3700 K
Masas solares 0,08-0,45
Radios solares $\leq 0,7$
Luminosidad solar $\leq 0,08$

Brillo de las estrellas

Sistema de magnitudes de Hiparco



Una estrella de magnitud 1 es 100 veces más brillante que una de magnitud 6

Magnitudes aparentes

Estrella A

- Magnitud aparente: m_A
- Flujo: F_A

Estrella B

- Magnitud aparente: m_B
- Flujo: F_B

Las magnitudes siguen una escala logarítmica:

$$m_A - m_B = -k[\log_{10}(F_A) - \log_{10}(F_B)] = -k \log_{10} \left(\frac{F_A}{F_B} \right)$$

Si $m_A = 1$ y $m_B = 6$:

$$m_A - m_B = -5; \quad F_A/F_B = 100$$



Por lo tanto, $k = 2.5$:

$$m_A - m_B = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_A}{F_B} \right)$$

Magnitudes absolutas y bolométricas



Magnitud absoluta

Magnitud M que tendría una estrella si se encontrara exactamente a 10 pc

Aplicando la relación entre magnitudes:

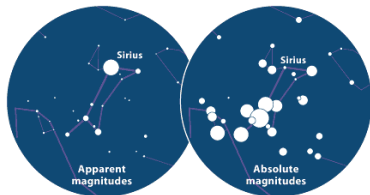
$$m - M = -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_{real}}{F_0} \right)$$

- F_{real} : flujo a la distancia d real
- F_0 : flujo a una distancia $d_0 = 10$ pc



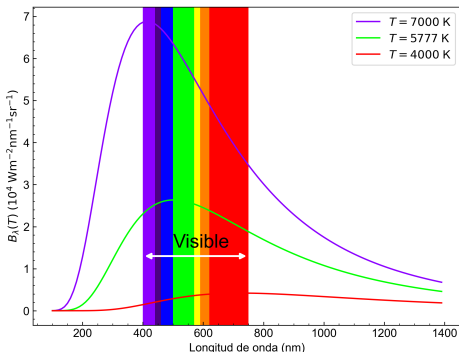
Se obtiene

$$m - M = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)$$



(Physics feed)

Magnitudes monocromáticas y bolométricas



Magnitud monocromática

Magnitud m_λ a una longitud de onda λ específica

$$m_\lambda = -2.5 \log_{10}(F_\lambda) + C_\lambda$$

Magnitud bolométrica

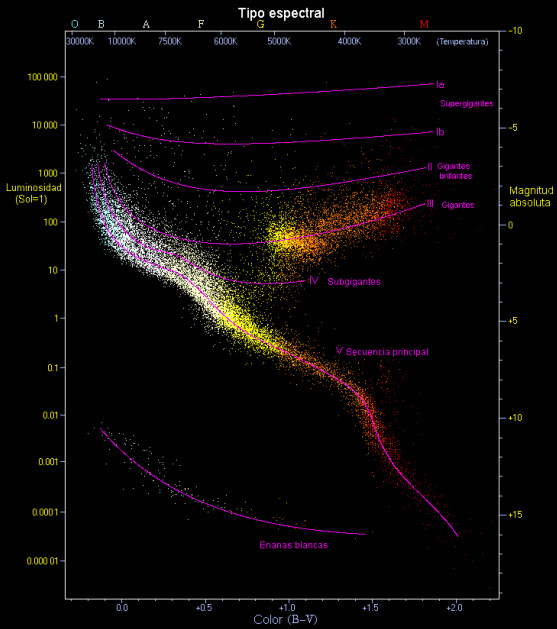
Magnitud m_{bol} en todas las longitudes de onda

El color: diferencia de magnitudes entre dos bandas de longitudes de onda.

- Banda B : color azul
- Banda V : visible

$$B - V = m_B - m_V$$

Diagrama HR



Richard
Powell, CC
BY-SA 2.5