



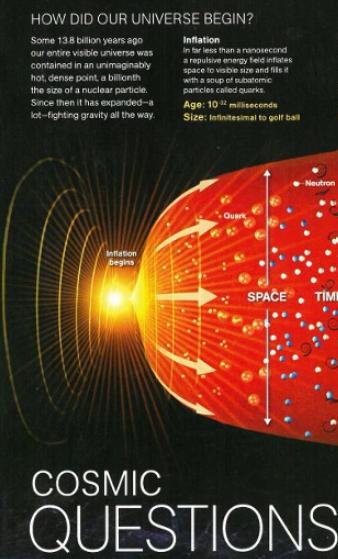
Universidad Nacional de Río Negro

Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2018

- **Unidad** 02 – Astrofísica: cálido y frío
- **Clase** UO2 C04
- **Fecha** 11 Oct 2018
- **Cont** Estrellas – 1
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/>
- **Youtube** <https://goo.gl/UZJzLk>

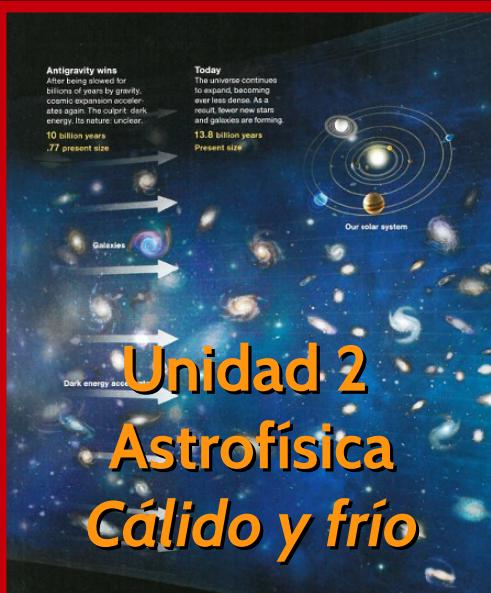


Contenidos: un viaje en el tiempo



WHAT IS OUR UNIVERSE MADE OF?

Stars, dust, and gas—the stuff we can discern—make up less than 5 percent of the universe. Their gravity can't account for how galaxies hold together. Scientists figure about 24 percent of the universe is a mysterious dark matter—perhaps exotic particles formed right after inflation. The rest is dark energy, an unknown energy field or property of space that counters gravity, providing an explanation for observations that the expansion of space is accelerating.



DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has density. And quantum inflation theory says our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea of others just like ours—or nothing like ours. These other cosmos will very likely remain forever inaccessible to observation; their possibilities limited only by our imagination.



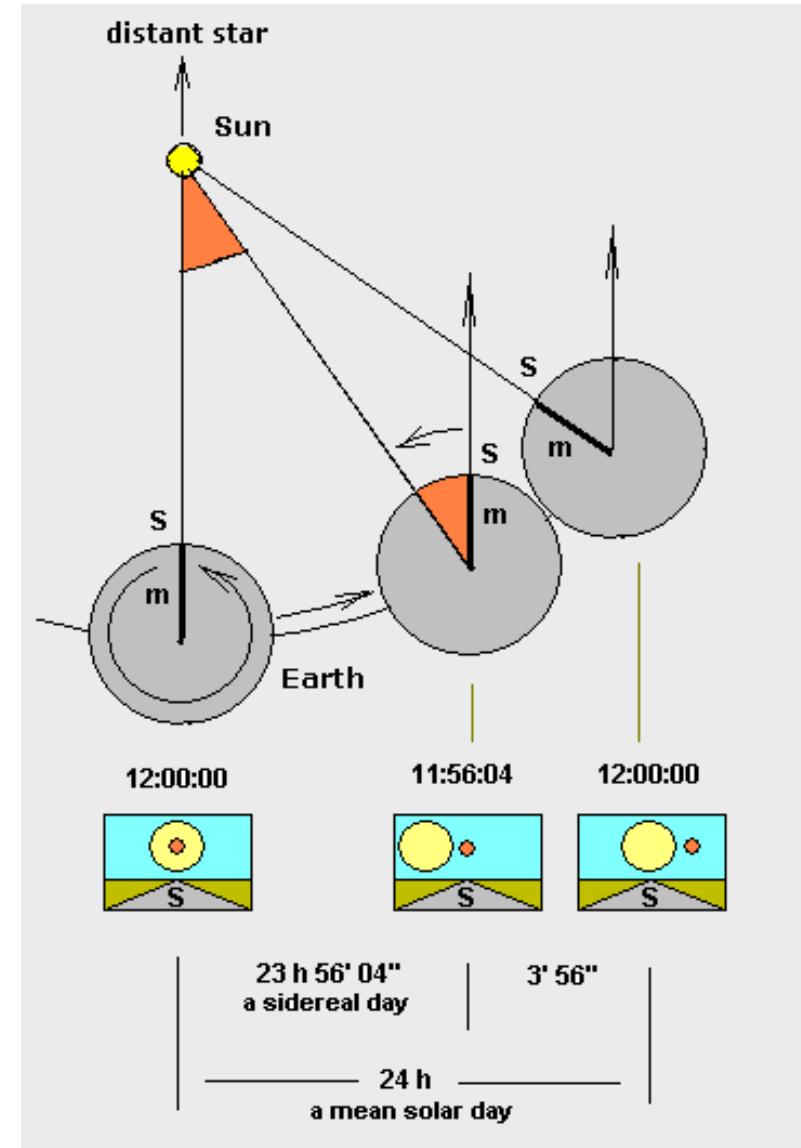


El día es el tiempo asociado a la rotación:

- Pero.... ¿con qué medimos la rotación?
- Posición del Sol:
 - Tiempo civil → **Tiempo solar medio:**
Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del Sol por el meridiano del observador.
 - **Tiempo sidéreo:**
Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del punto Vernal por el meridiano del observador.

Algunas definiciones

- Tiempo sidéreo:
 - Se define como el tiempo entre dos sucesiones consecutivas del punto Vernal por el meridiano del observador.

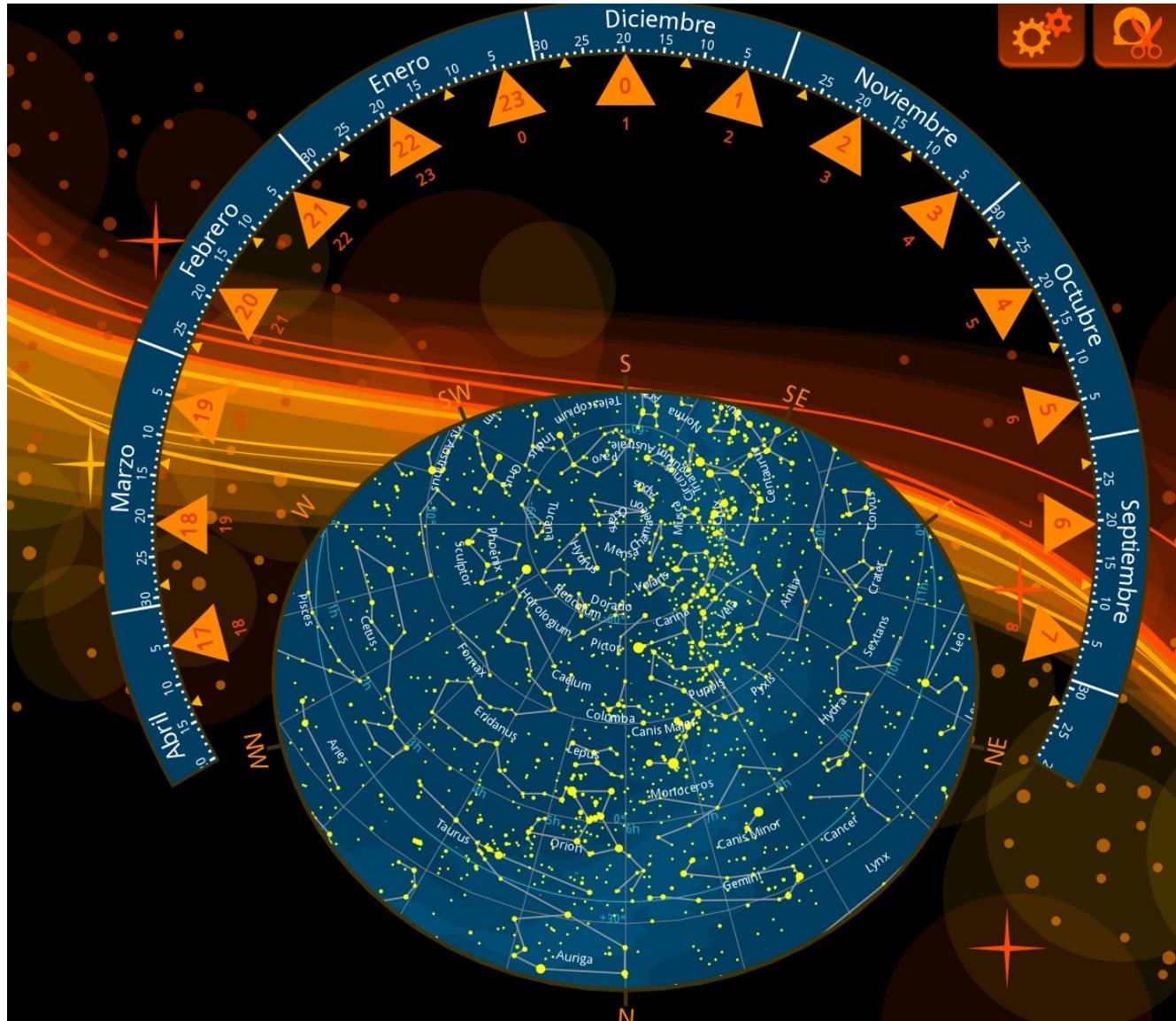




Carta Celeste

- Mapa de la esfera celeste
- Se identifican las constelaciones y las principales estrellas
- Permite ver el cielo en distintas épocas del año

En otras latitudes: -40



Sin embargo, en el cielo...

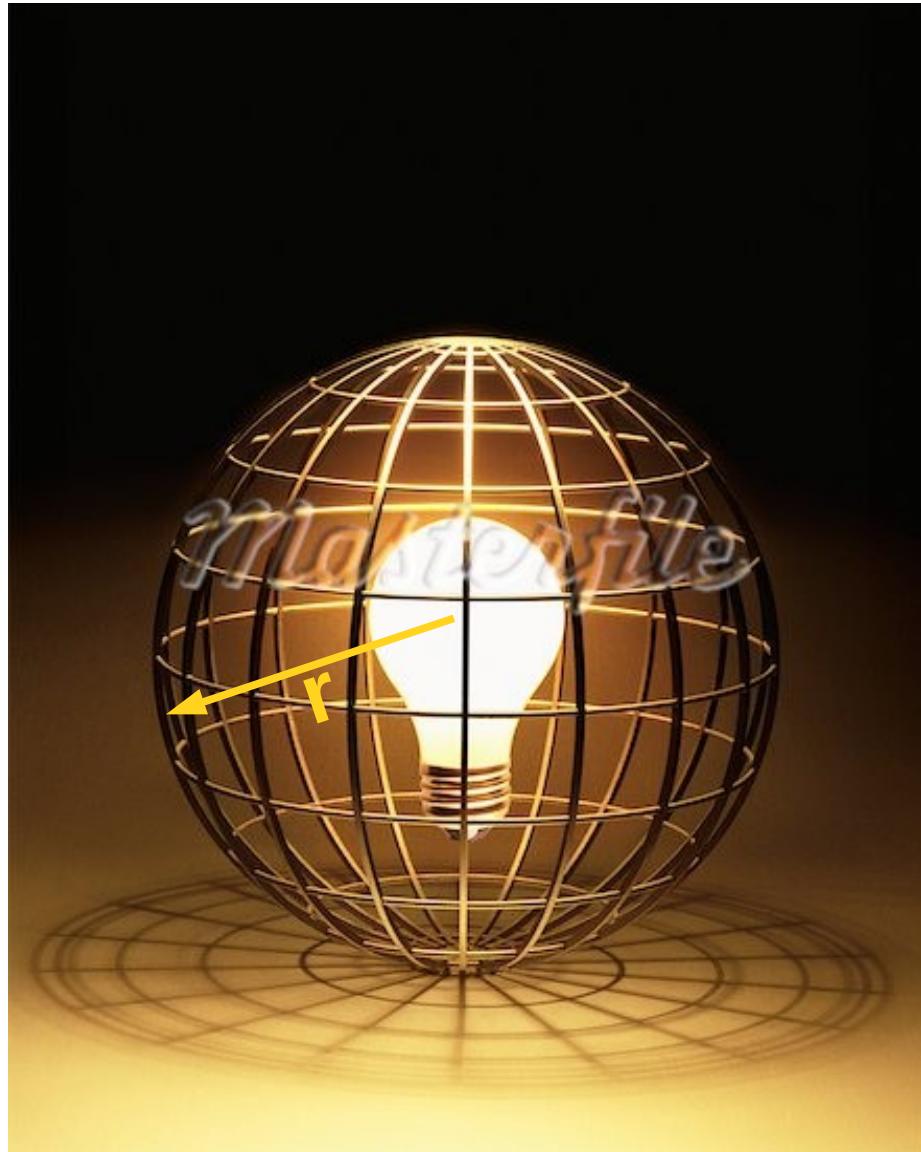
Sirio (a-CMa)

Mintaka (δ -Ori)

Betelgeuse (α -Ori)

Proción (a-CMi)

Cómo determinar la relación



- El Flujo se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo por unidad de área:

$$F \equiv \frac{\Delta E}{A(\Delta t)} = \frac{L}{A}$$

- El área de una esfera es

$$A = 4\pi r^2$$

- Entonces

$$\Rightarrow F = \frac{L}{4\pi r^2}$$

Magnitud aparente



• Magnitud aparente (m)

- Brillo (b) de un cuerpo “visto” desde La Tierra
- Hiparco de Nicea (190AC-120AC) 850 est. ← Ptolomeo:
Clasificó las estrellas en seis magnitudes:
Magnitud 1: Top 20, Magnitud 6: Apenas visibles
- Norman Pogson (1829-1891):

- Una estrella $m=1(m_1)$ es 100 veces más brillante que una $m=6(m_6)$

$$\frac{b_1}{b_6} = 100$$

Una estrella de brillo b_1 es
dos veces y media más brillante
que una estrella de brillo b_2

$$b_i \approx 2.5 b_{i+1}$$

$$\therefore (m_1 - m_2) \leftrightarrow b_1/b_2? \rightarrow$$

$$(m_i - m_j) = -2.5 \log_{10} \left(\frac{b_i}{b_j} \right)$$



Escala moderna

-26.73 Sol (449000 veces la Luna)

-12.6 Luna llena

-6.0 Supernova del Cangrejo (SN 1054)

-4.7 Venus (máximo)

-3.0 Marte (máximo)

-1.47 Sirio (estrella más brillante)

-0.7 Canopus (2da estrella)

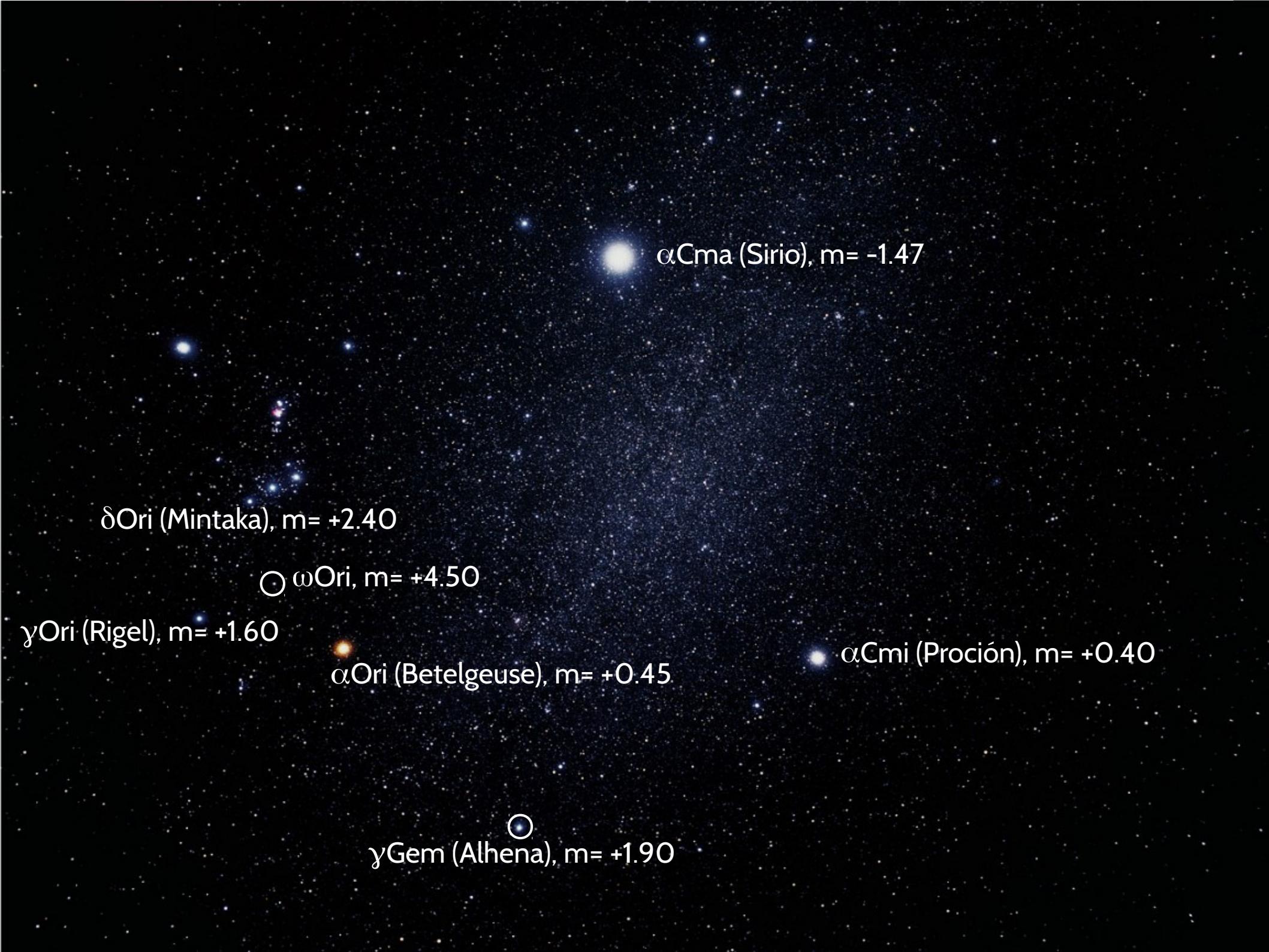
0 Vega (definición moderna)

+3 Estrellas más débiles en una ciudad

+4.6 Ganímides (Luna de Júpiter)

+6 límite de visibilidad del ojo

+30 estrellas más débiles observadas (Telescopio espacial Hubble)



α Cma (Sirio), m= -1.47

δ Ori (Mintaka), m= +2.40

ω Ori, m= +4.50

γ Ori (Rigel), m= +1.60

α Ori (Betelgeuse), m= +0.45

α Cmi (Proción), m= +0.40

γ Gem (Alhena), m= +1.90



Magnitud absoluta

- **Magnitud absoluta M , es la magnitud aparente que tendría una estrella si su distancia fuera de 10pc**

- Relación con la magnitud aparente m y la distancia d : (medida en parsecs):

$$M = m - 5(\log_{10}(d) - 1)$$

- P.ej.: Si $d=10$ pc, $M = m - 5 [1-1] = m - 5(0) = m$
- Magnitudes absolutas y aparentes:
 - Sol: $m=-26.73$, $M=4.75$
 - Mintaka (δ Ori): $m=2.4$, $M=-4.84$
 - Sirio (aCMa): $m=-1.45$, $M=1.44$

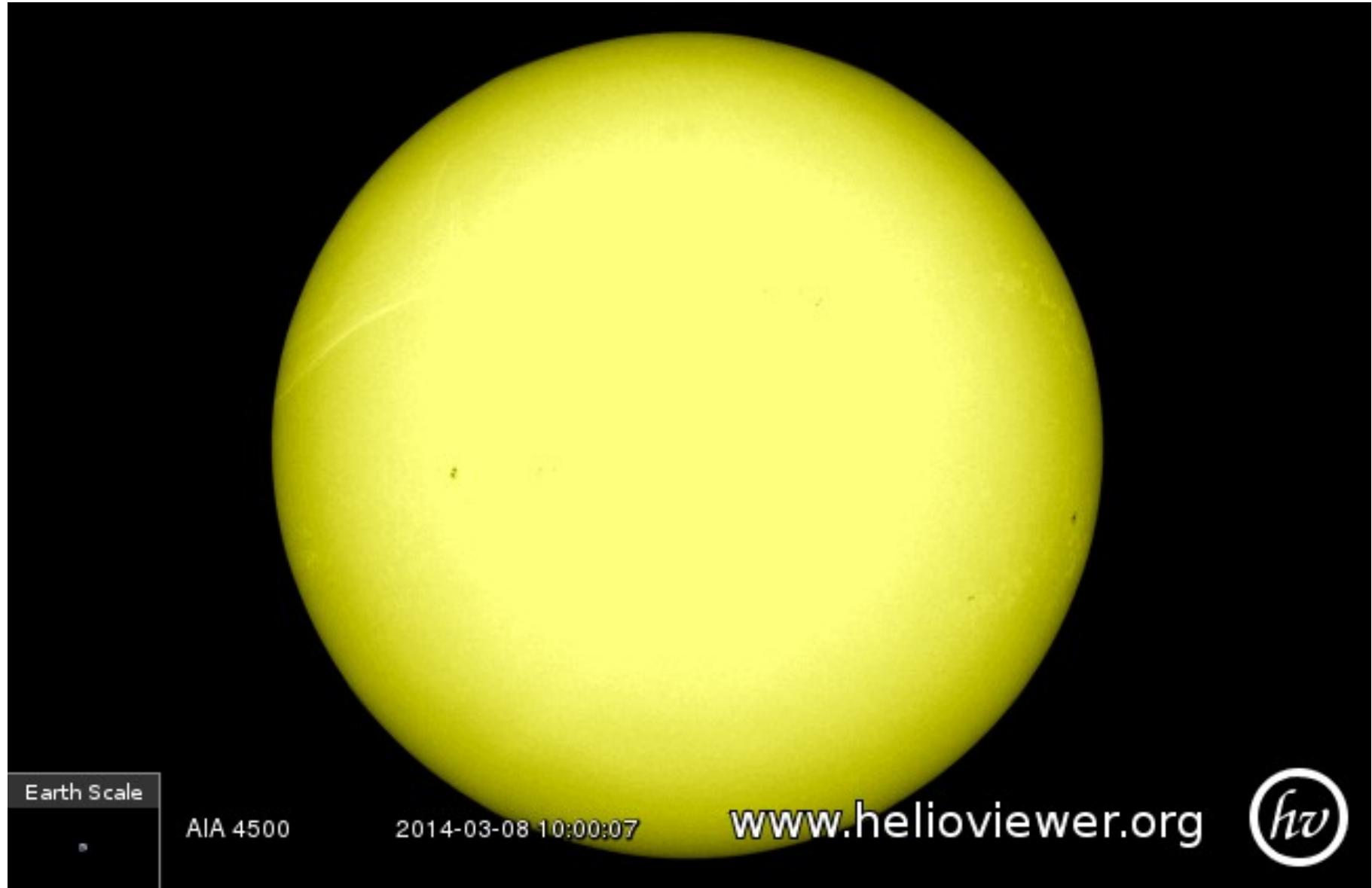


Nuestra fuente de energía



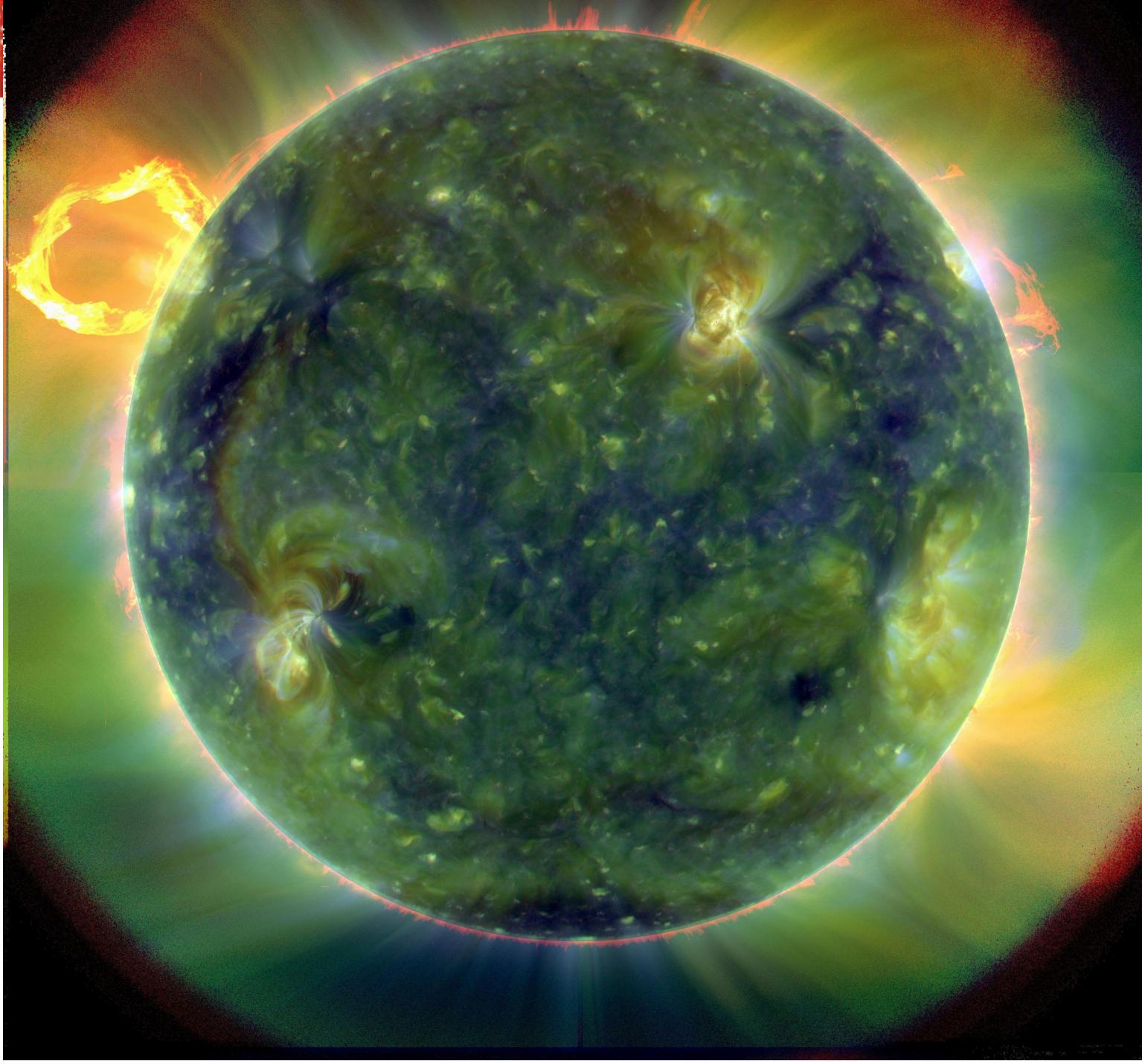


¿Amarillo o verde?

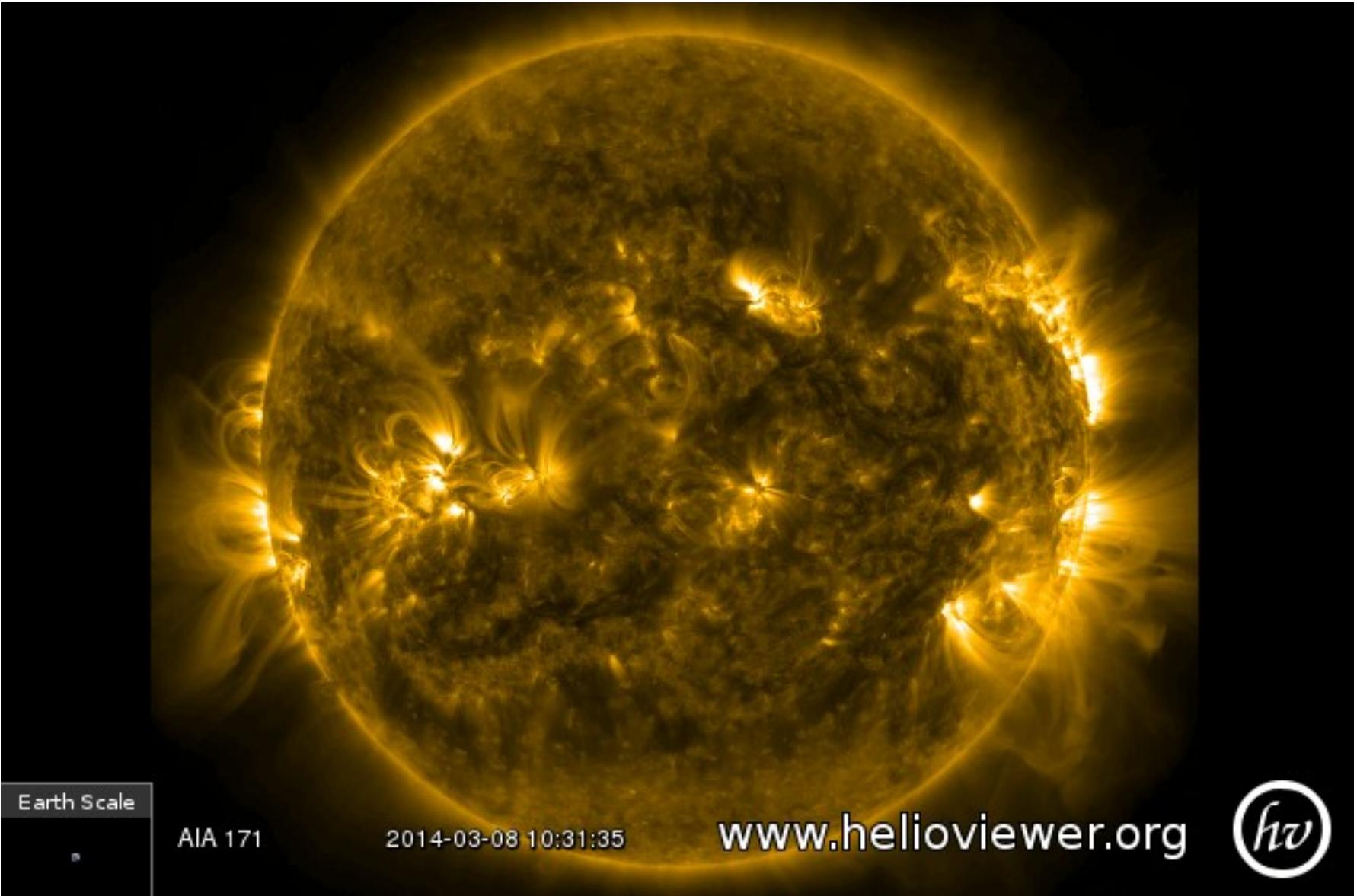




Así es nuestro Sol



Mirando en otras longitudes de onda





Es cómodo medir las cosas en términos solares

- Masa Solar:

$$M_{\text{Sol}} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg} \simeq 1000 M_{\text{Júpiter}} \simeq 333000 M_{\text{Tierra}}$$

- Radio Solar:

$$R_{\text{Sol}} = 6.96 \times 10^8 \text{ m} = 696000 \text{ km}$$

- Luminosidad Solar:

$$L_{\text{Sol}} = 3.83 \times 10^{26} \text{ W}$$

- Alto:

**1 segundo de energía liberada en el Sol
equivale a 800000 años de consumo humano (2013)**

Nebulosa de Orion

Saiph

Betelgeuse

Alnitak

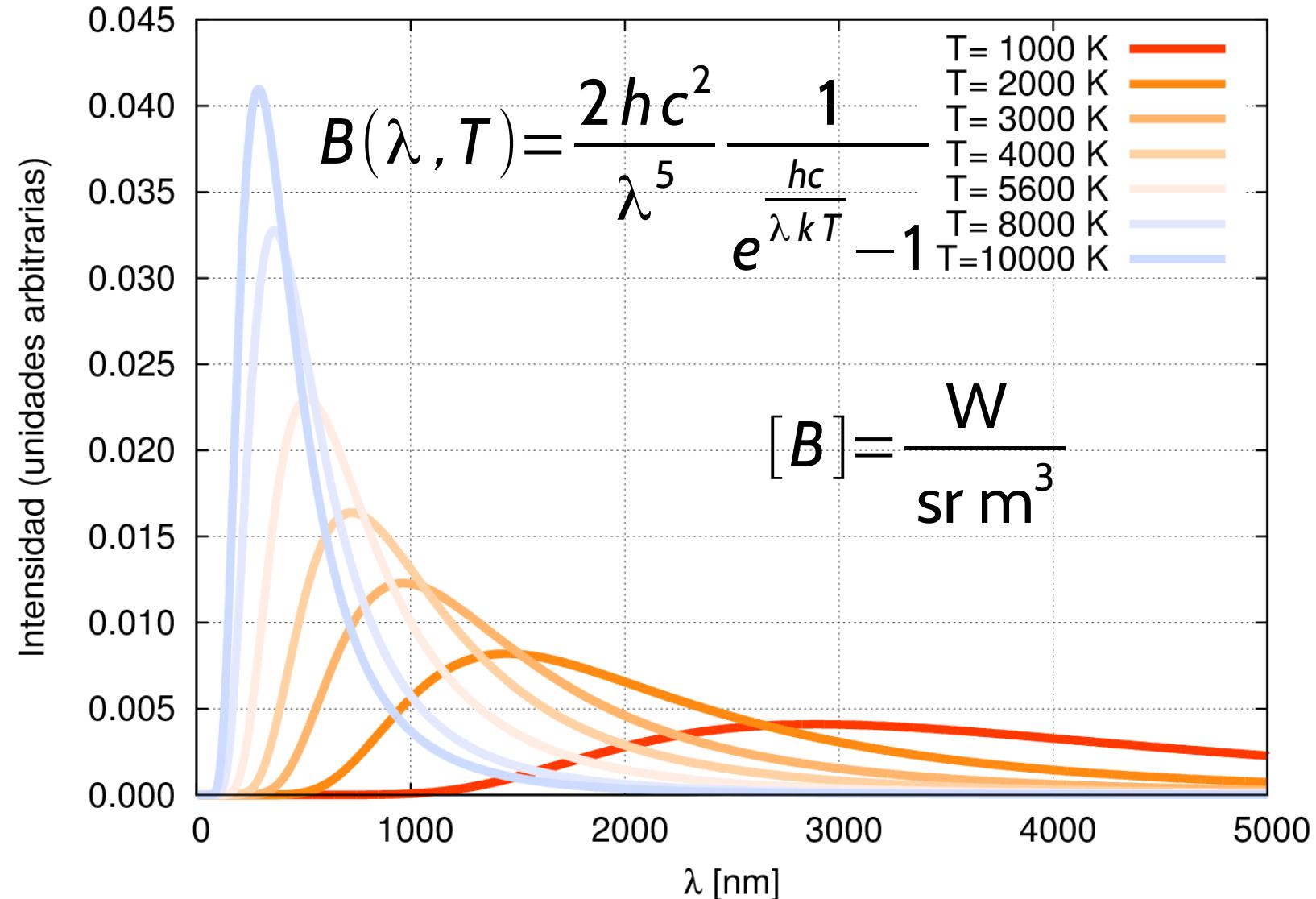
Alnilam

Mintaka

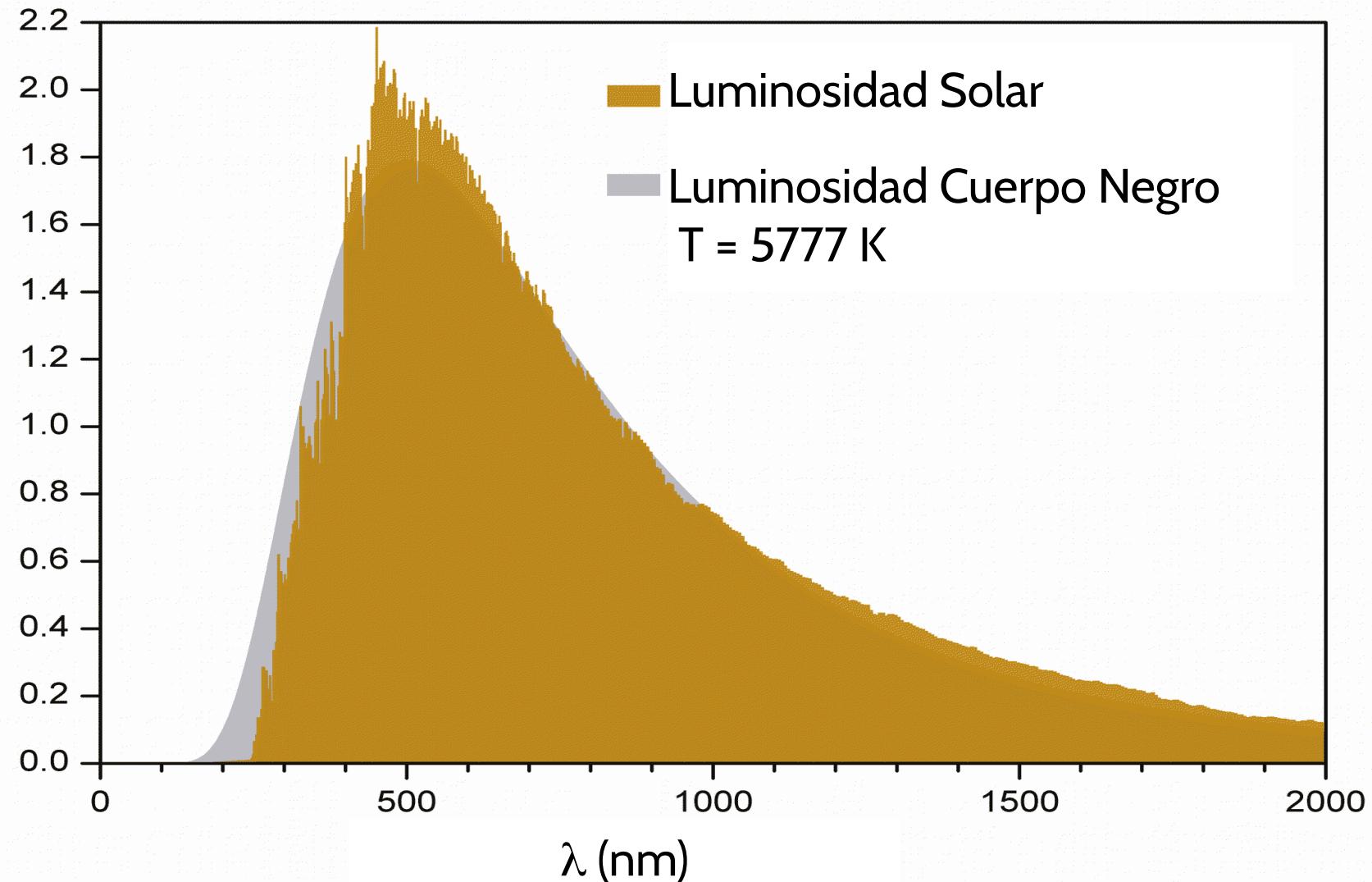
Bellatrix

Rigel

¿Qué ruido hace un fotón al caer? ¡Planck!



El Sol como un cuerpo negro



Nebulosa de Orion

Saiph

Betelgeuse

Alnitak

Alnilam

Mintaka

Bellatrix

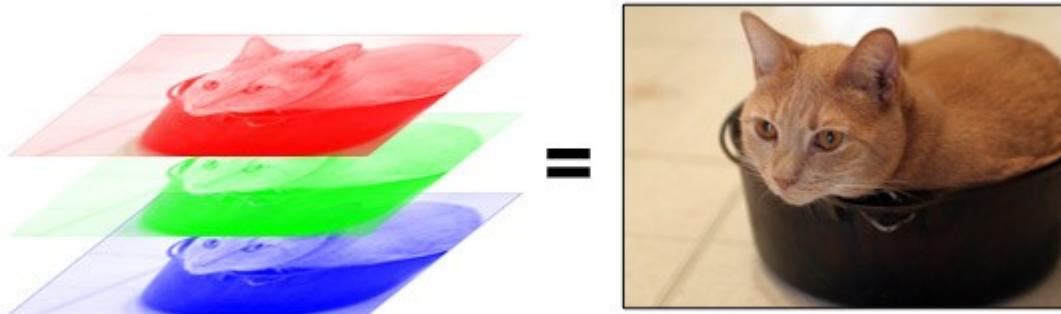
Rigel





“Color” → Temperatura

- ¿Cómo cuantificar el color?

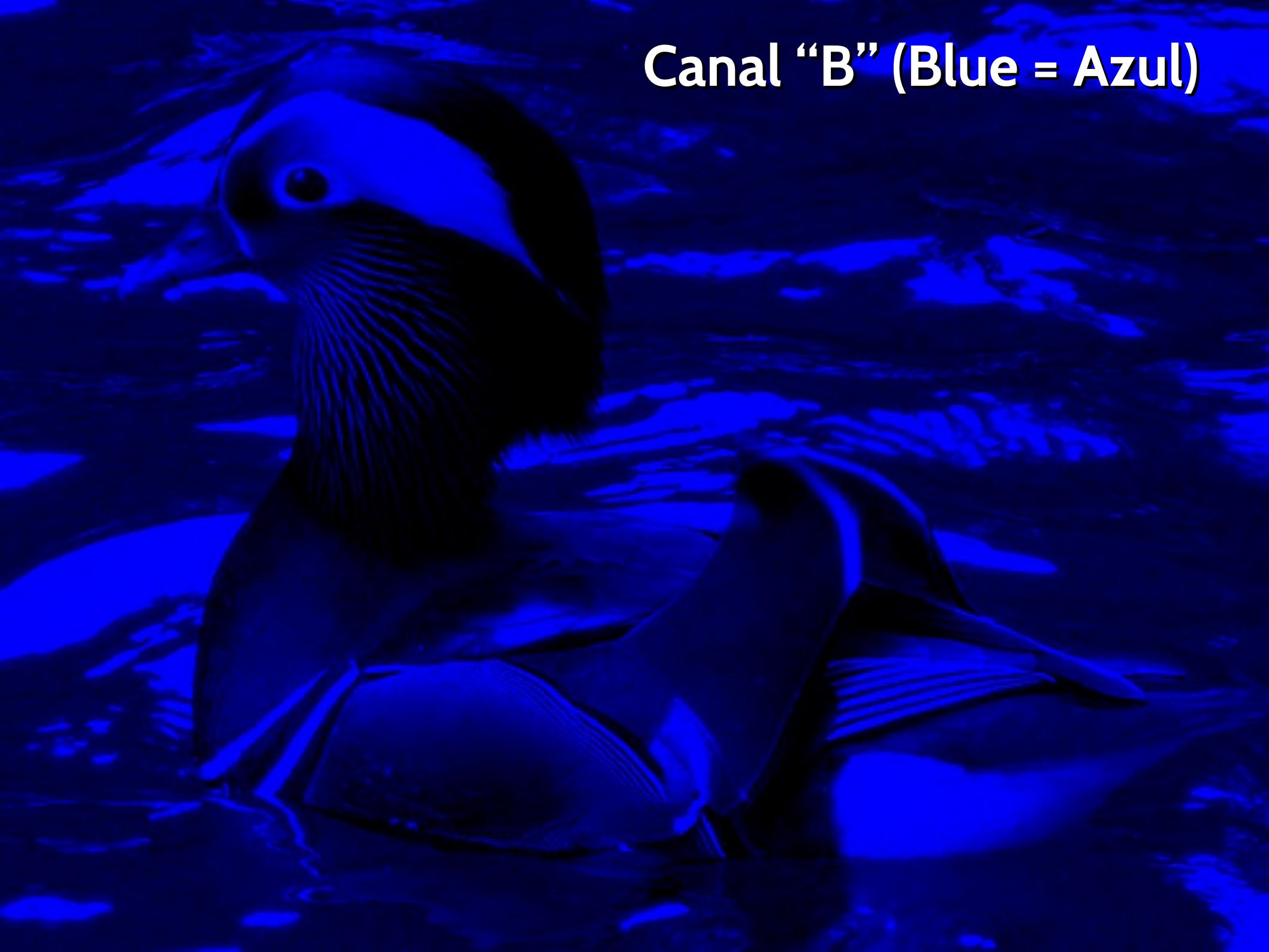




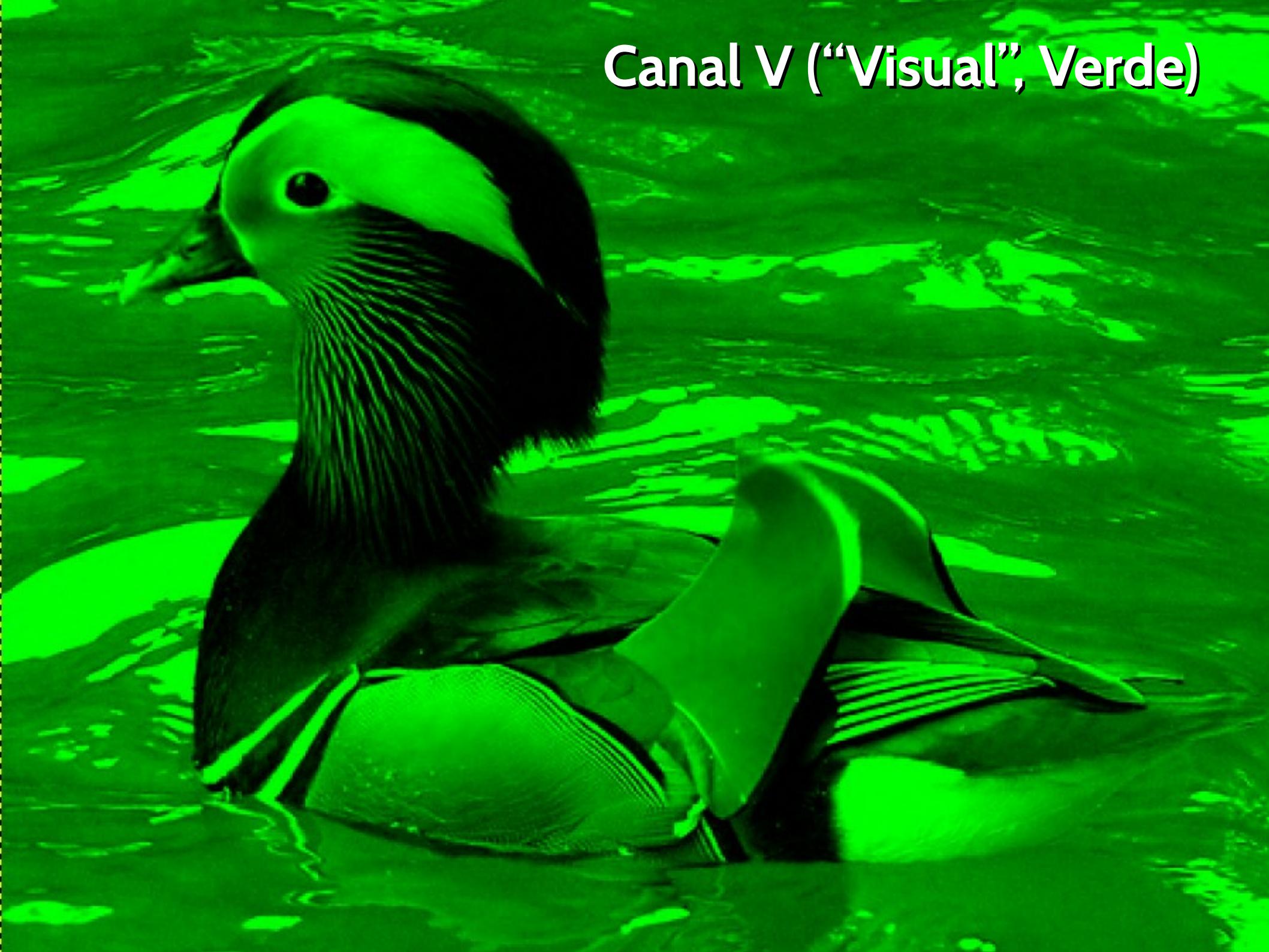
Canal “R” (Red = Rojo)



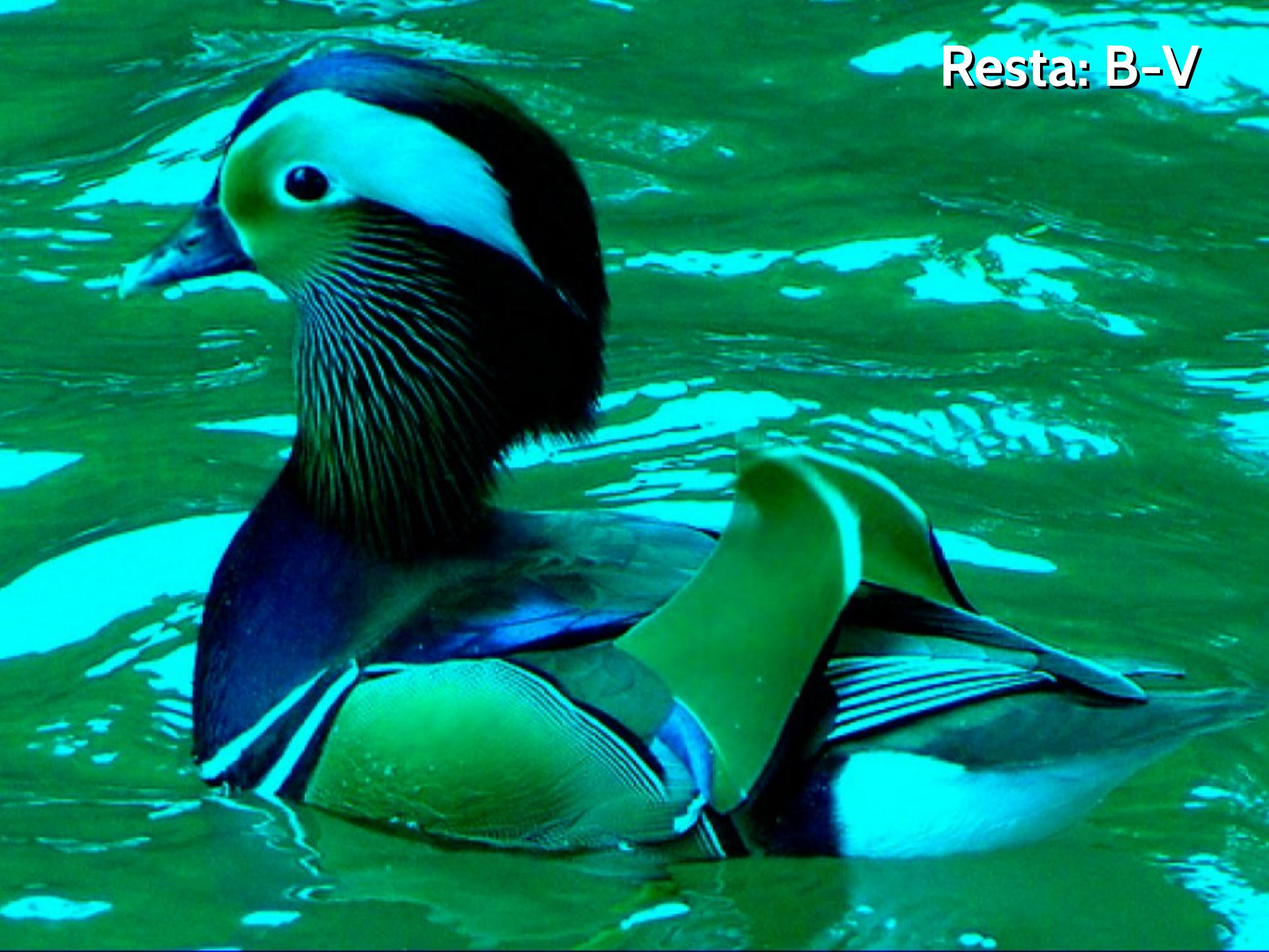
Canal “B” (Blue = Azul)



Canal V (“Visual”, Verde)



Resta: B-V

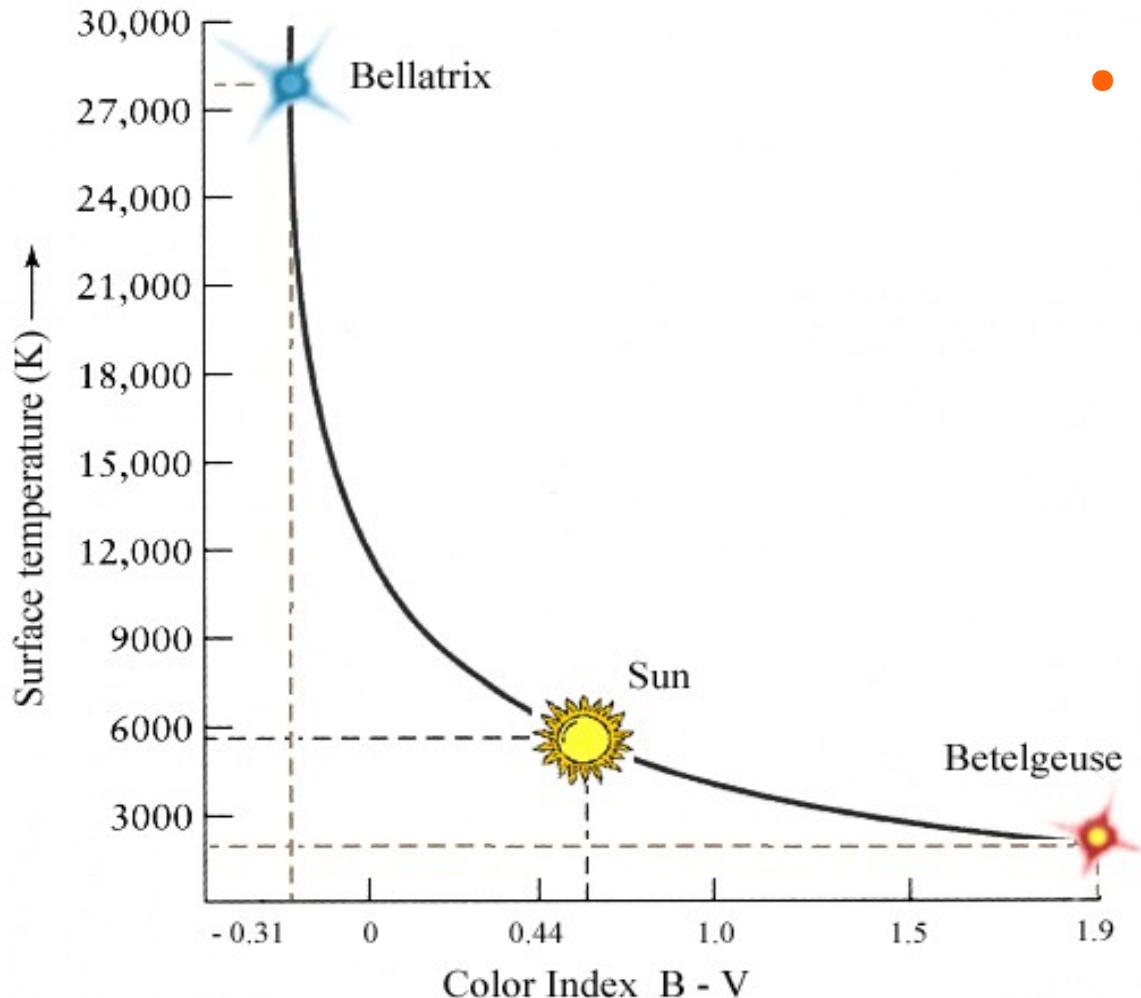




Para las estrellas → magnitudes



Se observa que para estrellas, $B-V \rightarrow T$



- Índice $B-V$

- m_B =magnitud en el canal B
- m_V =magnitud en el canal V

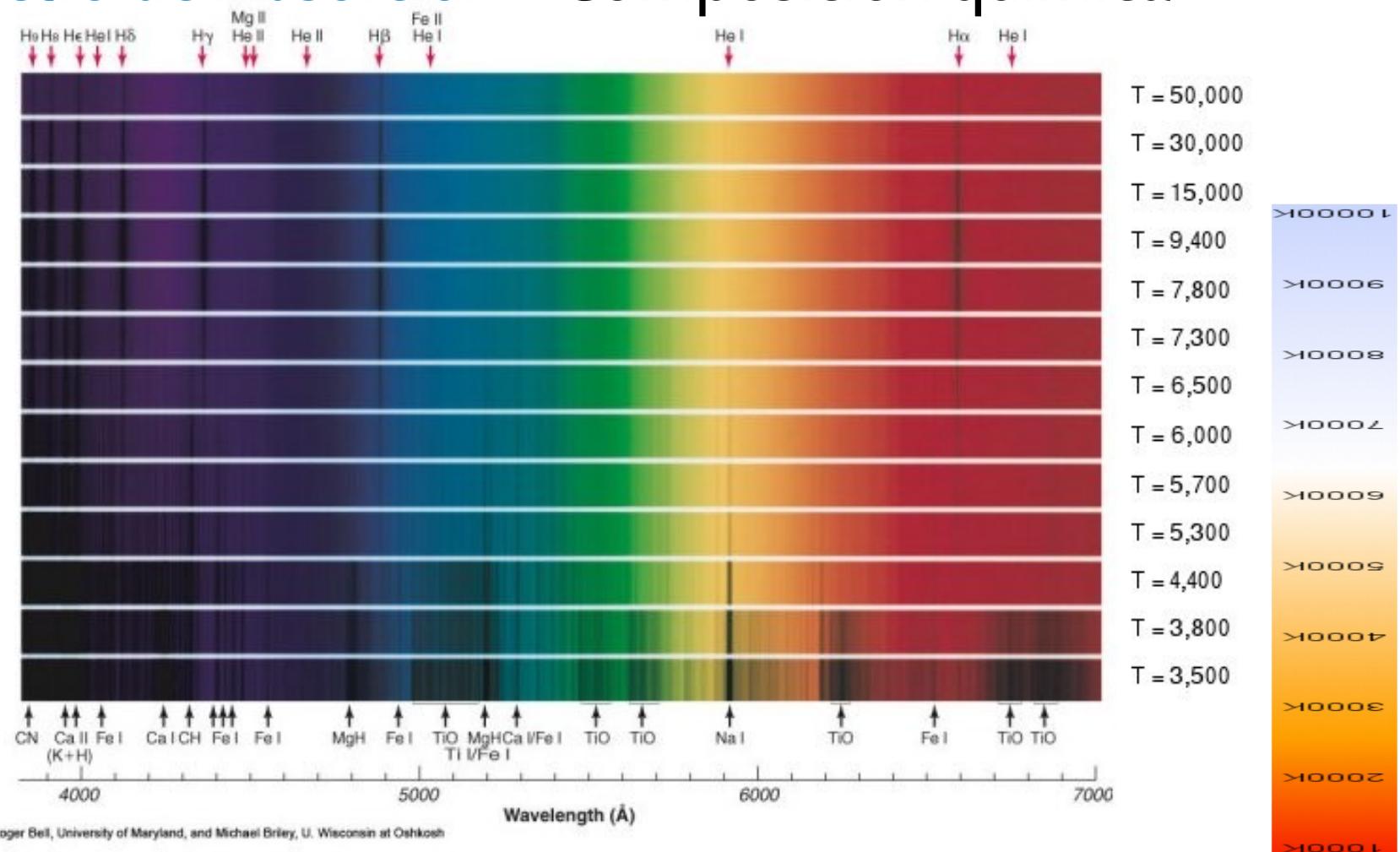
$$(B-V) = m_B - m_V$$

(Recordar que m es logarítmica)

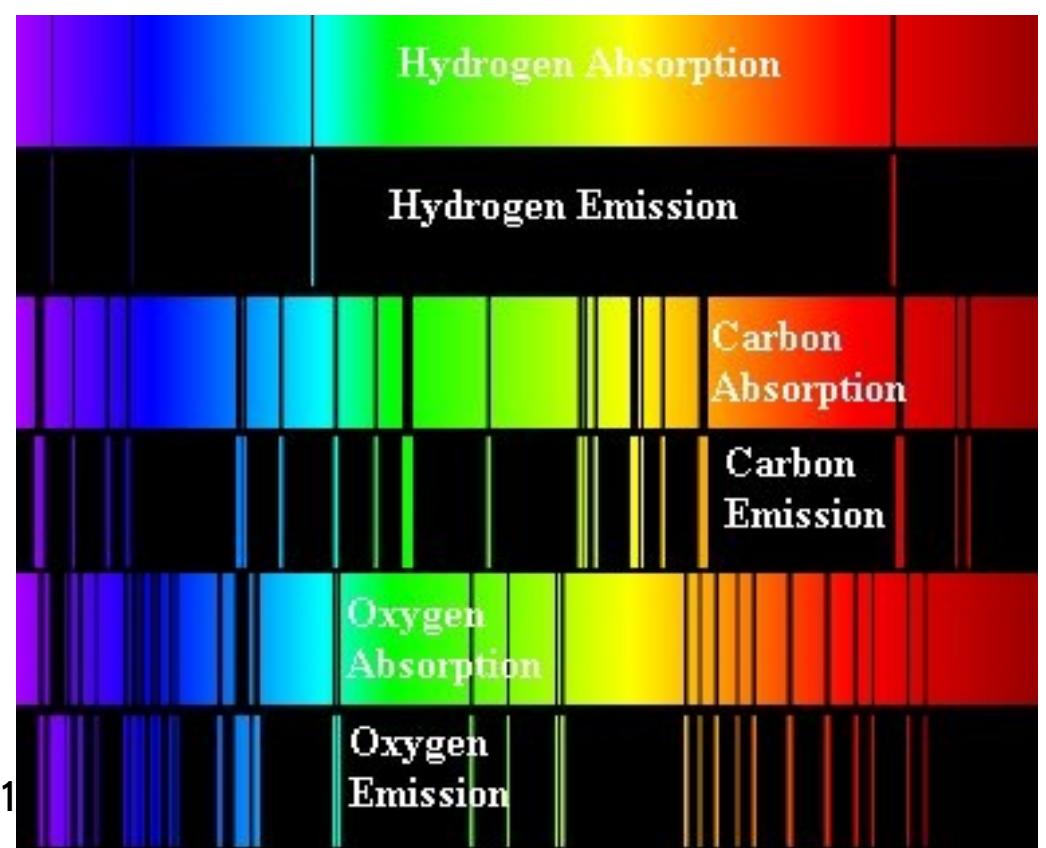
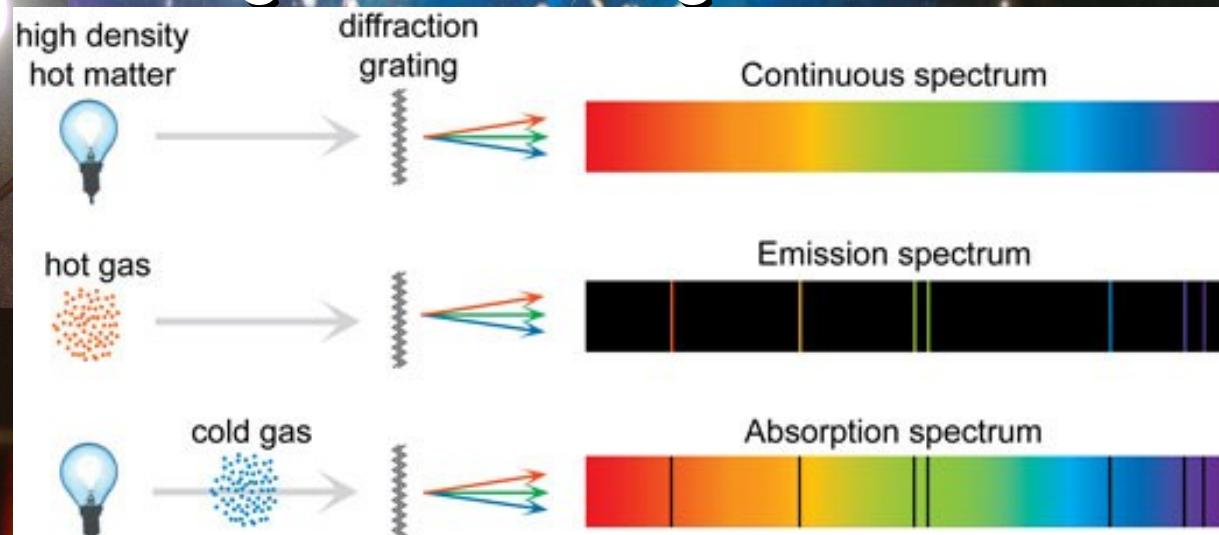
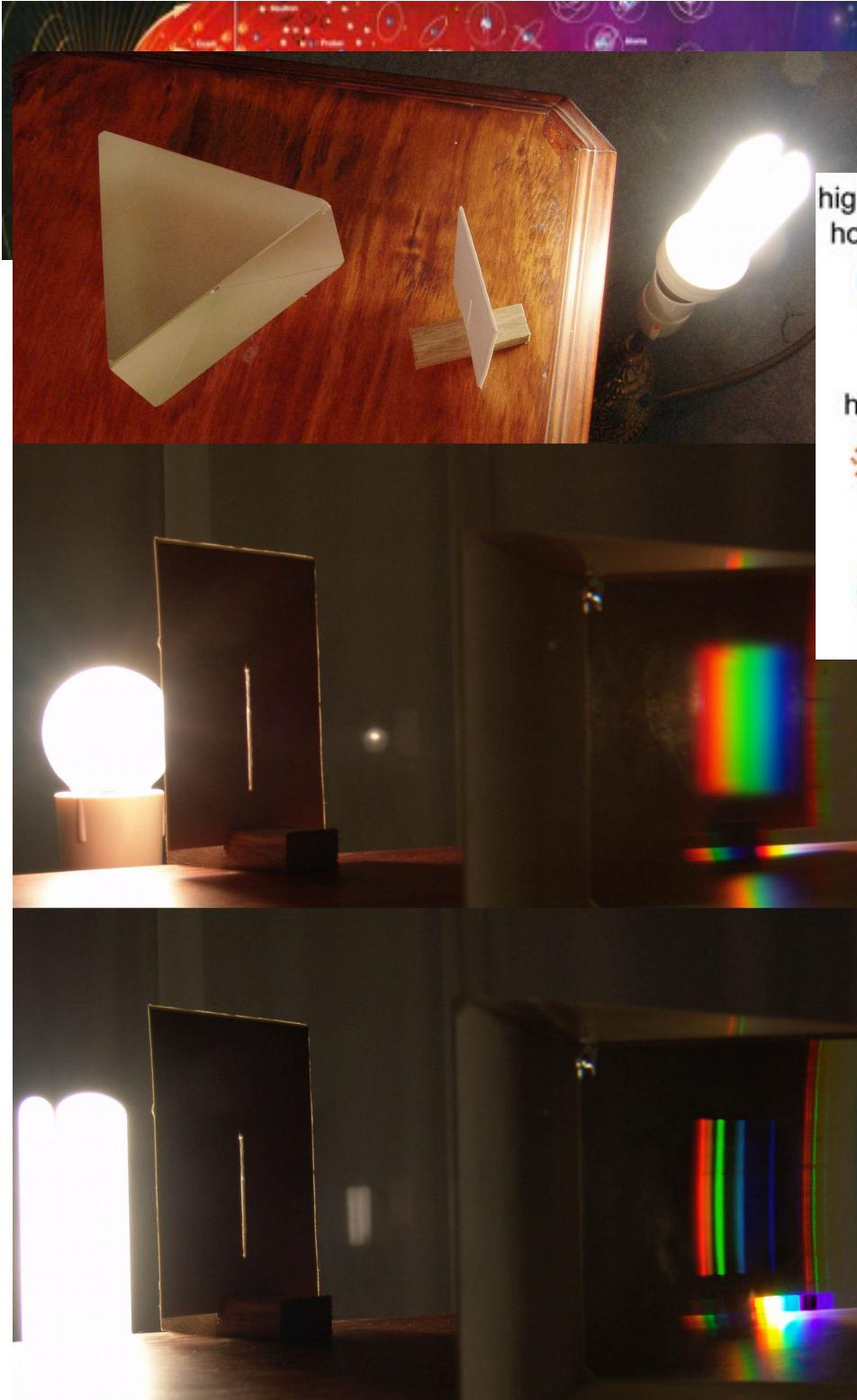
$$T = 4600 \left(\frac{1}{0.92(B-V)+1.7} + \frac{1}{0.92(B-V)+0.62} \right) K$$

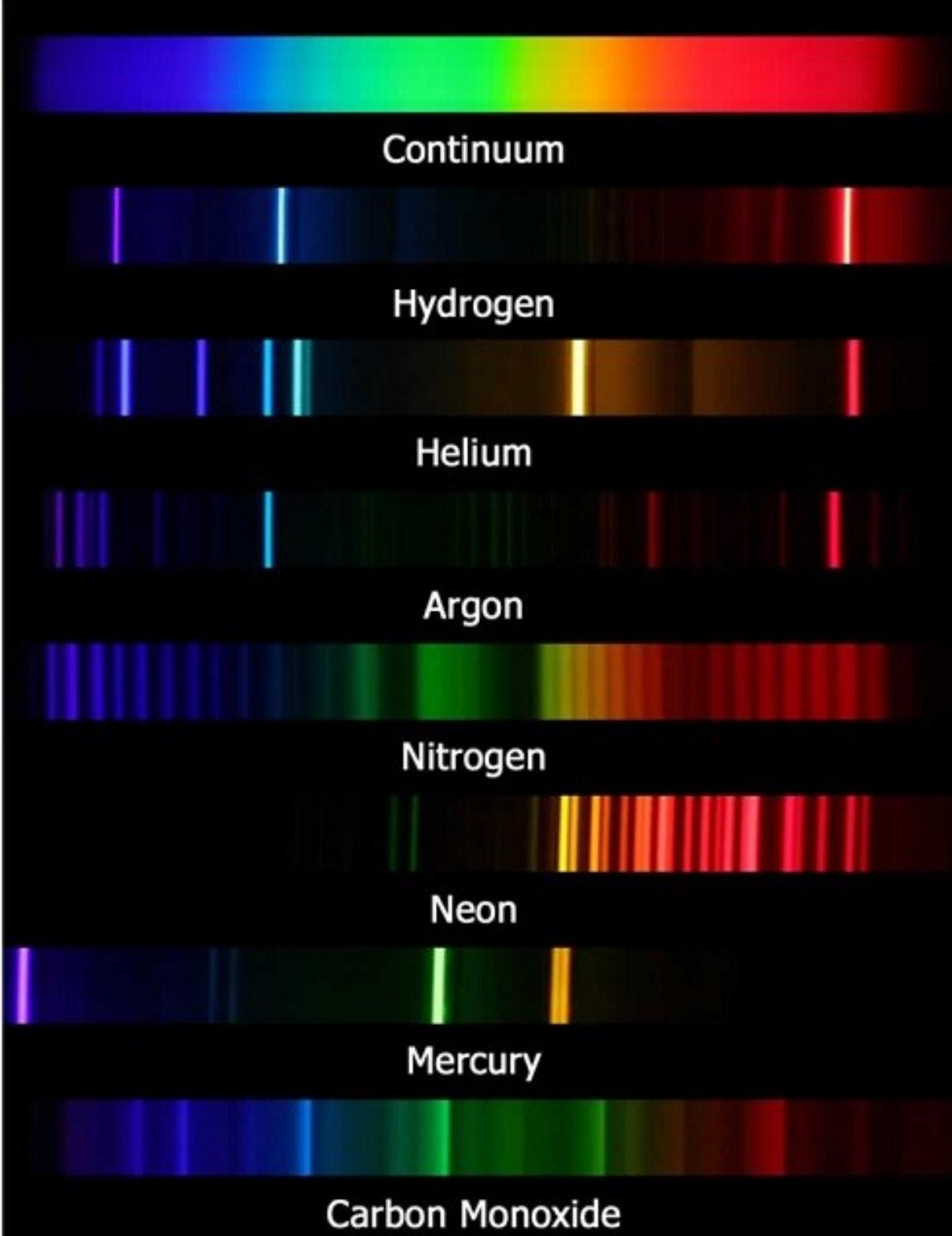
Espectros estelares

- Emisión continua → Cuerpo Negro → Color → Temp.
- Espectro de Absorción → Composición química



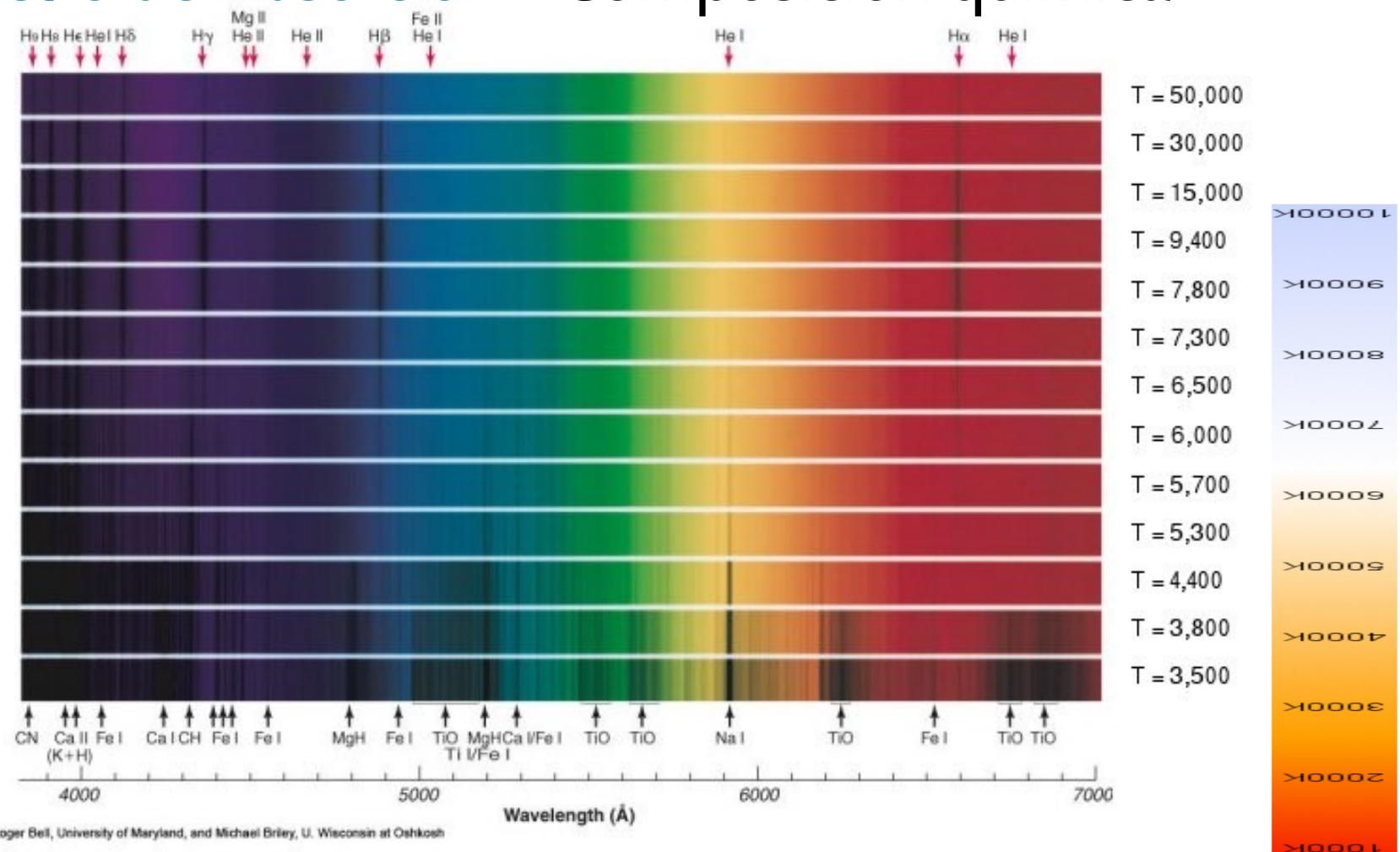
¿Emisión? ¿Absorción?





Espectros estelares

- Emisión continua → Cuerpo Negro → Color → Temp.
- Espectro de Absorción → Composición química



¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

O B A F G K M R N S

- Oh Be A Fine Girl and Kiss Me Right Now Sweet
- Oh Besame Amor, Fasinadora Gitana, Kilómetros Median Rompiendo Nuestros Sueños

Cada clase se divide en 10 subclases, numeradas de 0 a 9

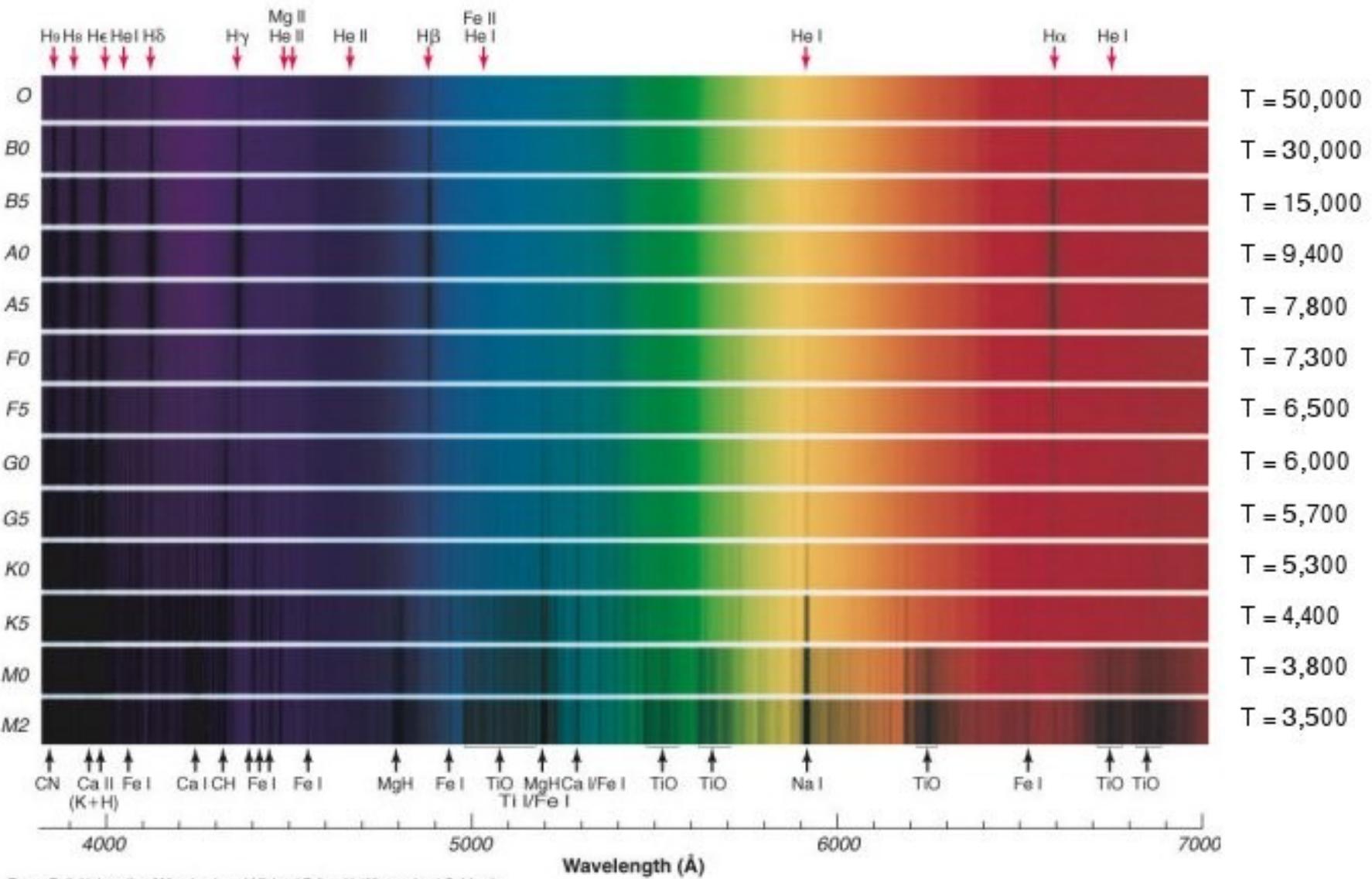




Para decirle a un ser amado

Oh Besame Amor,
Fasinadora Gitana,
Kilómetros Median
Rompiendo Nuestros
Sueños

Clasificación espectral



Roger Bell, University of Maryland, and Michael Briley, U. Wisconsin at Oshkosh



Algunos ejemplos

O	Azul; $T > 33000 \text{ K}$	$M > 16;$ $R > 7;$ $L > 30000$	Mintaka (d-Ori)	
B	Blanco Azulado; $10000 < T < 30000 \text{ K}$	$2 < M < 16;$ $2 < R < 7;$ $25 < L < 30000$	Rigel (b-Ori)	
A	Blanco; $7500 < T < 10000 \text{ K}$	$1.4 < M < 2;$ $1.4 < R < 2;$ $5 < L < 25$	Sirio (a-CMa)	
F	Blanco Amarillento $6000 < T < 7500 \text{ K}$	$1.04 < M < 2;$ $1.1 < R < 1.4;$ $1.5 < L < 5$	Canopus (a-Car)	
G	Amarillo $5200 < T < 6000 \text{ K}$	$0.8 < M < 1.04;$ $0.9 < R < 1.1;$ $0.6 < L < 1.5$	Sol (el nuestro)	
K	Naranja $3700 < T < 5200 \text{ K}$	$0.5 < M < 0.8;$ $0.7 < R < 0.9;$ $0.08 < L < 0.6$	Arturo (a-Boo)	
M	Rojas $T < 3700 \text{ K}$	$M < 0.5;$ $R < 0.7;$ $L < 0.08$	Gliese 581 (Lib)	

¿Qué define todo?



- **Relaciones entre parámetros:**

- Luminosidad (L)
- Masa (M)
- Temperatura (T)
- Radio (R)

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 4\pi\sigma R^2 T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

- **¿Cuál es el más importante en condiciones normales?**

- **Cantidad de materia → Masa**
- Está fijada por condiciones externas → Nacimiento

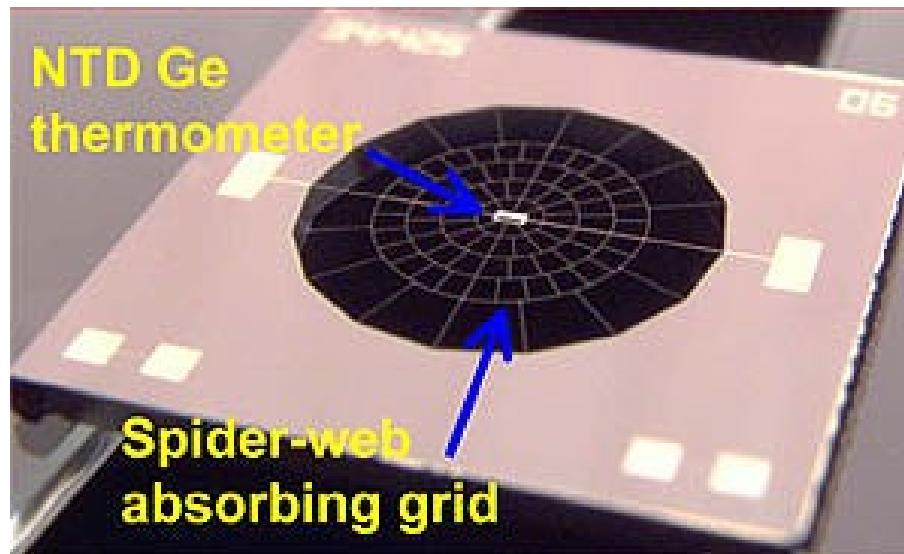
Para entender la estrella

- Debemos averiguar estos parámetros:
 - Temperatura (T), Luminosidad (L), Radio estelar (R), Masa (M)



¿Cómo se mide la luminosidad?

- **Bolómetro: instrumento para medir el flujo de radiación electromagnética en distintas bandas (IR,V,UV...)**



- Uso la definición del flujo sobre la superficie esfera:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

- Conociendo la distancia d (próxima unidad), puedo calcular la luminosidad:

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

- Ó, conociendo L , calculo d

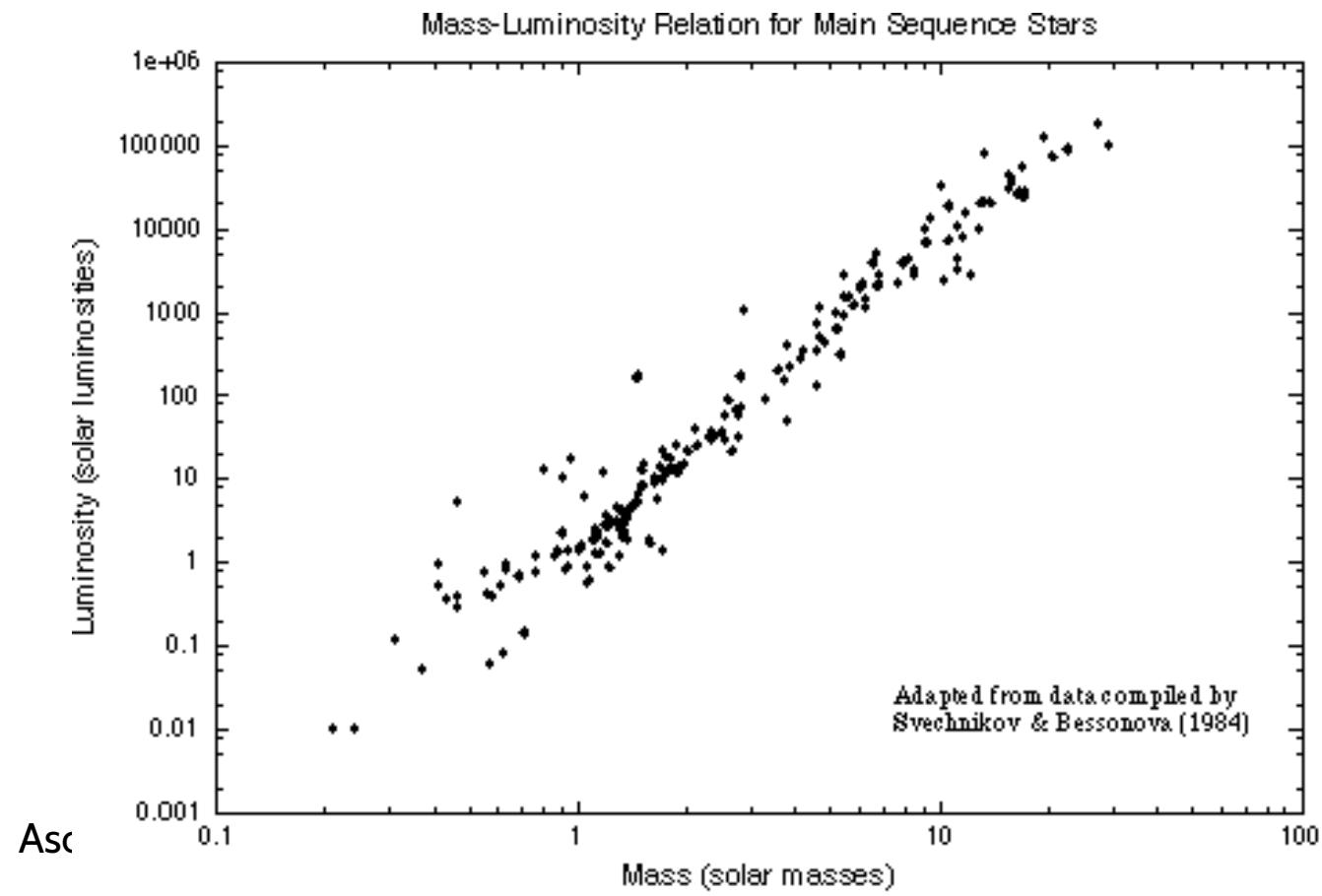
$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

Luminosidad → Masa

- Si: $(0.1 < \text{Masa Estelar} < 50)$ masas solares:
L es proporcional a la M^4
- Nota: En general, M^a , con a entre 3 y 4 (~ masa)

$$\left(\frac{L_{\text{Estrella}}}{L_{\text{Sol}}} \right) = \left(\frac{M_{\text{Estrella}}}{M_{\text{Sol}}} \right)^4$$

Oct 11, 2018

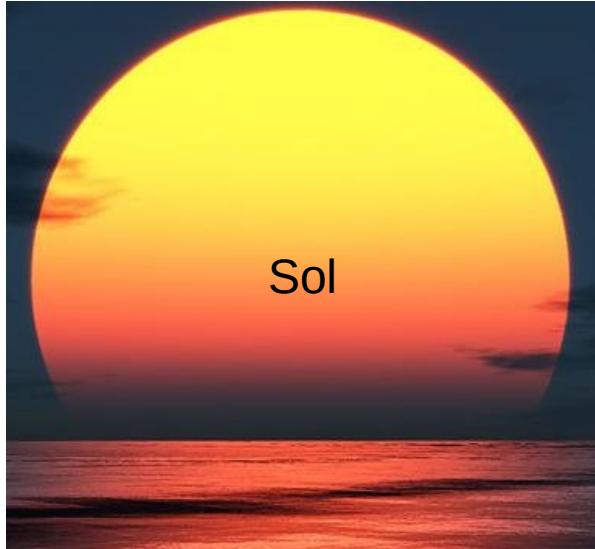




Luminosidad → Masa

- Ejemplo

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$
- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$
- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

**Menor temperatura,
menos emisión
Pero, la emisión es
mucho mayor**

Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- $T = 5700 \text{ K}$ (Amarilla)
- $L = L_S$

Menor temperatura,
menos emisión
Pero, la emisión es
mucho mayor

- $T = 3400 \text{ K}$ (Roja)
- $L = 135000 L_S$

Betelgeuse debe
ser mucho más
grande que el
Sol



Radio Estelar

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

- Comparando las temperaturas
- ¡Pero también depende del radio!

Radio Estelar



- Veamos.... $(T_B/T_S)^4$
 - $(3400 / 5700)^4 \sim = 1/7.8$
 - Si dependiera sólo de T, el Sol sería 7.8 veces más luminoso que Betelguese
- Pero...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2) \sigma T_B^4] / [(4\pi R_S^2) \sigma T_S^4]$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 (T_B/T_S)^4$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 / 7.8$$

$$1.053 \times 10^6 = (R_B/R_S)^2$$

- Veamos.... $(T_B/T_S)^4$

$$R_B = 1026 R_{\text{Sol}}$$

Betelgeuse es una supergigante roja

mas luminoso que Betelgeuse

- Pero...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2) \sigma T_B^4] / [(4\pi R_S^2) \sigma T_S^4]$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 (T_B/T_S)^4$$

$$135000 = (R_B/R_S)^2 / 7.8$$

$$1.053 \times 10^6 = (R_B/R_S)^2$$



Tamaños estelares

