Universidad Nacional de Río Negro
Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2016

- **Unidad** 02 – Astrofísica
- **Clase** 0203 – 08/16
- **Fecha** 29 Sep 2016
- **Cont** Estrellas 3
- **Cátedra** Asorey
- **Web** github.com/asoreyh/unrn-ipac
- **Youtube** próximamente
- **Archivo** a-2016-U02-C03-0929-estrellas-3

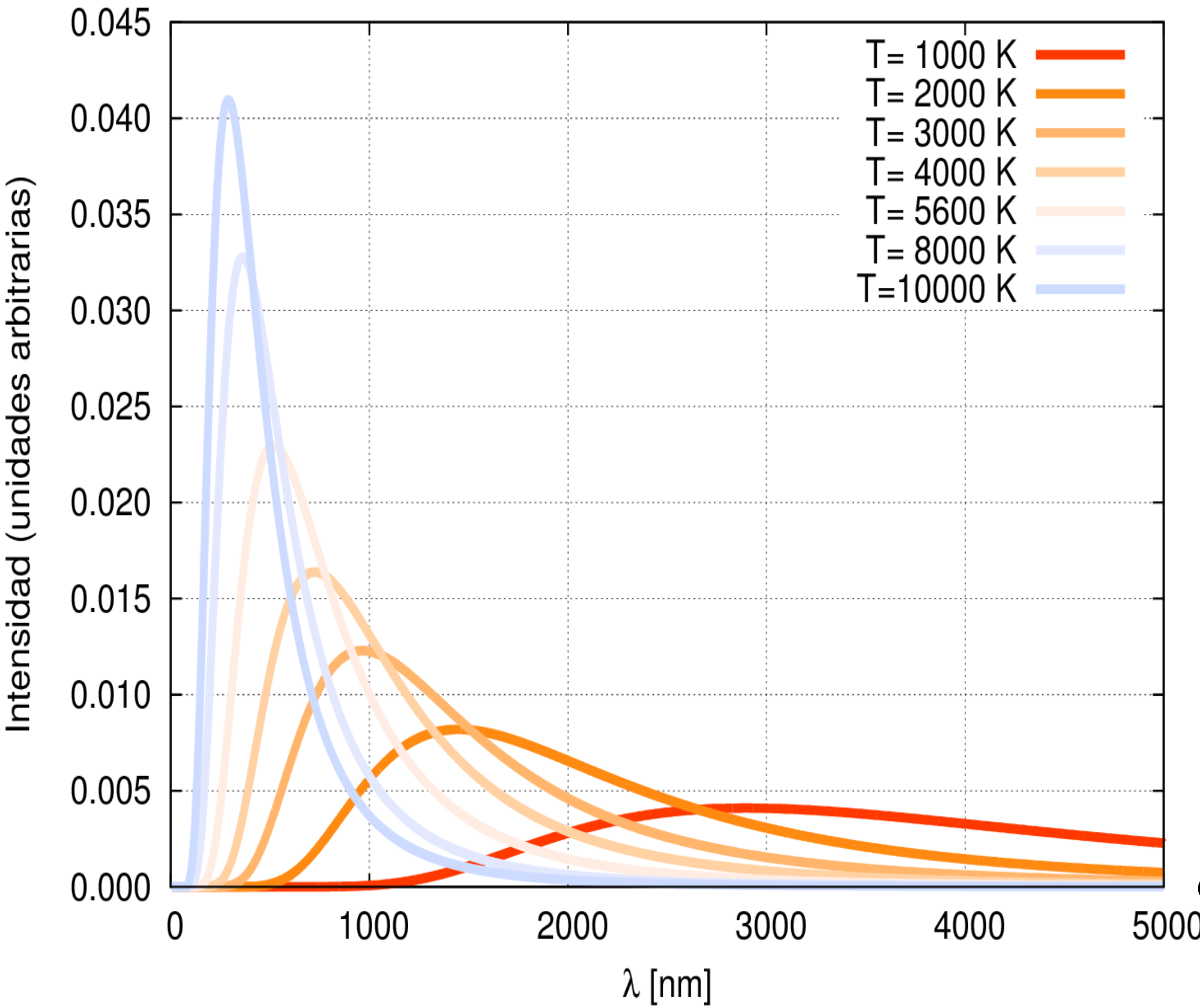
RIO NEGRO

Contenidos: un viaje en el tiempo

Mismo objeto: Infrarrojo y visible

http://crispme.com/50-amazing-examples-of-infrared-photography/

¿Qué ruido hace un fotón al caer?



- Ley de Wien
  - Posición de λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}$$

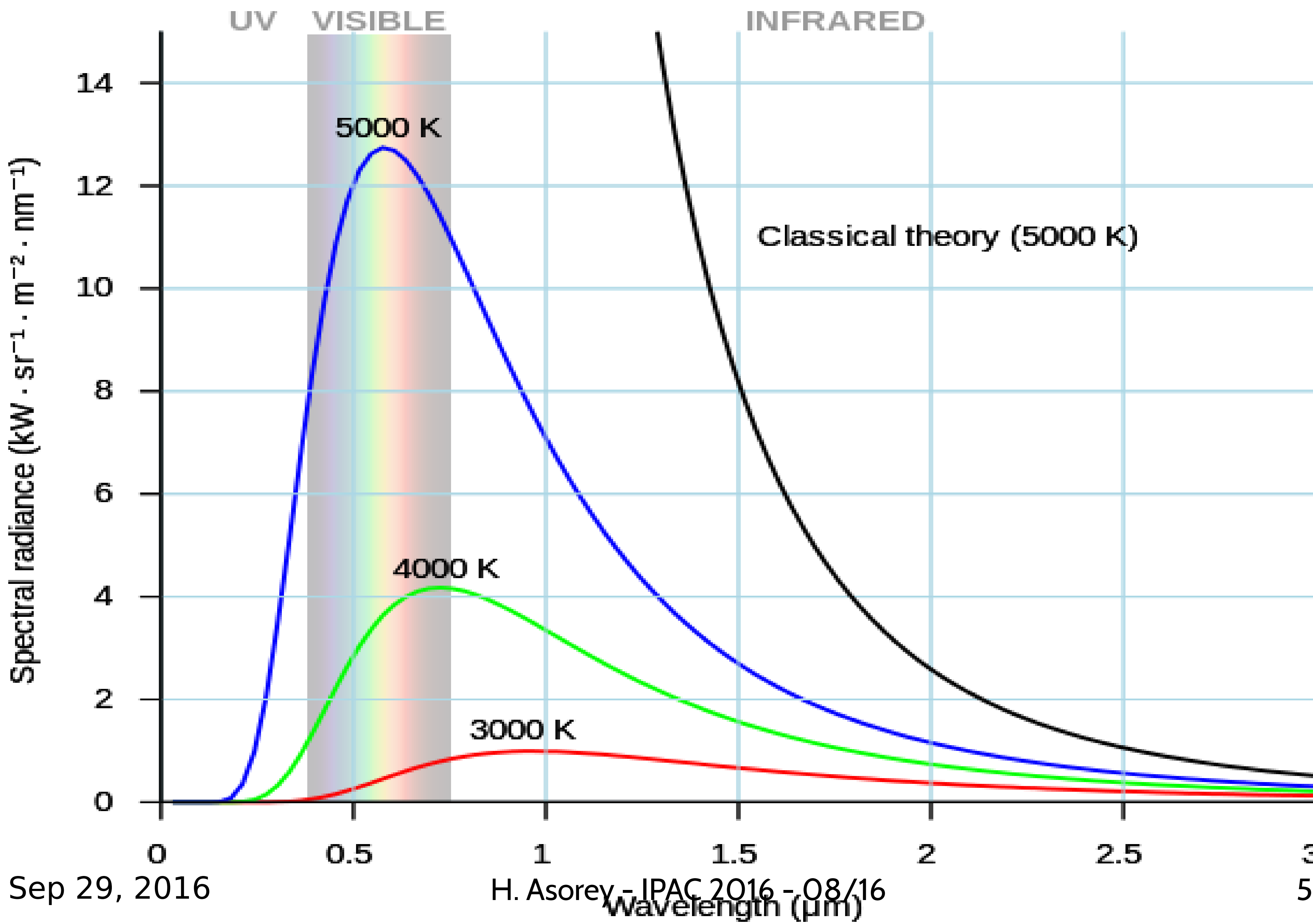
$$b = 2.9\, mm\, K$$

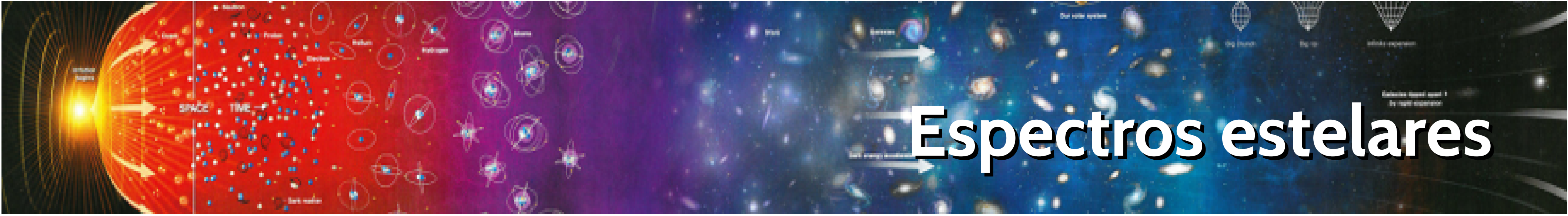
- Ley de Stefan-Boltzmann

$$L \equiv \frac{\Delta E}{\Delta t} = \sigma A T^4$$

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

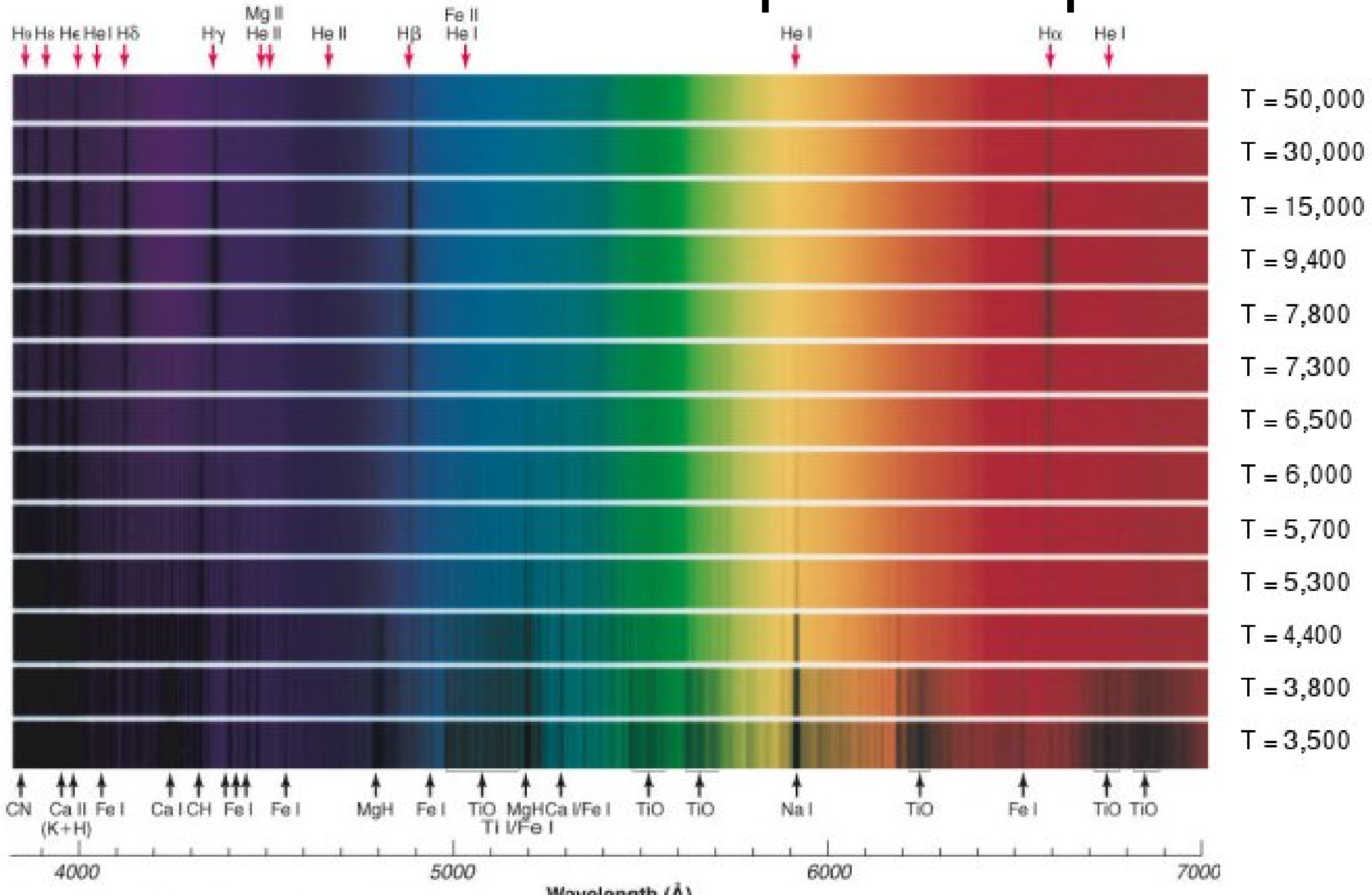
El color dependerá de la emisión integrada en la región visible del espectro



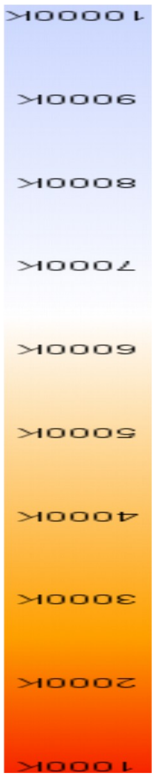


Espectros estelares

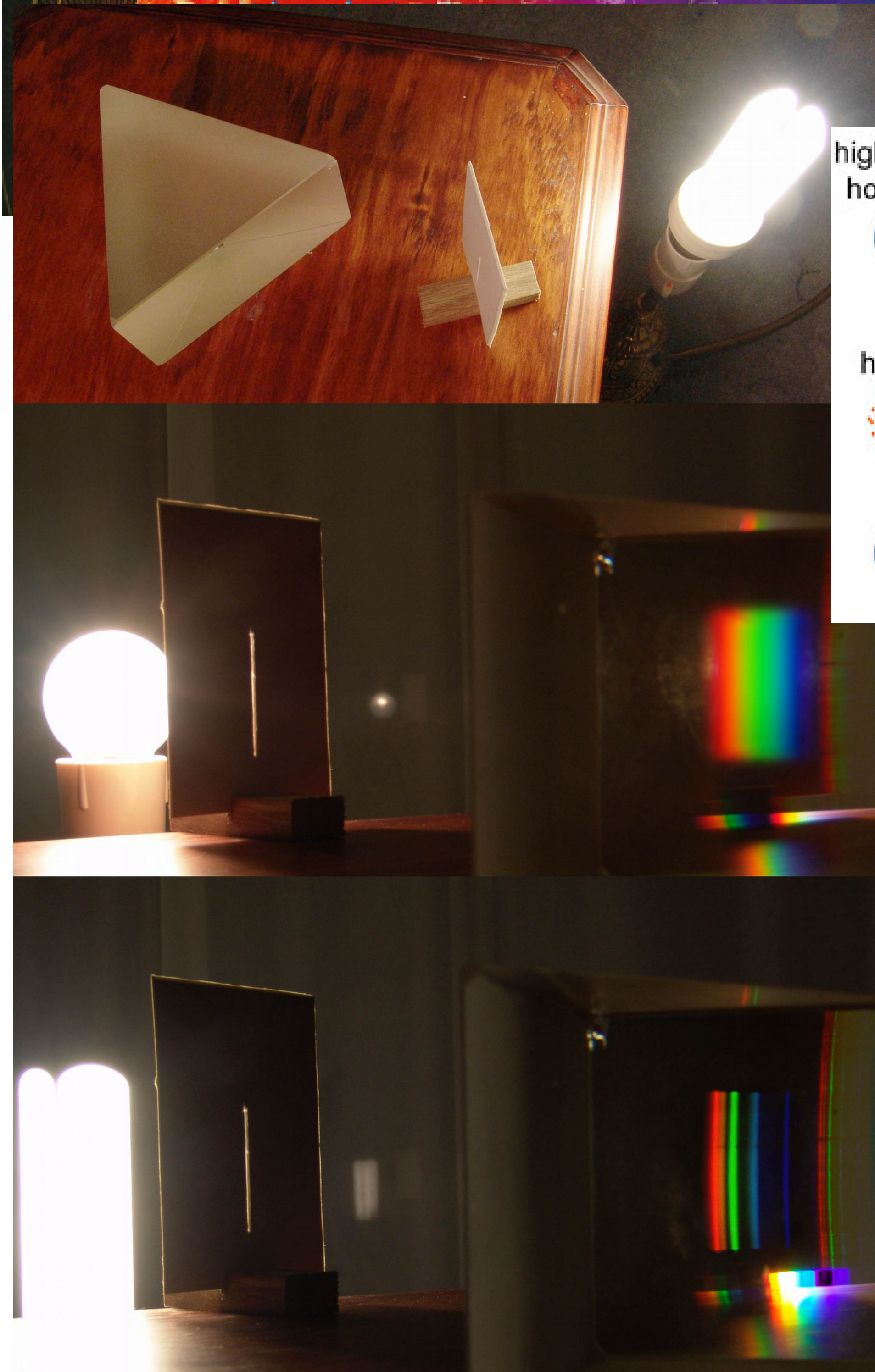
- Emisión continua→Cuerpo Negro→ Color→Temp.
- Espectro de Absorción→Composición química

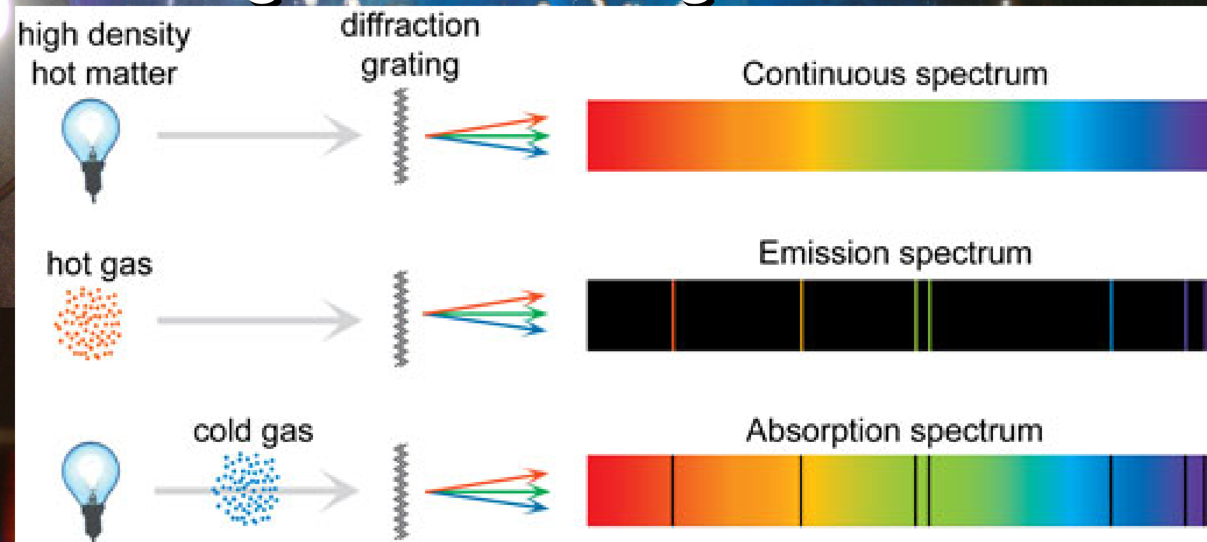


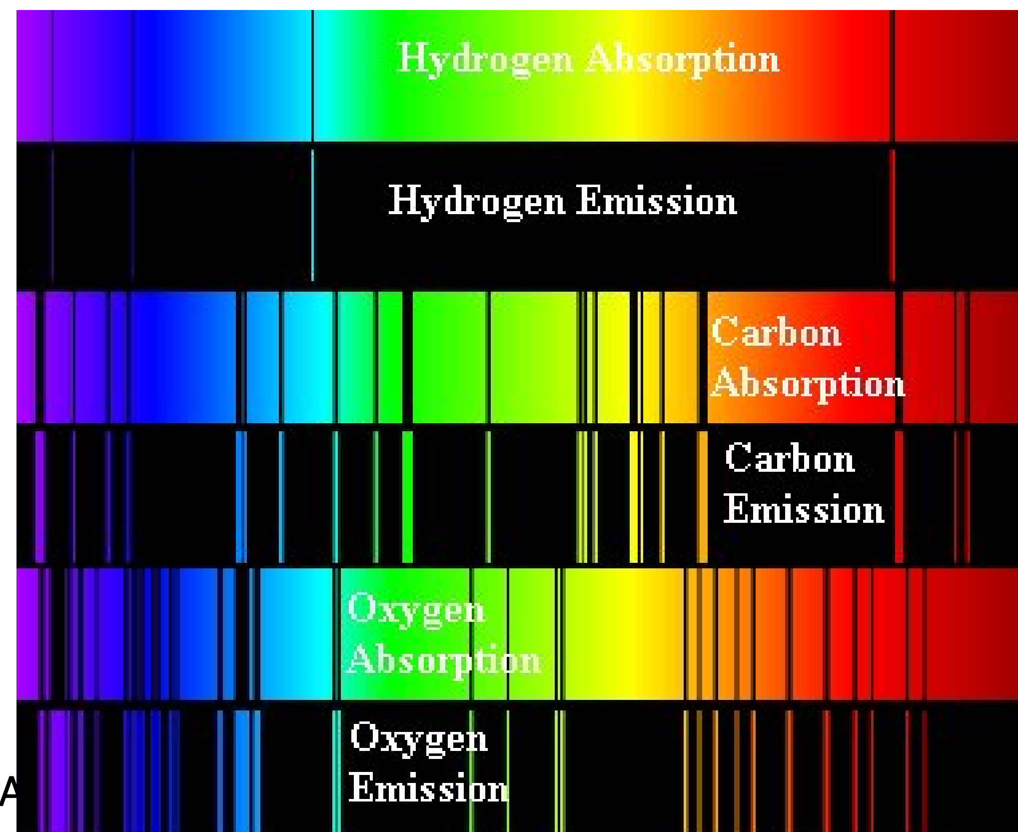
Roger Bell, University of Maryland, and Michael Briley, U. Wisconsin at Oshkosh



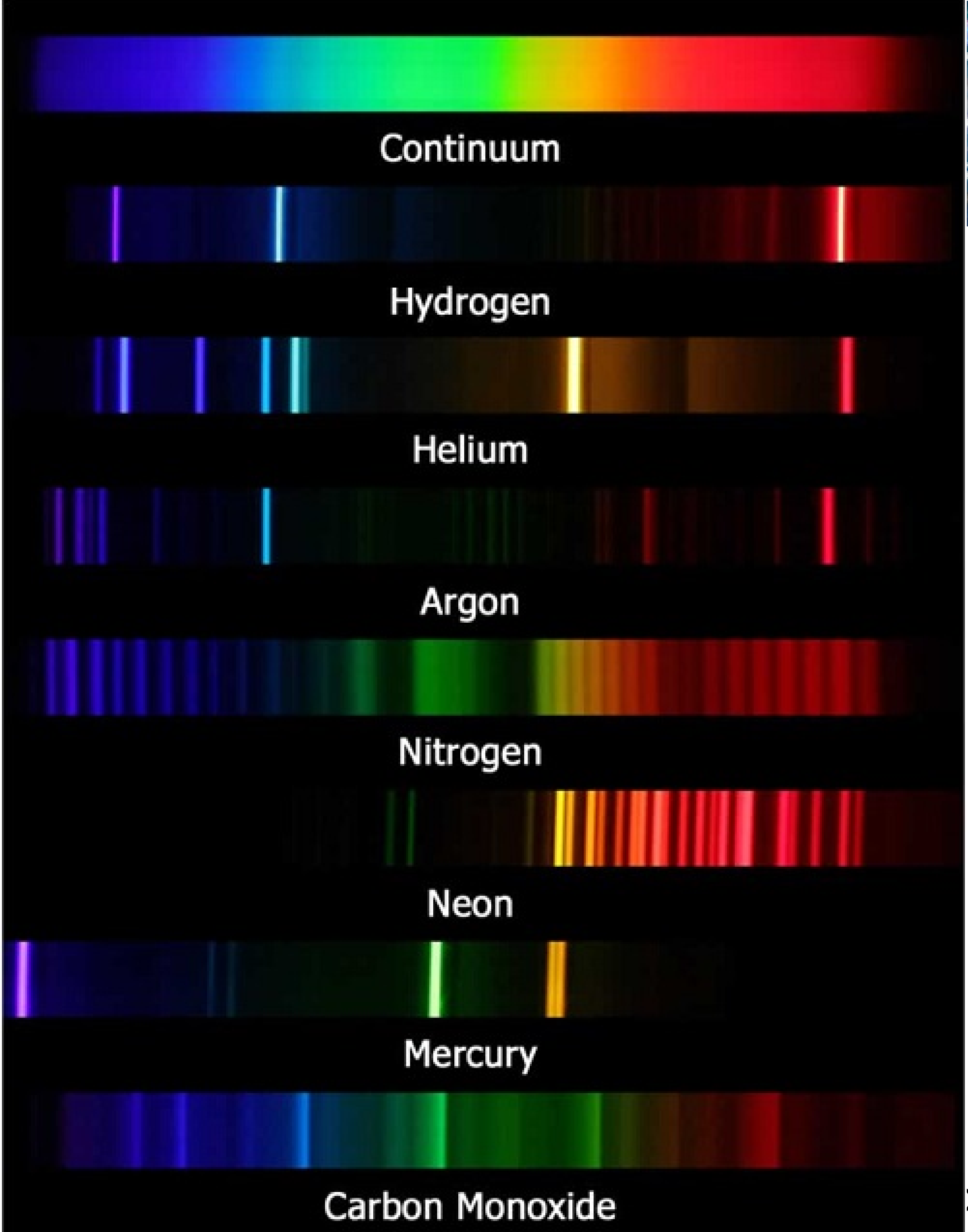
¿Emisión? ¿Absorción?

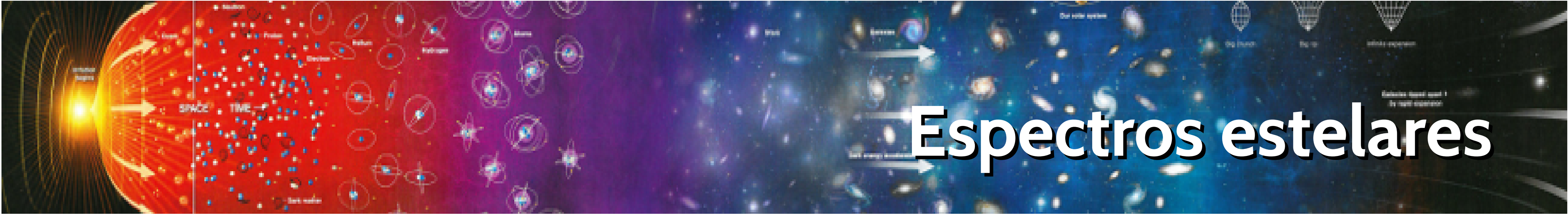






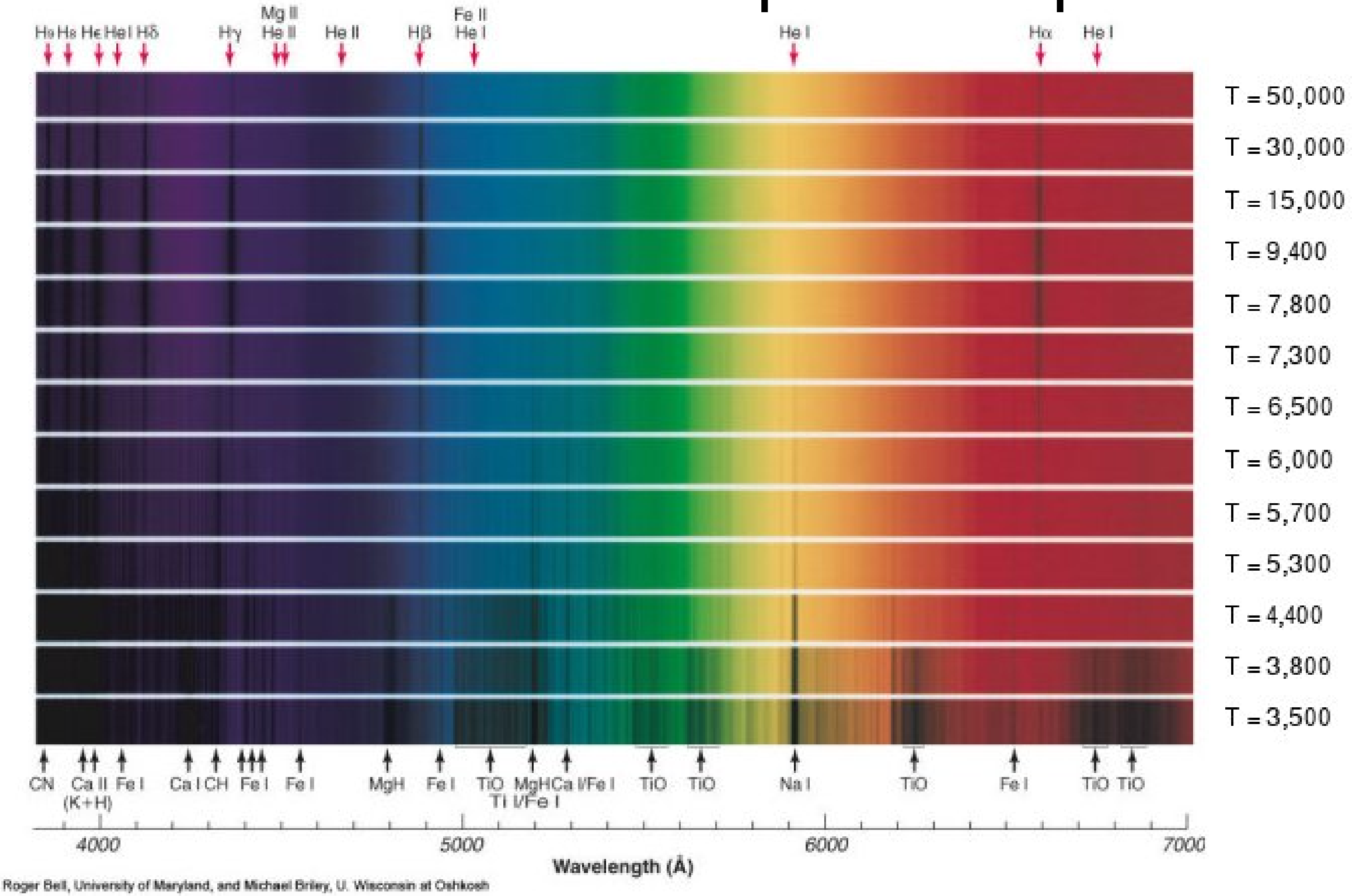
Espectrómetro CD

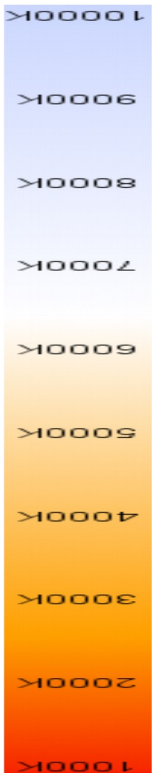




Espectros estelares

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



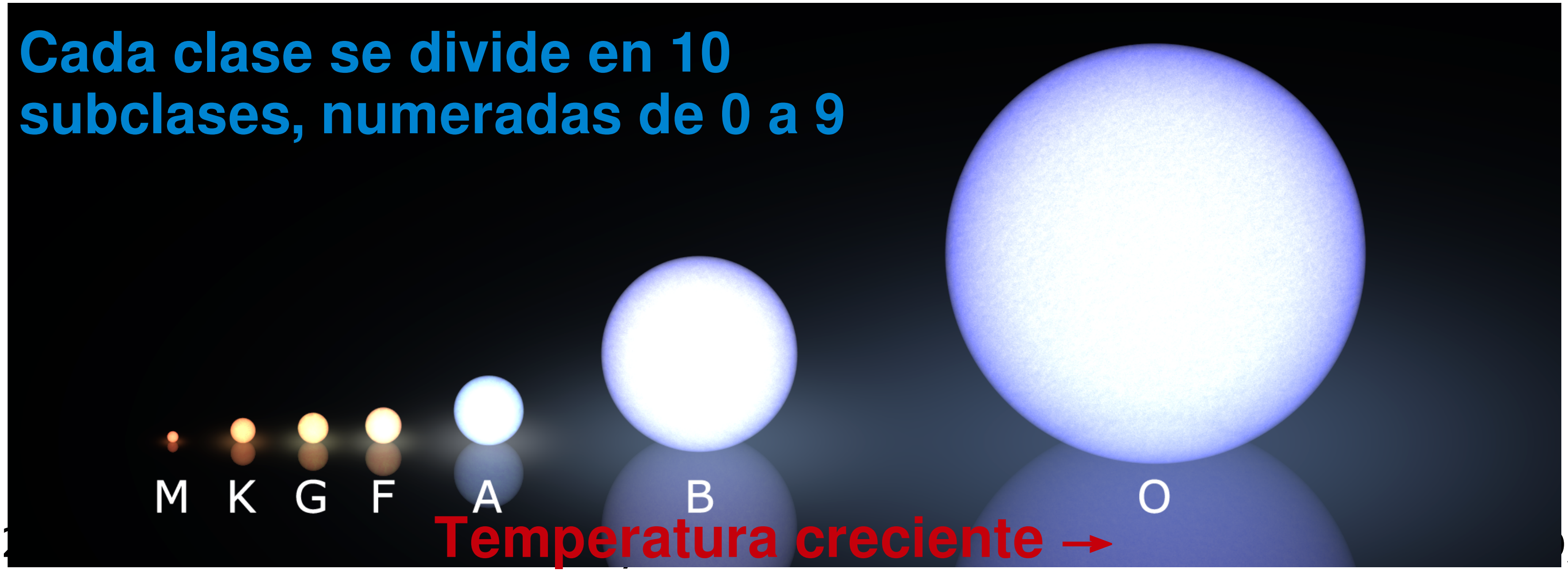


¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

O B A F G K M R N S

- **O**h **B**e **A** **F**ine **G**irl and **K**iss **M**e **R**ight **N**ow **S**weet
- **O**h **B**esame **A**mor, **F**asinadora **G**itana, **K**ilómetros **M**edian **R**ompiendo **N**uestros **S**ueños



¿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:

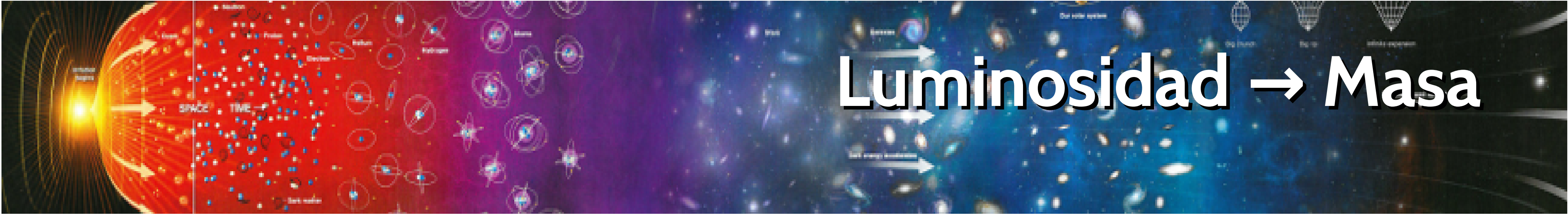
$$F=\frac{L}{4\pi d^2}$$

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

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

- Ó, conociendo L, calculo ***d***

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

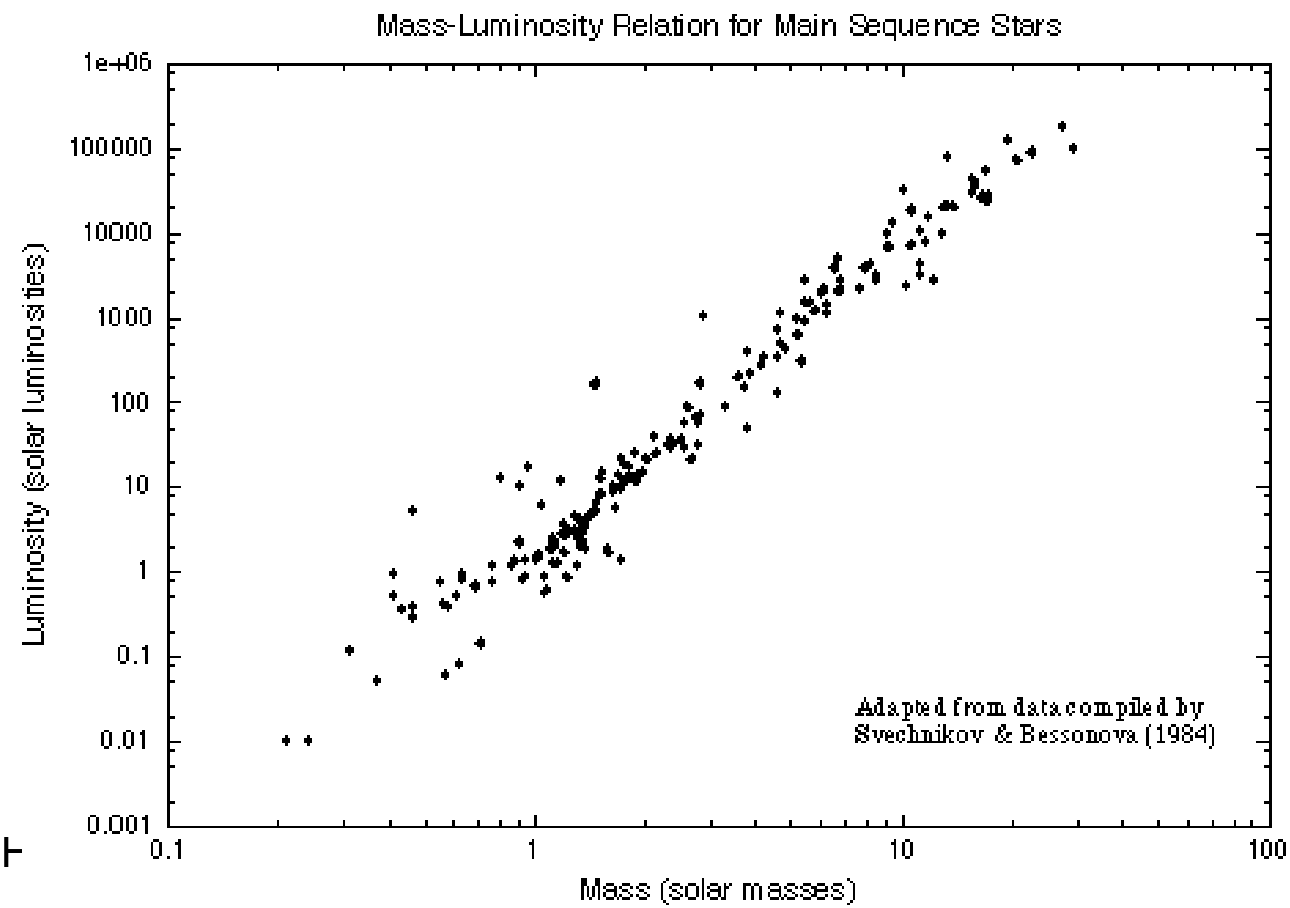


Luminosidad → Masa

- Si: (0.1 < Masa Estelar < 50) masas solares:

  L es proporcional a la M^4

- Nota: En general, M^a , con **a** entre 3 y 4 (~ masa)

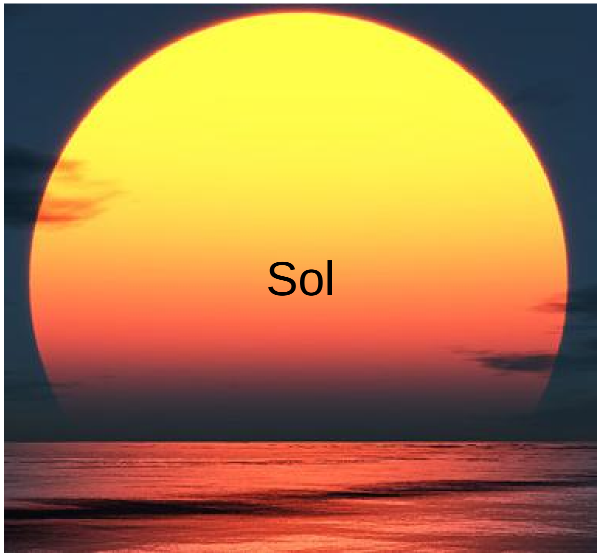


$$\left(\frac{L_{Estrella}}{L_{Sol}}\right)=\left(\frac{M_{Estrella}}{M_{Sol}}\right)^4$$

Luminosidad → Masa

- Ejemplo

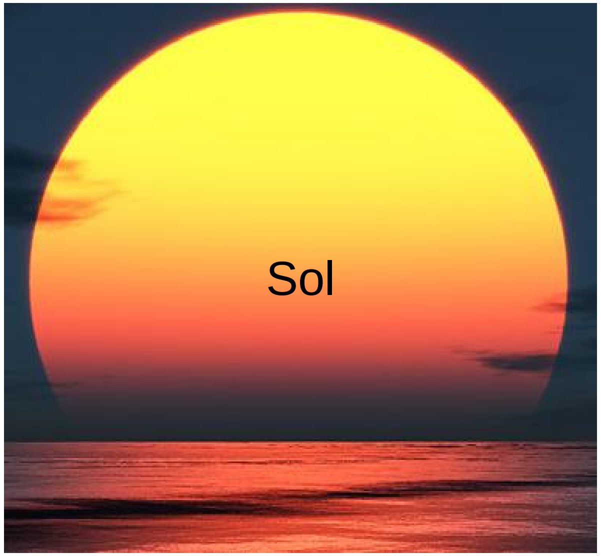
Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- T = 5700 K (Amarilla)
- $L = L_S$

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

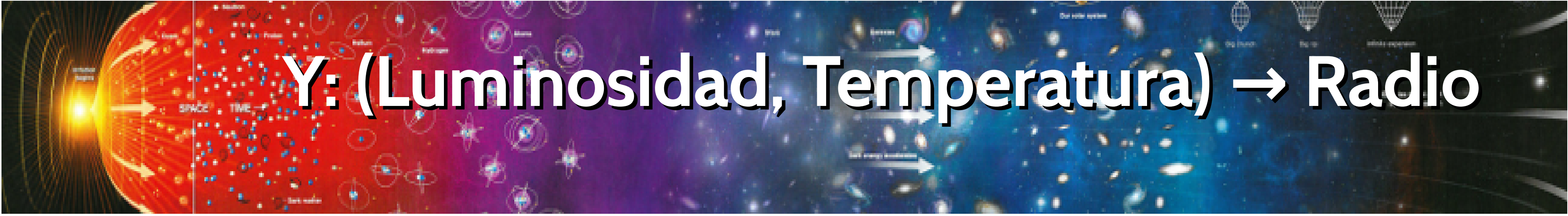
Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



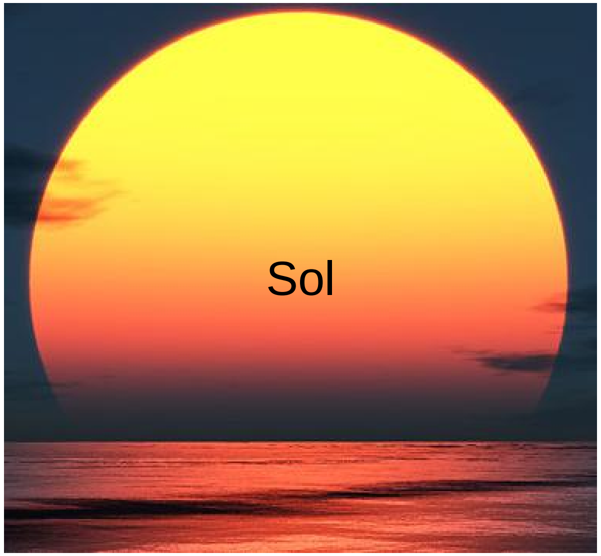
- T = 5700 K (Amarilla)
- L = L_S

- T = 3400 K (Roja)
- L = 135000 L_S

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



Y: (Luminosidad, Temperatura) → Radio



- T = 5700 K (Amarilla)
- $L = L_S$

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

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

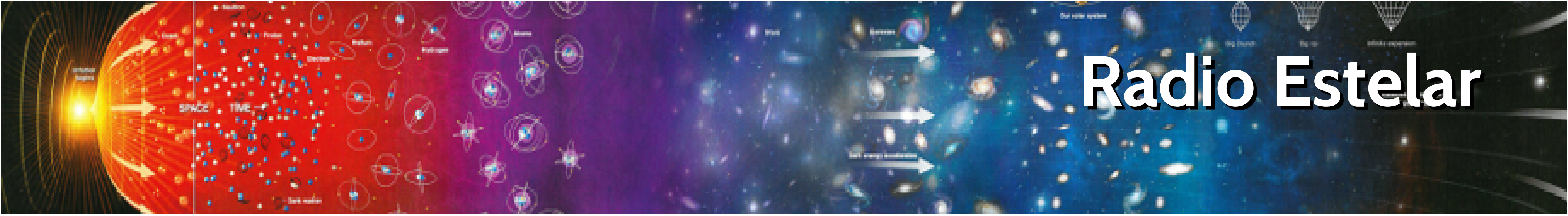
Betelgeuse debe ser mucho más grande que el Sol

Radio Estelar

$$\boxed{L = 4\pi\sigma R^2 T^4}$$

- 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...

$$L_B / L_S = [(4\pi R_B^2)\,\sigma\, T_B^4]/[(4\pi R_S^2)\,\sigma\, T_S^4]$$
$$135000 = (R_B/R_S)^2\,(T_B/T_S)^4$$
$$135000 = (R_B/R_S)^2/7.8$$
$$1.053\text{x}10^6 = (R_B/R_S)^2$$

Radio Estelar

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

$R_B = 1026\ R_{Sol}$

Betelgeuse es una supergigante roja

más luminoso que Betelguese

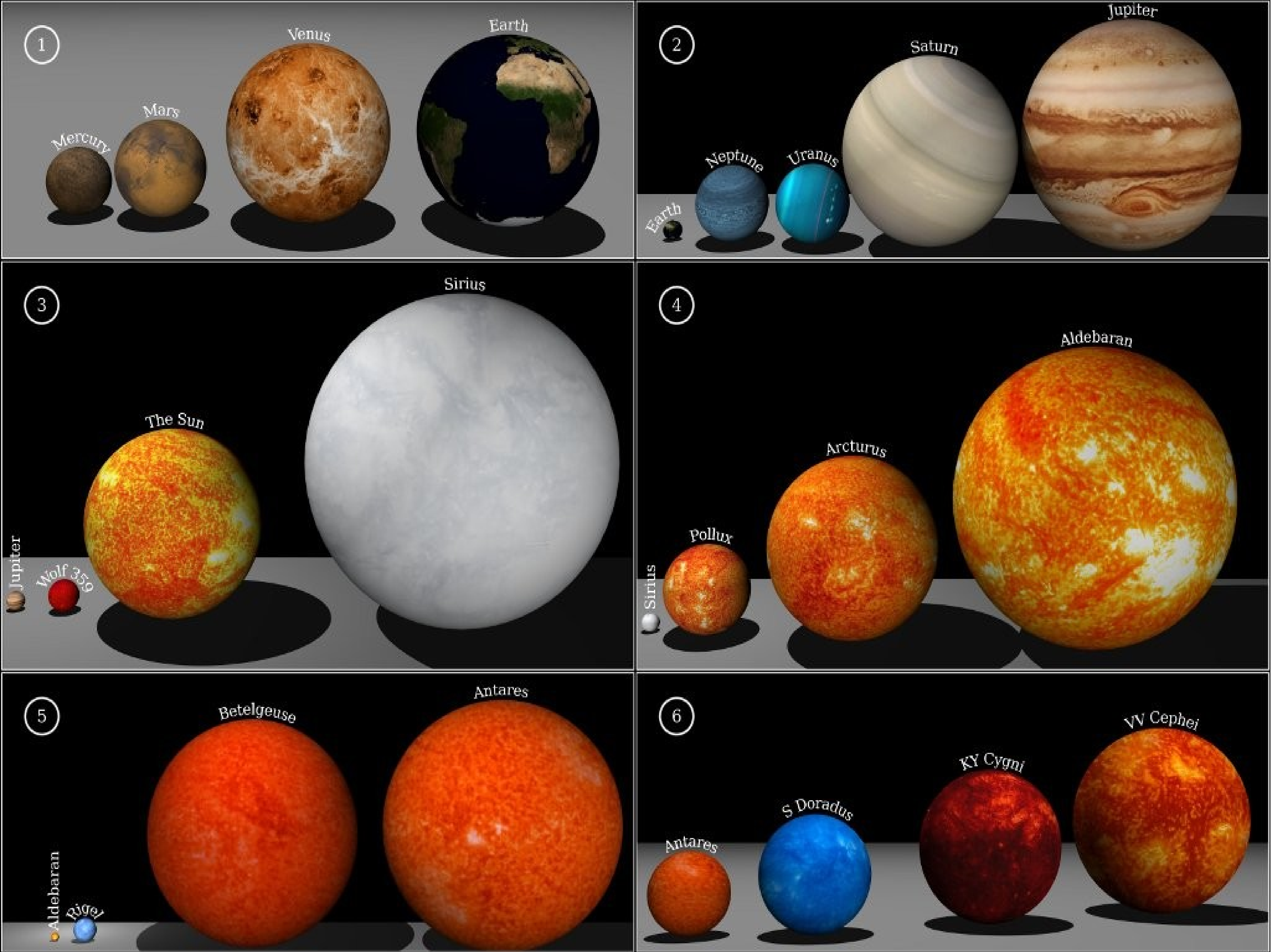
- Pero...

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

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

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

$$1.053\mathrm{x}10^6 = (R_B/R_S)^2$$



1
Mercury
Mars
Venus
Earth
2
Earth
Neptune
Uranus
Saturn
Jupiter
3
Jupiter
Wolf 359
The Sun
Sirius
4
Sirius
Pollux
Arcturus
Aldebaran
5
Aldebaran
Rigel
Betelgeuse
Antares
6
Antares
S Doradus
KY Cygni
VV Cephei

Es cómodo medir las cosas en términos solares

- Masa Solar:

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

- Radio Solar:

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

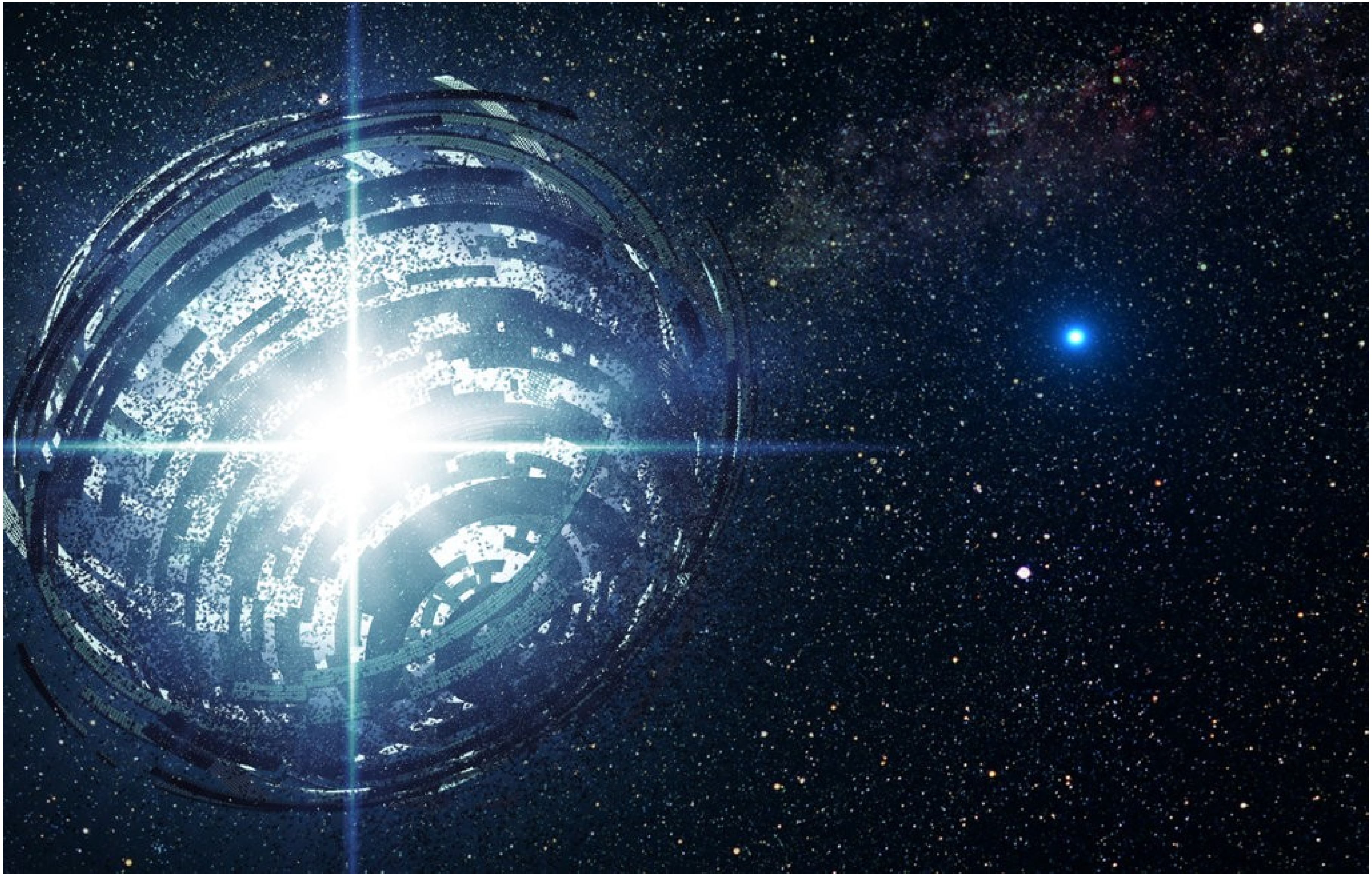
- Luminosidad Solar:

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

- Alto:

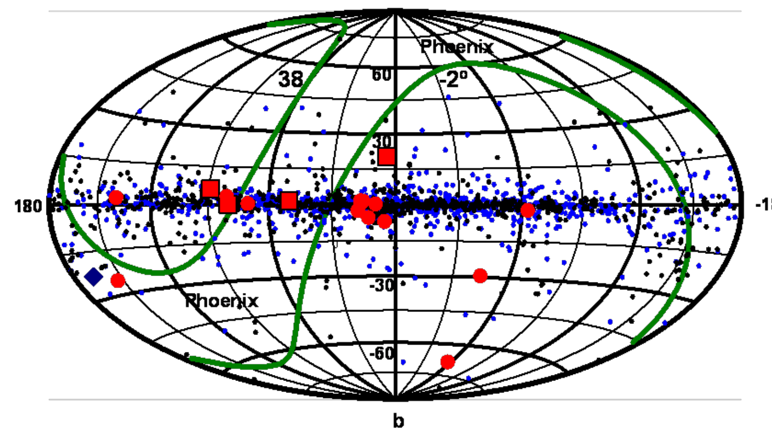
1 segundo de energía liberada en el Sol equivale a 800000 años de consumo humano (2013)

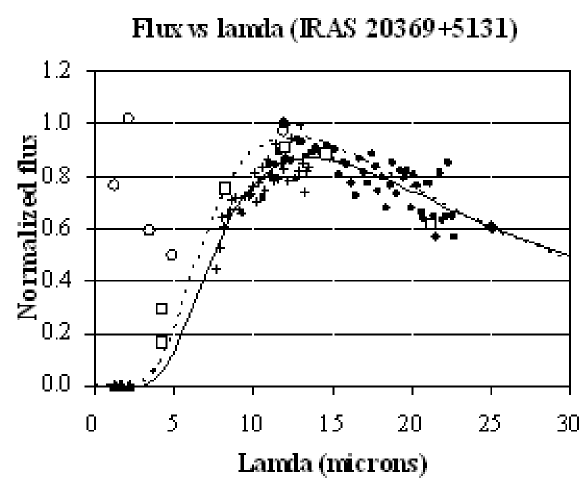
Esferas de Dyson

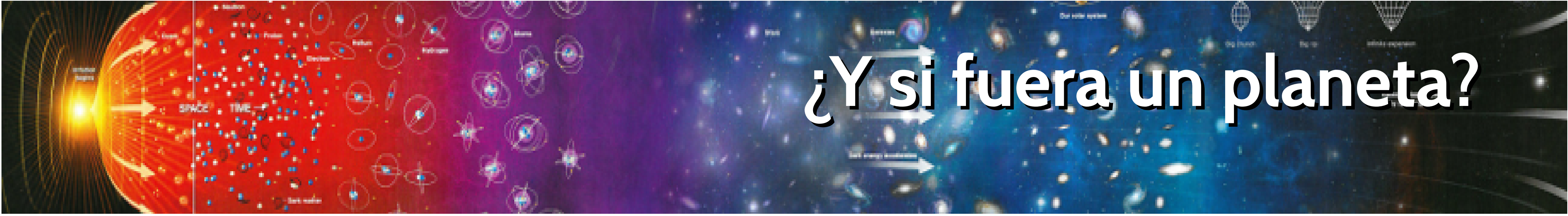


IRAS (InfraRed Astronomical Satellite)

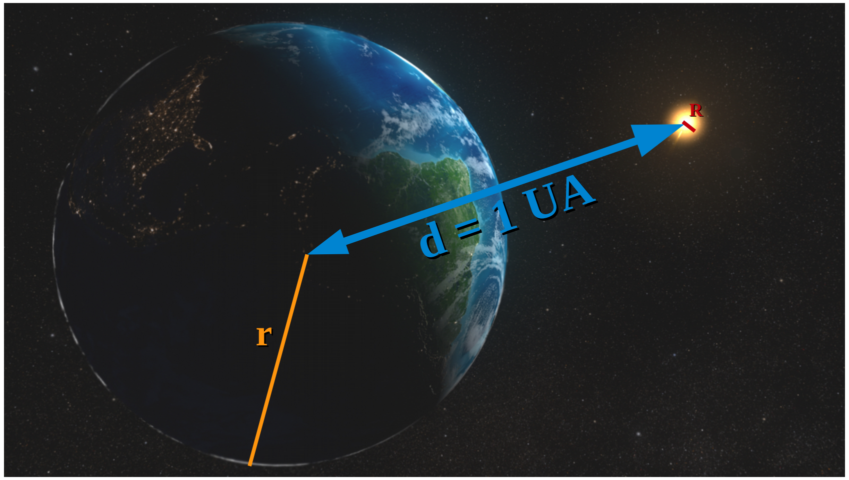
http://home.fnal.gov/~carrigan/infrared_astronomy/Fermilab_search.htm







¿Y si fuera un planeta?



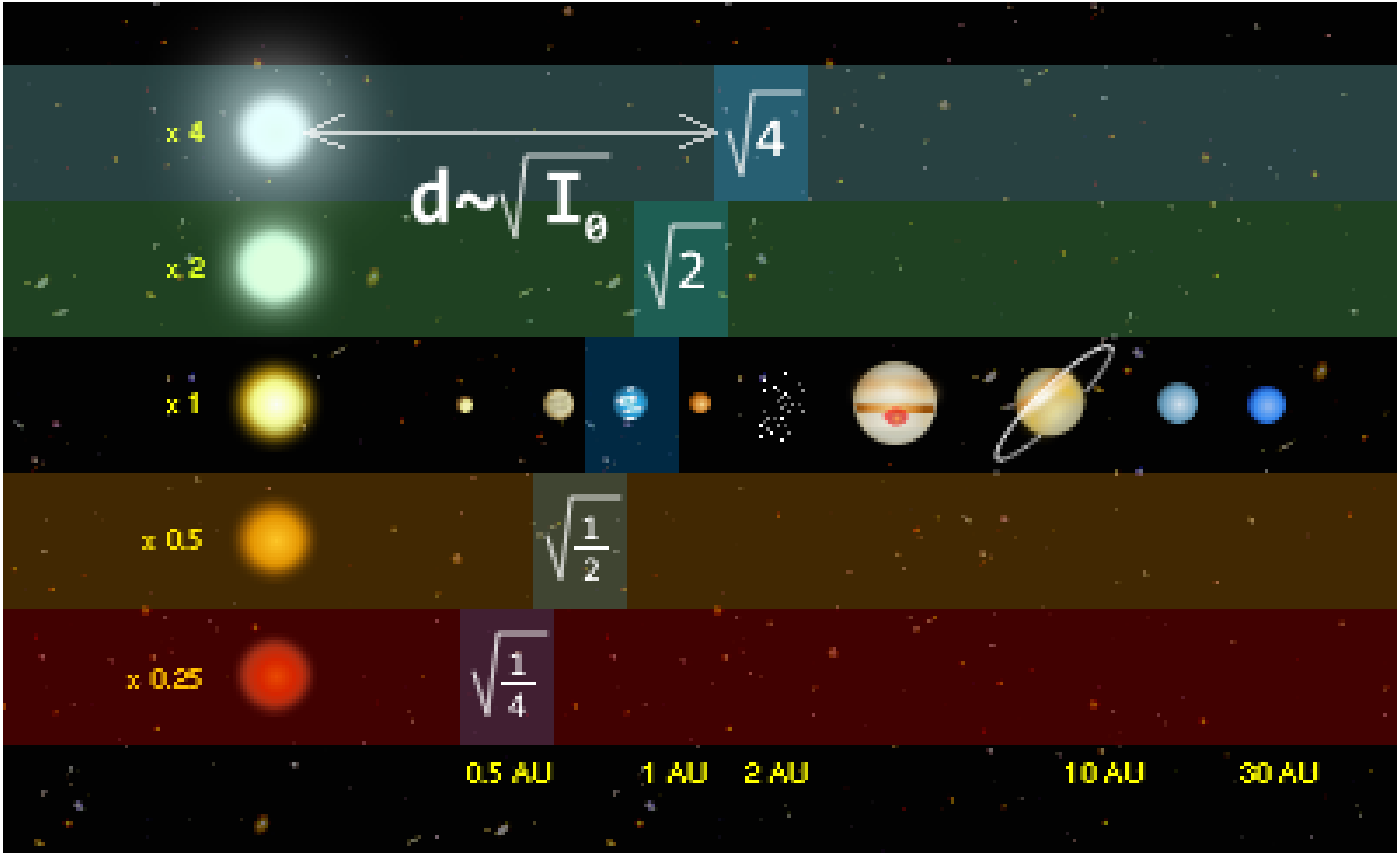
- ¿Que fracción de la energía captura un planeta de radio r?

$$T_{\oplus} = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{16\pi\sigma d^2}}$$

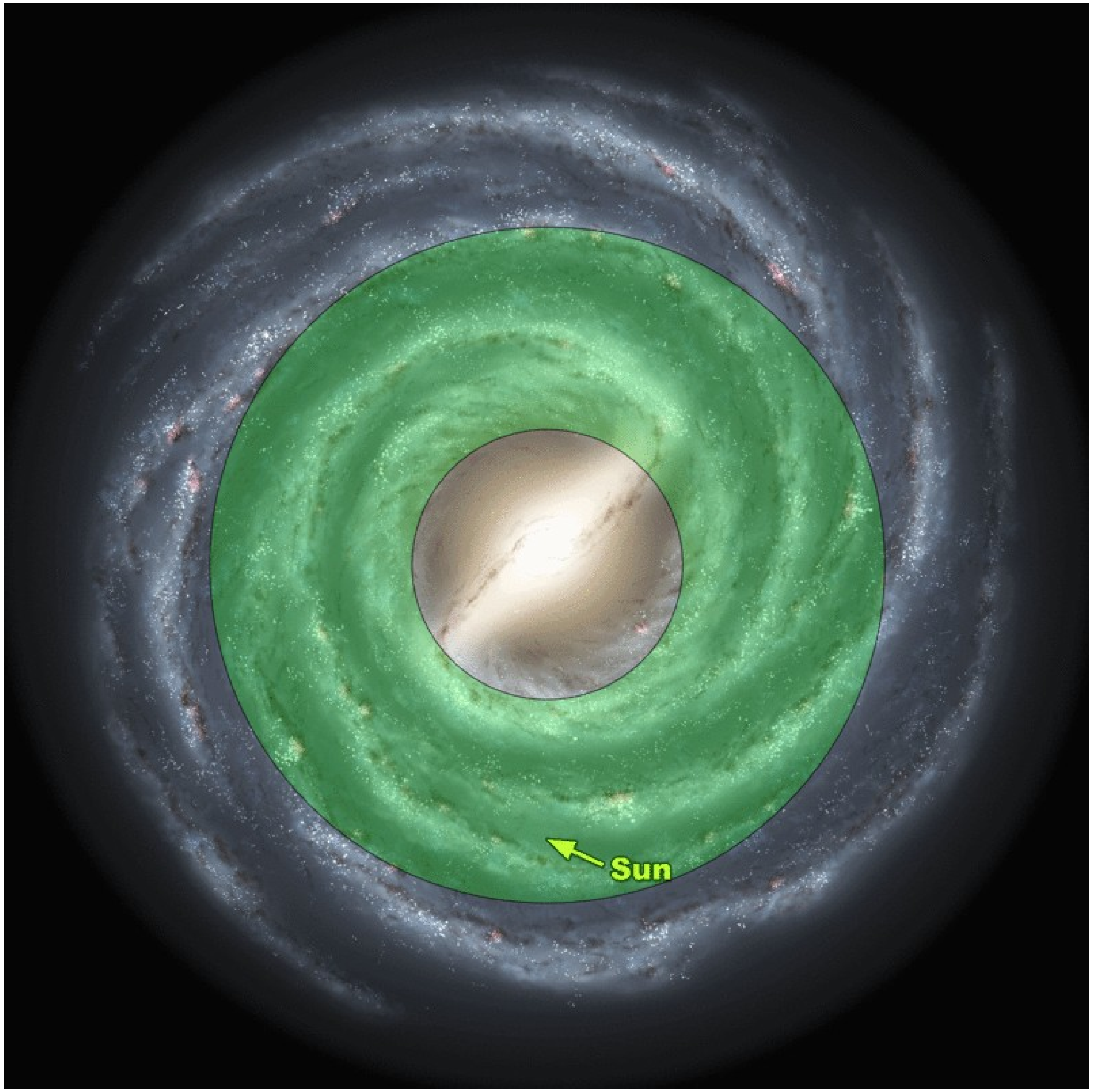
$$T_{\oplus} = \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2d}}\,T_{\odot}$$

$$d = \frac{1}{2}\left(\frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}}\right)^2 R_{\odot}$$

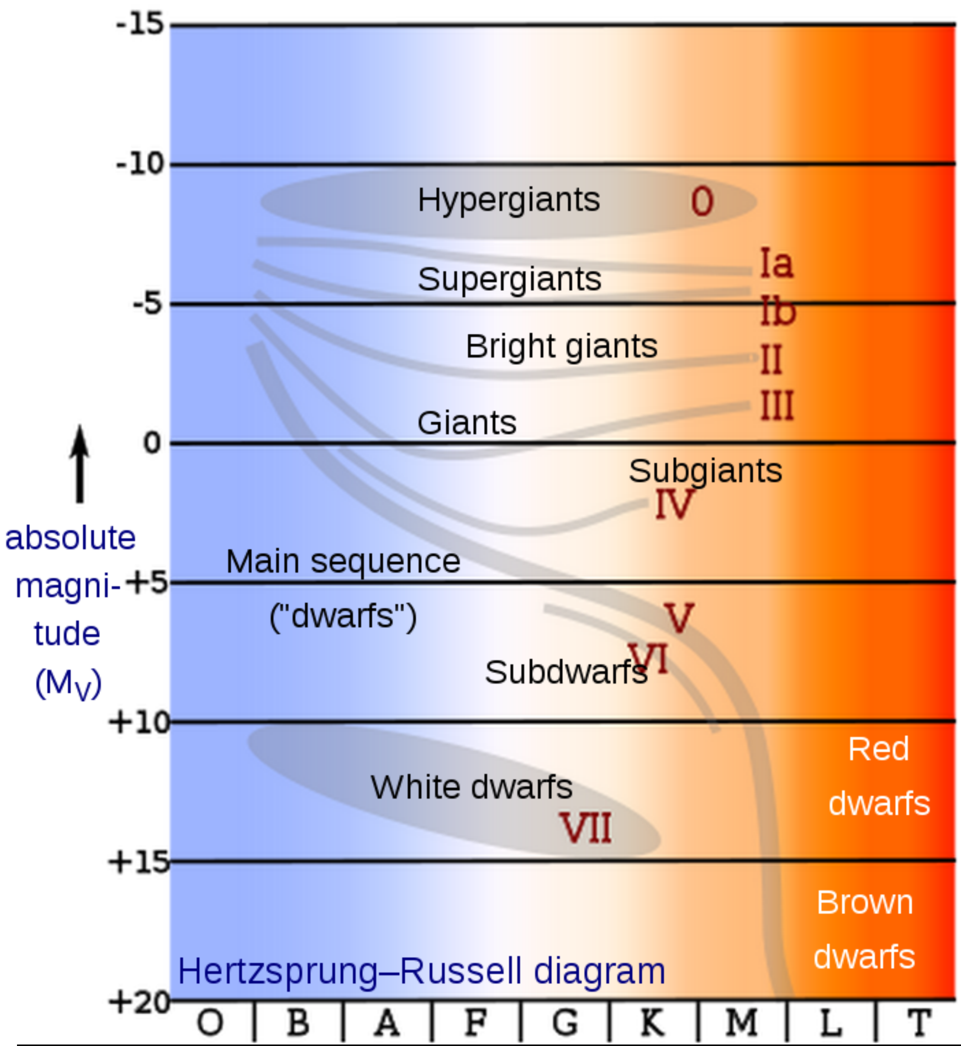
Zona habitable: Agua líquida (volveremos...)

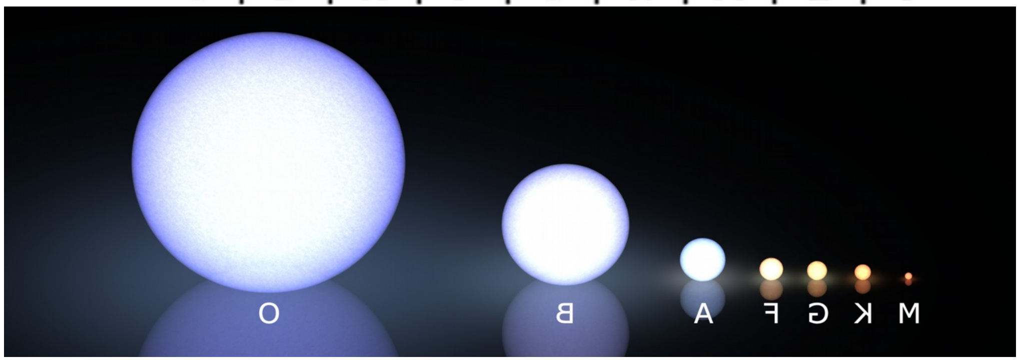


zona habitable... galáctica



Dijimos que la masa define todo

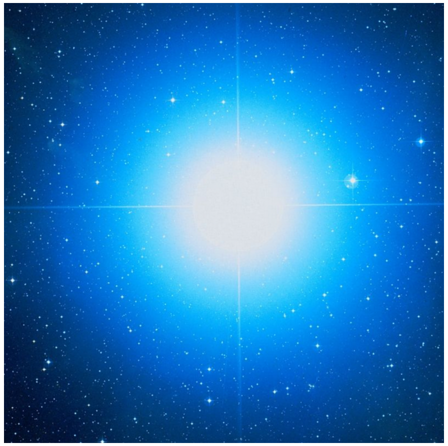


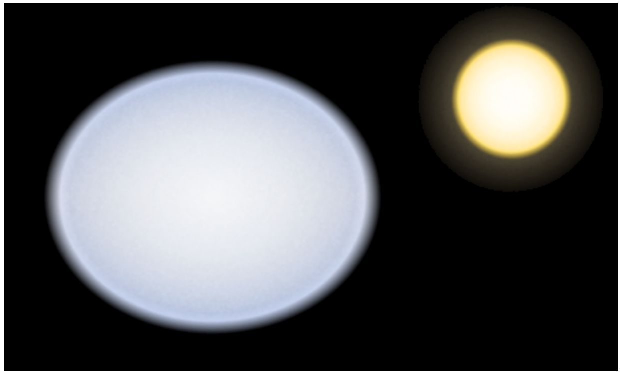


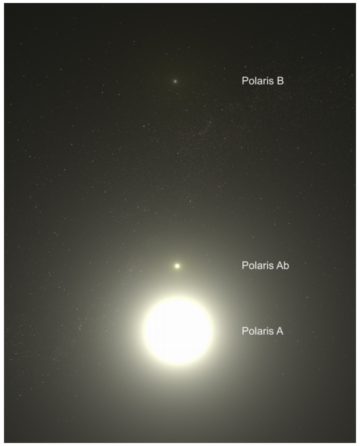
Surface temperature ranges for different stellar classes[134]

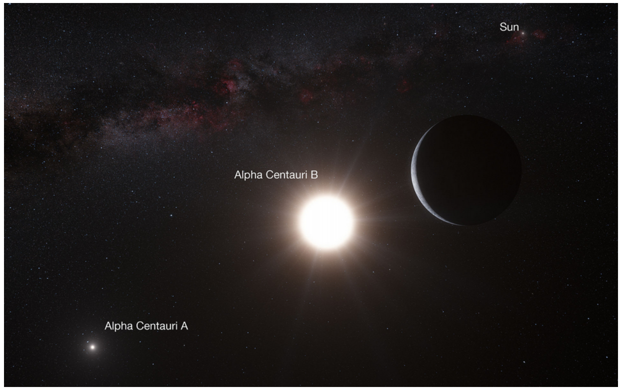
Class	Temperature	Sample star
O	33,000 K or more	Zeta Ophiuchi
B	10,500–30,000 K	Rigel
A	7,500–10,000 K	Altair
F	6,000–7,200 K	Procyon A
G	5,500–6,000 K	Sun
K	4,000–5,250 K	Epsilon Indi
M	2,600–3,850 K	Proxima Centauri

Secuencia principal → OBAFGKM

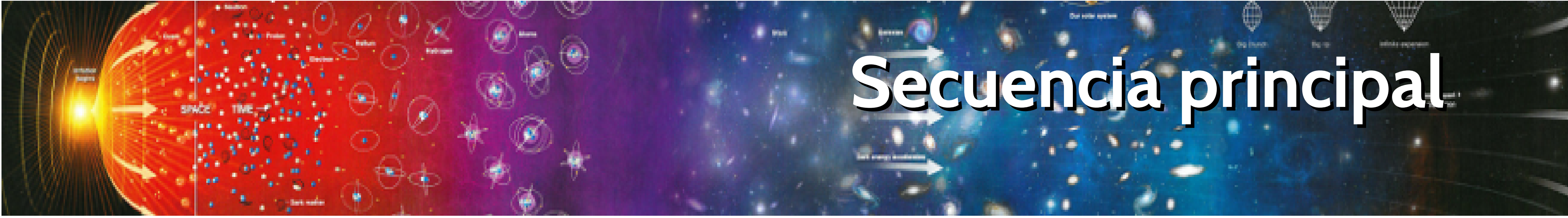




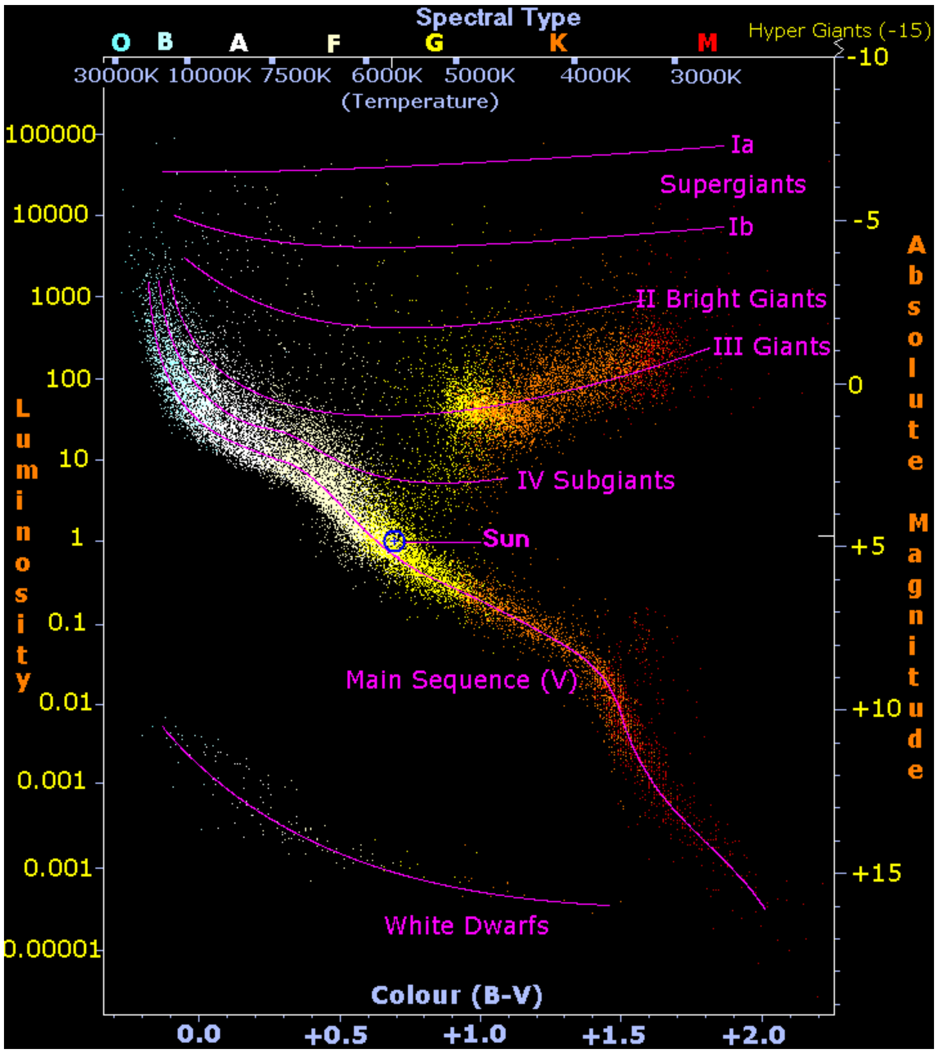




REFERENCE GUIDE 001
STAR SPECTRAL CLASSES
http://21space.info/
SPECTRAL CLASS O
Dark Blue
28,000 - 50,000 K
Ionized Atoms, especially helium
Example: Mintaka (O1-3III)
SPECTRAL CLASS B
Blue
10,000 - 28,000 K
Neutral helium, some hydrogen
Alpha Eridani A (B3V-IV)
SPECTRAL CLASS A
Light Blue
7,500 - 10,000 K
Strong hydrogen, some ionized metals
Sirius A (A0-IV)
SPECTRAL CLASS F
White
6,000 - 7,500 K
Hydrogen and ionized metals, calcium and iron
Procyon A (F5V-IV)
Yellow
5,000 - 6,000 K
Ionized calcium, both neutral and ionized metals
Example: Sol (G2V)
SPECTRAL CLASS G
Orange
3,500 - 5,000 K
Neutral Metals
Alpha Centauri B (K0-3V)
SPECTRAL CLASS K
Red
2,500 - 3,500 K
Ionized atoms, especially helium
Wolf 359 (M5-8V)
SPECTRAL CLASS M
Non-Main Sequence Types
Class W: Wolf-Rayet Star
Up to 70,000 K
Carbon, nitrogen, or oxygen
Gamma Velorum A (WC)
Class L: Dwarf Star
1,300 - 2,000 K
Metal hydrides and alkali metals
VW Hyi
Class T: Methane Dwarf
700 - 1,000 K
Methane
Epsilon Indi Ba
Class Y: Ammonia Dwarf
<700 K
Ammonia
Not yet observed
Class C: Carbon
Class S: Zirconium Oxide
Classes MS and SC
Class D: Dwarf
(c) James Trexler 2008



Secuencia principal

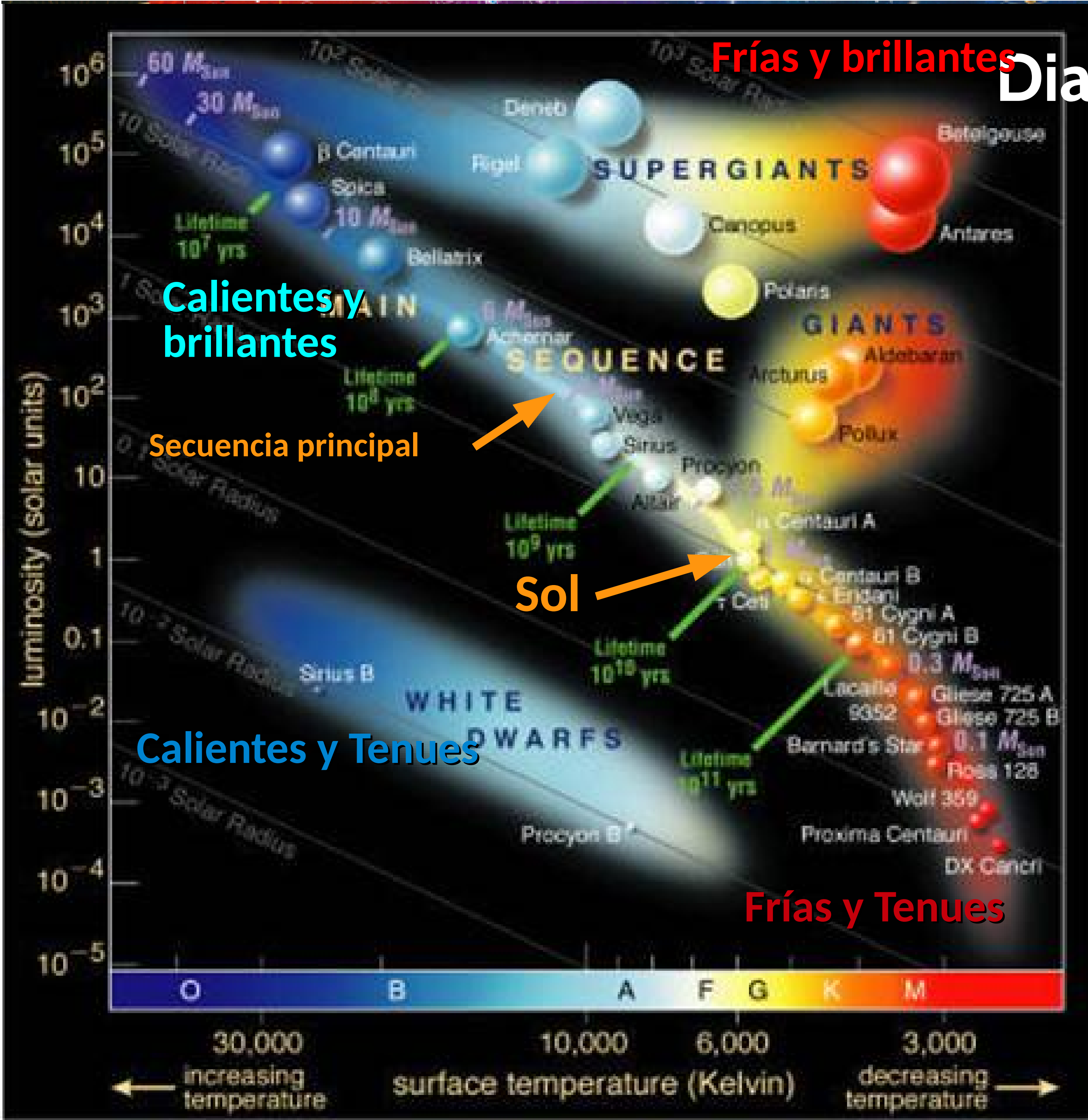


- **Estrellas que están en su fase normal de quema de combustible:**

  H → He

- 90% del tiempo de vida las estrellas permanecen en este estadio
- **Metalicidad: contenido de elementos más masivos que el Helio**

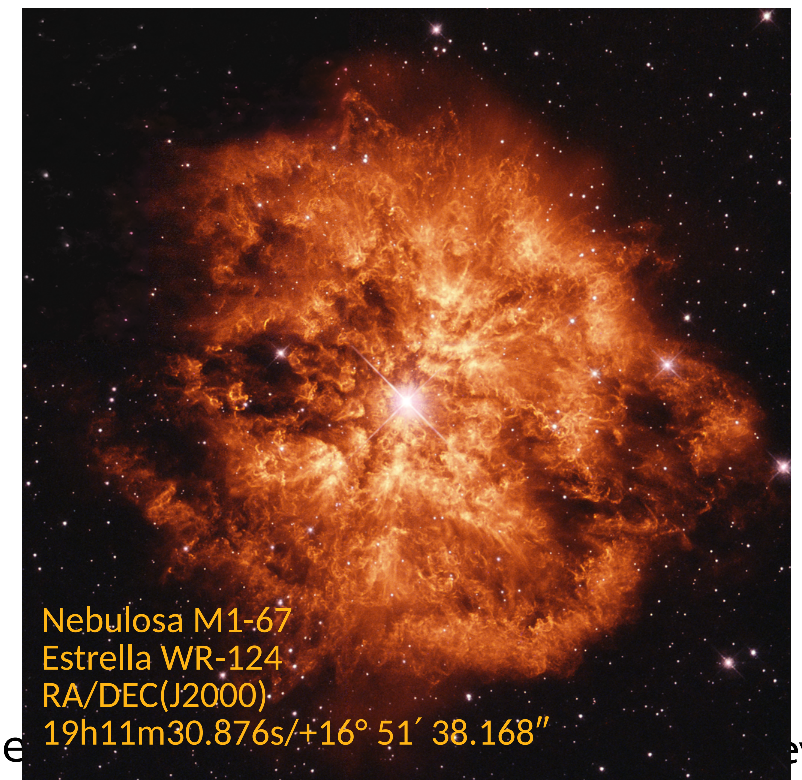
Diagrama H-R



$$L \sim R^2 T^4$$

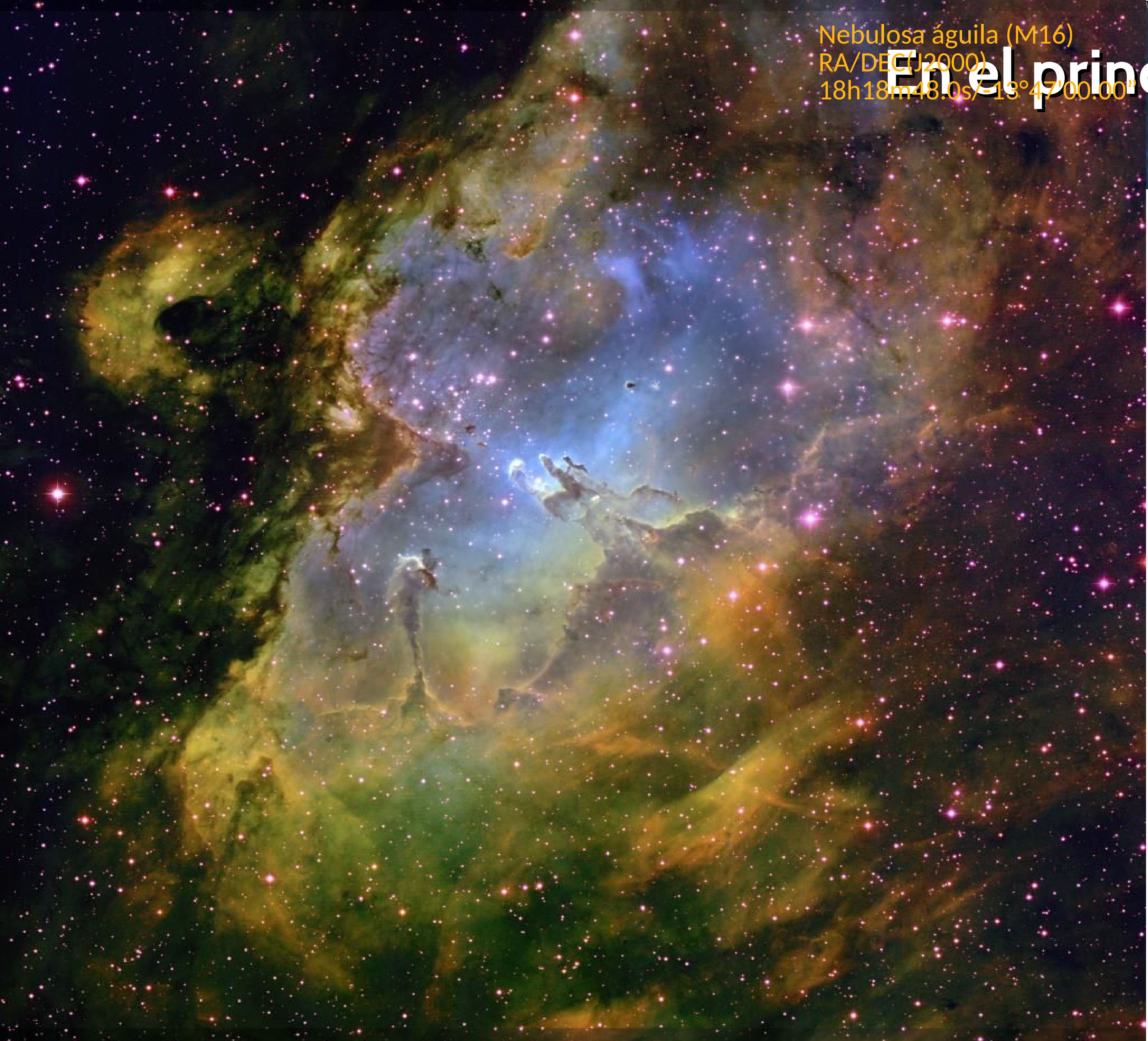
Otros tipos de estrellas

- W: Wolf-Rayet
  - Estrellas masivas ($>20M_S$)
  - Excesivamente calientes



- Los nuevos: L, T, Y
  - L: Enanas frías o subestrellas, temperaturas 1300K<T<2400K
  - T: Enanas marrones (subestrellas, sin fusión H) con prominencia de metano y 500K < T < 1300K
  - Y: enanas marrones ultra frías (superplanetas?) c/amoníaco y T<600K, y $10<M/M_{Júp}<90$

En el principio...




Pilares de la creación

En el principio...

- Nubes de gas gigantes
- $6x10^6$ M_S y R~15 pc
- Colapso gravitacional
- Aumenta temperatura
- T es pequeña pero R es muy grande

  ¡L es grande!

- → Gigantes Rojas

Pre-Secuencia

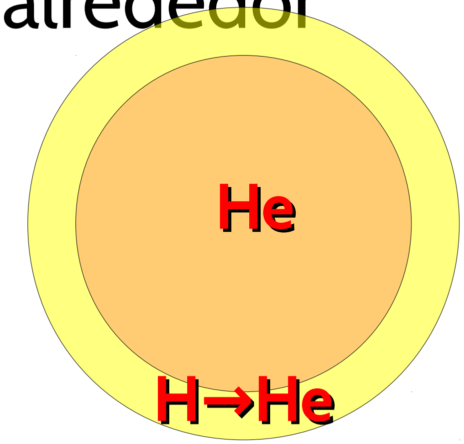
- La contracción se frena
- Continúa radiando
- $T_c \sim 10^7$ K → Fusión!
- Aumenta T por el exceso de energía
- Emisión de jets de materia

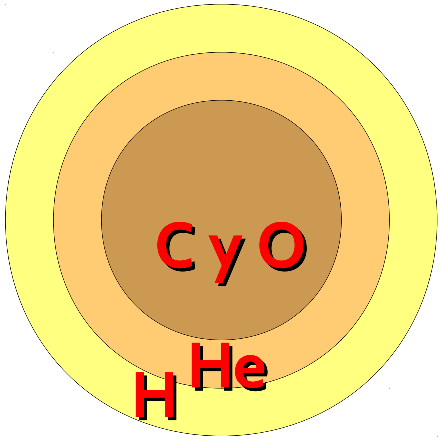
Secuencia Principal

- Conversión H → He es muy eficiente
- 10^{10} años para $M = 1\ M_{Sol}$
  - La energía radiada, $L \sim R^2 T^4$ proviene del interior
  - Velocidad de reacciones en el centro: $\sim T_c^4$
  - $R^3 \sim M\ T_c / P$ (← Viene de PV=nRT)
- Si $T_c \rightarrow 2\ T_c \Rightarrow R \rightarrow 8\ R$
- Si $R \rightarrow 8R \Rightarrow L \rightarrow 64\ L$
- ¡Mayor energía radiada!
- Moraleja: "Vive rápido y morirás jóven"

Vejez

- Se acabó el H en el núcleo, ¿y ahora?
- Conversión H → He, sólo en en una corona alrededor del centro
- No alcanza la energía → Contracción
- Aumenta T_c → Mayor producción de E
- Si $T_c = 10^8$ K, He → C ("Flash de Helio")
- R_{Sol} → 220 veces!!!
- Pero 220 (7×10^5) km ~ *1.5×10^8 km*
- Núcleo cebolla: H → He → C → O → Si → Fe

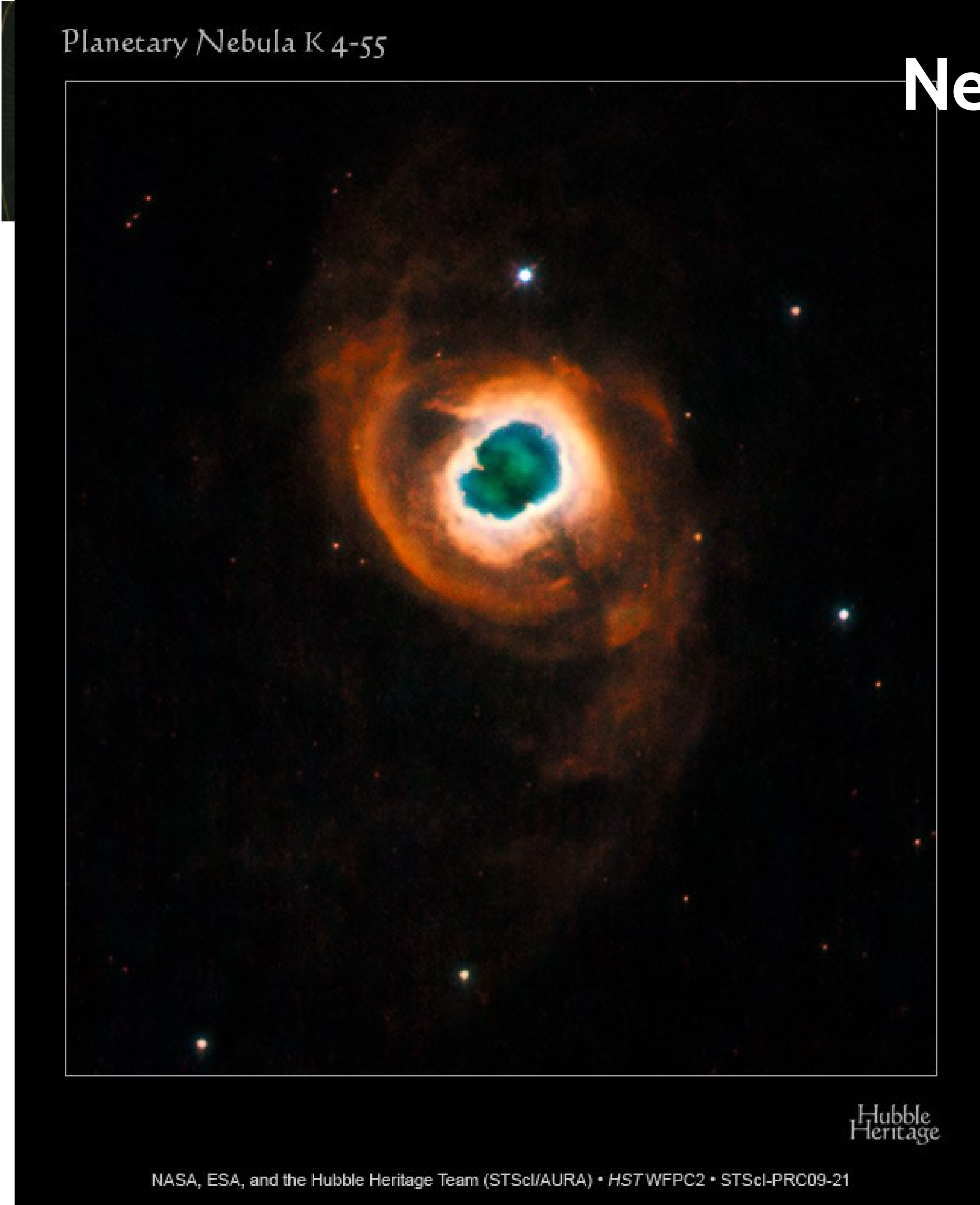




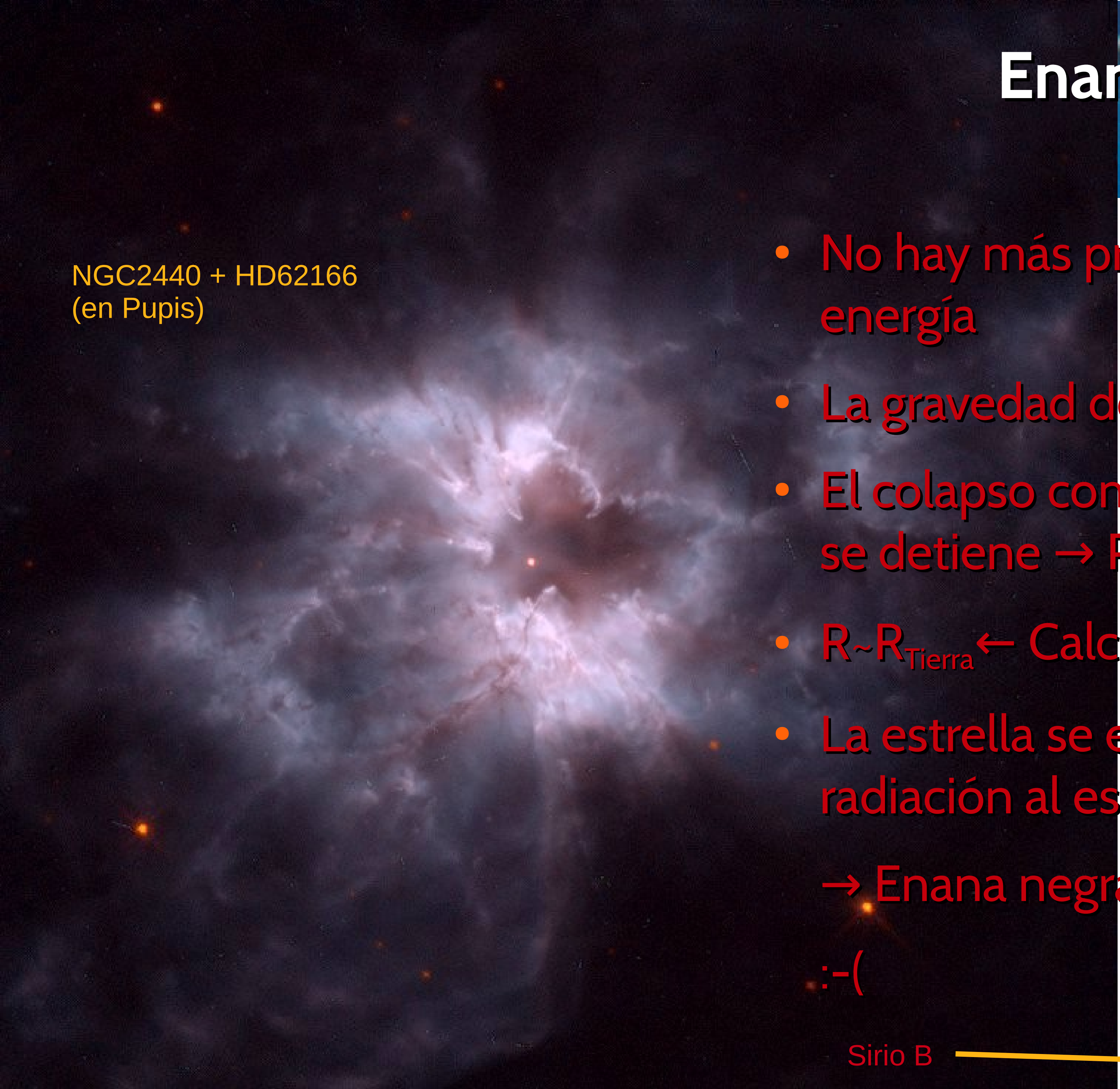
Tres caminos Tres

- La masa estelar en este punto (la masa final) determina el destino final
  - $M_f < 1.44\ M_S \rightarrow$ **Enana blanca**
  - $1.44\ M_S < M_f < 3\ M_S \rightarrow$ **Estrella de neutrones**
  - $M_f > 3\ M_S \rightarrow$ **Agujero negro**

Nebulosa planetaria



- Las capas exteriores son expulsadas por el intenso viento estelar
- La estrella continúa consumiendo el combustible en el interior
- ~10^8 años



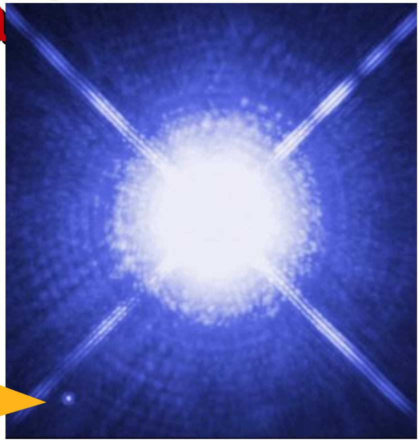
NGC2440 + HD62166
(en Pupis)

Enana blanca

- No hay más producción de energía
- La gravedad domina
- El colapso comienza pero se detiene → Pauli!
- $R \sim R_{Tierra}$ ← Calcular ρ y v_e
- La estrella se enfría por radiación al espa

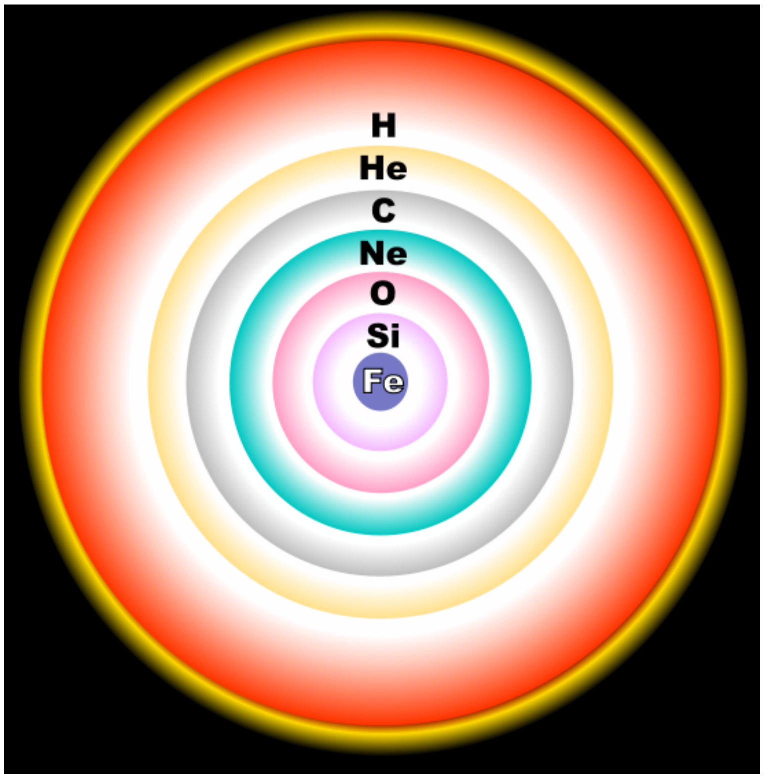
→ Enana negra

:-(



Sirio B

Si la masa es mayor...



- El proceso en el núcleo continúa gracias a la compresión
- He→C/O, C→Ne, Ne→O,O→Si, Si→Fe
- Pero Fe es el más estable: no gano energía uniendo Fe
- Sin fusión, desaparece la presión por radiación

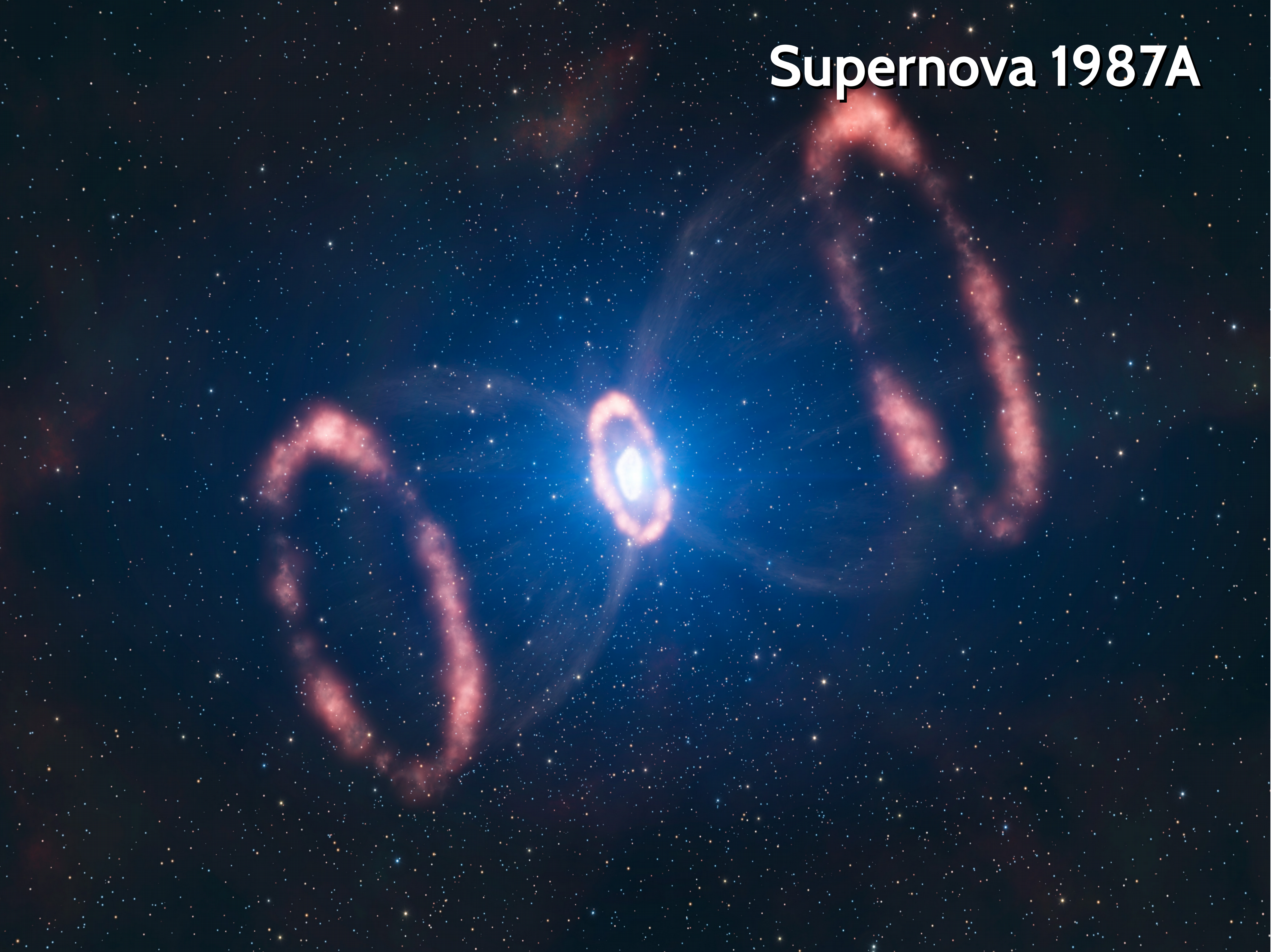
¡El núcleo colapsa!

Supernovas

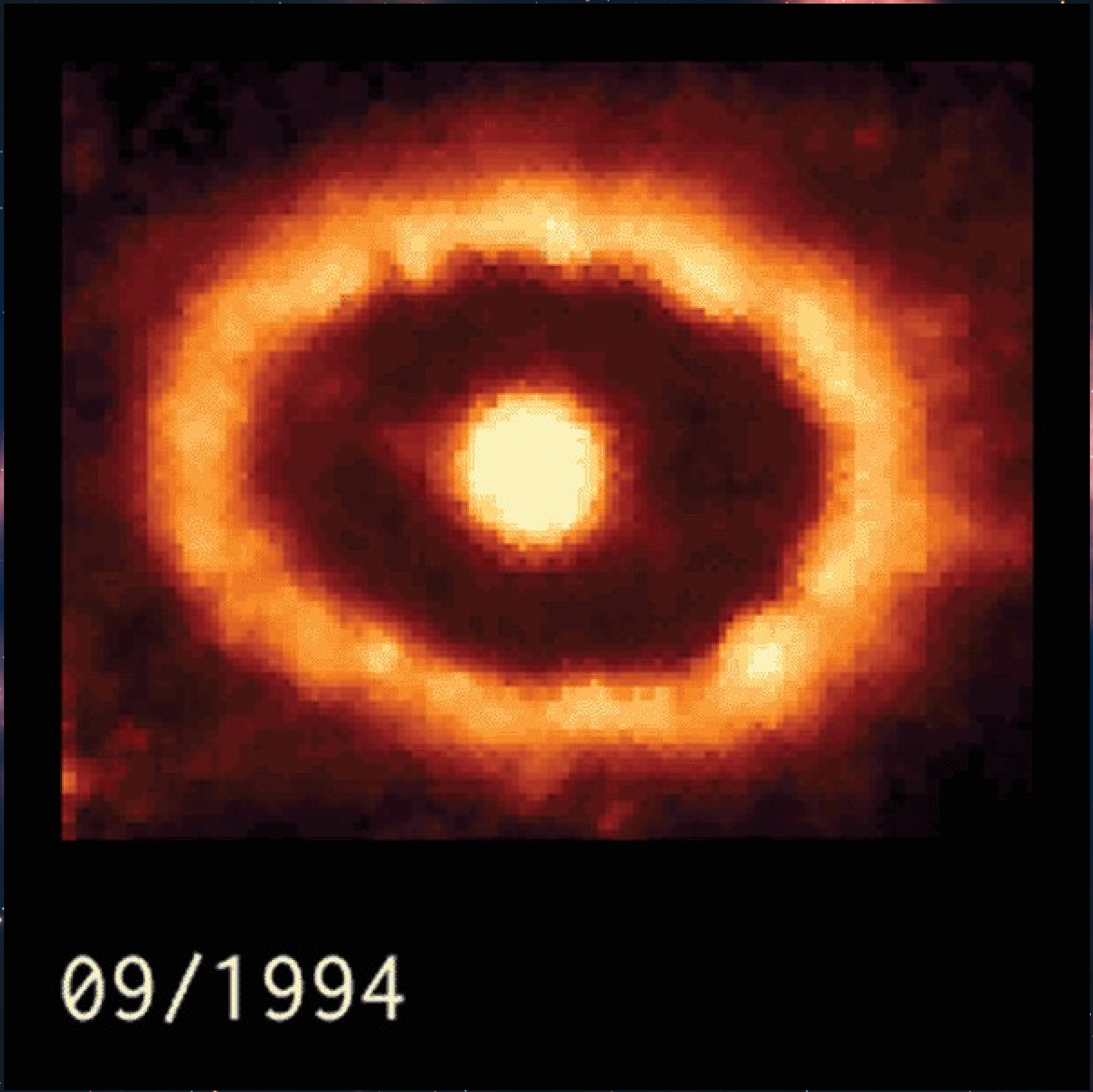
- Dos tipos de SN: I y II
- Estás son las tipo II
- En el núcleo:

  $p^{+} + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$

- Estrella de neutrones
- $M \sim 2\, M_{Sol}$, $R \sim 20$ km
- ¡Calcular ρ y ν_e!
- Pulsars (LGM)
- M grandes→ Agujeros Negros


Supernova 1987A

Supernova 1987A (u03-c04-sn1987ashock.gif)



Remanente de Supernovas

NGC2264 – Nebulosa Cono (Monoceros)

Agujeros negros

- Región del espacio tiempo donde nada, ni siquiera la luz, puede escapar
- Se lo observa por su interacción con materia
- Binaria de contacto Cygnus X1
- Horizonte de eventos
  - Radio de Schwarzschild

$$R_s = \frac{2\,G\,M}{c^2}$$

Gargantúa (Interstellar)

Estrellas supermasivas

NGC3372 – Nebulosa Carina (Carina)

Estrellas supermasivas

NGC3372 – Nebulosa Carina (Carina)

ηCarinae: Una binaria a punto caramelo

Nebulosa Homúnculo en la Nebulosa Eta Carina (en la Nebulosa Carina)