

Astronomía para poetas (2014)

Universidad
Industrial de
Santander



- Unidad: 03
- Clase: 05
- Fecha: 20141216M
- Contenido: Evolución Estelar: repaso y taller
- Web: <http://halley.uis.edu.co/astronomia>
- Archivo: 20141216M-HA-evolucion-estelar-repaso.odp

Escuela
de Física




Universidad
Industrial de
Santander

Grupo Halley
Astronomía y Ciencias Aeroespaciales






En el episodio anterior...



En el episodio anterior... zona habitable... galáctica

Sin embargo, en el cielo...



Mintaka (δ -Ori)

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

Magnitud aparente

- **Magnitud aparente (m)**

- **Brillo (b) de un cuerpo “visto” desde La Tierra**

- Hiparco de Nicea (190AC-120AC) ← Ptolomeo:
Clasificó las estrellas en seis magnitudes:
Magnitud **1**: Top 20, Magnitud **6**: Apenas visibles

- **Norman Pogson (1829-1891):**

- Una estrella $m=1$ es 100 veces más brillante que una $m=6$
 $\frac{b_1}{b_6} = 100$
dos veces y media más brillante que una estrella de magnitud b_2

$$b_i \simeq 2.5 b_{i-1}$$

- ¿Cómo se relacionan entre sí?
 $\left(\frac{b_i}{b_j}\right) = 2.5^{(m_j - m_i)} \Rightarrow (m_i - m_j) = -2.5 \log_{10} \left(\frac{b_i}{b_j}\right)$

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):

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

- 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): $m=-1.45$, $M=1.44$

Saiph

Betelgeuse

Alnitak

Alnilam

Mintaka

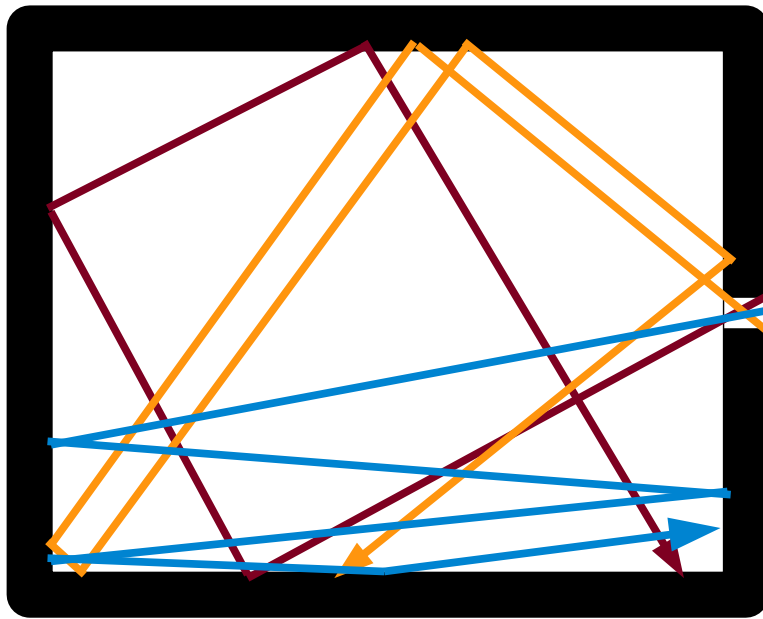
Bellatrix

Nebulosa de Orion

Rigel

Un cuerpo negro es...

- Un **cuerpo negro** es un sistema físico ideal que absorbe toda la radiación incidente sin importar su longitud de onda: **es un absorbente perfecto de radiación electromagnética**



Cuerpos negros
casi ideales

¿Qué ruido hace un fotón al caer?

- Ley de Wien
- Posición de λ_{\max}

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

$$b = 2.9 \text{ mm K}$$

- Ley de Stefan-Boltzmann

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

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



¡Podemos clasificarlas!

- A B C... por temperatura superficial

O B A F G K M R N S

- Oh **B**e **A** Fine **G**irl and **K**iss **M**e Right **N**ow **S**weet
- Oh **B**esame **A**mor, **F**asinadora **G**itana, **K**ilómetros **M**edian
Rompiendo **N**uestros **S**ueños

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

Clasificación espectral





En el episodio anterior...

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

¿Qué define todo?

- **Relaciones entre parámetros:**

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

$$\lambda_{\max} = \frac{2.9 \text{ mm}}{T}$$

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

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

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

- **Cantidad de materia → Masa**

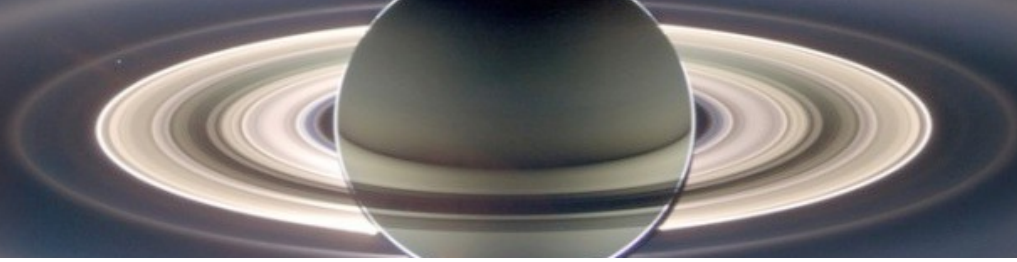
- Está fijada por condiciones externas → Nacimiento



En el episodio anterior... filtros

Para las estrellas → magnitudes

Repaso



- 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)

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

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

**Betelgeuse es
una supergigante
roja**

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

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:

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

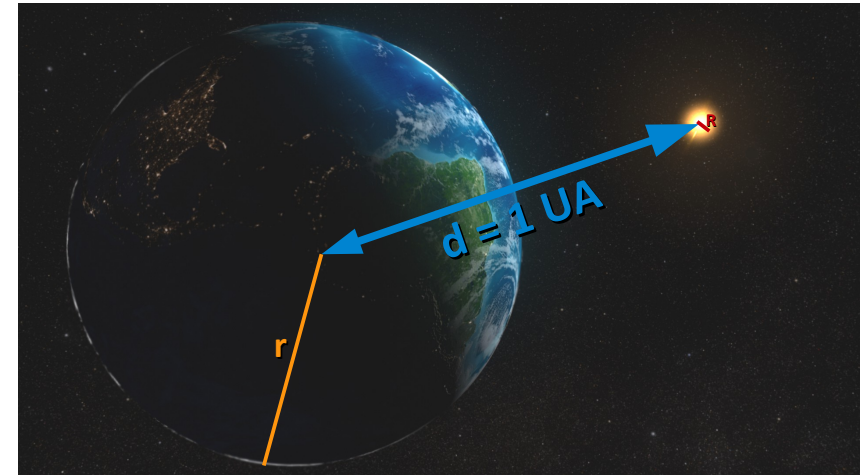
- Alto:

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

¿Y si fuera un planeta?

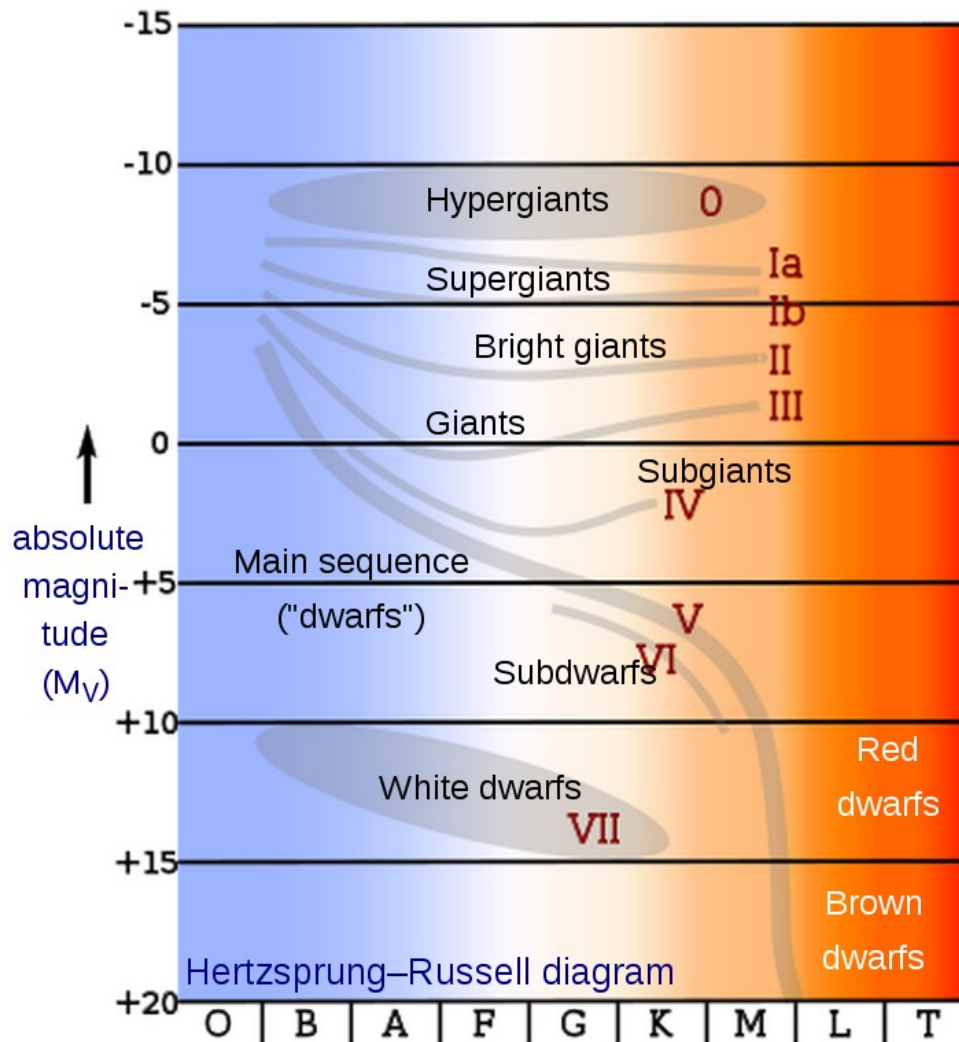


- ¿Que fracción de la energía captura un planeta de radio r ?



$$T_{\oplus} = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{16 \pi \sigma d^2}}$$
$$T_{\oplus} = \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2d}} T_{\odot}$$
$$d = \frac{1}{2} \left(\frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}} \right)^2 R_{\odot}$$

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

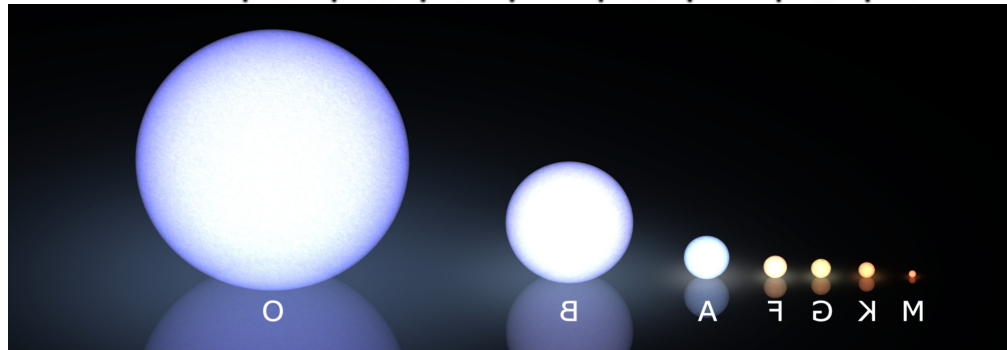
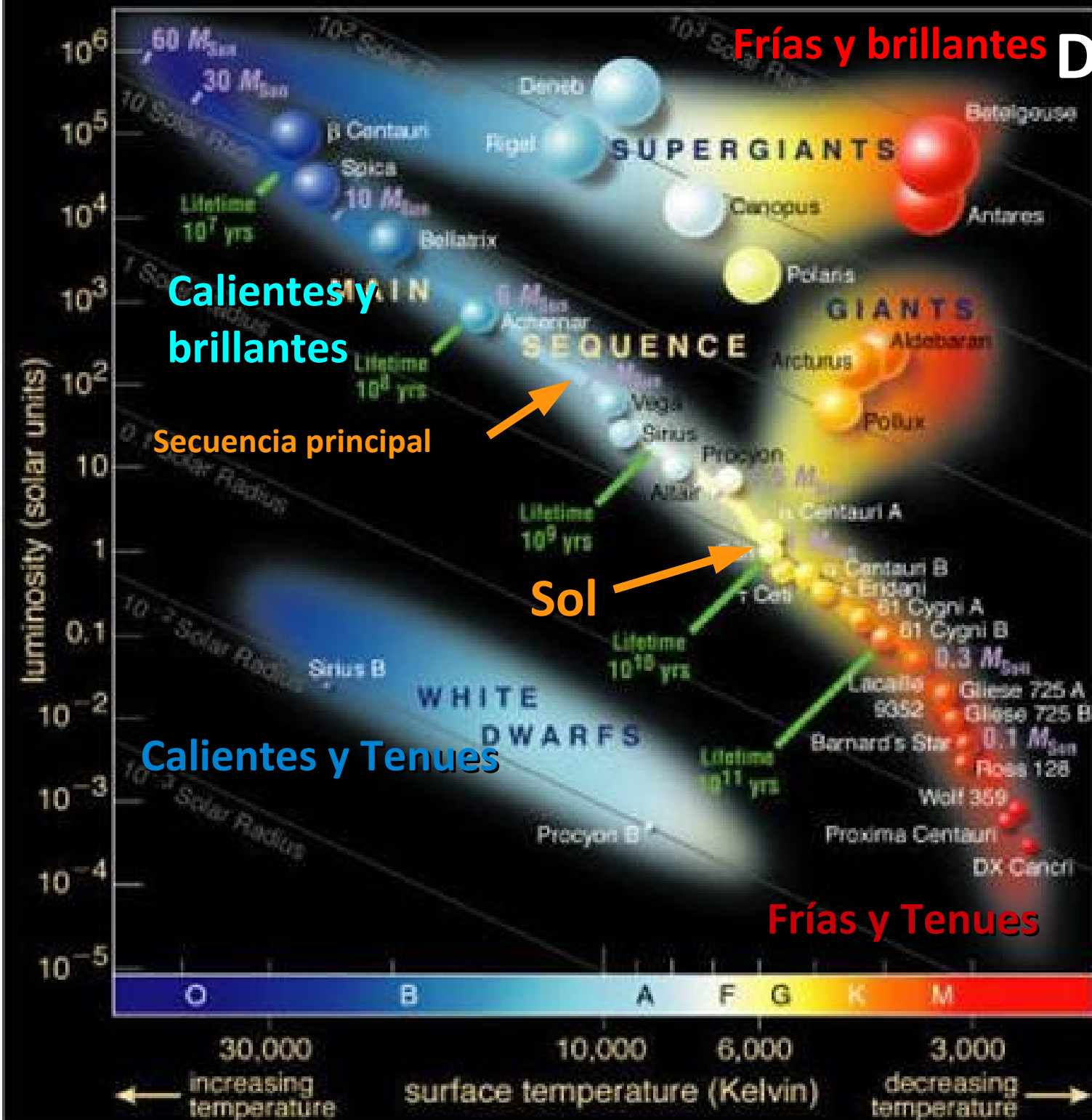


Diagrama H-R



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

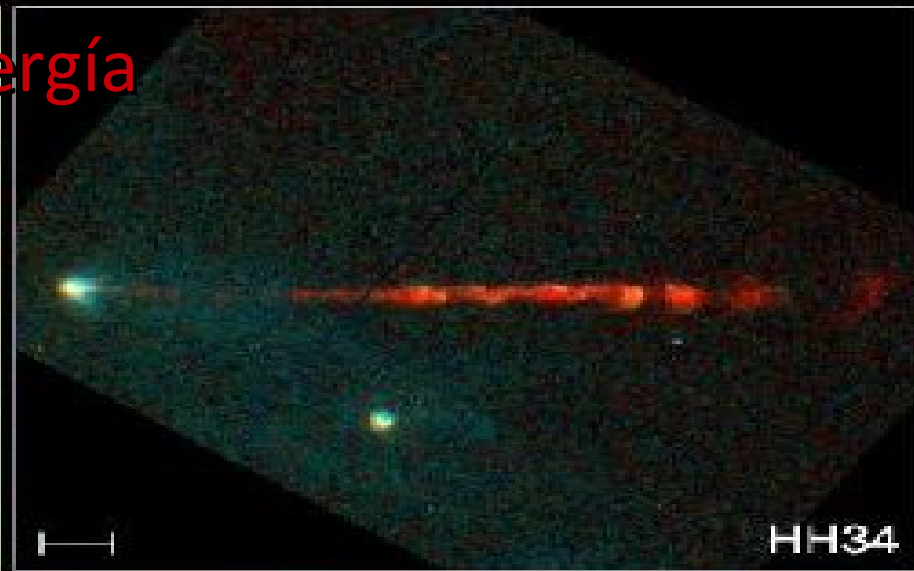
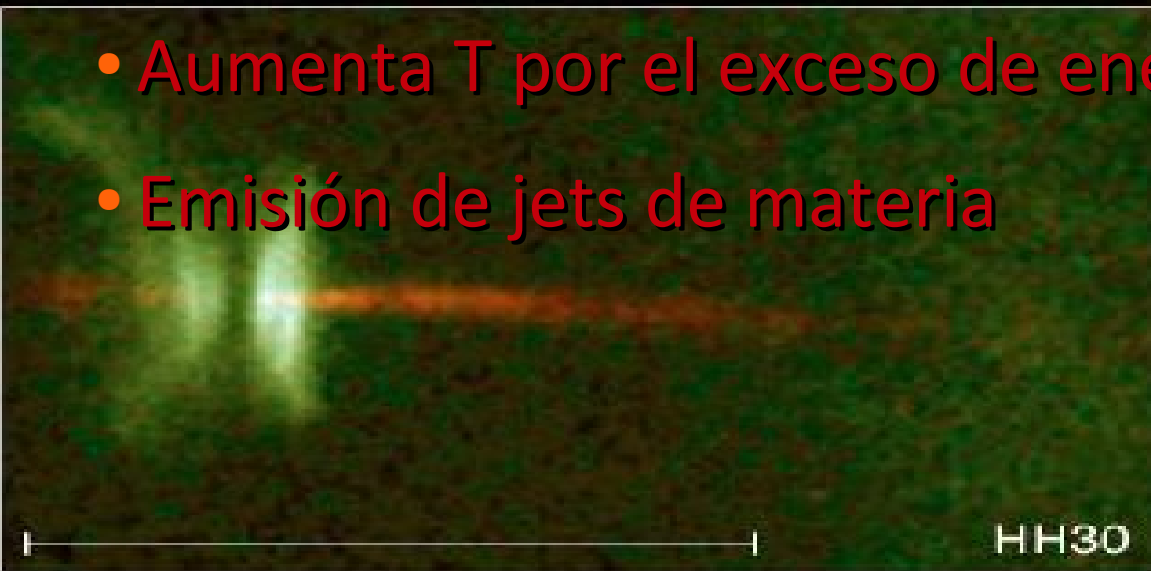
En el principio...

- Nubes de gas gigantes
- $6 \times 10^6 M_{\odot}$ y $R \sim 15$ pc
- Colapso gravitacional
- Aumenta temperatura
- T es pequeña pero R es muy grande
- ¡L es grande!
- \Rightarrow Gigantes Rojas

Pre-Secuencia

- La contracción se frena
- Continúa radiando
- $T_c \sim 10^7 \text{ K} \rightarrow \text{Fusión!}$

- Aumenta T por el exceso de energía
- Emisión de jets de materia

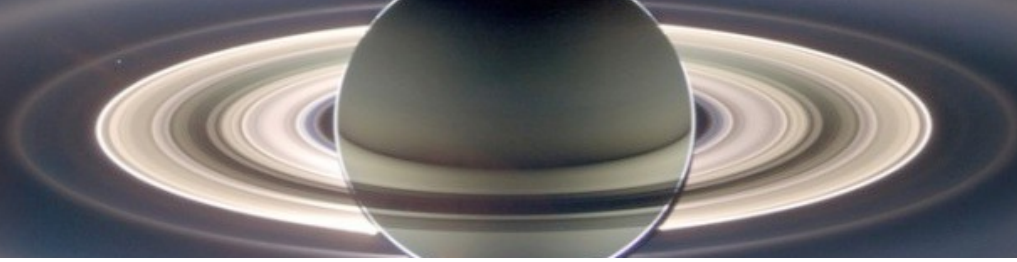


Jets from Young Stars

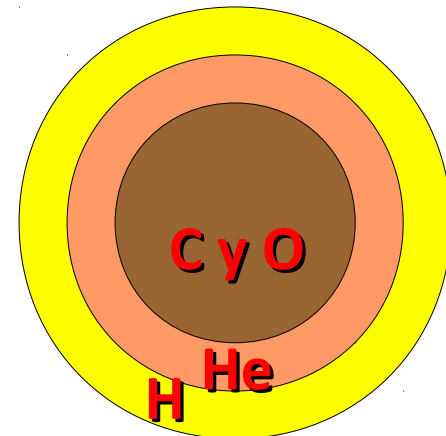
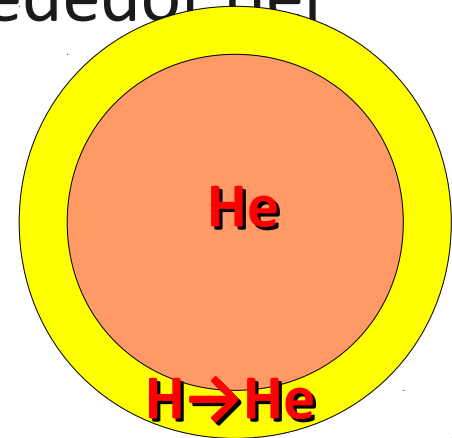
PRC95-24a · ST ScI OPO · June 6, 1995

C. Burrows (ST ScI), J. Hester (AZ State U.), J. Morse (ST ScI), NASA

HST · WFPC2



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



Tres caminos Tres



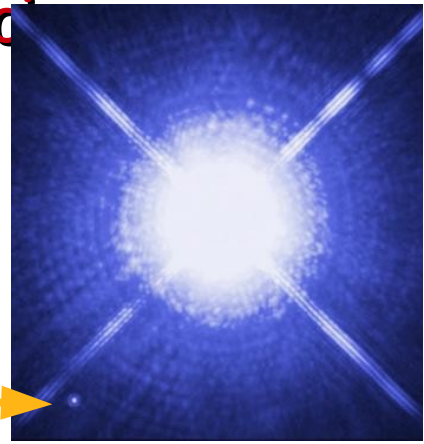
- La masa estelar en este punto (la masa final) determina el destino final
- $M_f < 1.44 M_s \rightarrow$ **Enana blanca**
- $1.44 M_s < M_f < 3 M_s \rightarrow$ **Estrella de neutrones**
- $M_f > 3 M_s \rightarrow$ **Agujero negro**

Enana blanca

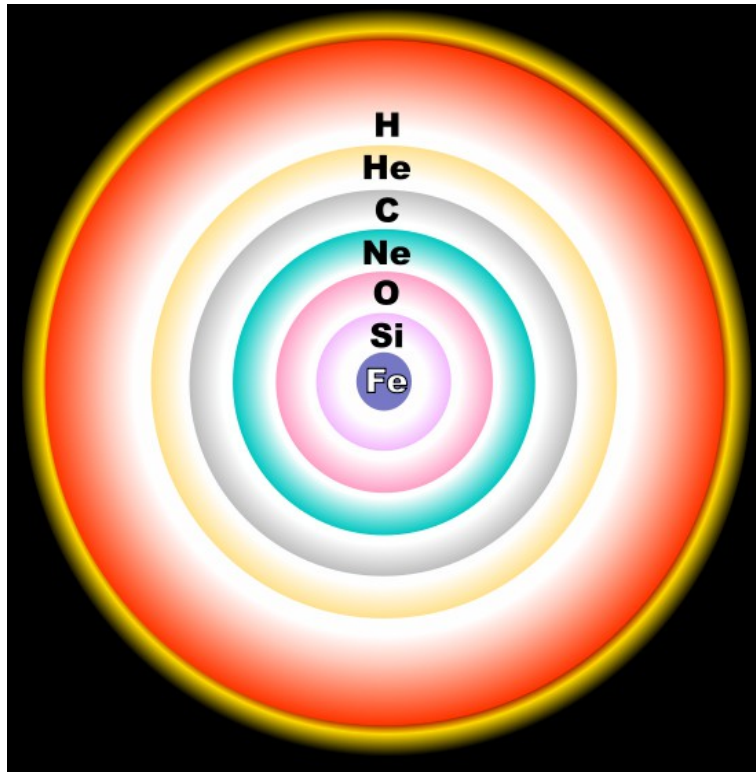
NGC2440 + HD62166
(en Pupis)

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

Sirio B



Si la masa es mayor...

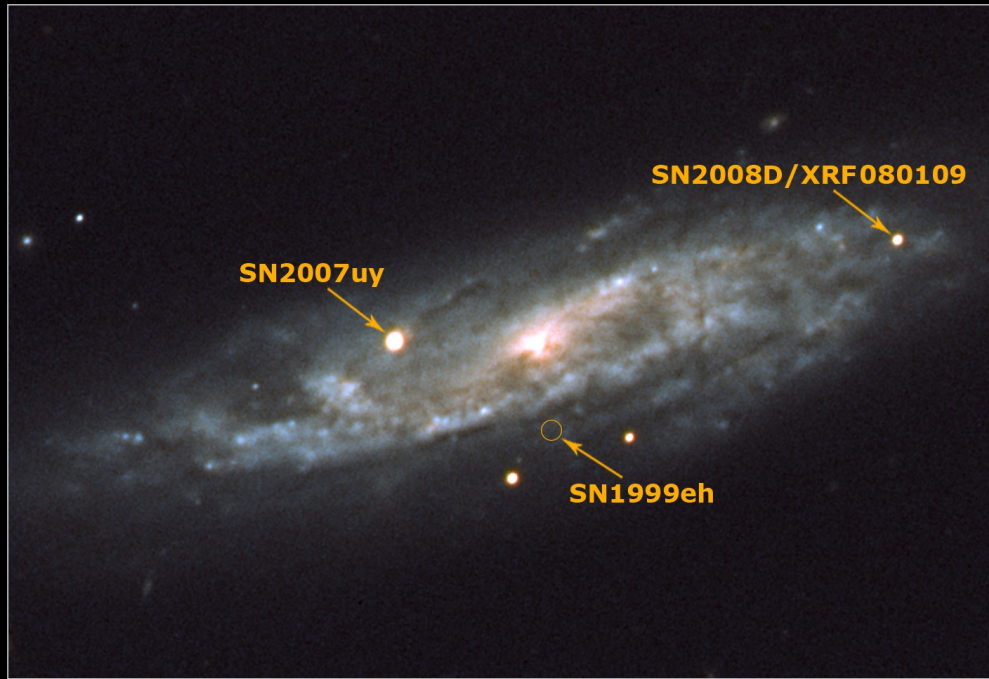


- El proceso en el núcleo continúa gracias a la compresión
- $\text{He} \rightarrow \text{C/O}$, $\text{C} \rightarrow \text{Ne}$, $\text{Ne} \rightarrow \text{O}$, $\text{O} \rightarrow \text{Si}$, $\text{Si} \rightarrow \text{Fe}$
- Pero Fe es el más estable: no gana energía uniendo Fe
- Sin fusión, desaparece la presión por radiación

¡El núcleo colapsa!

Astronomía (Aurey)

Supernovas



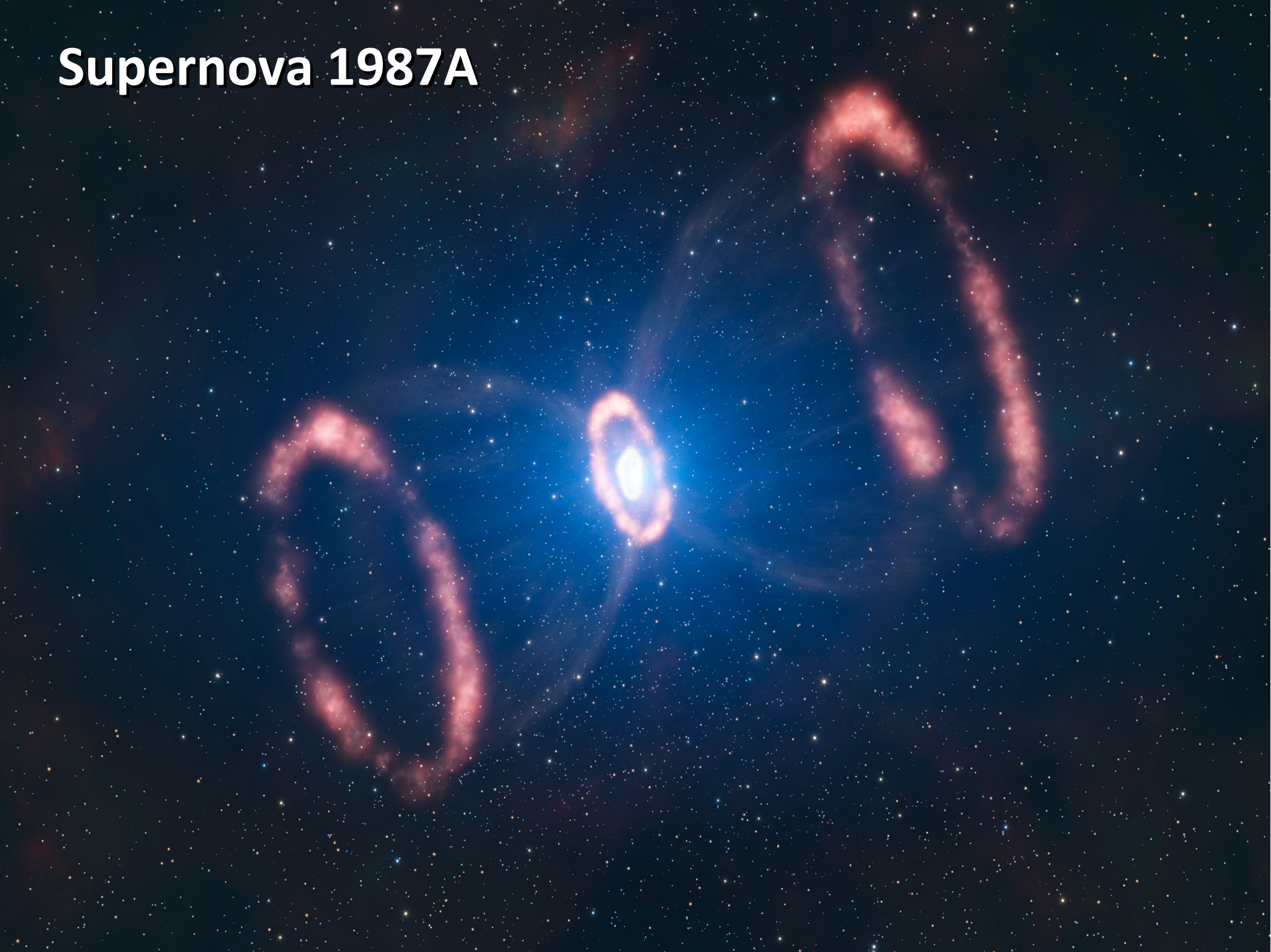
NGC 2770
Supernova factory



© Anglo-Australian Observatory

- Dos tipos de SN: I y II
- Estas son las tipo II
- En el núcleo:
$$p^+ + e^- \rightarrow n + \nu_e$$
- Estrella de neutrones
- $M \sim 2 M_{\text{Sol}}$, $R \sim 20 \text{ km}$
- ¡Calcular ρ y ν_e !
- Pulsars (LGM)
- **M grandes → Agujeros Negros**

Supernova 1987A



Remanente de Supernovas



NGC2264 – Nebulosa Cono (Monoceros)

Gargantúa (Interstellar)

