



Universidad Nacional de Río Negro

Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2019

- **Unidad** 02 – Astrofísica: cálido y frío
- **Clase** UO2 CO4
- **Fecha** 16 Oct 2019
- **Cont** Estrellas – 3
- **Cátedra** Asorey





Temas de monografía para trabajo final algunas ideas, lista no excluyente

- Evolución estelar
- Objetos compactos (enanas blancas, estrellas de neutrones, agujeros negros)
- Ensayo sobre posibilidades de vida en Europa (luna de Júpiter)
- El GalaxyZoo: principales resultados
- Otras Tierras: exoplanetas similares a la Tierra
- Spirit, Opportunity y Curiosity: explorando la superficie de Marte
- La sonda Cassini-Huygens: Saturno y Titán
- El Big Bang
- Nucleosíntesis
- ...



Temas de monografía para trabajo final algunas ideas, lista no excluyente

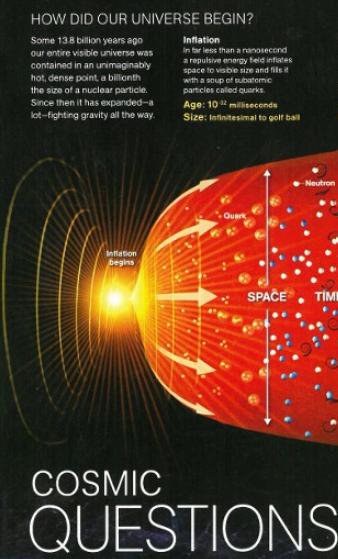
- Evolución estelar
- Objetos compactos (enanas blancas, estrellas de neutrones,

METODOLOGÍA CHARLA DE CIERRE

- Charla de 30 minutos, público objetivo: sus compañeros de IPAC 2019
- Presentación virtual por hangout el **Miércoles 20/NOV/2018 19:00**
- Fecha de límite de selección de tema: **Miércoles 30/OCT/2019 19:00**
- Es condición de promoción la presentación de esta charla

...

Contenidos: un viaje en el tiempo



In the 20th century the universe became a story—a scientific one. It had always been seen as static and eternal. Then astronomers observed other galaxies flying away from ours, and Einstein's general relativity theory implied space itself was expanding—which meant the universe had once been denser. What had seemed eternal now had a beginning and an end. But what beginning? What end? Those questions are still open.

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.



WHAT IS THE SHAPE OF OUR UNIVERSE?

Einstein discovered that a star's gravity curves space around it. But is the whole universe curved? Might space close up on itself like a sphere or curve the other way, opening out like a saddle? By studying cosmic background radiation, scientists have found that the universe is poised between the two: just dense enough with just enough gravity to be almost perfectly flat, at least the part we can see. What lies beyond we can't know.



Unidad 2 Astrofísica *Cálido y frío*

DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

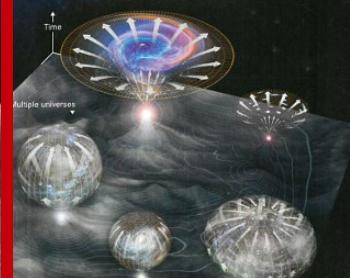
What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has density. And quantum inflation theory says our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea 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.

HOW WILL IT END?

Which will win in the end, gravity or antigravity? Is the density of matter enough for gravity to halt or even reverse cosmic expansion, leading to a big crunch? It seems unlikely—especially given the power of dark energy, a kind of antigravity. Perhaps the acceleration in expansion caused by dark energy will trigger a big rip that shreds everything, from galaxies to atoms. If not, the universe may expand for hundreds of billions of years, long after all stars have died.



Unidad 1 Partículas 1 *todo es relativo*

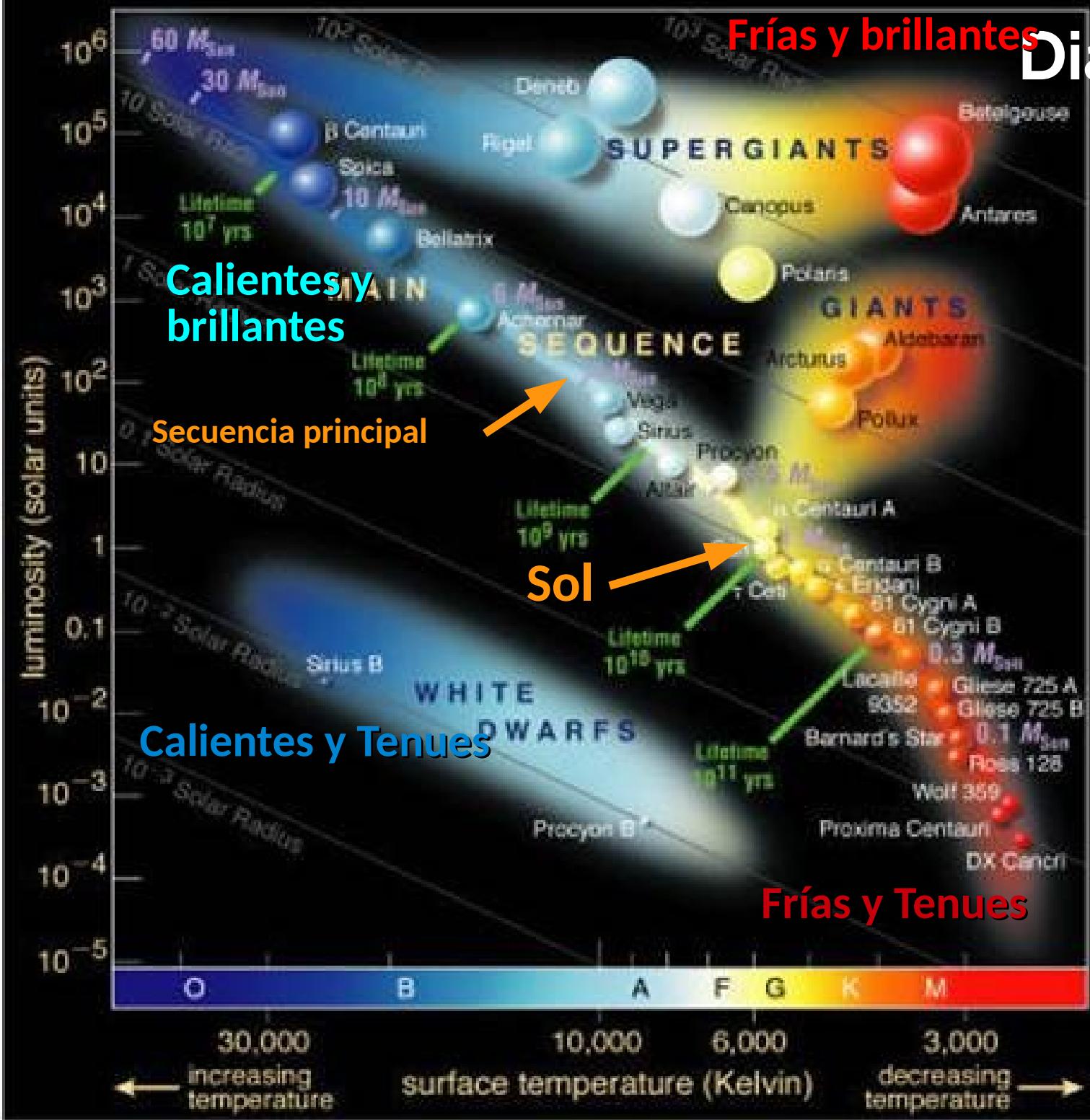


By through the universe on
our digital edition

LAWRENCE FRAZER, NICK STAFF, FABRIZIO GEMMELLI, ART MONTAGNA DESIGN SOURCES: CHARLES BENNETT, JOHN HESKETH, ANDREW LINSLEY, CHRISTOPHER WILHELM, UNIVERSITY OF CHICAGO; COURTESY OF THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

Frías y brillantes

Diagrama H-R

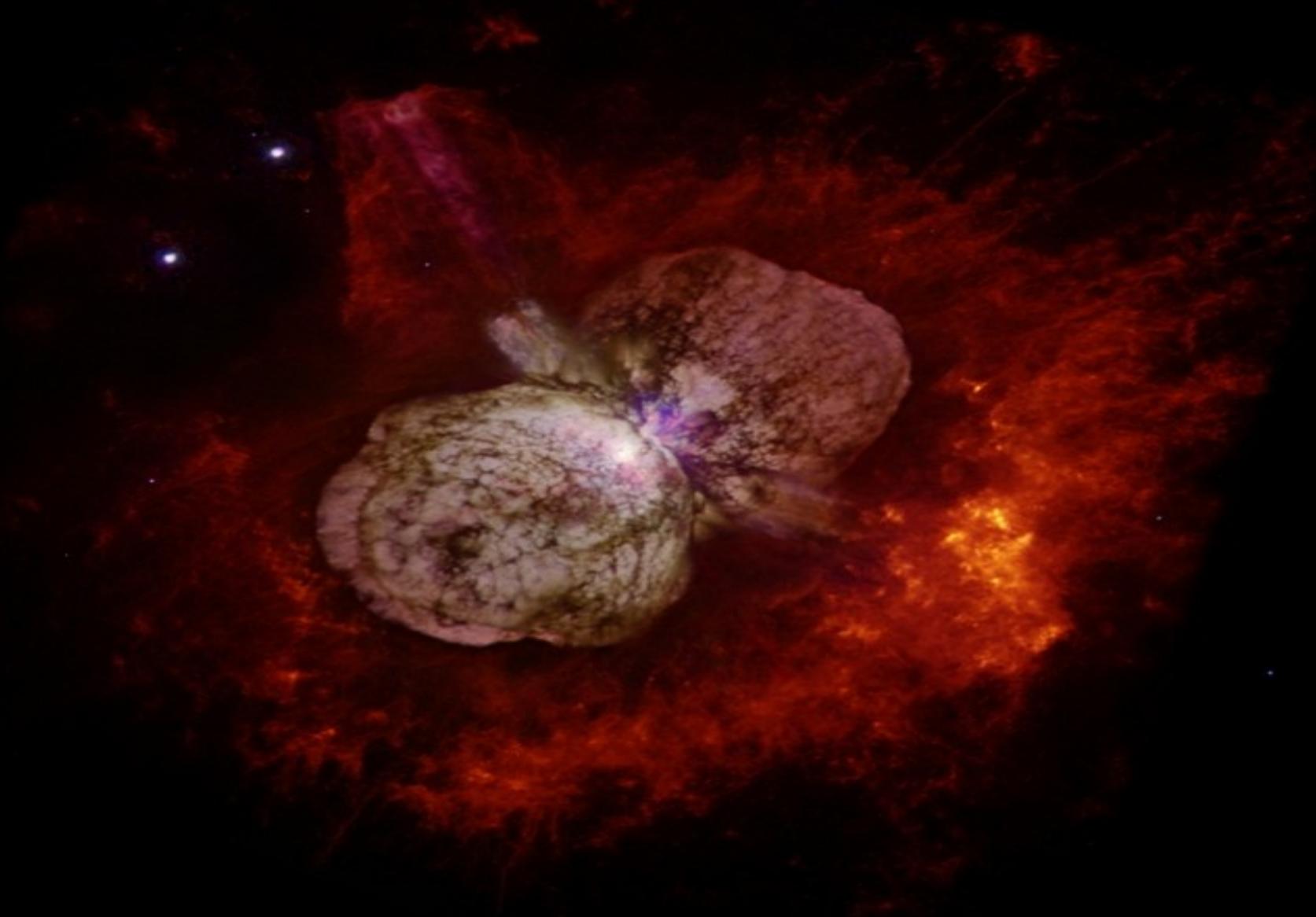


4

R²

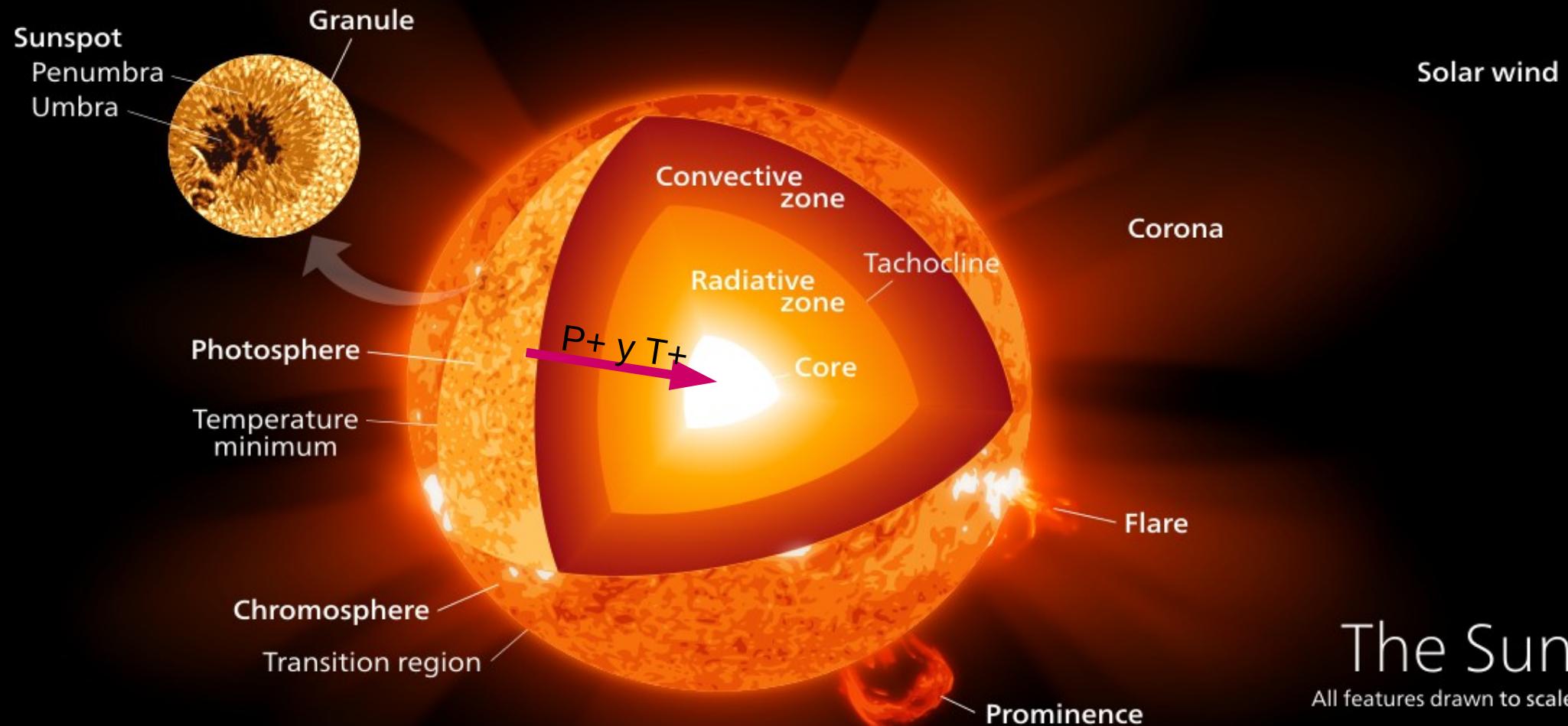
2

η Carinae: Una binaria a punto caramelo



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

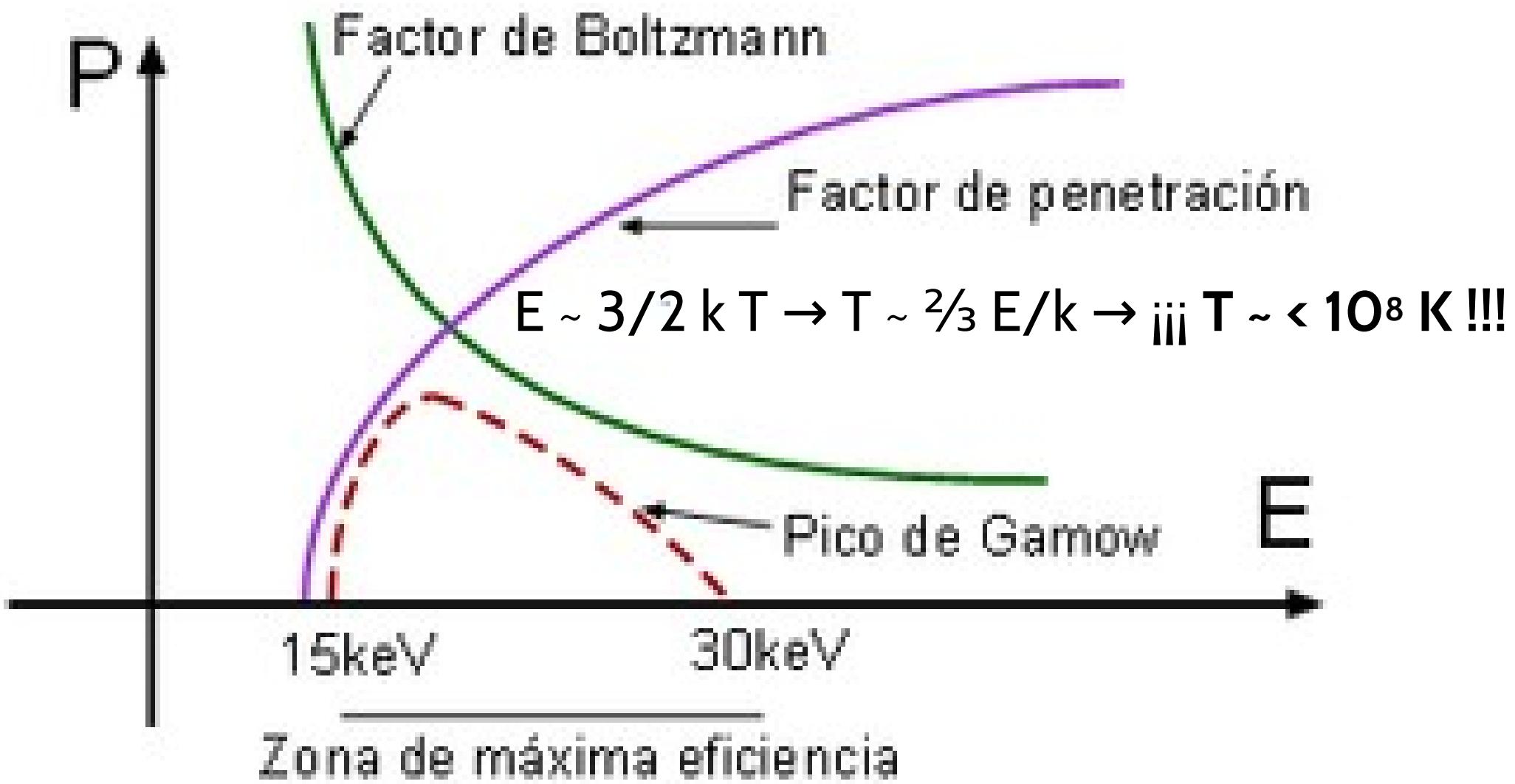
Estructura de una estrella típica (Sol)



The Sun

All features drawn to scale

Efecto túnel → Pico de Gamow (1928)





Energía liberada en un proceso de fusión

- Entonces:

$$Q = B_{\text{productos}} - \sum B_{\text{reactivos}}$$

- Los valores de $B(A,Z)$ pueden obtenerse de tablas
- Ver por ejemplo:

<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

también en Google play!:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=iaea.nds.nuclides>

- Tener en cuenta que en la mayoría de las tablas se reporta la energía de ligadura por nucleón, es decir, B/A



Fusión: Producción neta



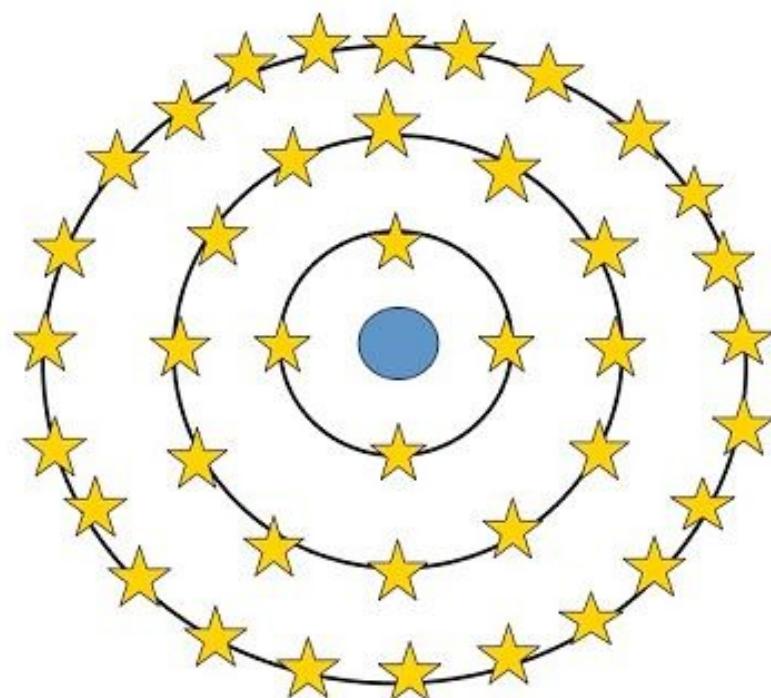
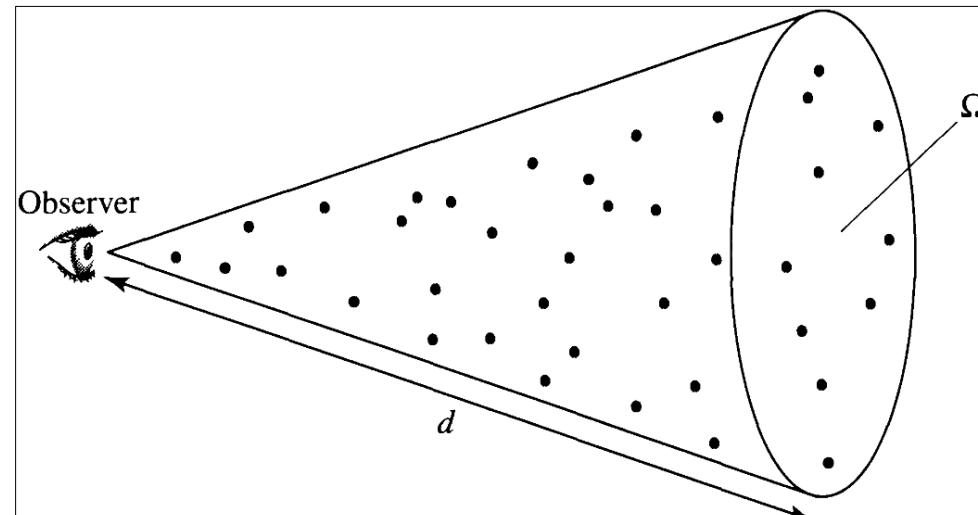
Masa inicial: $1.003 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Masa final: $0.991 \times 10^{-26} \text{ kg}$

$$E=mc^2$$

~ 26,7 MeV por reacción

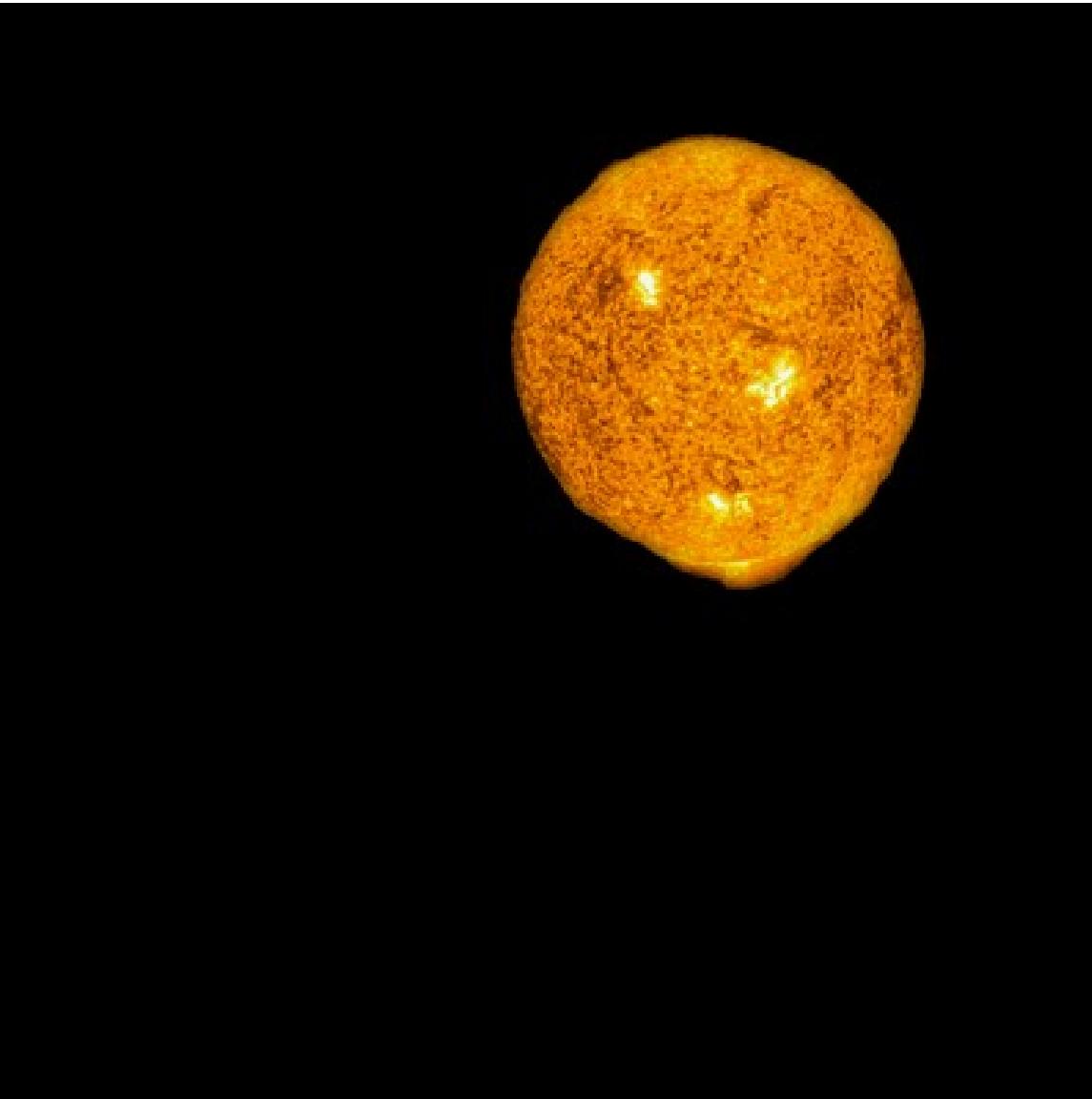
La paradoja de Olbers



- Supongamos que hay infinitas estrellas...
- El número de estrellas en la superficie de un cono crece como d^2 .
- Pero el flujo disminuye como d^2 .
- Ergo, el flujo de energía de la superficie del cono es constante
- El cielo completo brillaría como las estrellas $\rightarrow T=5700\text{ K}$



Paradoja de Olbers



- No hay infinitas estrellas
- Hay absorción en el espacio

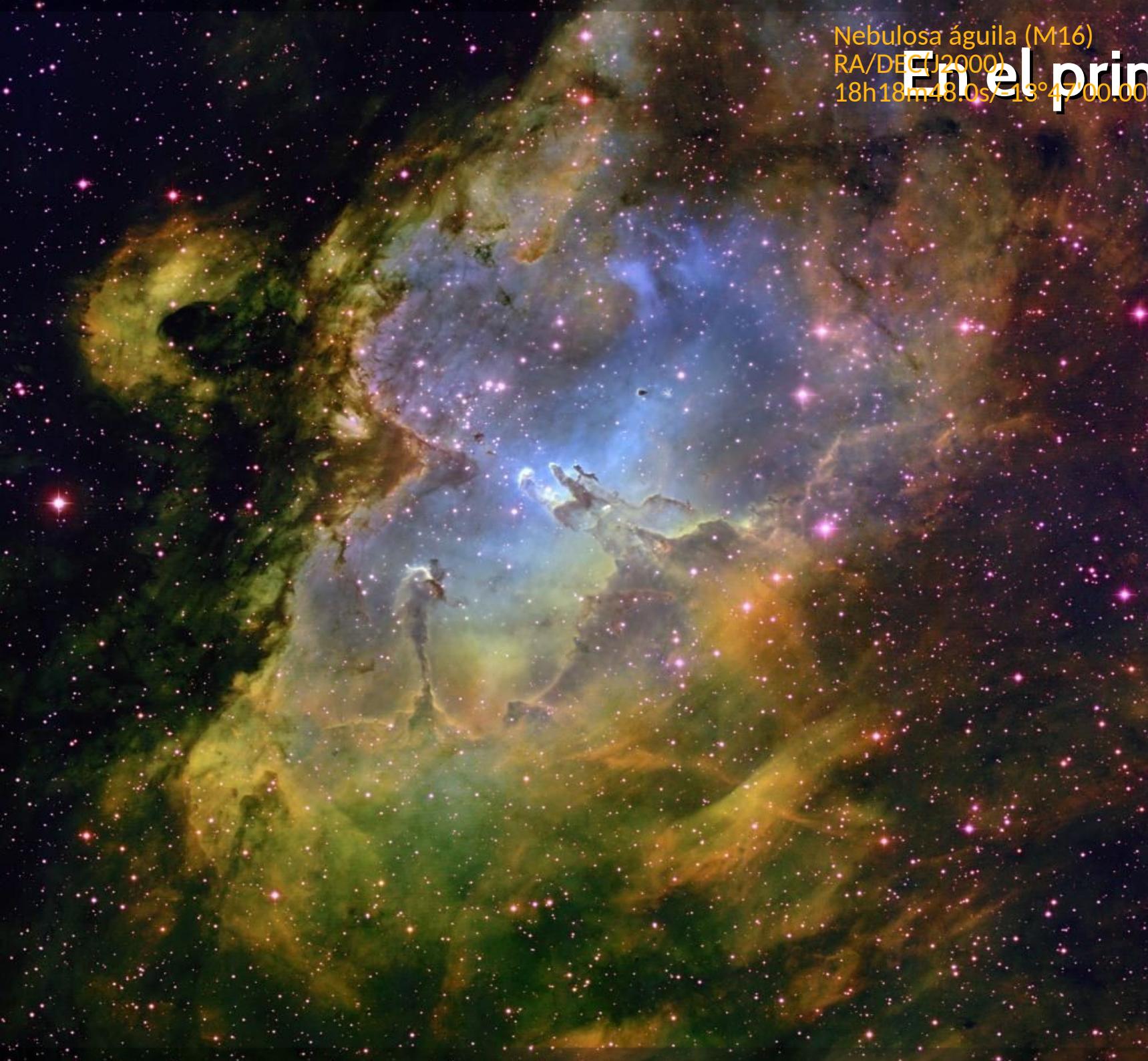


Nebulosa águila (M16)

RA/DEC (J2000)

18h18m48.0s / 18°47'00.00"

En el principio...



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!
- → Gigantes Rojas



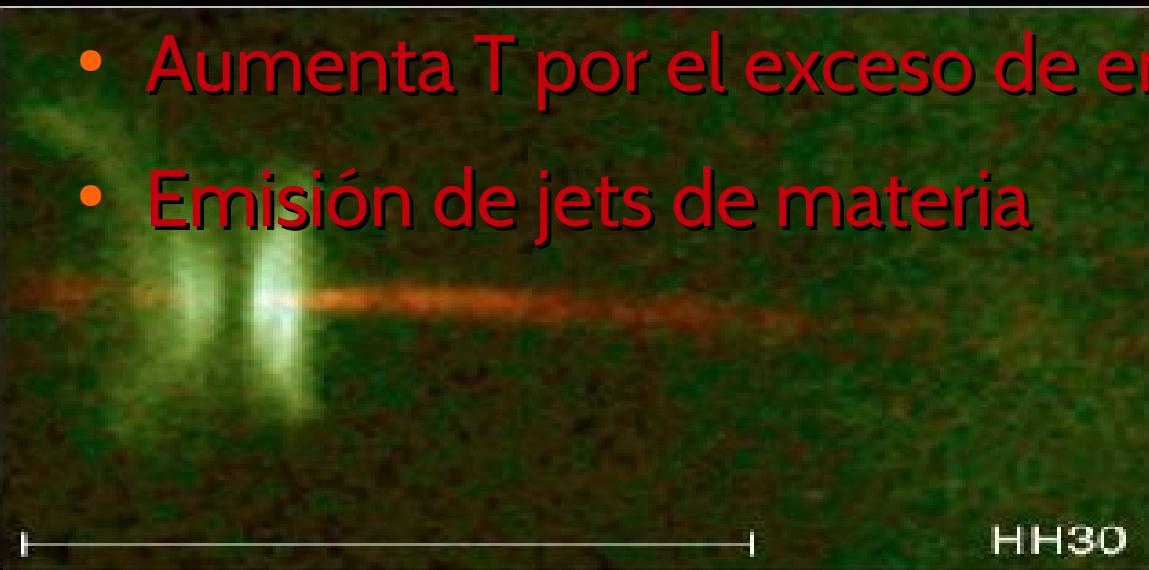
Formación estelar



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

Pre-Secuencia

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



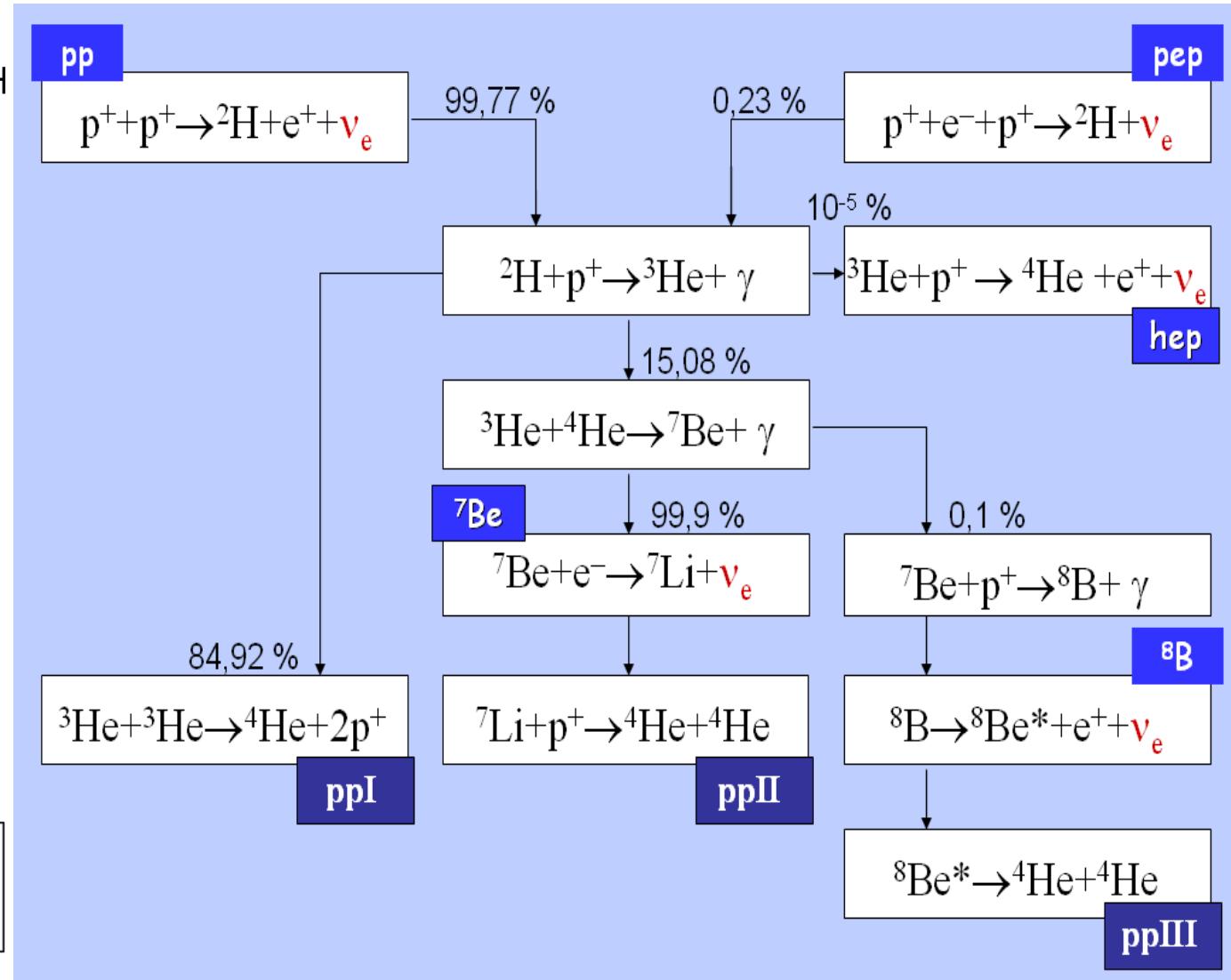
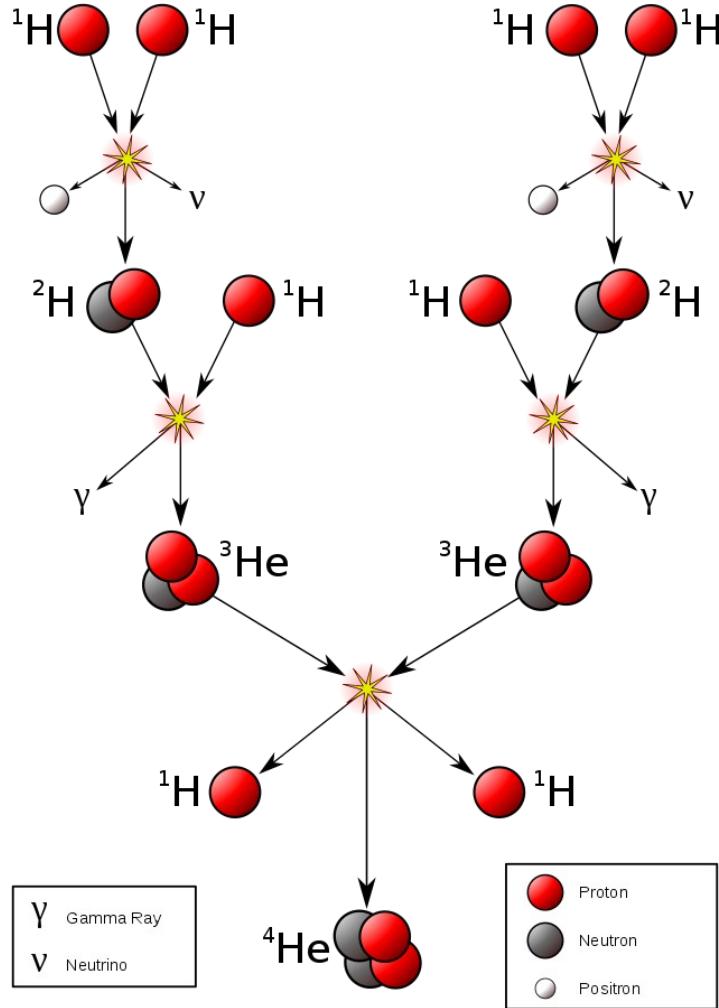
HST · WFPC2

Jets from Young Stars

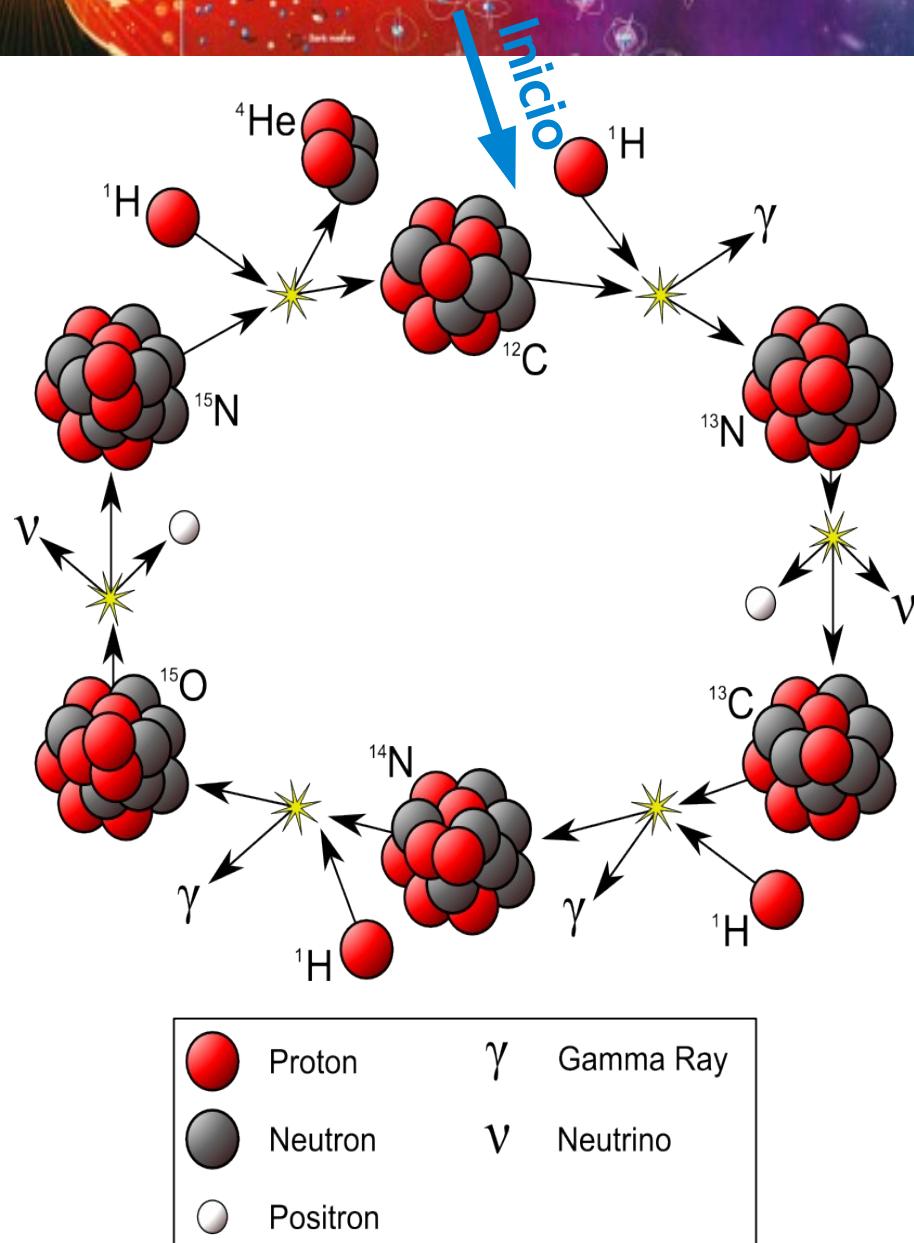
PRC95-24a · ST Scl OPO · June 6, 1995

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

La cadena protón protón (*pp chain*)



En estrellas más masivas, además... ciclo CNO

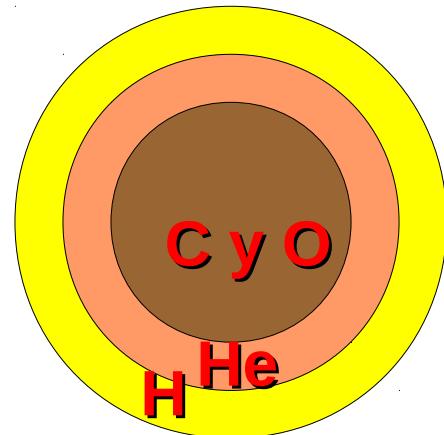
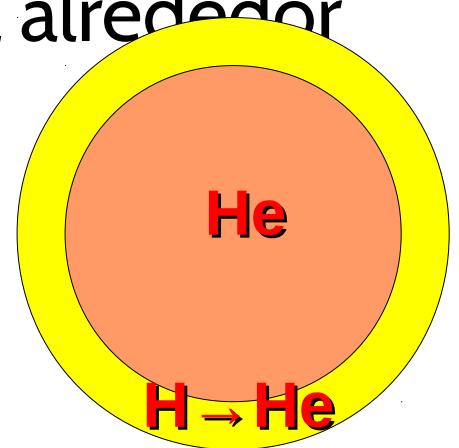


- Ciclo CNO (Carbono, Nitrógeno, Oxígeno)
- Usa el CNO como “catalizador”
- La reacción neta convierte $4 \text{ p} \rightarrow \text{He} + \text{neutrinos} + Q$, al igual que la cadena pp
- Libera la misma cantidad de energía neta por reacción (26.73 MeV)

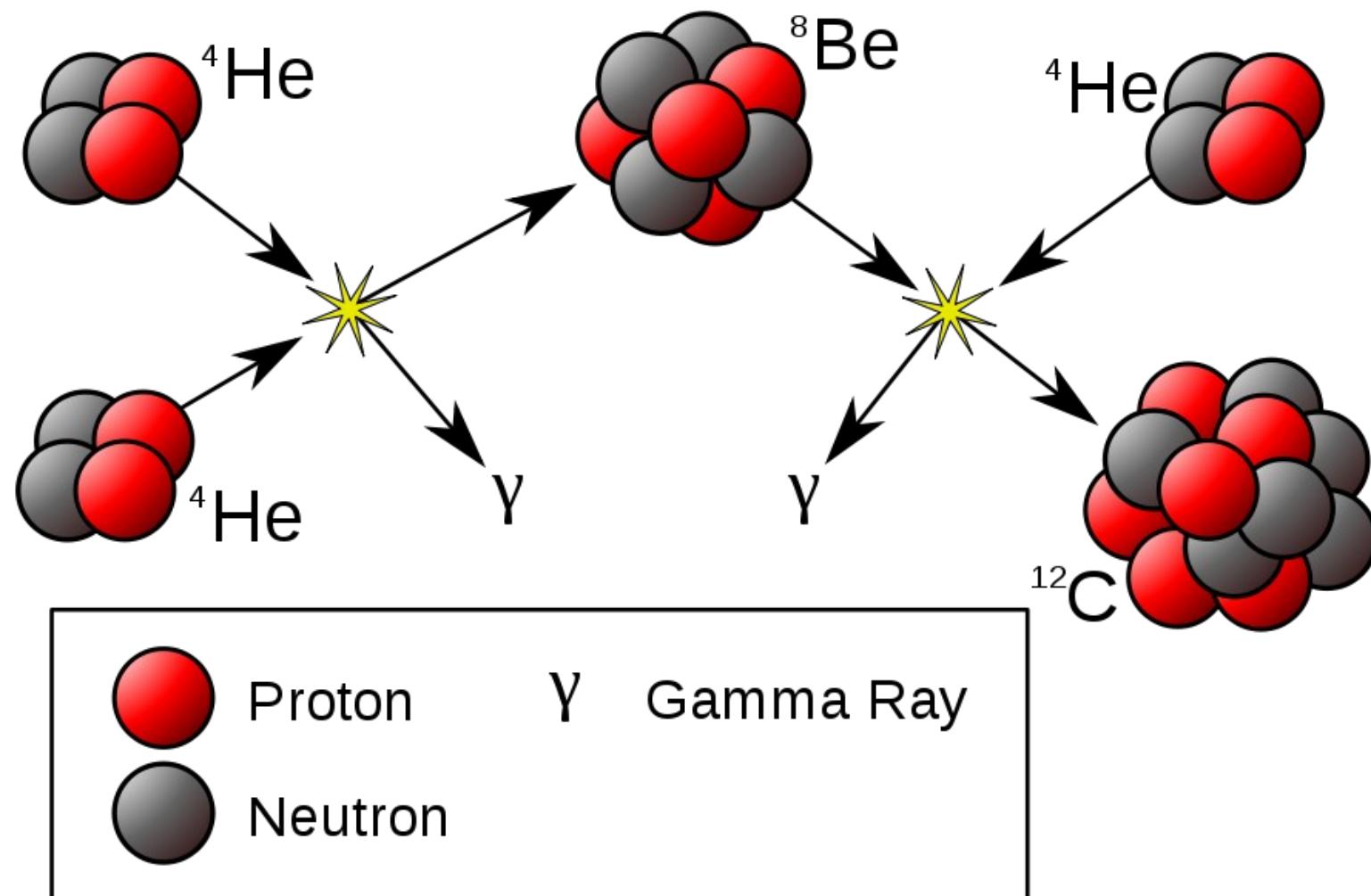
Secuencia Principal

- Conversión H → He es muy eficiente
 - 10^{10} años para $M = 1 M_{\text{Sol}}$
 - La energía radiada, $L \sim R^2 T^4$ proviene del interior
 - Velocidad de reacciones en el centro: $\sim T_c^4$
 - $R^3 \sim M T_c / P$ (\leftarrow 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**”

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

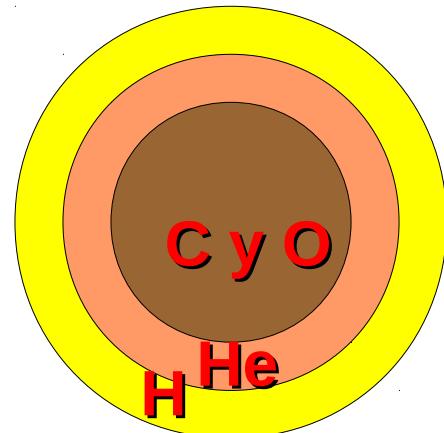
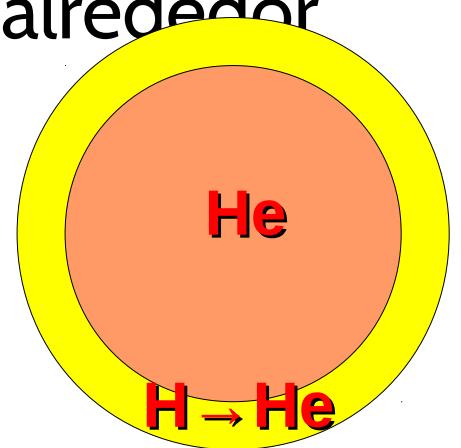


A mayor temperatura, es posible fusionar núcleos más pesados → Proceso Triple Alfa

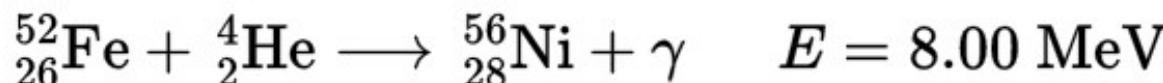
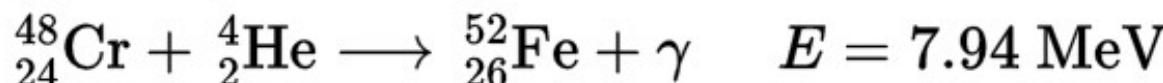
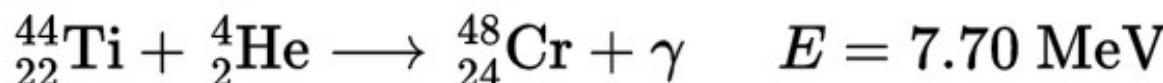
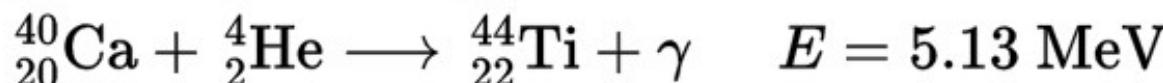
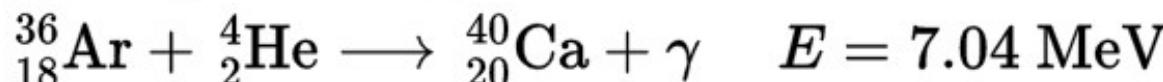
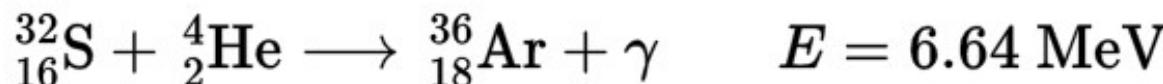
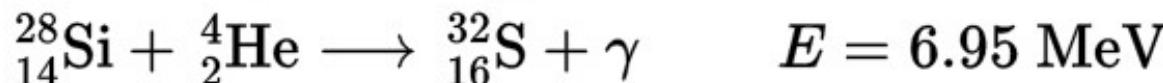
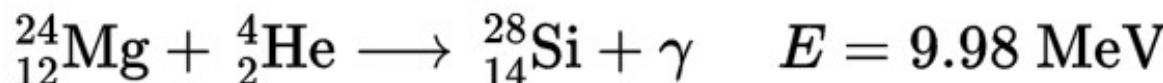
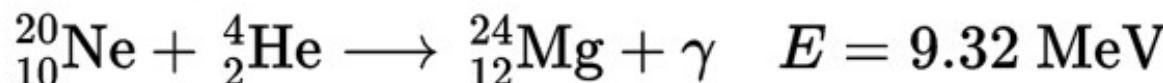
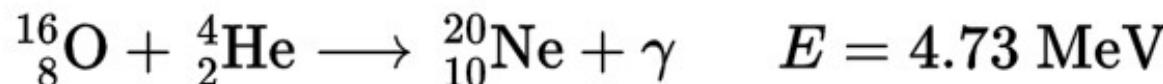
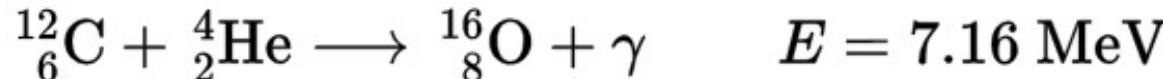




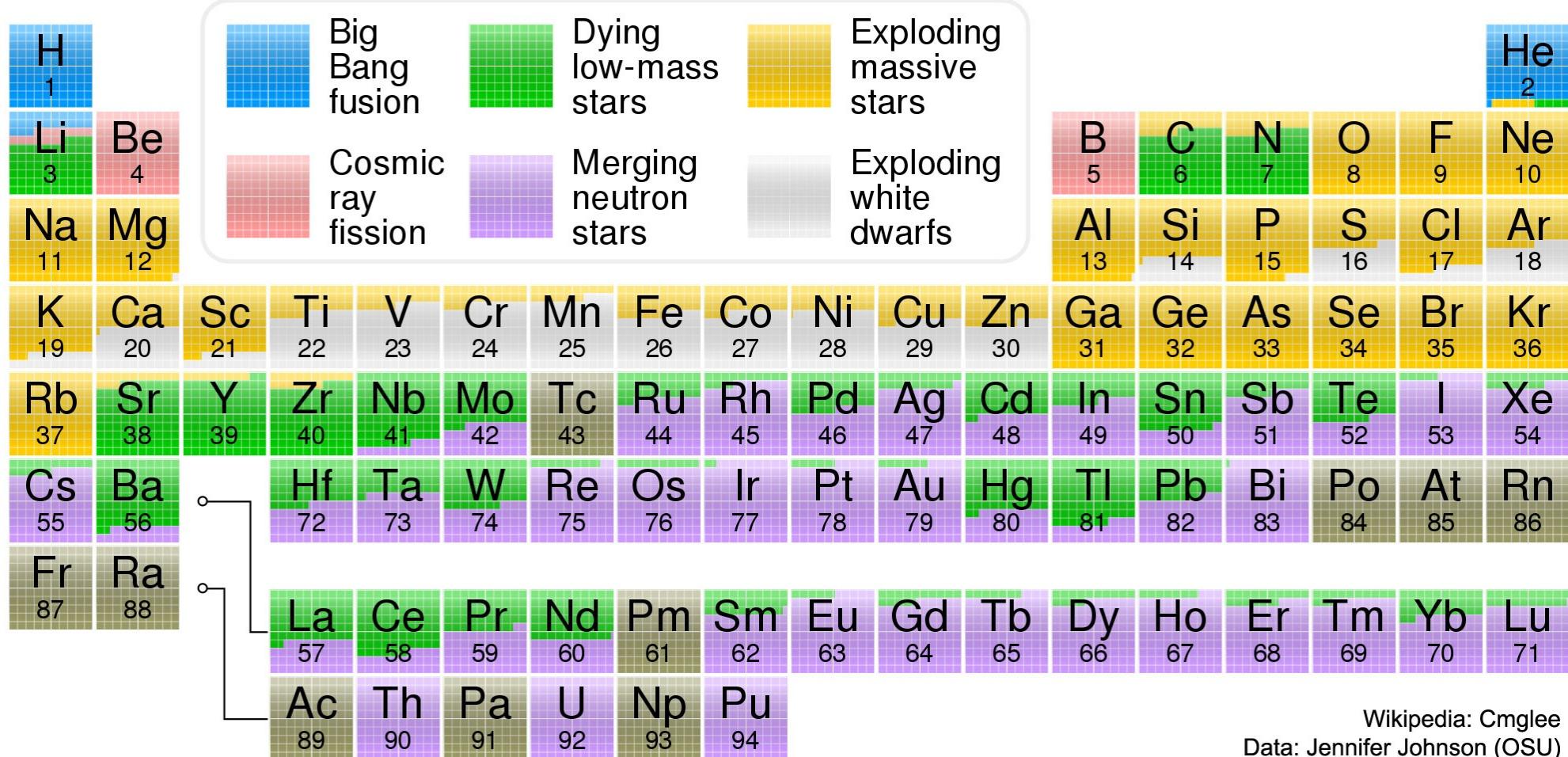
- Se acabó el H en el núcleo, ¿y ahora?
- Conversión $H \rightarrow He$, sólo en una corona alrededor del centro
- No alcanza la energía → Contracción
- Aumenta $T_c \rightarrow$ Mayor producción de E
- Si $T_c = 10^8$ K, $He \rightarrow C$ (“Flash de Helio”)
- $R_{\text{Sol}} \rightarrow 220$ veces!!!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



Y después → más masa → más temperatura →
sigo subiendo la escalera nuclear (procesos alfa)



Nucleosíntesis





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
- $\sim 10^8$ años

Hubble
Heritage

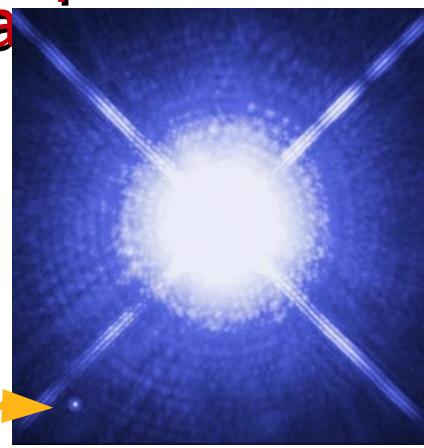
NGC2440 + HD62166
(en Pupis)

Enana blanca

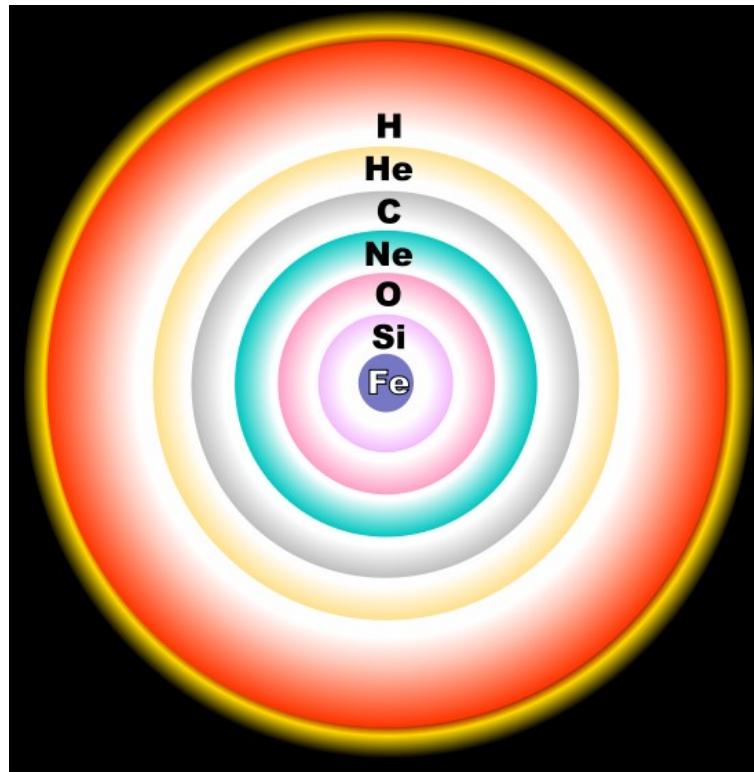
- No hay más **producción de energía**
- La gravedad **domina**
- El colapso comienza pero se detiene → **Pauli!**
- $R \sim R_{Tierra} \leftarrow$ Calcular p y v_e
- La estrella se **enfria por radiación al espacio**
→ Enana negra

:(

Sirio B



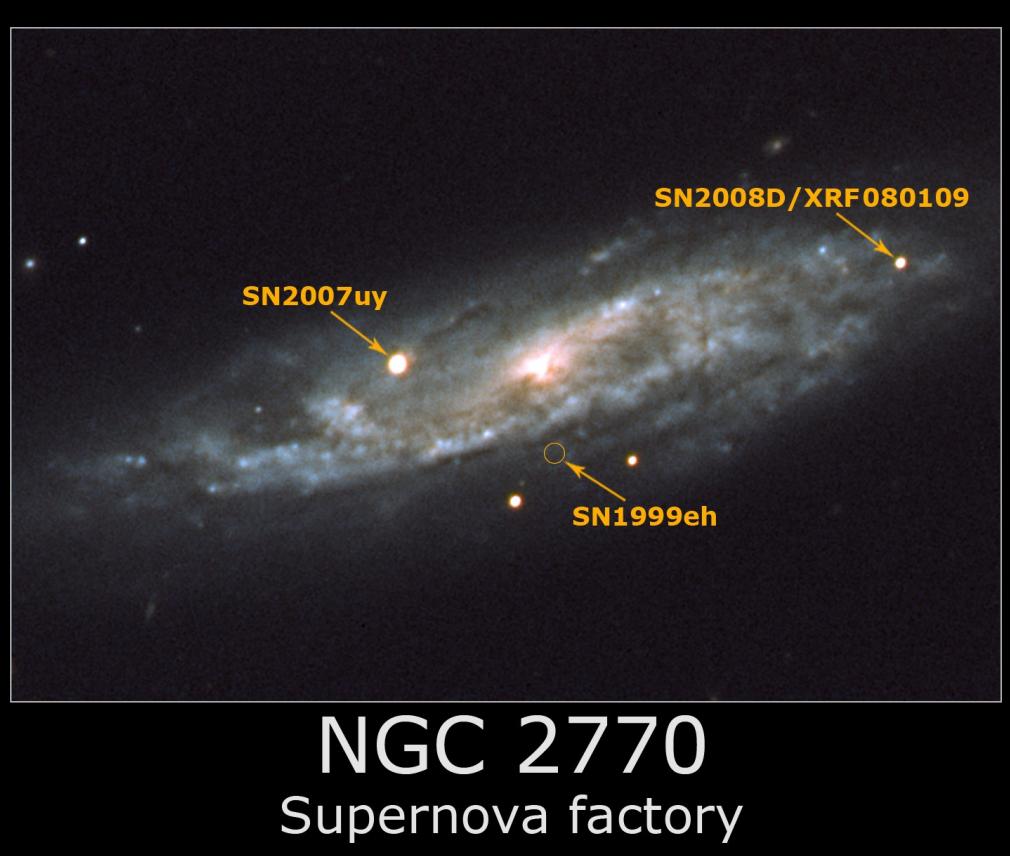
Si la masa es mayor...



- 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 gano energía uniendo Fe
- Sin fusión, desaparece la presión por radiación

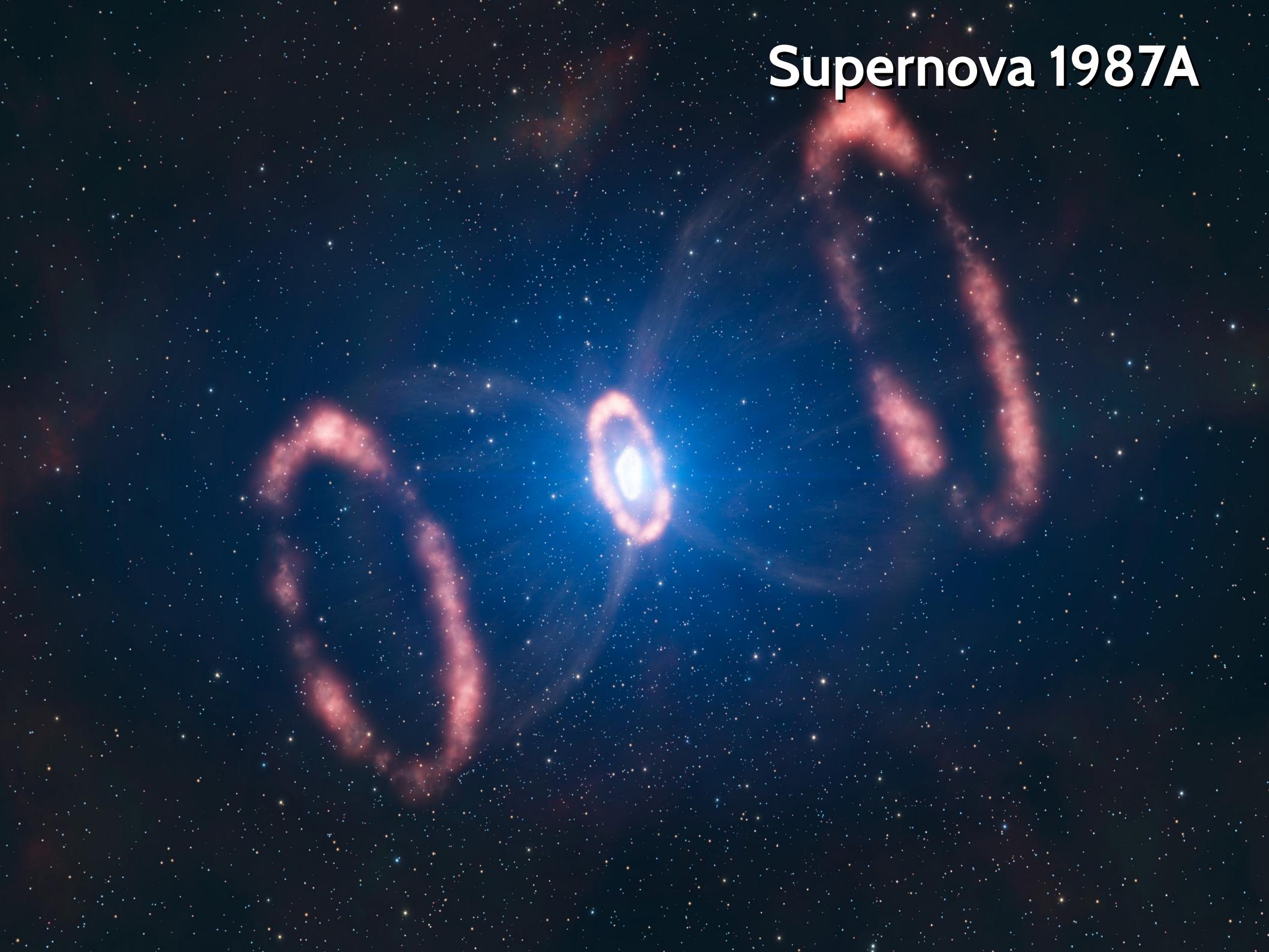
¡El núcleo colapsa!
Asorey IPAC 2019 U02C04

Supernovas



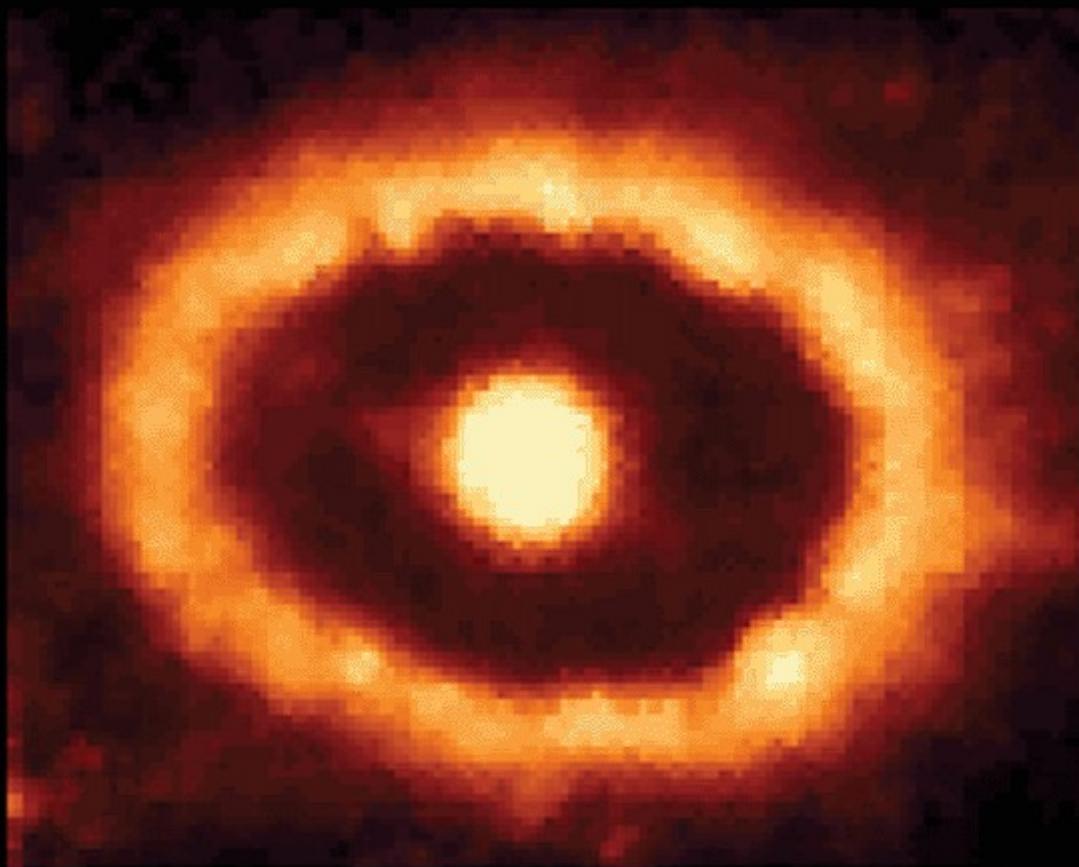
- Dos tipos de SN: I y II
- Estás son las tipo II
- En el núcleo:
 $p^+ + e^- \rightarrow n + \nu_e$
- Estrella de neutrones
- $M \sim 2 M_{\text{Sol}}, R \sim 20 \text{ km}$
- ¡Calcular ρ y v_e !
- Pulsars (LGM)
- **M grandes → Agujeros Negros**

Supernova 1987A



Supernova 1987A

(u03-c04-sn1987ashock.gif)



09/1994

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

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Gargantúa (Interstellar)

