

# ORIGEN DEL UNIVERSO

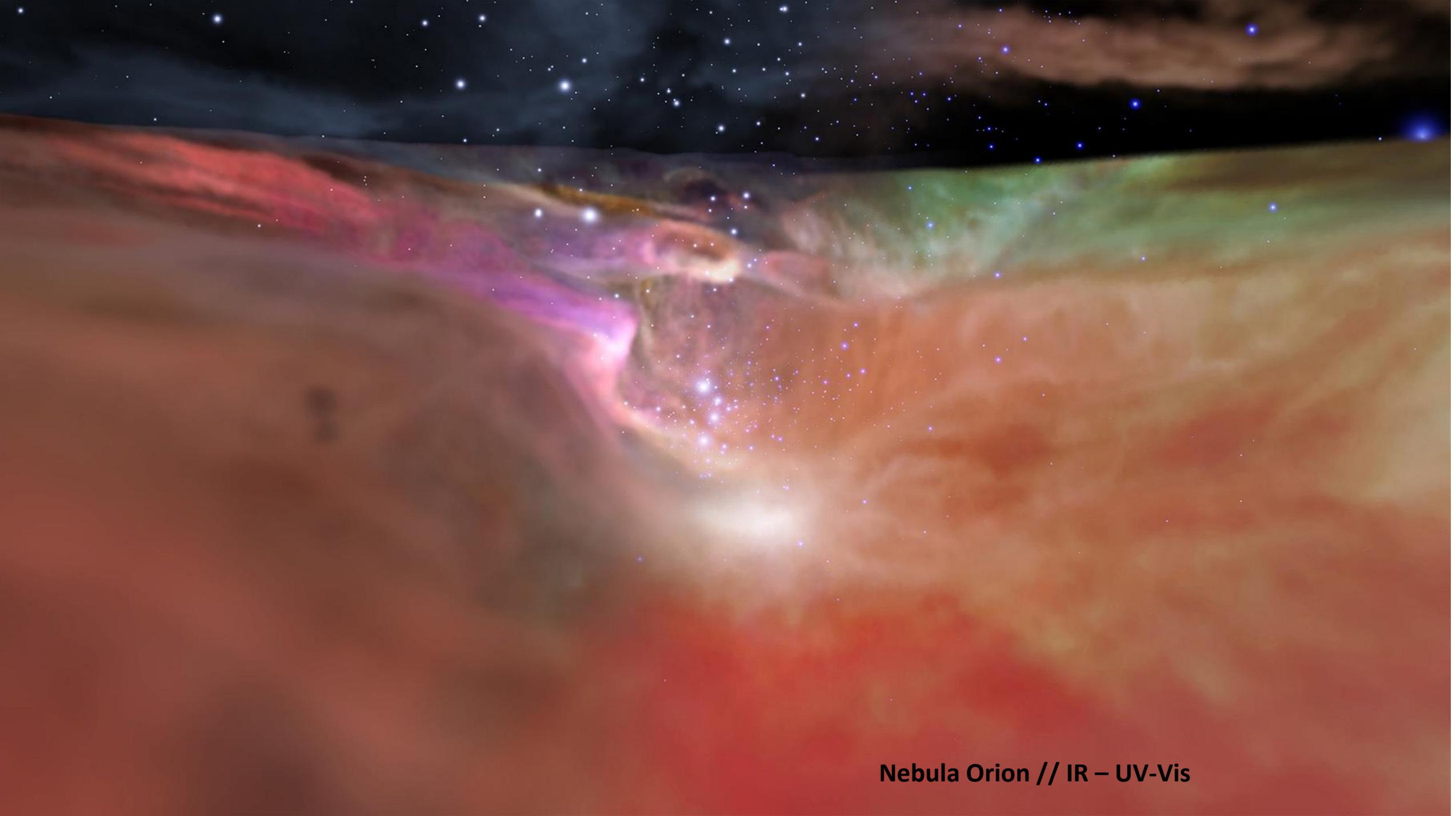
## FORMACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Química inorgánica I

Paulino Guillermo Zerón Espinosa



Galaxias Antennae // X-Ray, IR, UV-Vis



Nebula Orion // IR – UV-Vis



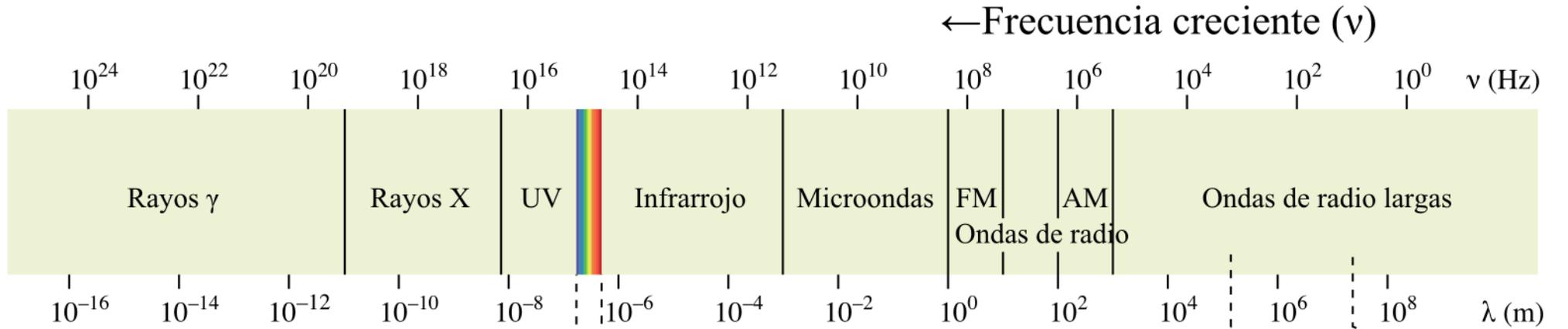




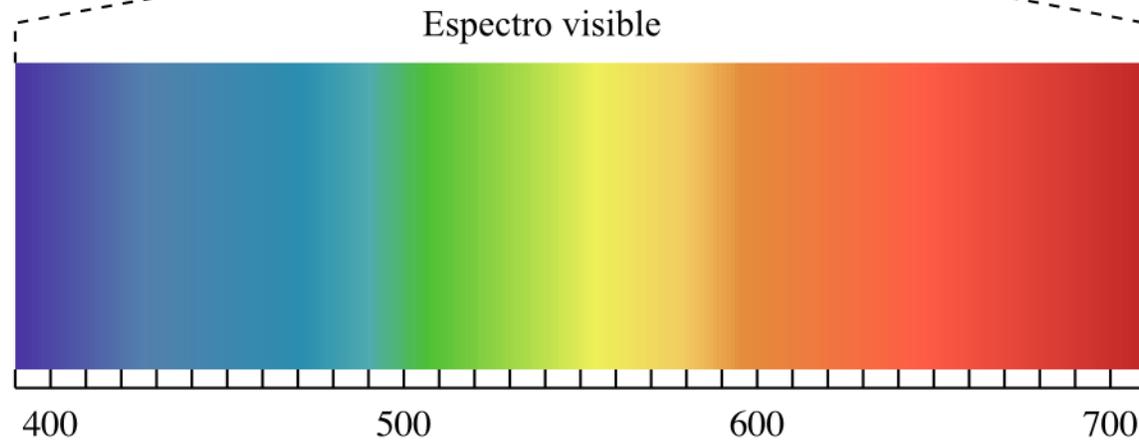
# ¿Cómo se formo el Universo?

- Teoría más aceptada: el BIG BANG
- Pero, ¿cómo lo sabemos?
  - Alejamiento de las galaxias
  - La radiación de fondo
  - Distribución actual de elementos en el Universo

# Espectro electromagnético

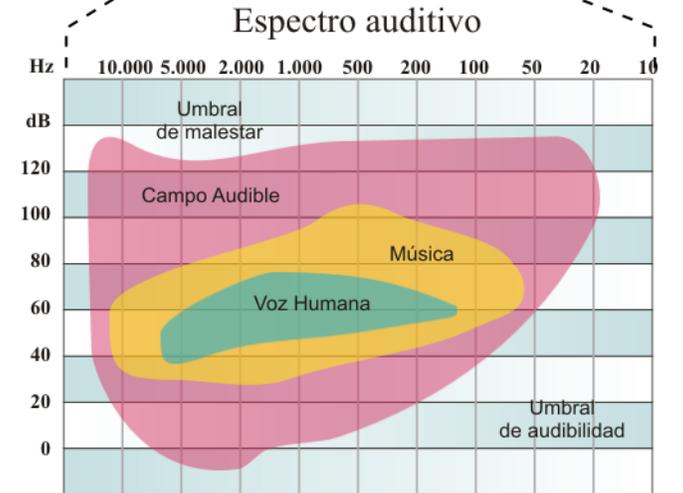


Longitud de onda creciente ( $\lambda$ ) →



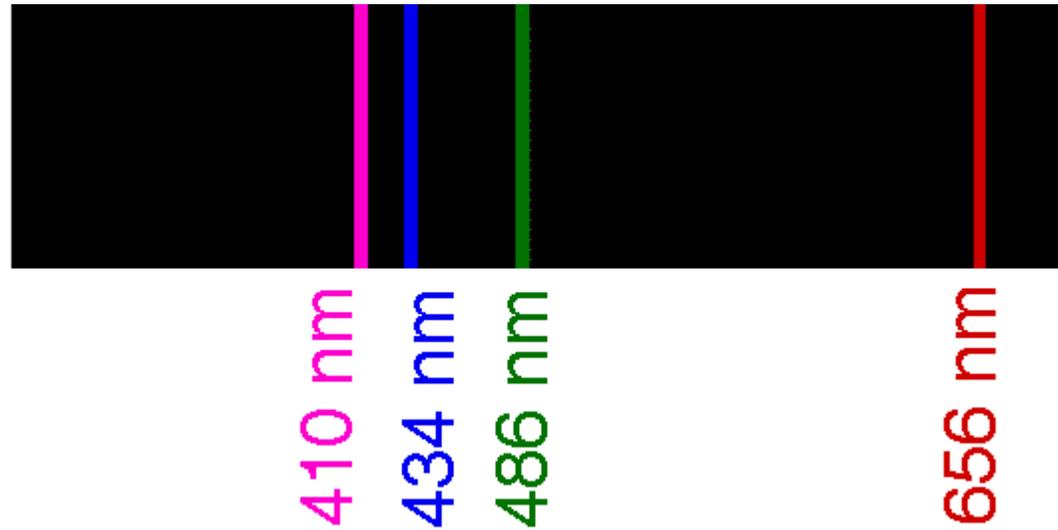
Longitud de onda creciente ( $\lambda$ ) en nm →

$E = h\nu$



# Espectro de emisión

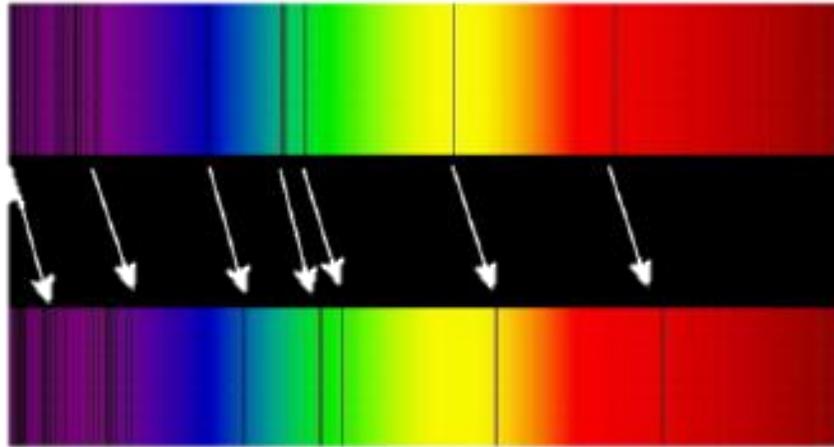
- Hidrógeno



- Neón



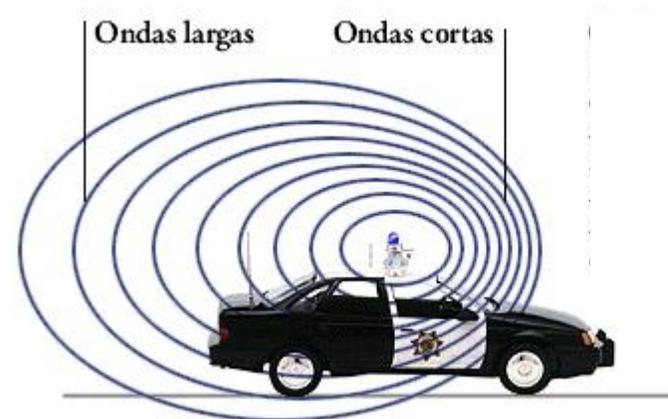
# Corrimiento al rojo



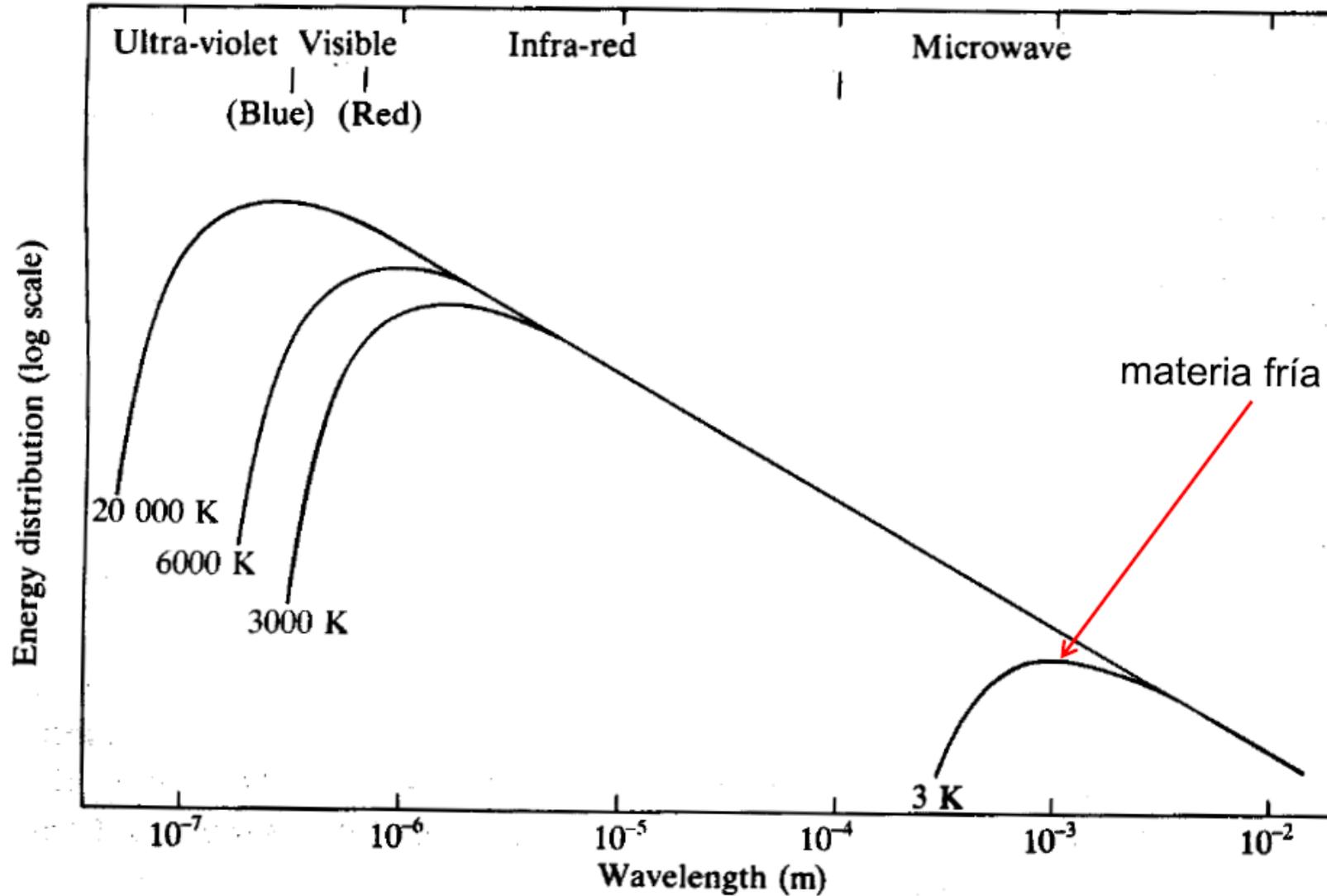
Espectro de una estrella lejana similar al Sol vs el espectro del Sol

TODAS las galaxias se están alejando. Todo debe de haber partido de un solo punto

- La luz se descompone en un prisma
- Elementos absorben líneas características
- Efecto Doppler



# Radiación cósmica de fondo



# Distribución de los elementos

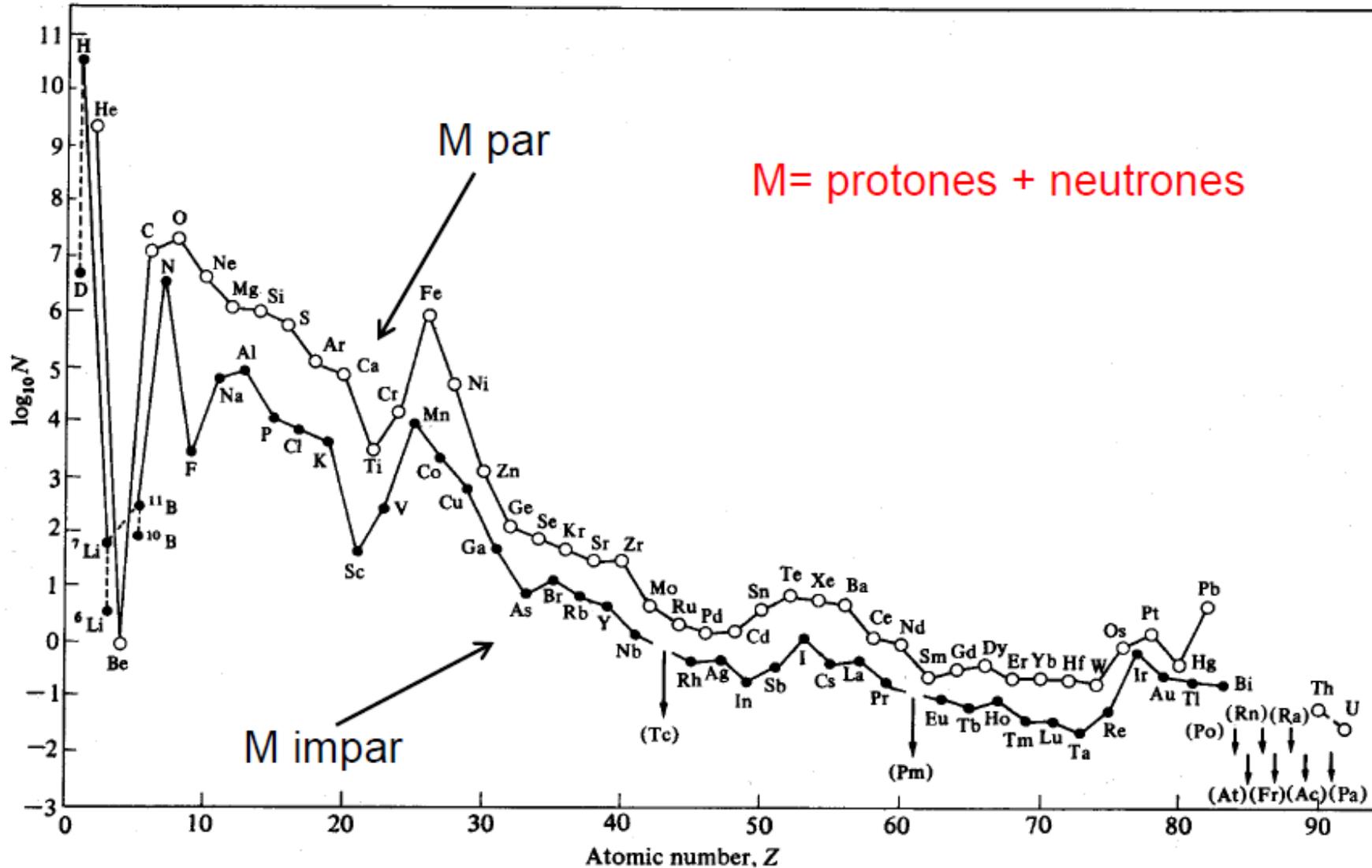
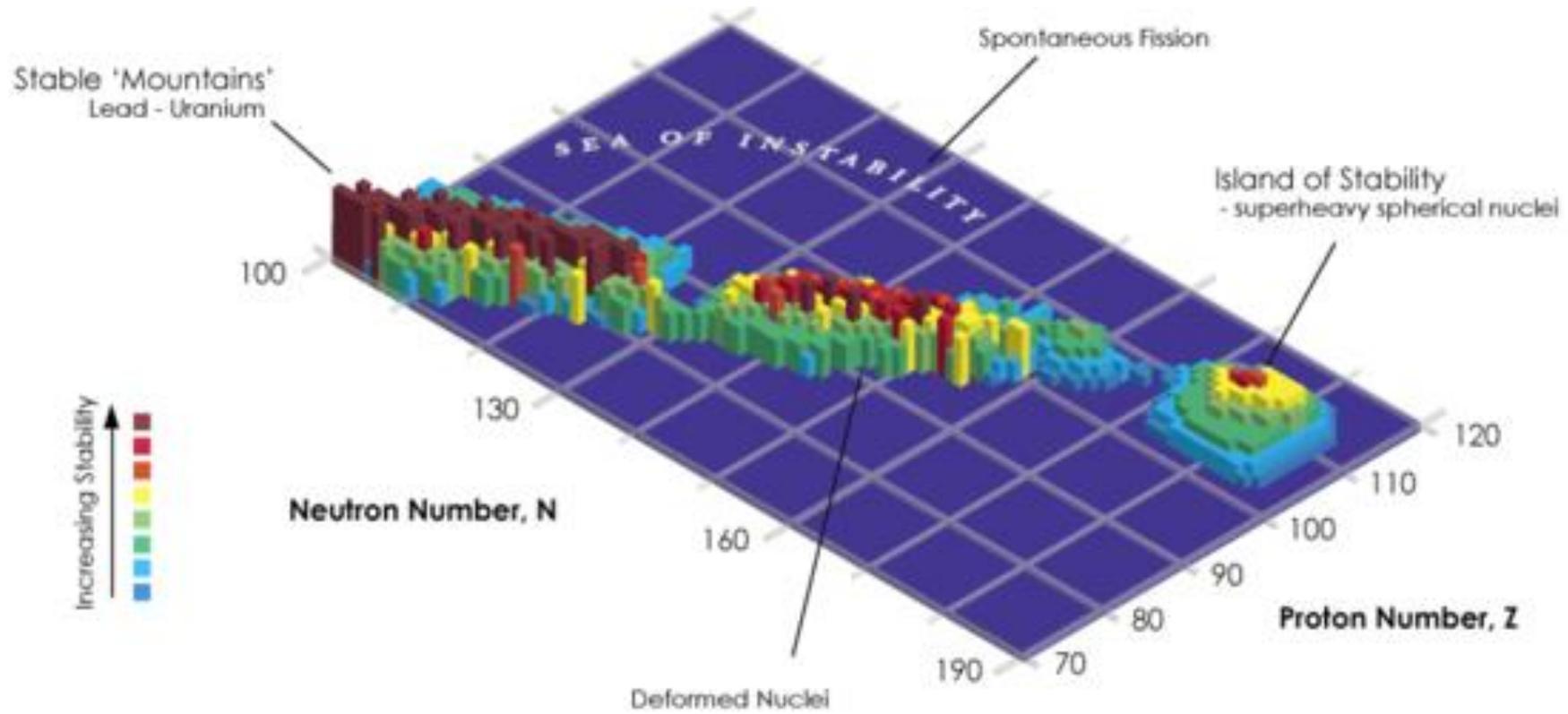


FIG. 1.1 Cosmic abundances of the elements as a function of atomic number  $Z$ . Abundances are expressed as numbers of atoms per  $10^6$  atoms of Si and are plotted on a logarithmic scale. (From A. G. W. Cameron, *Space Sci. Rev.* 15, 121-46 (1973), as updated by Brian Mason, private communication.)

# Estabilidad de los núcleos atómicos

- Competencia entre dos interacciones en competencia:
  - Repulsión electroestática entre protones
  - Fuerza nuclear fuerte atractiva
- Teniendo  ${}^Y X$ , si  $Y < 56$  los núcleos se fusionan
- Teniendo  ${}^Y X$ , si  $Y > 56$  los núcleos se fisionan
- Son más estables los elementos con número par de protones (Z) o neutrones (N)
- Números mágicos 2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126

# Isla de estabilidad



Tiempo desde el Big Bang

Presente

1 000 millones de años

300 000 años

4 minutos

0.001 segundos

$10^{-10}$  segundos

### Era de las galaxias

Estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias. Empieza la nucleosíntesis estelar.

### Era de los átomos

Se forman los átomos. La radiación queda libre y forma la radiación de fondo.

### Era de los núcleos

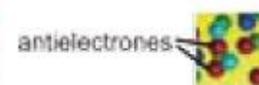
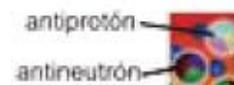
Termina la nucleosíntesis primigenia. La materia normal queda constituida de 75% de hidrógeno.

### Era de la nucleosíntesis

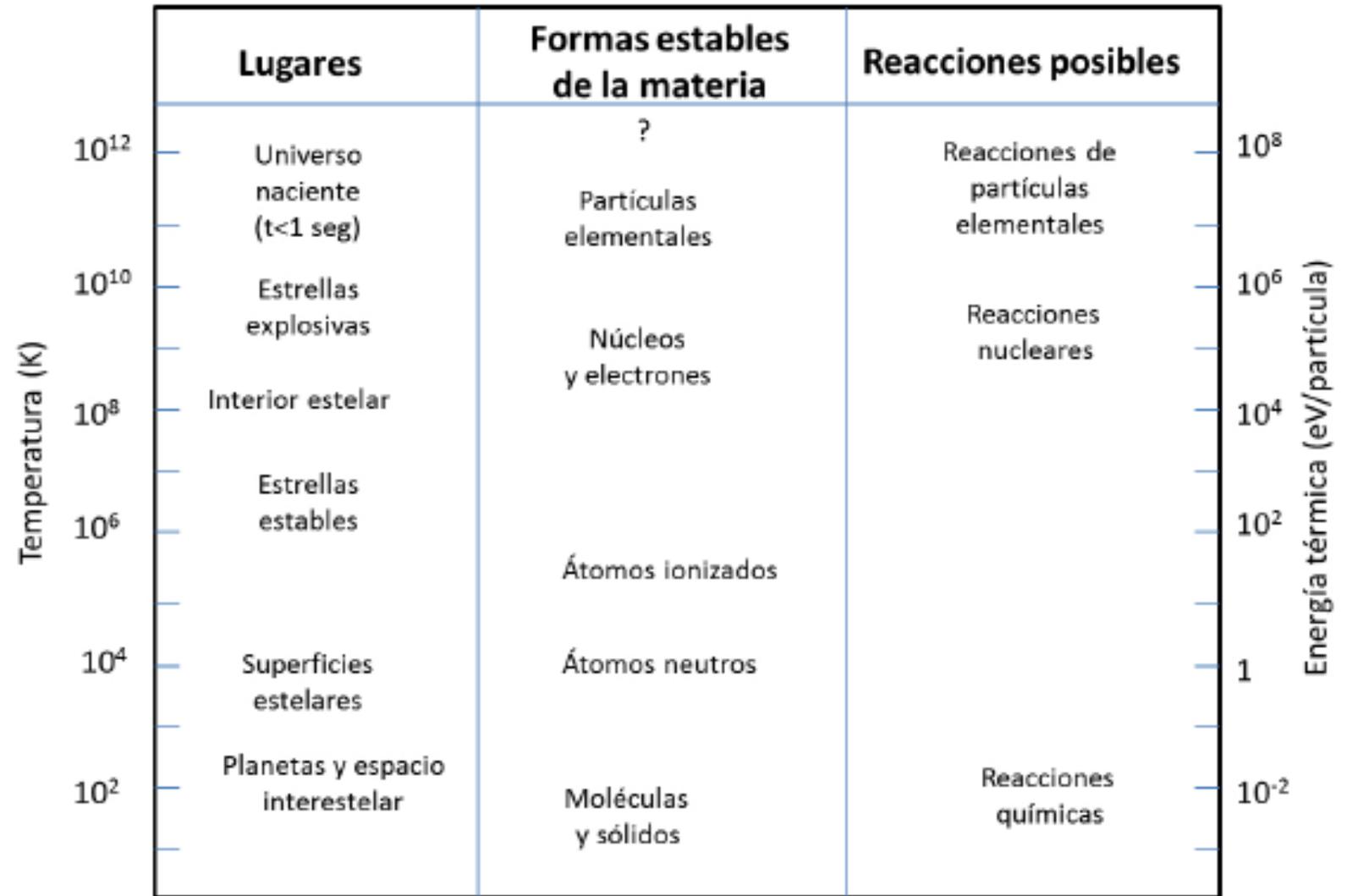
Hay protones, neutrones, electrones, neutrinos. Empieza la nucleosíntesis primigenia.

### Era de las partículas

Los quarks forman protones y neutrones.

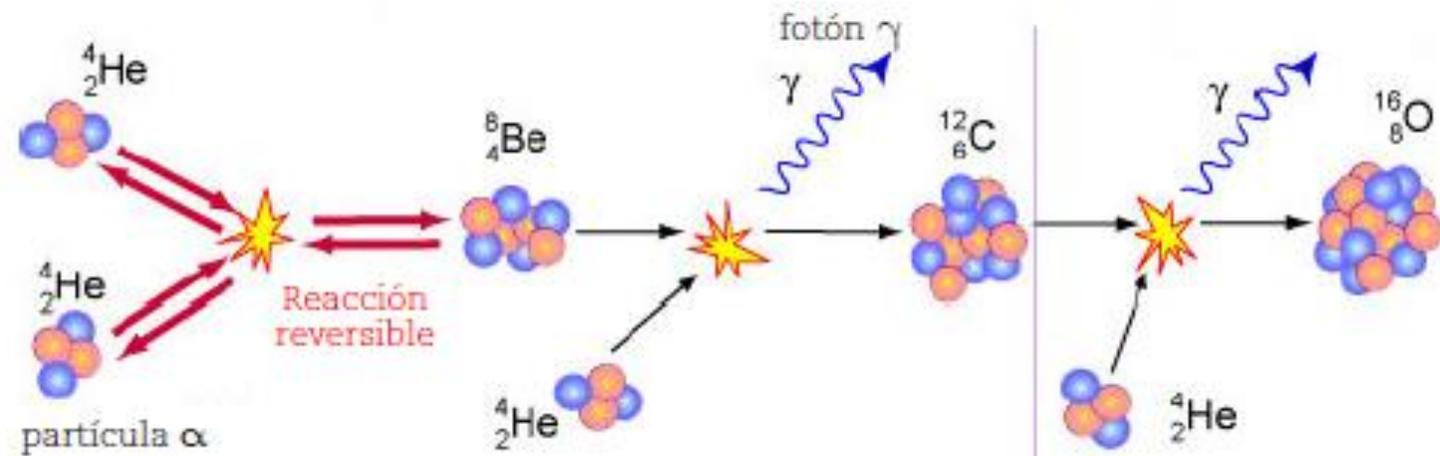


# Relación con la temperatura



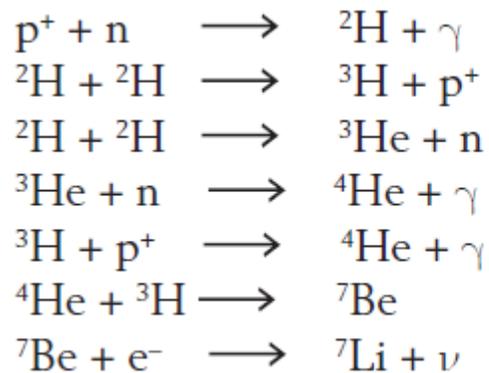
# Nucleosíntesis por etapas

- Primigenia
- Estelar
- Supernovas
- Interestelar

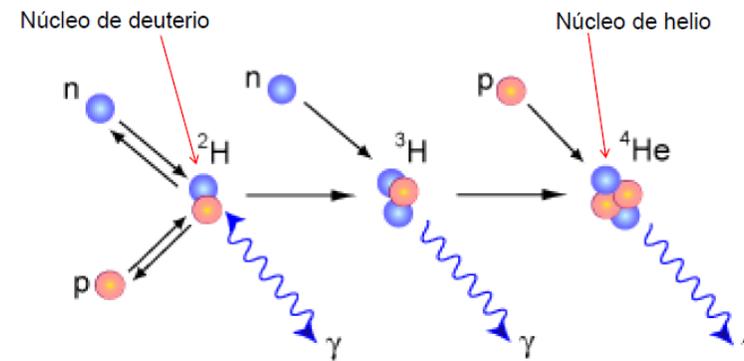


# 1ª etapa: Nucleosíntesis Primigenia

- 0-4 min, densidad gigante,  $T = 4 \times 10^8$  a  $10^9$  K
- Existían fotones ( $\gamma$ ), positrones ( $e^+$ ), neutrinos ( $\nu$ ), antineutrinos ( $\bar{\nu}$ ), protones ( $p^+$ ), neutrones ( $n$ ) y electrones ( $e^-$ )



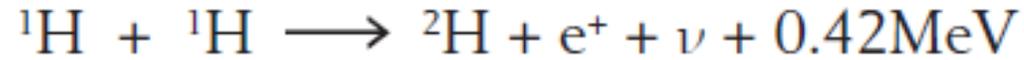
Temperatura entre  
 $4 \times 10^8$  y  $10^9$  K



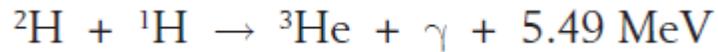
# 1ª etapa: Nucleosíntesis Primigenia

- Temperatura  $< 4 \times 10^8$  K
- Proporción de 12 a 1 de  $^1\text{H}$  contra  $^4\text{He}$  y trazas de  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  y muy poco de  $^7\text{Be}$
- Esto quedo así por casi 400 000 años, luego aparecieron los átomos neutros, la energía y la materia se desacoplaron y se enfriaron por separado

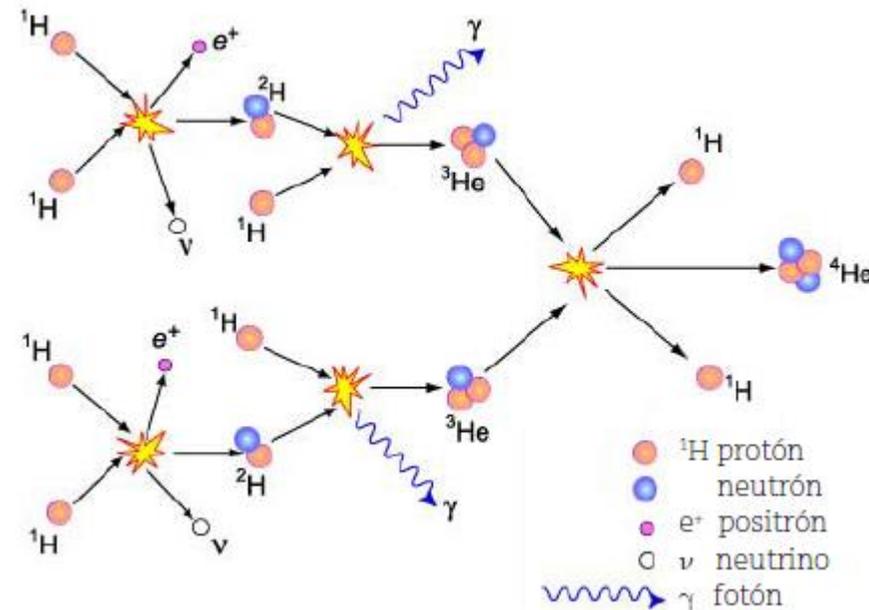
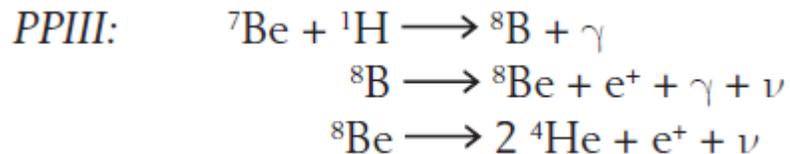
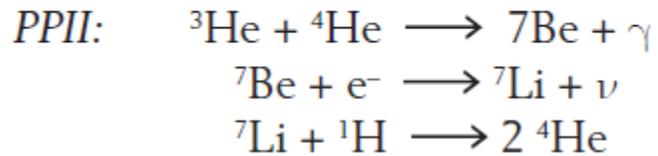
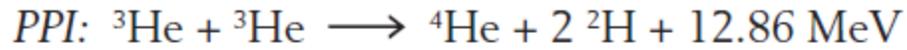
- Hans Bethe, 1939, ganador del Nobel en 1967



- Reacción en cadena protón-protón, PP



Secuencia principal de la estrella



# Nucleosíntesis

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$$

$$p^+ + e^- \rightarrow n + \nu$$

$$n + e^+ \rightarrow p^+ + \bar{\nu}$$

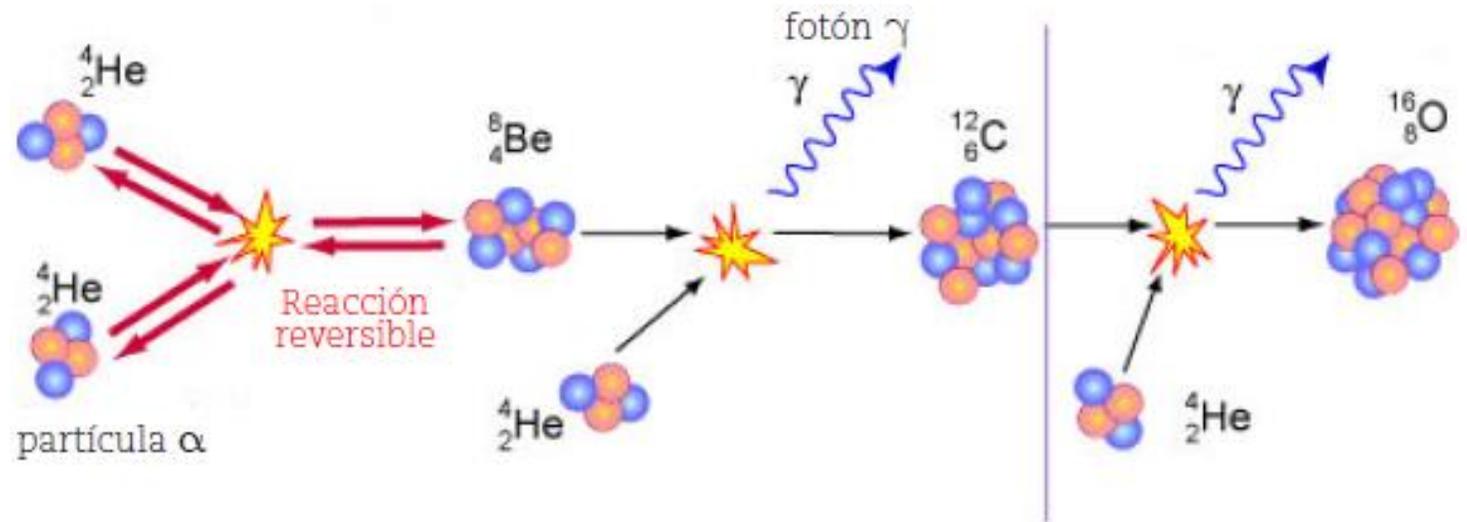
$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu$$

$$\nu + \bar{\nu} \rightarrow \gamma$$

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma$$

# 2da etapa: Nucleosíntesis estelar

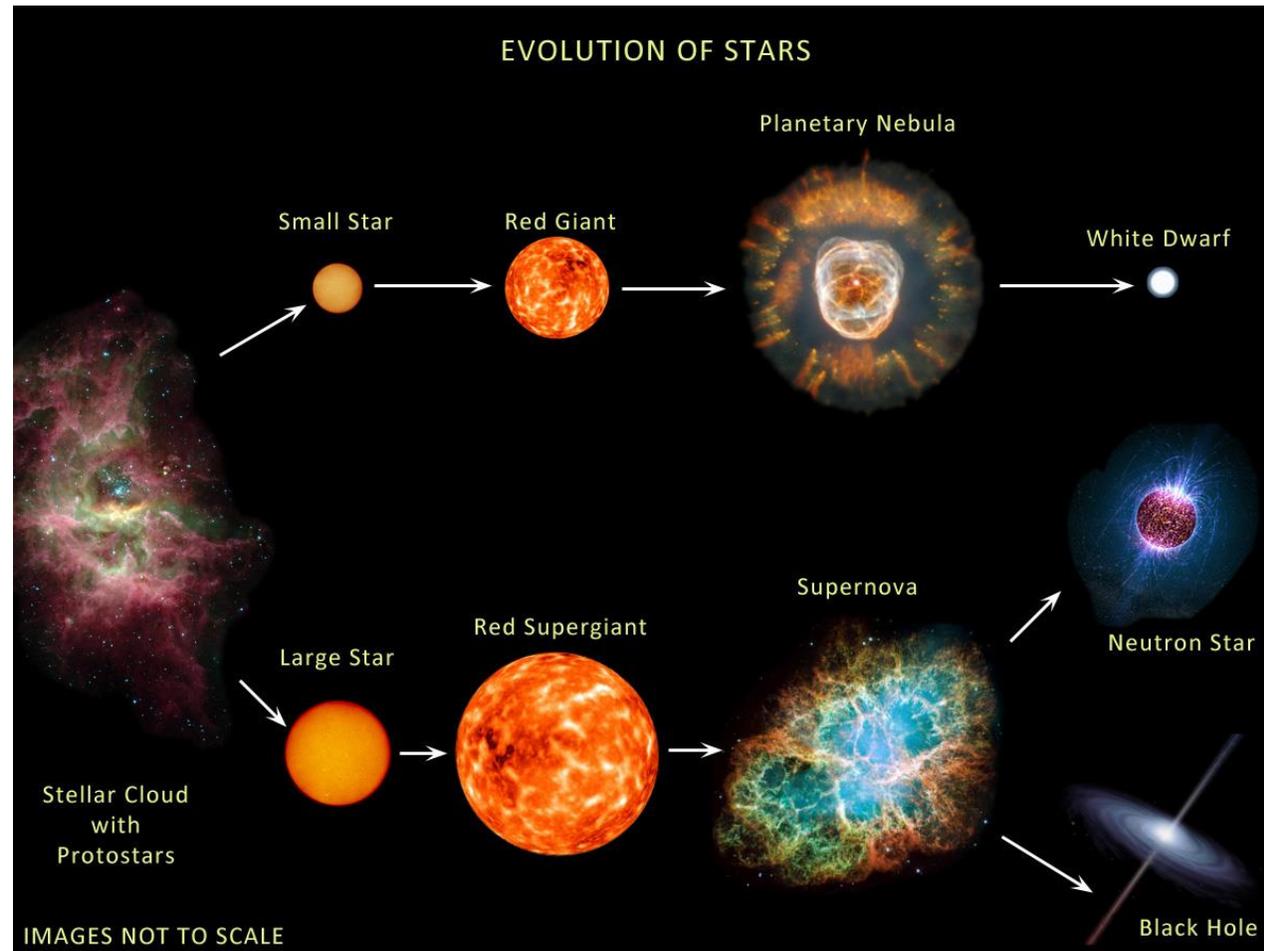
- Proceso triple alpha



- Estrella pequeña

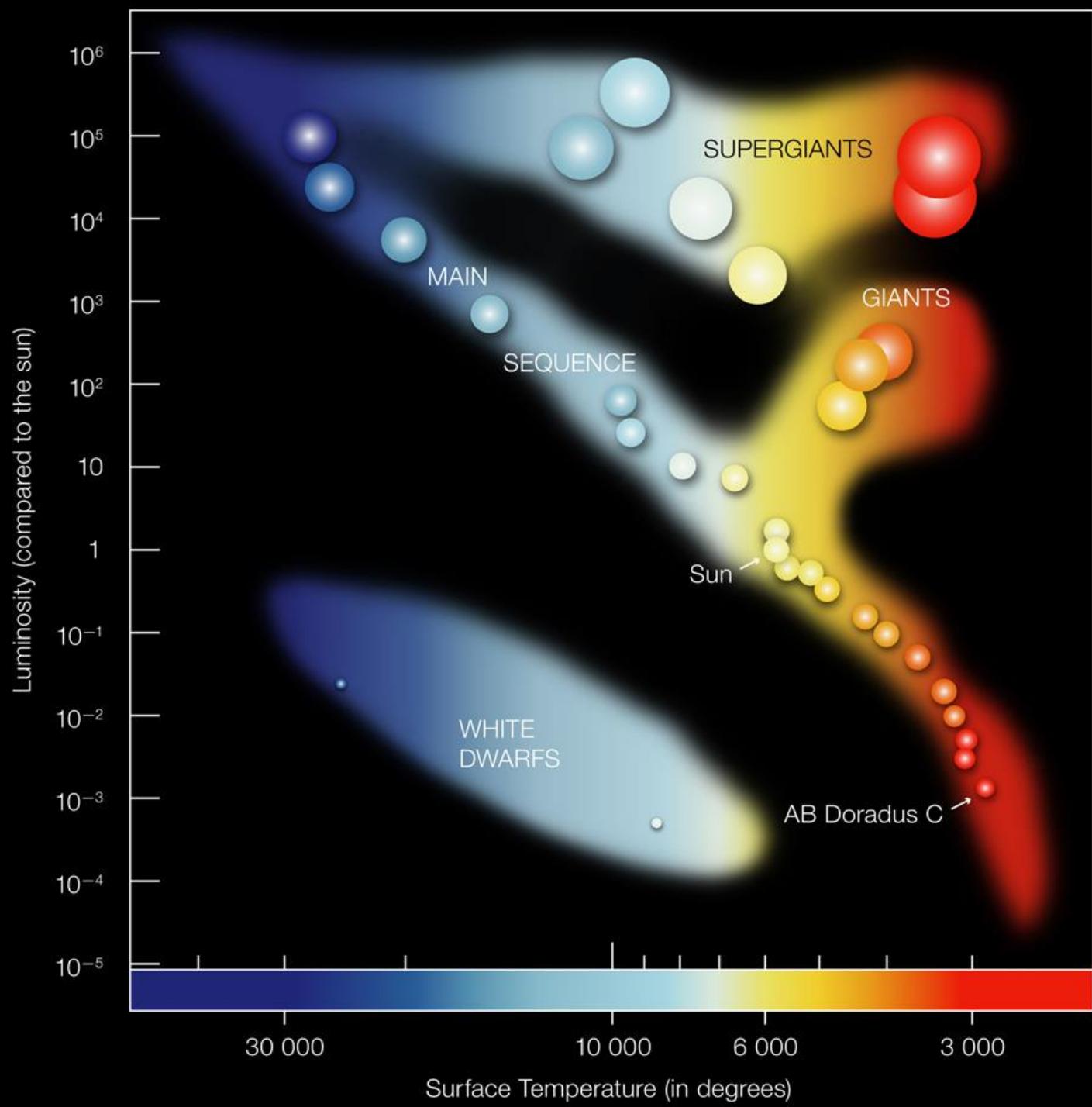
- La temperatura interna no es suficiente para formar elementos mas pesados que el C
- Se generan pulsos con lo que queda de H y He
- Se expulsa materia y se queda una enana blanca de C y O

# 2da etapa: Nucleosíntesis estelar



Estrella pequeña  $m < 10 \times m_{\text{Sol}}$   
Estrella grande  $m > 10 \times m_{\text{Sol}}$

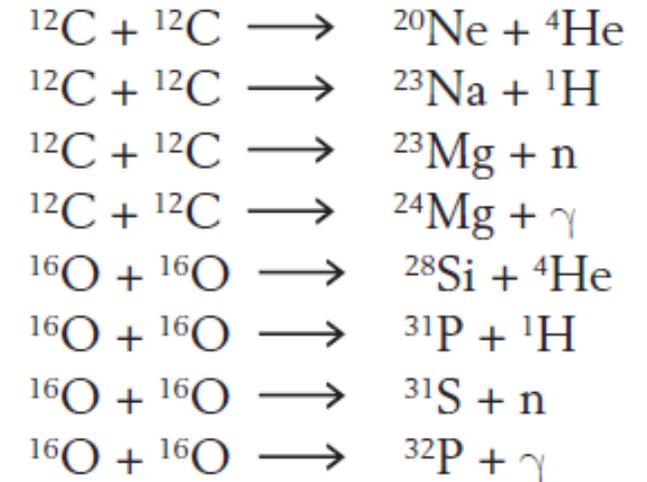
$$m_{\text{Sol}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$



## 2da etapa: Nucleosíntesis estelar

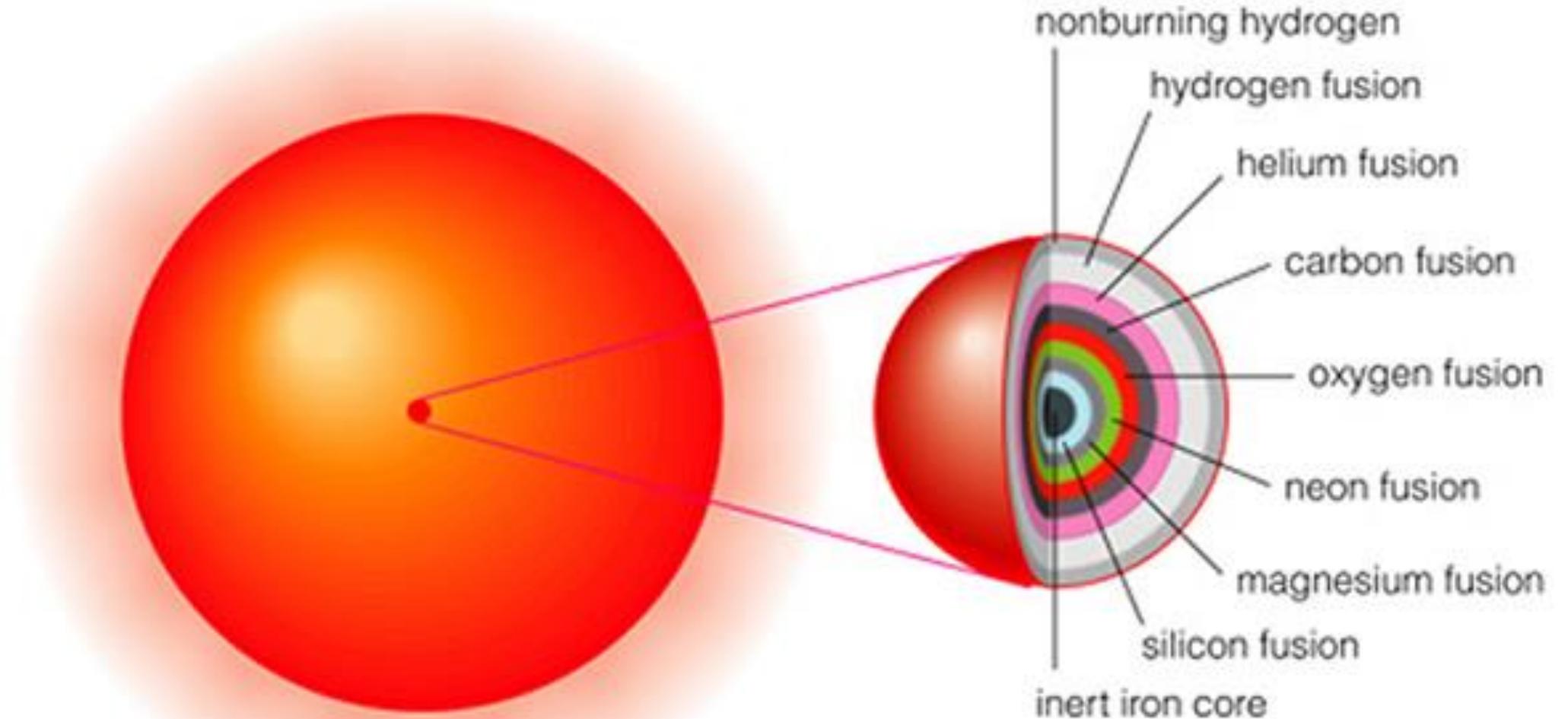
- Estrella grande

- Se acaba H, T aumenta y es mayor que en estrellas jóvenes
- Entre  $5 \times 10^8$  y  $2 \times 10^9$  K

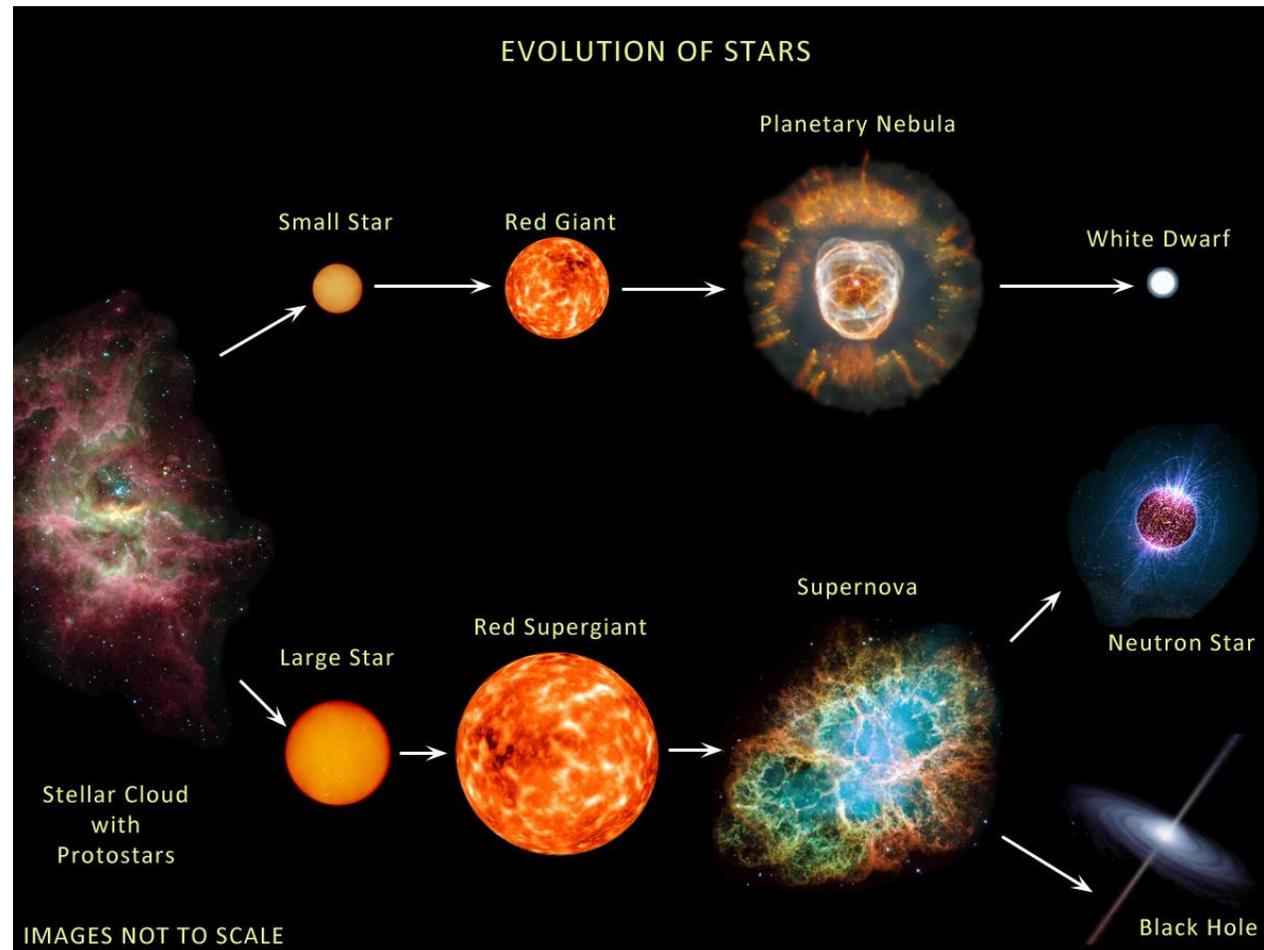


- Estructura de cebolla. Elementos pesados hacia el centro de la estrella
- A  $4 \times 10^9$  K el  ${}^{24}\text{Mg}$  y el  ${}^{28}\text{Si}$  se fisionan con  ${}^4\text{He}$  para formar  ${}^{36}\text{Ar}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{44}\text{Sc}$ ,  ${}^{48}\text{Ti}$ ,  ${}^{52}\text{Cr}$  y principalmente  ${}^{56}\text{Ni}$  que decae a  ${}^{56}\text{Fe}$
- Son reacciones exotérmicas con elevadas energías de activación

# Estructura de la estrella

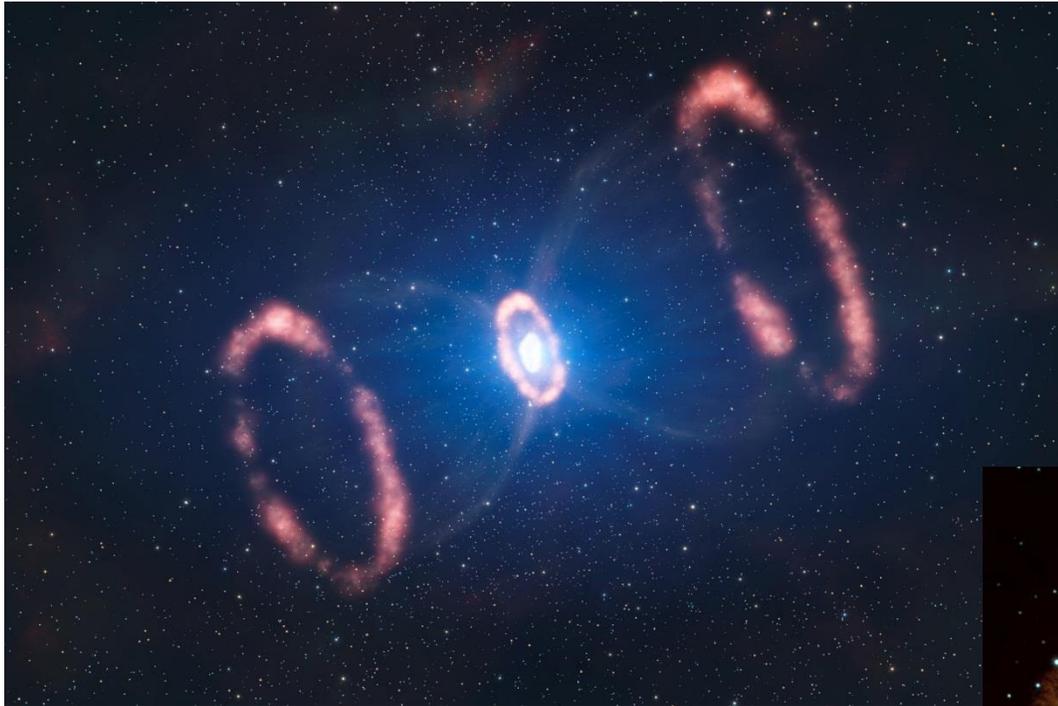


# 2da etapa: Nucleosíntesis estelar



$T = 10^7$  K en las estrellas

# Etapa 2.1: Nucleosíntesis en las supernovas

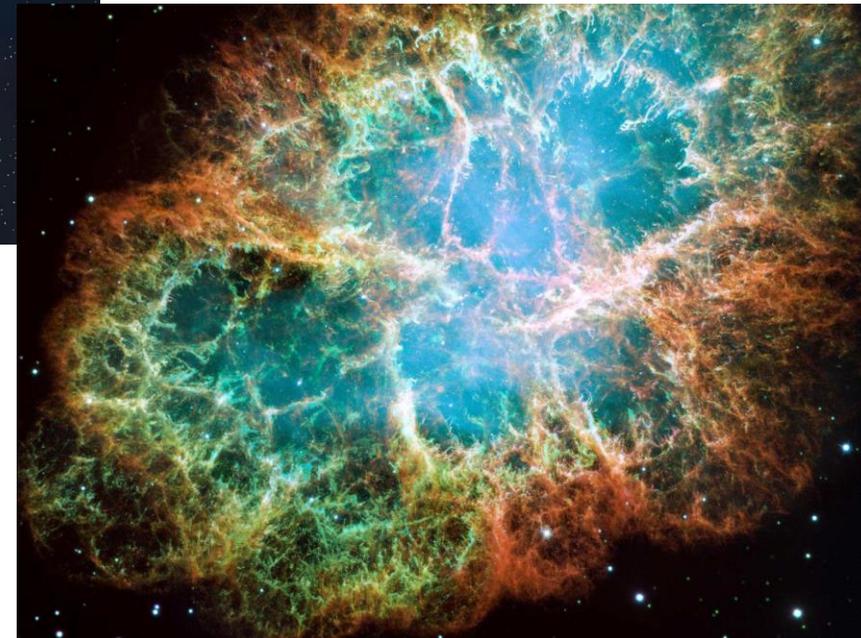


Fotodesintegración endotérmica



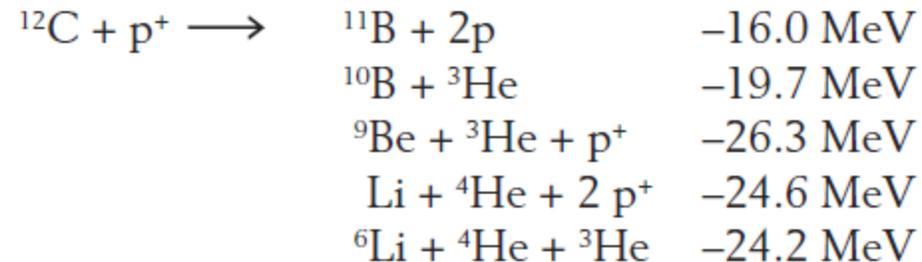
Captura rápida de neutrones (proceso *R*)

Se generan los elementos hasta el Uranio



# 3ra etapa: Nucleosíntesis interestelar

- Se da en el espacio “libre”, no en las estrellas ni en las nebulosas
- Rayos cósmicos chocan con la materia. Estos son protones, núcleos de He y hasta átomos mas pesados a velocidades cercanas a la luz.
- Al chocar se da un astillamiento o espalación (proceso X)



# Distribución de los elementos

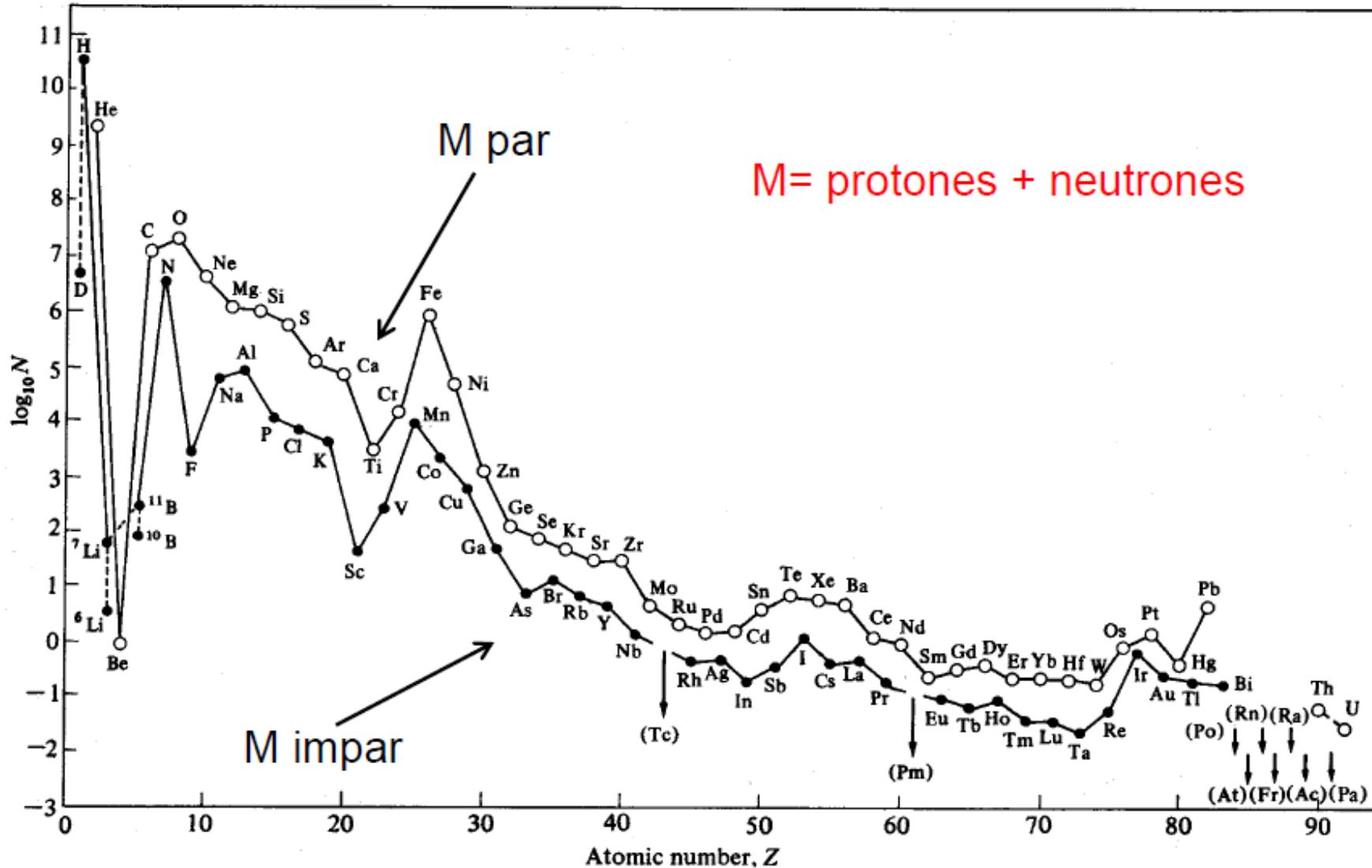


FIG. 1.1 Cosmic abundances of the elements as a function of atomic number  $Z$ . Abundances are expressed as numbers of atoms per  $10^6$  atoms of Si and are plotted on a logarithmic scale. (From A. G. W. Cameron, *Space Sci. Rev.* 15, 121-46 (1973), as updated by Brian Mason, private communication.)

# Resumen de la obra

Etapas:

Los más ligeros - durante los primeros minutos del Universo

Desde el helio hasta el hierro, en las reacciones de fusión nuclear que dan energía a las estrellas

Del hierro hasta el uranio, en las explosiones finales de las estrellas más pesadas.

Por último, en los espacios interestelares, los elementos intermedios por espalación

Gracias a Sigfrido Escalante  
por la tabla

# Línea de tiempo

Instante	Acontecimiento	
0 s	<i>La gran explosión. El origen del tiempo, el espacio y la energía del universo que conocemos.</i>	
$10^{-43}$ s	<i>Instante a partir del cual ya la física puede analizar los procesos que se desarrollarán posteriormente.</i>	$T = 10^{32}$ K
$10^{-36}$ s	<i>Se separa la fuerza fuerte. El volumen del universo comienza una muy rápida expansión; es el universo inflacionario.</i>	$T = 10^{27}$ K
$10^{-32}$ s	<i>Termina la época inflacionaria. Plasma ionizado de materia y radiación.</i>	$T = 10^{26}$ K
$10^{-12}$ s	<i>Separación de la fuerza débil del electromagnetismo.</i>	$T = 10^{15}$ K
$10^{-6}$ s	<i>Los quarks se unen de tres en tres para formar protones y neutrones.</i>	$T = 10^{13}$ K
$10^{-2}$ s	<i>Una mezcla de materia y radiación llamado plasma interactúan en equilibrio térmico .</i>	$T = 10^{11}$ K
1 s	<i>Aparecen los neutrinos. Los neutrones empiezan a decaer a protones.</i>	$T = 10^{10}$ K
$10^2$ s	<i>Protones y electrones forman los primeros átomos ionizados de hidrógeno.</i>	$T = 10^9$ K
$10^3$ s	<i>Los protones y los neutrones se unen, formando núcleos de helio. Termina la <b>nucleosíntesis primigenia</b>. El universo está compuesto de núcleos de helio (25% en masa) y de hidrógeno (75% en masa).</i>	$T = 10^8$ K
1 año	<i>La temperatura ambiente del universo es aproximadamente la del centro de una estrella.</i>	$T = 10^7$ K
$4 \times 10^5$ años	<i>Origen de la radiación cósmica de fondo. En lo sucesivo, la materia puede condensarse en galaxias y estrellas. <b>Da inicio la Química</b></i>	$T = 10^4$ K
$10^9$ años	<i>Aparecen las protogalaxias y se forman los cúmulos globulares. Comienza la época de los cuasares y de la <b>nucleosíntesis estelar</b>.</i>	$T = 10^2$ K
$1.3 \times 10^{10}$ años	<i>El Sol y los planetas se condensan a partir de una nube de gas y polvo en un brazo espiral de la Vía Láctea.</i>	
$1.4 \times 10^{10}$ años	<i>La Tierra se ha enfriado lo suficiente para formar una corteza sólida; es la edad de las rocas más antiguas.</i>	

<http://scaleofuniverse.com/>

Animación Flash

# **LA ESCALA DEL UNIVERSO**

# Nucleosíntesis

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$$

$$p^+ + e^- \rightarrow n + \nu$$

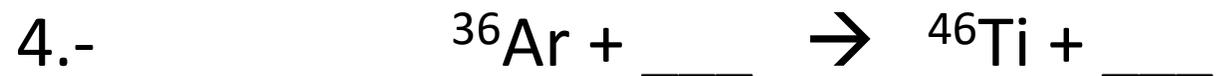
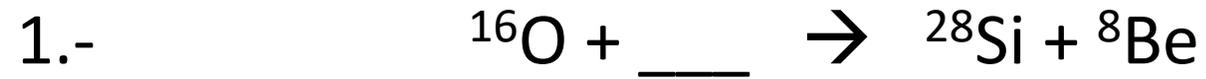
$$n + e^+ \rightarrow p^+ + \bar{\nu}$$

$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu$$

$$\nu + \bar{\nu} \rightarrow \gamma$$

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma$$

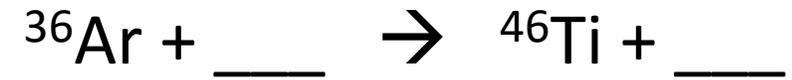
# Ejercicios de nucleosíntesis



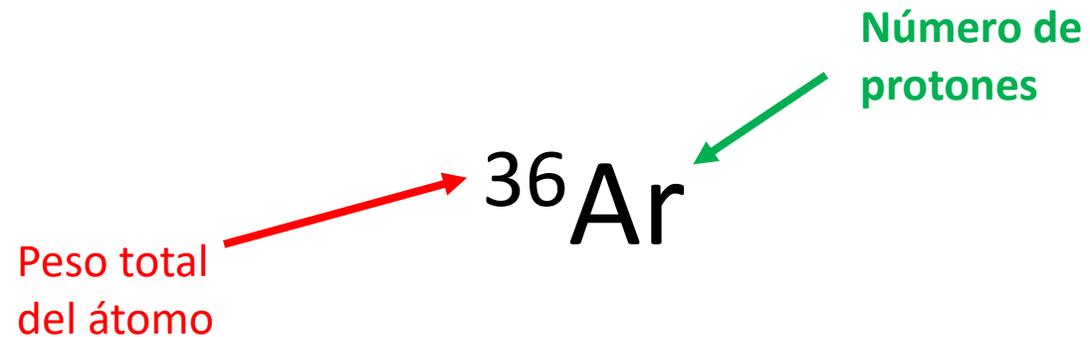
5.- Propón un mecanismo de nucleosíntesis para sintetizar  $^{40}\text{Ca}$ .

# ¿Cómo resolver el Ejercicios 4?

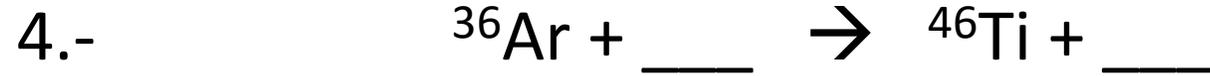
4.-



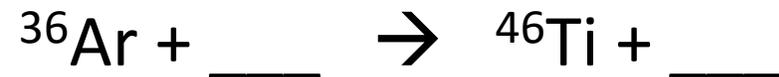
Paso 1. Saber nomenclatura



# ¿Cómo resolver el Ejercicios 4?



Paso 2. Los electrones no están involucrados... Sumar número de protones y neutrones en reactivos y en productos



**18 p<sup>+</sup>**

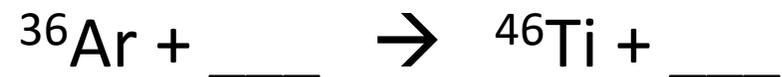
**22 p<sup>+</sup>**

**18 n**

**24 n**

# ¿Cómo resolver el Ejercicios 4?

4.-



Paso 3. Proponer, para los espacios en blanco, uno o más átomos para que se conserve la cantidad total de protones y neutrones en reactivos y productos



**18 p<sup>+</sup>**    **16 p<sup>+</sup>**            **22 p<sup>+</sup>**            **12 p<sup>+</sup>**

**18 n**        **18 n**                    **24 n**            **12 n**

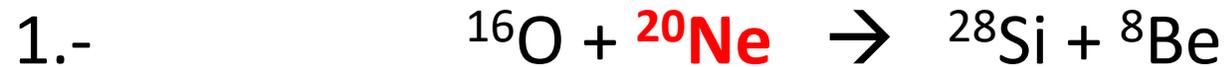
---

Reactivos:  
**34 p<sup>+</sup> y 36 n**

Productos:  
**34 p<sup>+</sup> y 36 n**

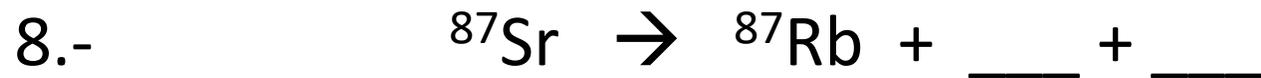
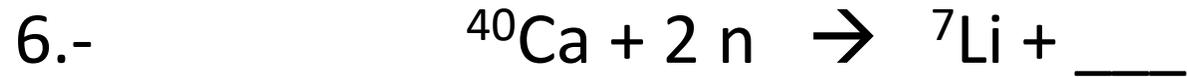


# Ejercicios de nucleosíntesis



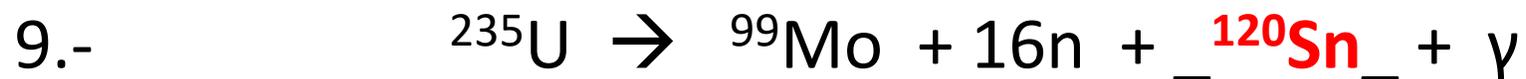
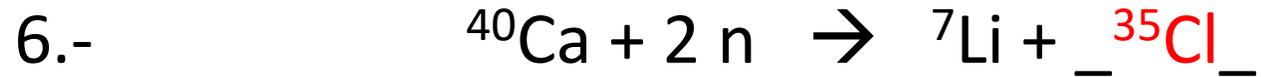
5.- Propón un mecanismo de nucleosíntesis para sintetizar  $^{40}\text{Ca}$ . [ $^{20}\text{Ne} + ^{20}\text{Ne} \rightarrow ^{40}\text{Ca}$ ]

## Ejercicios de nucleosíntesis 2



11.- Propon un mecanismo de nucleosíntesis para sintetizar  $^{19}\text{F}$ .

# Ejercicios de nucleosíntesis 2



11.- Propon un mecanismo de nucleosíntesis para sintetizar  $^{19}\text{F}$ .  $\text{\color{red} }[{}^3\text{He} + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{19}\text{F} + \text{e}^+ + \text{v}]$

**ALGUNAS MARAVILLAS**





