

Universidade Federal do ABC

## Estrutura da Matéria

Bonus:  
Teoria do Big Bang,  
Nucleossíntese  
Primordial e Estelar

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>

# Cosmologia

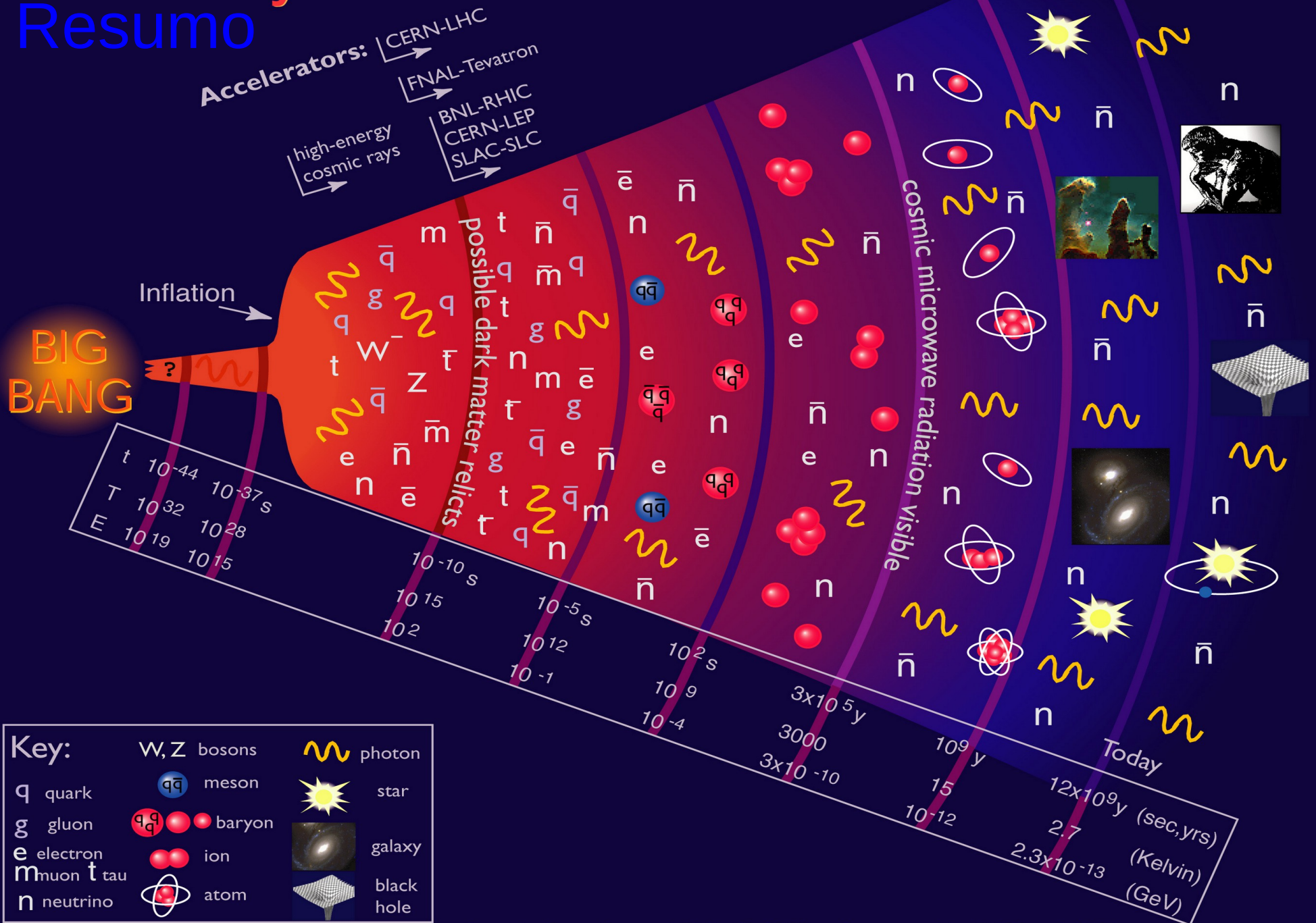
wikipedia: Cosmologia (do grego κοσμολογία, κόσμος="cosmos"/"ordem"/"mundo" + -λογία="discurso"/"estudo") é o ramo da **astronomia** que estuda a **origem**, **estrutura** e **evolução** do **Universo** a partir da aplicação de **métodos científicos**.

O modelo cosmológico mais aceito hoje em dia é a teoria do ***Big Bang***.

O termo ***Big Bang*** foi criado em 1948 pelos astrofísicos Bondi, Gold e Hoyle para zoar a proposta, de que o Universo teria nascido de uma singularidade inicial.

# History of the Universe

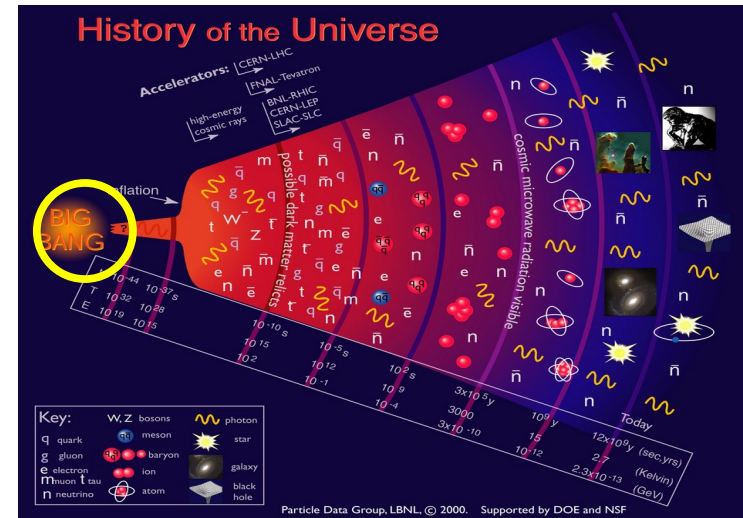
## Resumo



# Teoria do *Big Bang*

0:

**Big Bang**, começo do tempo. O Universo “nasce” de uma singularidade inicial, q. d. um estado de densidade e temperatura infinitas.



Desde então: **Expansão**, **redução** da **temperatura**.

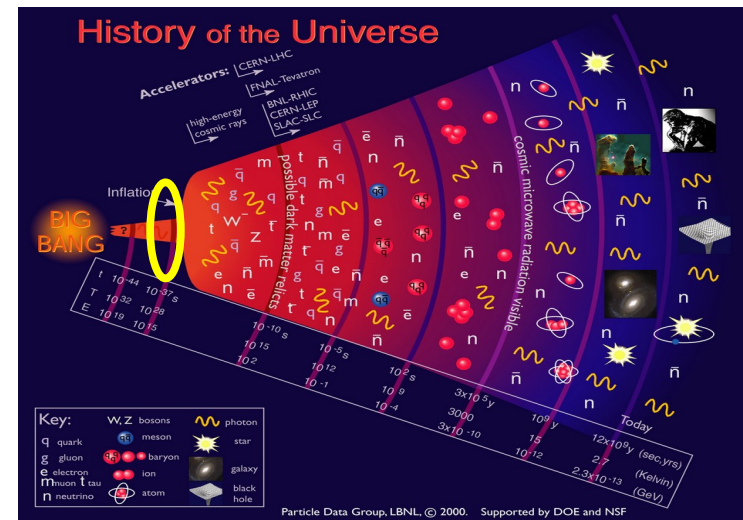
até  $\sim 5 \cdot 10^{-44}$  sec ( $T \geq 10^{32}$  K):

Época de **Planck**: densidade e temperatura altas demais para ser tratada pela física que conhecemos hoje.

# Teoria do *Big Bang*

$5 \cdot 10^{-44}$  s -  $10^{-36}$  s:  $T \geq 10^{28}$  K:

Época da **GUT** (*Grand Unified Theory*, “Grande Teoria Unificada”): As forças **eletromagnética**, nuclear **forte** e **fraca** eram **unificadas** em uma.



O Universo consistia de uma “sopa” primordial de **quarks** (os constituintes dos prótons e dos nêutrons) e **partículas transportadoras de forças** (fótons, grávitons, gluons, ...).

**Matéria** e **anti-matéria** se formavam e aniquilavam constantemente.

# Teoria do *Big Bang*

$10^{-36}$  s -  $10^{-34}$  s ( $T \sim 10^{28}$  K):

**Inflação:** aumento exponencial do tamanho do Universo por um fator  $\geq 10^{43}$  em  $< 10^{-34}$  s.

A “sopa” primordial continuou, mas parte das **partículas** virtuais (aquelas que estavam se formando e aniquilando) se tornaram **reais**.

Nesta época devem ter sido emitidas fortes **ondas gravitacionais**.

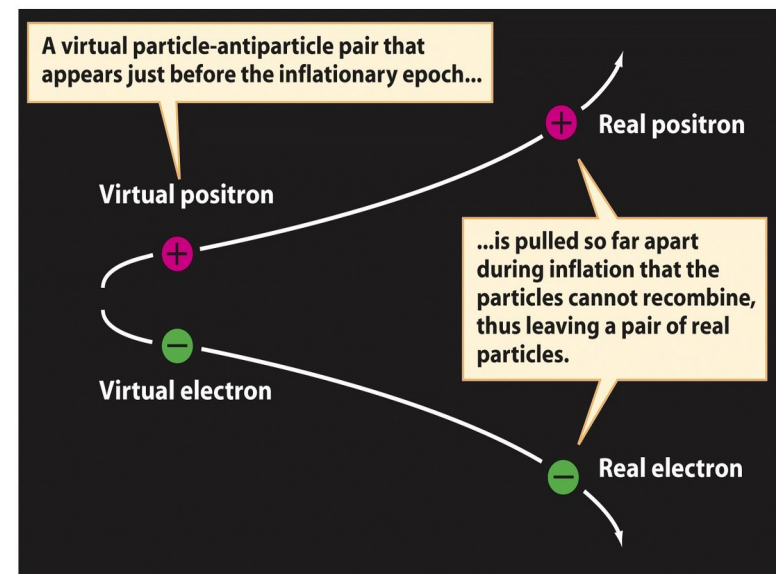
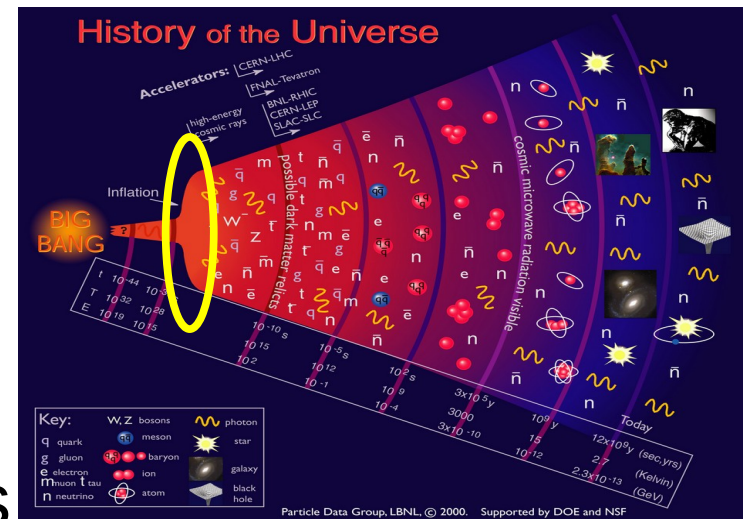


Figure 27-10  
Universe, Eighth Edition  
© 2008 W. H. Freeman and Company

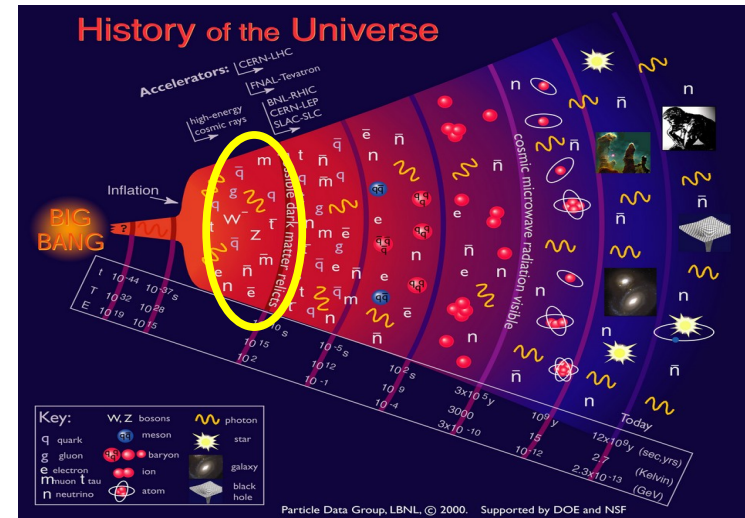
# Teoria do *Big Bang*

$10^{-34}$  s –  $10^{-11}$  s:

$10^{28}$  K  $\geq T \geq 10^{15}$  K:

Época **Eletrofraca**: As forças **eletromagnética** e **fraca** ainda eram **unificadas** em uma, a força **eletrofraca**, enquanto a força **forte** já era uma força **distinta**.

A “sopa” primordial continuou. Esta época é, às vezes, chamada de “grande deserto”, por que não houve formação de partículas novas.



# Teoria do *Big Bang*

$10^{-11}$  s – 1 ms:

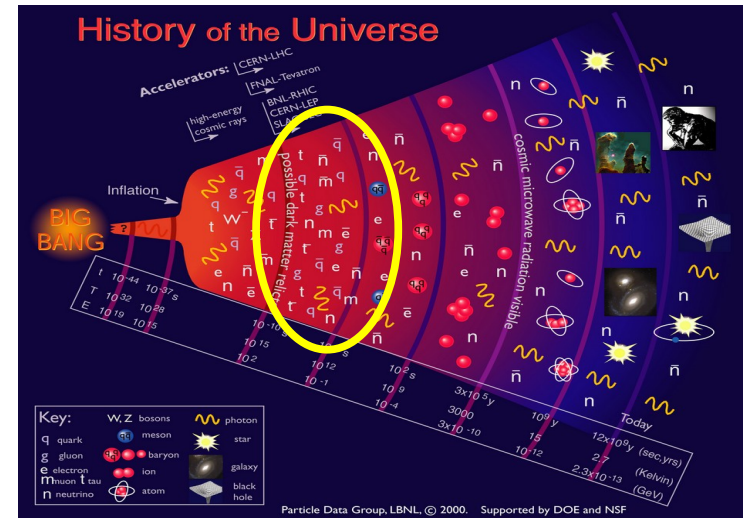
$10^{15}$  K  $\geq T \geq 10^{12}$  K:

Época das **Partículas**:

As forças **eletromagnética** e

fraca se “**desacoplaram**”,

q. d. se tornaram duas forças **distintas**.



A “sopa” primordial se tornou **prótons** e **nêutrons** (bárions, 3 quarks) e mésons (pares quark-antiquark), sobrando de um pequeno **desequilíbrio** entre matéria e anti-matéria  $10^9+1 : 10^9$ .

São os mesmos prótons e nêutrons que constituem a matéria hoje.

# Teoria do *Big Bang*

1 ms – ~5 min:

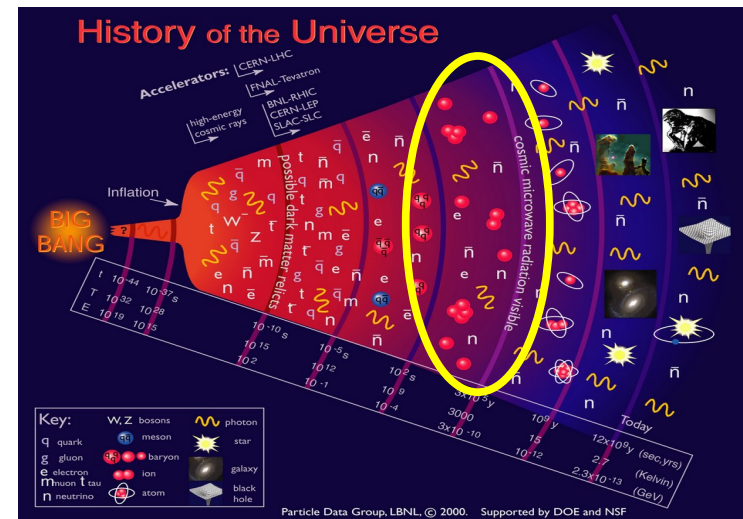
$10^{12}$  K  $\geq T \geq 10^9$  K:

Época da Nucleossíntese:  
Fusão nuclear dos prótons e  
nêutrons, formando núcleos  
de hélio e um pouquinho de  
deuterio, lítio e berílio.

=> composição química primordial do Universo:

**H** (~76 %), **He** (23 a 24 %), D (0.01 %), Li (< 0.01 %).

~98 % dos átomos de hoje



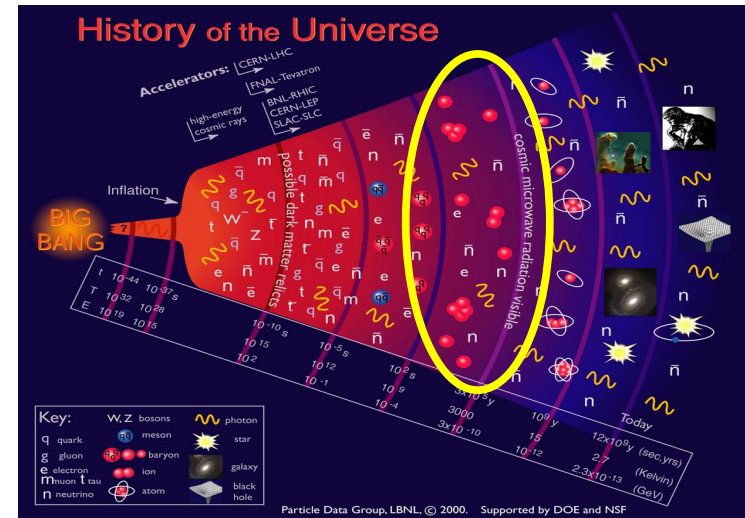
# Teoria do *Big Bang*

4 min – ~378'000 anos:

$10^9 \text{ K} \geq T \geq 3000 \text{ K}$ :

Época dos Núcleos:

Núcleos e elétrons interagindo constantemente com fótons (“partículas de luz”).



# Teoria do *Big Bang*

~378'000 anos,  $T \sim 3000$  K:

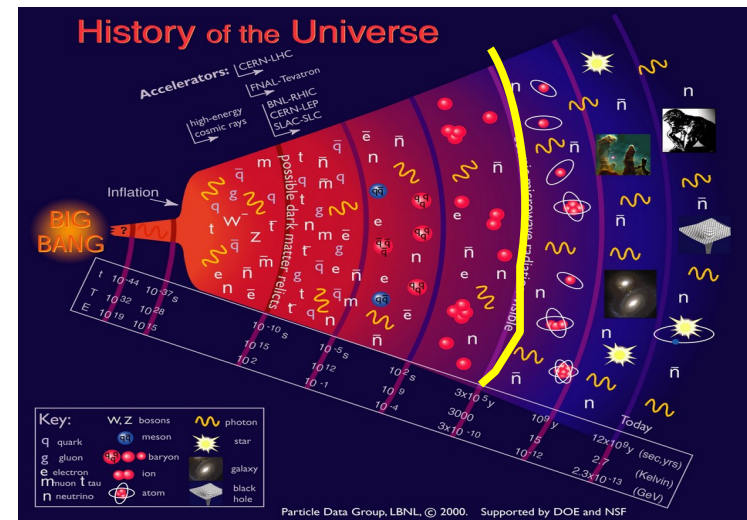
Final da Época dos Núcleos

“**Re-combinação**”: **núcleos** e **elétrons** formando **átomos**: **elétricamente neutros**

=> **não interagem** mais com os **fótons**

=> Desde então, a luz pode viajar livremente pelo espaço, “o Universo se torna transparente”.

A luz emitida/espalhada pouco antes, na “superfície de última difusão” ainda está permeando o Universo hoje e pode ser observada como **Radiação Cósmica de Fundo**.



# Teoria do Big Bang

A partir das 378'000 anos:

Época dos **Átomos**:  
**átomos** e plasma consistindo  
de **íons** e **elétrons**.

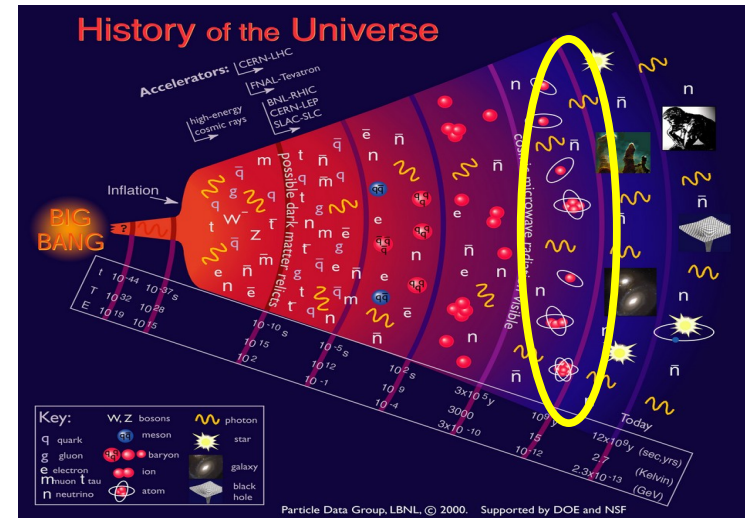
Após alguns 100 mi. de anos  
( $T \sim 15$  K):

Formação de **estrelas** e **galáxias**

A partir ~1 bi. de anos até hoje:

Época das **galáxias**:

**Galáxias** se formando e fusionando, formando **Grupos**,  
**Aglomerados** e **Super-Aglomerados**



# Cosmologia Relativística

## A expansão do Universo vai continuar por sempre?

Isto depende do balanço entre vários fatores:

- A **taxa** da **expansão**.

- A **densidade** da **matéria**:

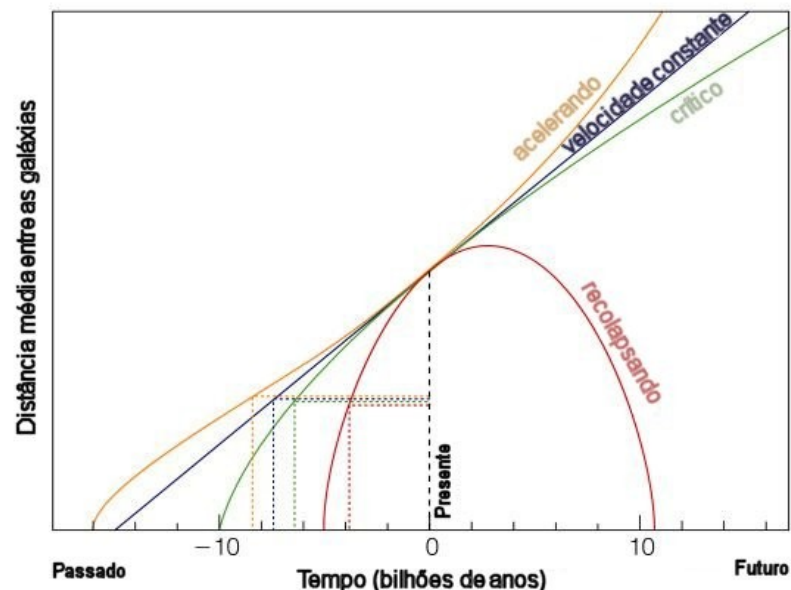
A atração gravitacional da matéria **freia** a expansão.

A partir de uma certa densidade, chamada **densidade crítica**,

a gravitação consegue parar e reverter a expansão, resultando no **recolapso** do Universo (*Big Crunch*).

- A **Energia Escura**, relacionada à constante cosmológica  $\Lambda$ , que tende a **acelerar** a expansão.

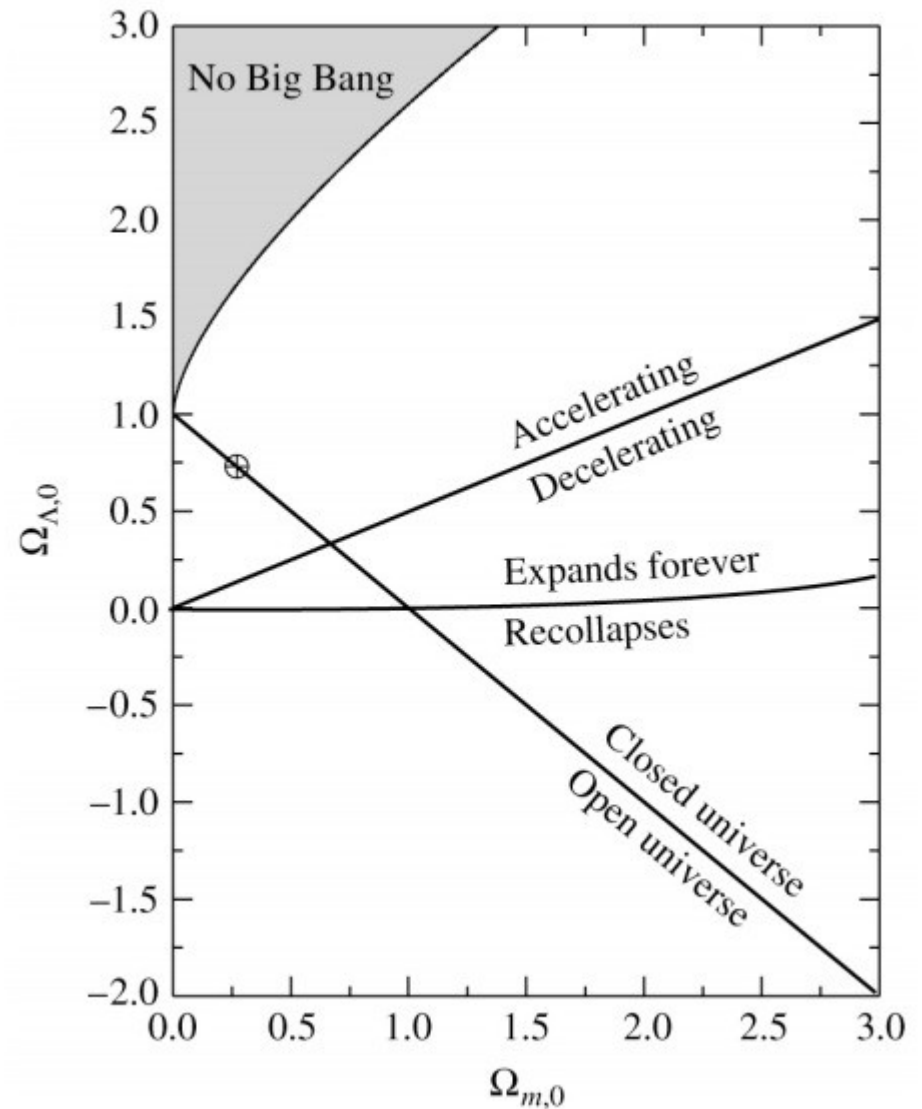
Até recentemente, os cientistas acreditavam que  $\Lambda$  era 0.



# Cosmologia Relativística

A expansão do Universo vai continuar por sempre?

Podemos fazer um **diagrama** dos **possíveis destinos** do **Universo** em função das **densidades de matéria e Energia Escura**.



# Cosmologia Relativística

Esta expansão vai continuar por sempre?

Medidas recentes indicam que:

- A **matéria** no Universo **não** chega nem perto da **densidade** necessária para parar e reverter a expansão.

A matéria “comum” (átomos), também chamada de **bariônica**, equivale a apenas **5 %** da **densidade crítica**.

Além dela, parece existir uma matéria invisível, de outra natureza (p. e. partículas elementares ainda não detectadas), em quantidade **5 a 6 vezes maior** do que a bariônica, chamada **Matéria Escura** não-bariônica.

Juntas, as matérias bariônica e Escura não-bariônica equivalem a apenas da ordem de **31 %** da **densidade crítica**.

=> **O Universo continuará expandindo**

# Cosmologia Relativística

## Esta expansão vai continuar por sempre?

- Pior ainda: A **Energia Escura** não é nada zero.

Ela é da ordem de **69 %** da **densidade crítica**.

=> O Universo não só continuará expandindo, a **expansão** está **acelerando!**

Juntas, as matérias bariônica e Escura não-bariônica e a Energia Escura equivalem à densidade crítica.

=> **95 % do Universo são de natureza desconhecida !!!**

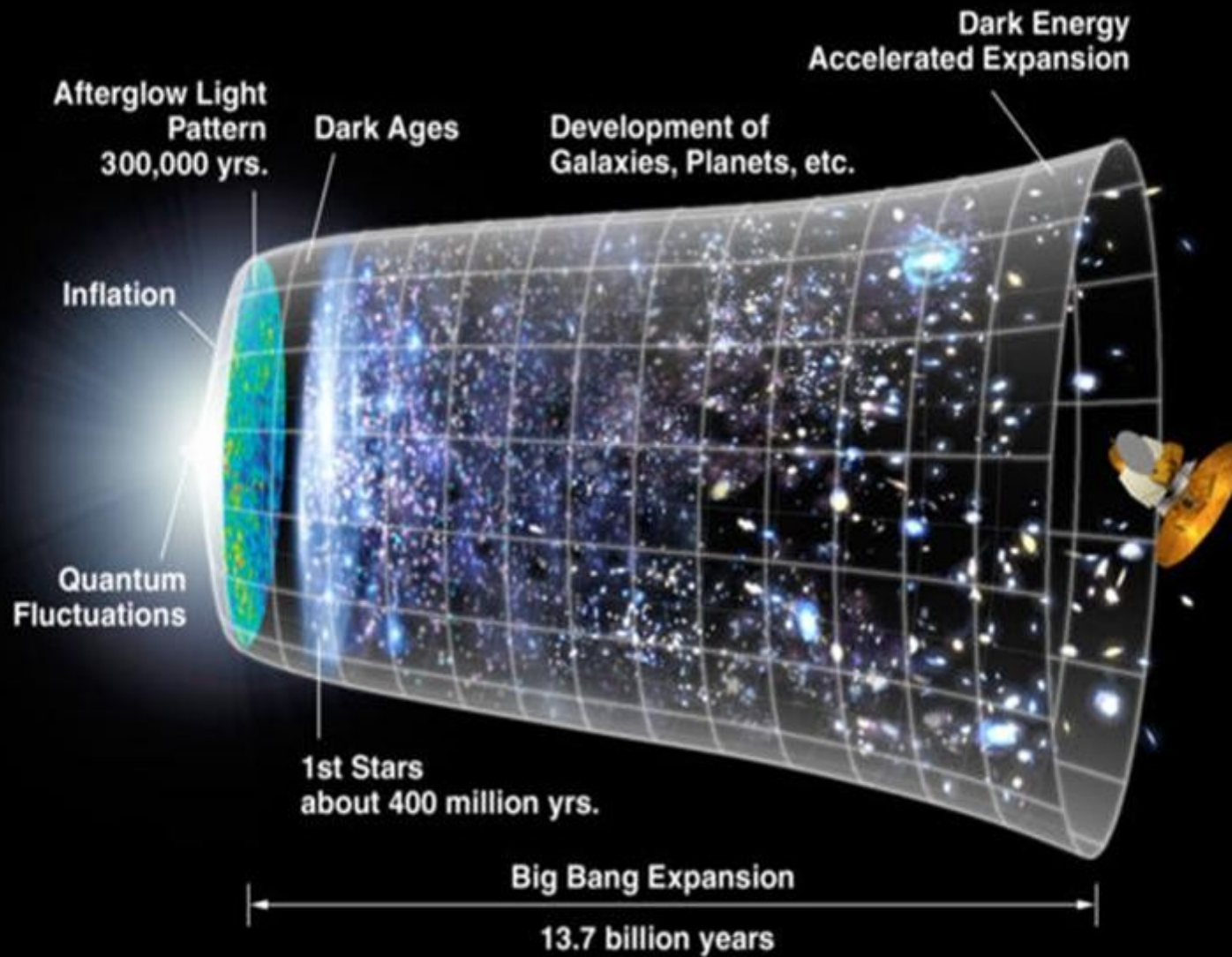
quer dizer: Matéria Escura e Energia Escura

O **modelo cosmológico** que contém todos estes ingredientes se chama  **$\Lambda$ CDM** (do inglês “ *$\Lambda$  Cold Dark Matter*”, o “Cold” se refere à natureza da Matéria Escura), ou **modelo padrão**.

## Composição do Universo



# Resumo



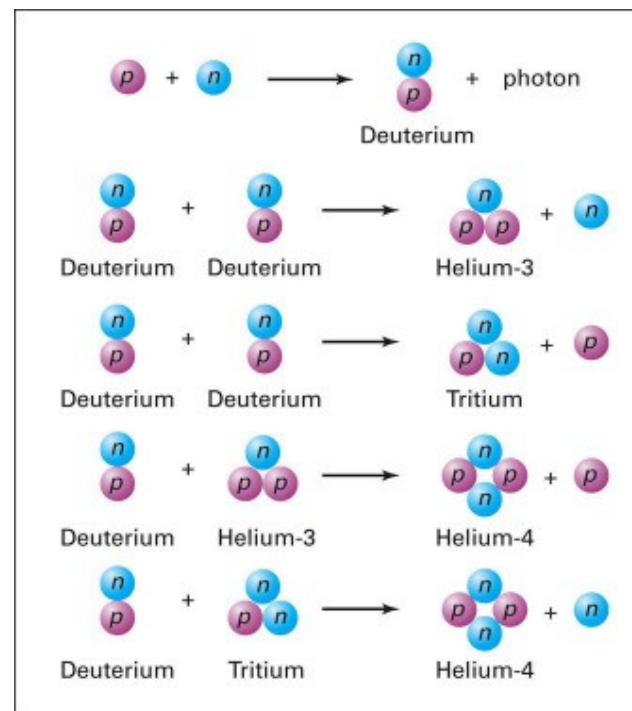
# Origem dos Elementos Primordiais

No espaço inter-galáctico, há nuvens de gás tênue, que pouco mudaram desde a sua formação.

=> Elas ainda têm a **mesma composição química** que **logo depois do Big Bang** (composição primordial).

Nestas nuvens, e no resto do Universo, **23 a 24 %** dos **átomos** são de **hélio**, que só podem ter sido formados na **Época da Nucleossíntese**, de 1 ms a 5 min depois do **Big Bang**, quando **densidade** e **temperatura** do Universo eram **altas** o suficiente para possibilitar a  **fusão nuclear**, ou **nucleossíntese**, dos **prótons** e **nêutrons** formados no primeiro milissegundo.

Além de hélio, foram formados **montantes microscópicos** de **deutério**, **hélio-3**, **lítio** e berílio, Os outros **~76 %** dos átomos são de **hidrogênio**.



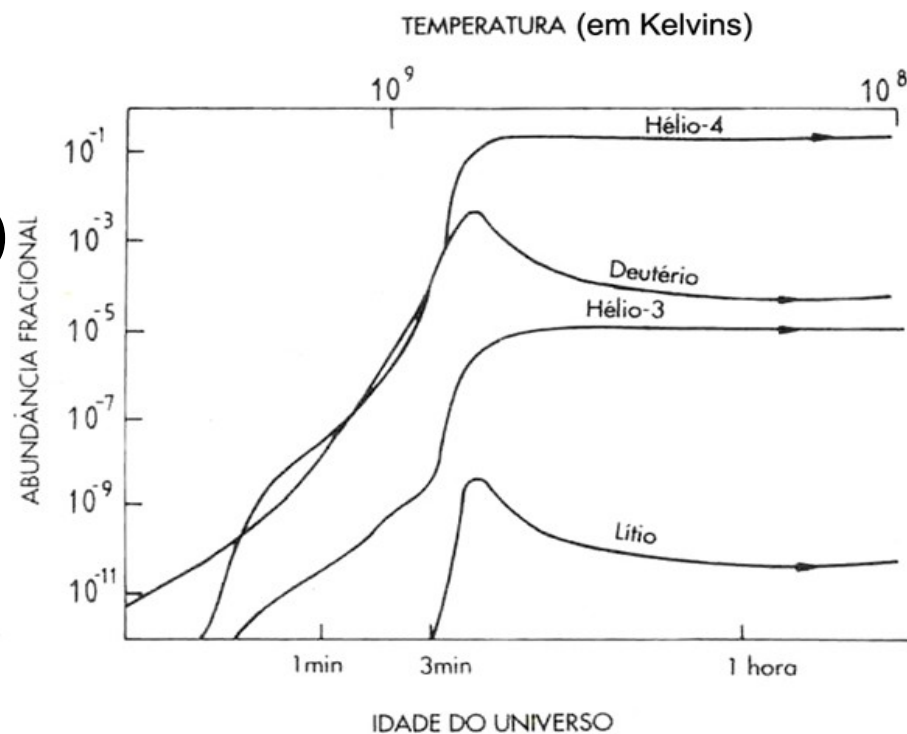
Nucleossíntese primordial

# Origem dos Elementos Primordiais

Através do **montante de hélio** na composição primordial, dá pra calcular (Alpher e Herman, 1948)

- a **duração da época da nucleossíntese**, ~5 min
- **Temperatura e densidade da matéria “comum”, ou bariônica** no final destes 5 min.

Os **montantes de deutério, hélio-3 e lítio** permitem cálculos mais sofisticados das **condições** nos **primeiros 5 min do Universo**.



# Origem dos Elementos

E os demais 104 ou 105 elementos presentes no Universo, de onde eles vêm?

Eles foram formados por  **fusão nuclear**  no  **interior**  das  **estrelas**  e em  **Supernovas**  (explosões de estrelas de alta massa no final das suas vidas).

=> Temos que saber um pouco mais sobre  **estrelas**  e  **evolução estelar** .

# Estrelas

Uma **Estrela** é uma bola massiva e brilhante de **gás quente**, a **fonte de energia** principal sendo a **fusão nuclear** (estável) no seu **interior**.

As propriedades de estrelas variam por muitas ordens de magnitudes:

- **Massas** de  $0.072 M_{\odot}$  a  $\sim 150 M_{\odot}$  (massas solares)
- **Raios** de  $\sim 0.12 R_{\odot}$  (um pouco maior que Júpiter)  
a  $\sim 1700 R_{\odot}$  ( $1.2 \cdot 10^9$  km ou quase 8 AU)
- **Temperaturas** de 2000 K a 50'000 K
- **Luminosidades** de  $\sim 10^{-5} L_{\odot}$  a  $\sim 10^6 L_{\odot}$

# Evolução Estelar

Problema: A **evolução estelar** é muito **lenta**. Em nossas ~5000 anos de **observação**, a maioria das **estrelas não mudou** de maneira observável.

Estamos na situação de um alienígena observando uma praça em Nova York, vendo pessoas em idades (estágios evolutivos) diferentes, e que tem que determinar, como decorre a vida (evolução) do ser humano, e ele tem só dois minutos de tempo de observação à disposição.



=> Ele não vê as pessoas envelhecerem (evoluiem).

=> Precisamos de **modelos** de **evolução estelar**.

# Evolução Estelar

## Resultados dos Modelos Estelares

- O **destino** de uma estrela é determinado pela sua **massa**.
- Quanto **maior** é a **massa** da estrela, tanto **maior** são **densidade, pressão e temperatura** no interior  
=> tanto **mais rapidamente** decorre a sua **evolução** (incl. a sua evolução proto-estelar => aula anterior), e tanto **mais elementos** podem ser formados no seu caroço

# Evolução Estelar

$M < 0.072 M_{\odot}$  :

$T_{\text{caroço}} < 10^7 \text{ K} \Rightarrow$  não ocorre fusão nuclear estável  
 $\Rightarrow$  “estrela frustrada”, Anã Marrom, “Jupiter”

$M > \sim 150 M_{\odot}$  :

Fusão já começa antes da relaxação da estrela  
 $\Rightarrow$  Estrela se desfaz antes de se formar

$0.072 M_{\odot} < M < \sim 150 M_{\odot}$  :

$T_{\text{caroço}} > 10^7 \text{ K} \Rightarrow$  ignição do H  $\Rightarrow$  fusão nuclear

$\Rightarrow$  Estrela comum, “estrela anã” como o Sol

-  $0.072 M_{\odot} < M < \sim 8 M_{\odot}$  : estrelas de baixa massa

-  $\sim 8 M_{\odot} < M < \sim 150 M_{\odot}$  : estrelas de alta massa

! Os limites entre as faixas de massa podem diferir muito de acordo com a fonte consultada. Alguns astrônomos ainda usam uma faixa de estrelas de massa intermediária.

# Evolução Estelar

Uma regra geral da evolução estelar:

Quanto **maior** a **massa** da estrela,

- tanto **maior** são as **temperatura** e **densidade** que ela alcança no seu **interior**,
  - tanto **mais rapidamente** ocorre a fusão nuclear,
  - tanto **mais elementos** são formados
  - tanto **mais curta** é a sua vida, apesar do montante maior de “combustível” (hidrogênio para queimar) disponível:
- uma estrela de  $0.1 M_{\odot}$  vive uns  $10^{12}$  anos  
(muito mais que a idade atual do Universo)
  - uma de  $1 M_{\odot}$  (i.e. o Sol), uns 10 bi. anos
  - uma de  $60 M_{\odot}$ , apenas uns 3 mi. anos

# Evolução Estelar

1ª fase: Queima de Hidrogênio no caroço  
(Sequência Principal)

O **Sol** está neste estágio.

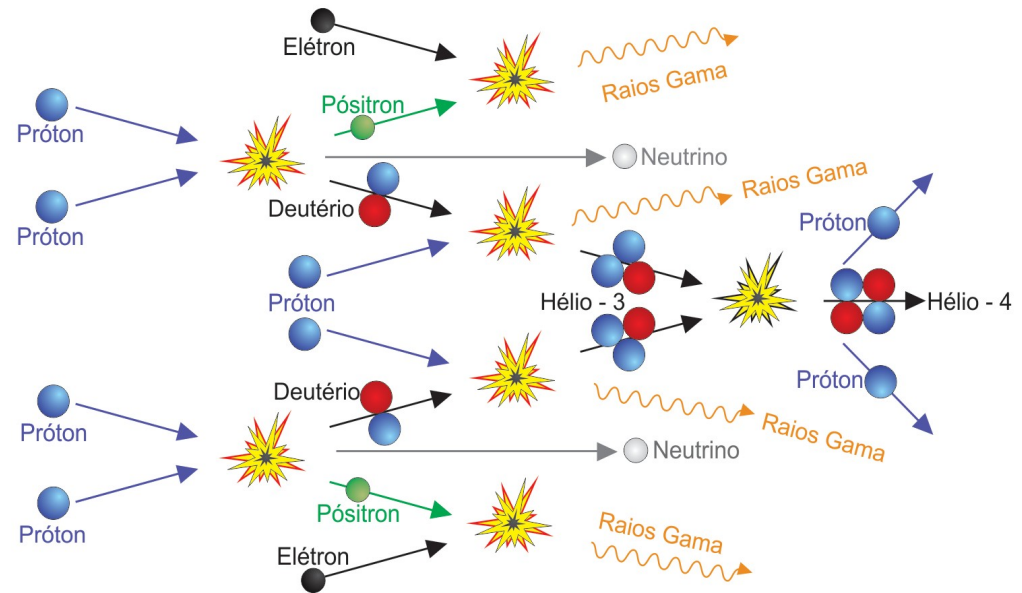
$$T_{\text{caroço}} > 10^7 \text{ K:}$$

No caroço se forma hélio pelo **ciclo p-p**

$$M_{\text{He}} \sim 0.993 \cdot 4 \cdot M_{\text{H}}$$

=> **perda de massa** => **Energia liberada**  
(já que massa é energia, segundo  $E = m \cdot c^2$ )

=> **Fonte quase inesgotável de energia**





# Evolução Estelar

1ª fase: Queima de Hidrogênio no caroço  
(Sequência Principal)

O ciclo (ou cadeia) p-p e o Ciclo CNO **diferem** da **nucleossíntese primordial** (que também transforma hidrogênio em hélio), por que, no interior das estrelas **não** há **neutrons livres** à disposição.

Estes **decaíram** pelo decaimento  $\beta$  ( $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ ) logo depois da época da nucleossíntese primordial, já que eles têm um **tempo de vida** da ordem de 15 min.

Esta fase corresponde a 80 a 90 % da vida de uma estrela.

# Evolução Estelar

## 2ª fase: Gigante Vermelha

Quando o **Hidrogênio** no **caroço** se **esgota**:

- O **caroço** se **contrai**.
- A **camada acima** “cai” em cima do caroço, se esquenta e começa a **queimar hidrogênio**.
- O **envelope** se esquenta e **expande**.  
Em reação, a **superfície resfria**.

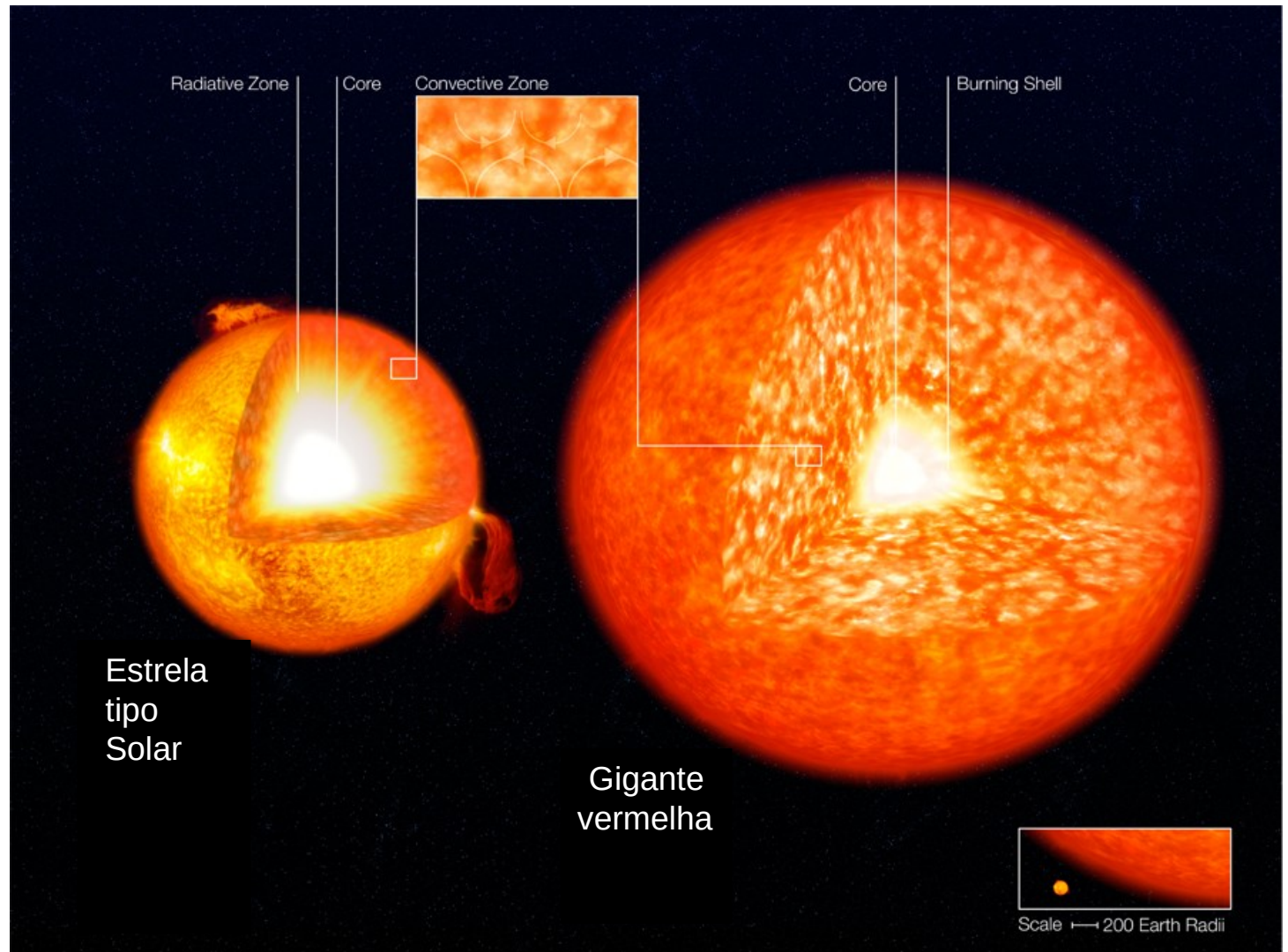
=> A estrela aumenta (muito) de tamanho e se torna uma **Gigante Vermelha**.

Além do aumento de tamanho, esta fase é caracterizada por **ventos fortes**.

# Evolução Estelar

## 2ª fase: Gigante Vermelha

Comparação da **estrutura** do **Sol** atual com a **Gigante Vermelha** que ele será, ...

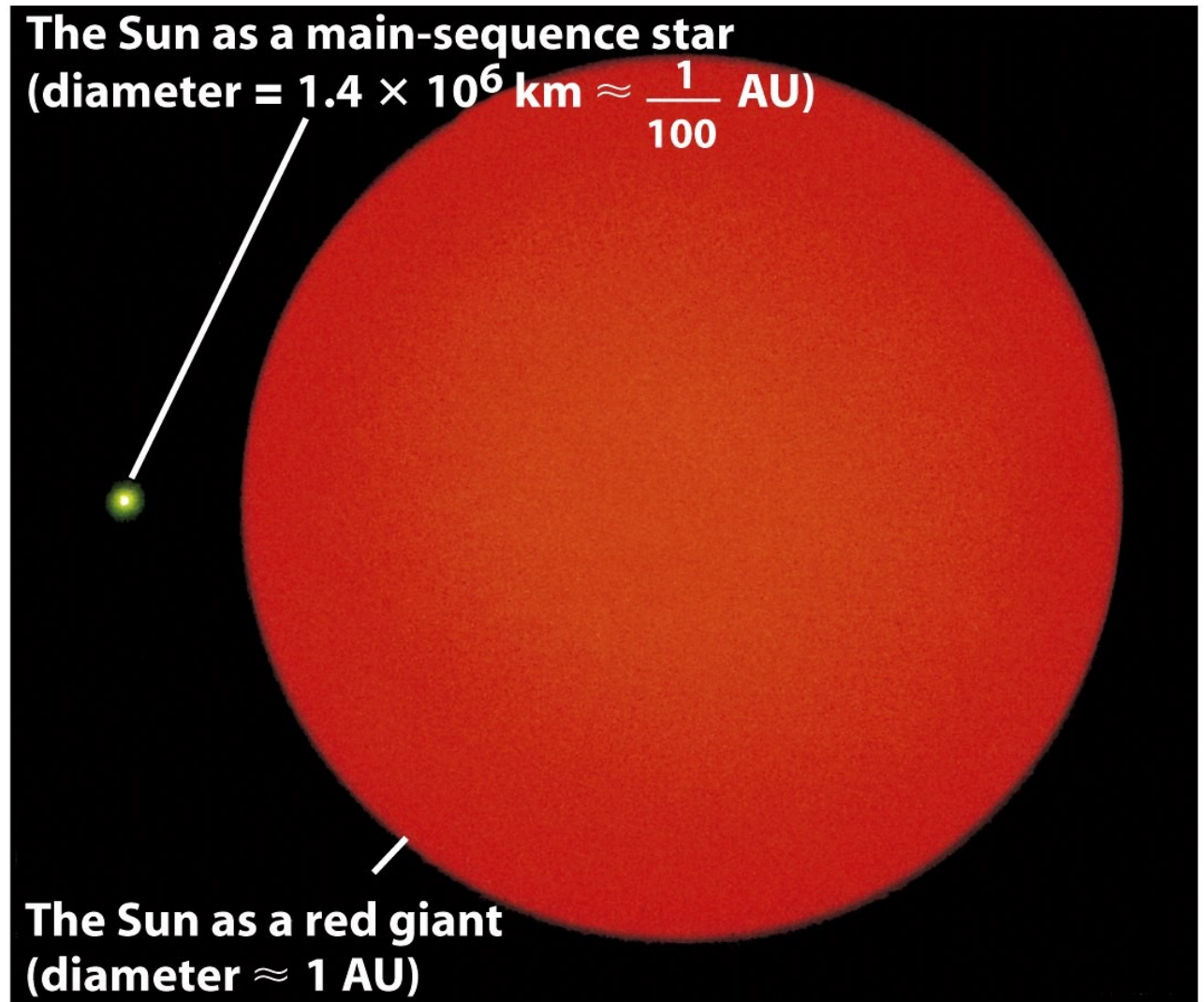


# Evolução Estelar

## 2ª fase: Gigante Vermelha

... e do seu **tamanho** antes e depois.

Ele provavelmente engolirá Mercúrio e Vênus, e talvez a Terra.



The Sun today and as a red giant

# Evolução Estelar

## 3ª fase: Ramo Horizontal

Quando  $T_{\text{caroço}} > 10^8$  K:

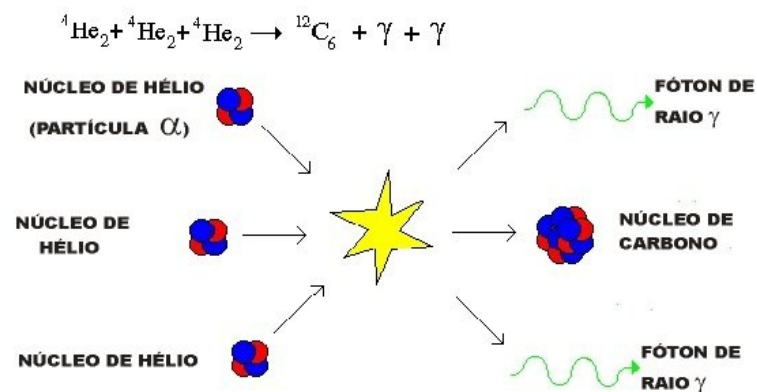
No caroço se forma **carbono**,  
por mais um processo de  
**fusão nuclear**, o processo  **$\alpha$  triplo**,  
a “queima” de He.

Estrelas  $< 0.5 M_{\odot}$  nunca

alcançarão a temperatura  
necessária para o processo  $\alpha$  triplo.

Elas “morrerão” como Anãs Brancas (estrelas mortas)  
de hélio,  
após uma “vida” de mais que a idade atual do Universo.

### PROCESSO ALFA-TRIPLO



Quando a temperatura nas regiões centrais da estrela atinge uns 100 milhões de graus, inicia-se o processo alfa-tríplo pelo qual 3 núcleos de Hélio se fundem para formar um núcleo de Carbono

# Evolução Estelar

## 3ª fase: Ramo Horizontal

Na camada acima do núcleo **continua** a **queima de hidrogênio**.

Enquanto o **caroço** **expande**, o **envelope** **se contrai** e **esquenta**.

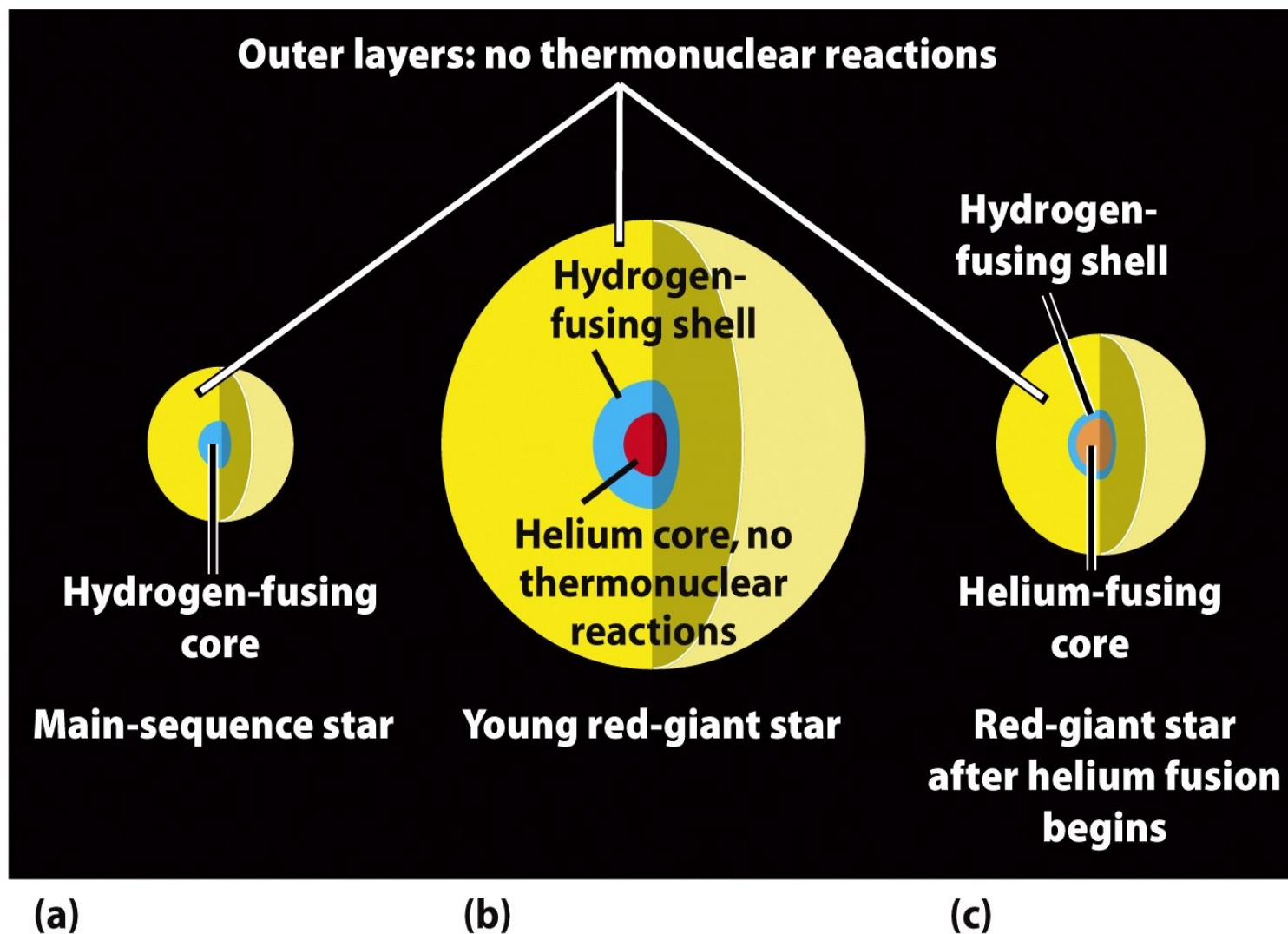


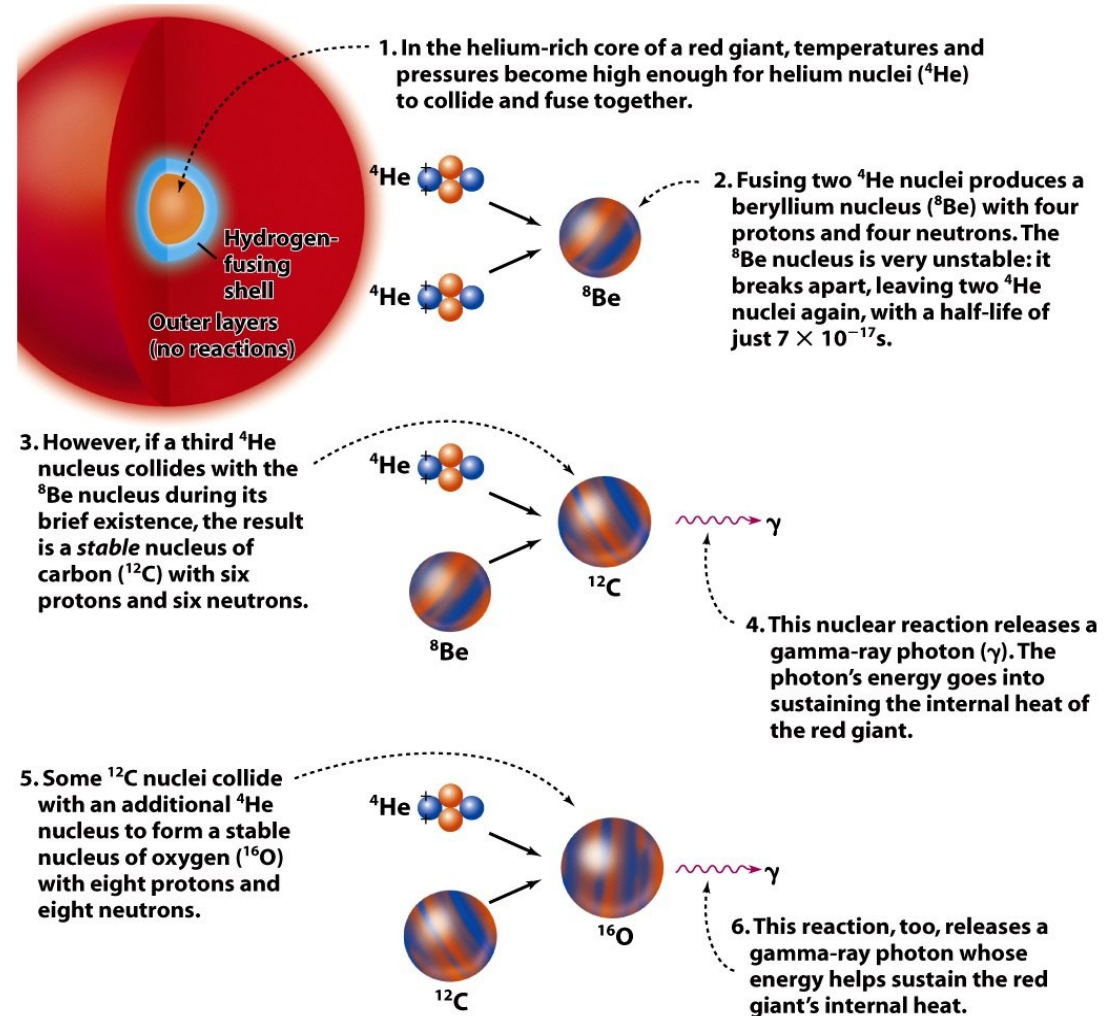
Figure 19-6  
Universe, Eighth Edition

# Evolução Estelar

## 3ª fase: Ramo Horizontal

### Resumo

O processo  $\alpha$  triplo em mais detalhes.

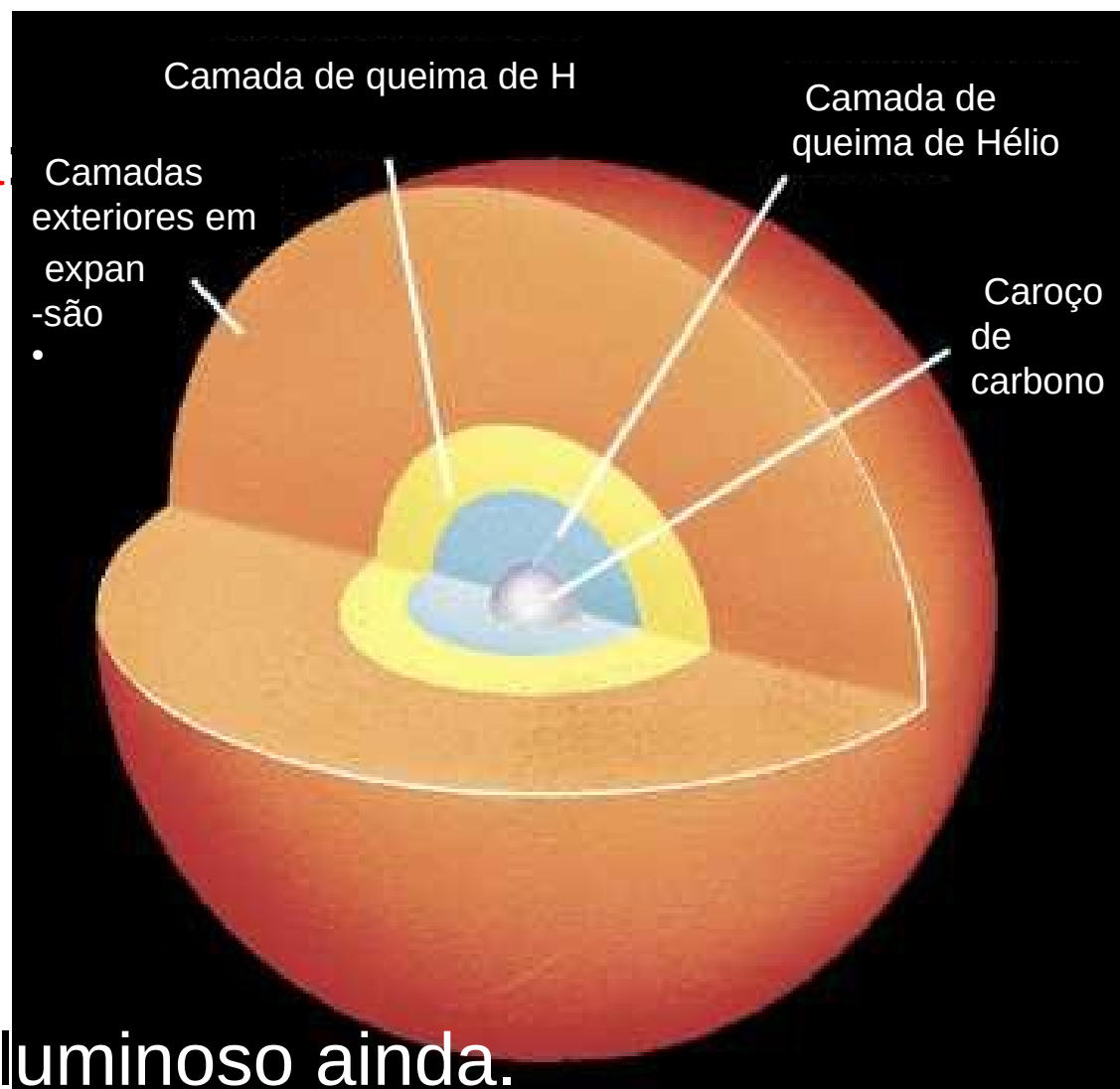


# Evolução Estelar

## 4ª fase: Gigante do Ramo Assintótico

Quando o **hélio** no caroço também se **esgota**

- **contração do caroço** (outra vez)
- **queima de He** em camada acima
- **queima de H** em camada acima desta
- **envelope expande e resfria**, similar ao que acontece numa Gigante Vermelha, só que maior e mais



luminoso ainda.

# Evolução Estelar

4ª fase: Gigante do Ramo Assintótico

Nascer do Sol sobre Marte em 5 bio anos



# Evolução Estelar

## 4ª fase: Gigante do Ramo Assintótico

Estrutura na escala certa.

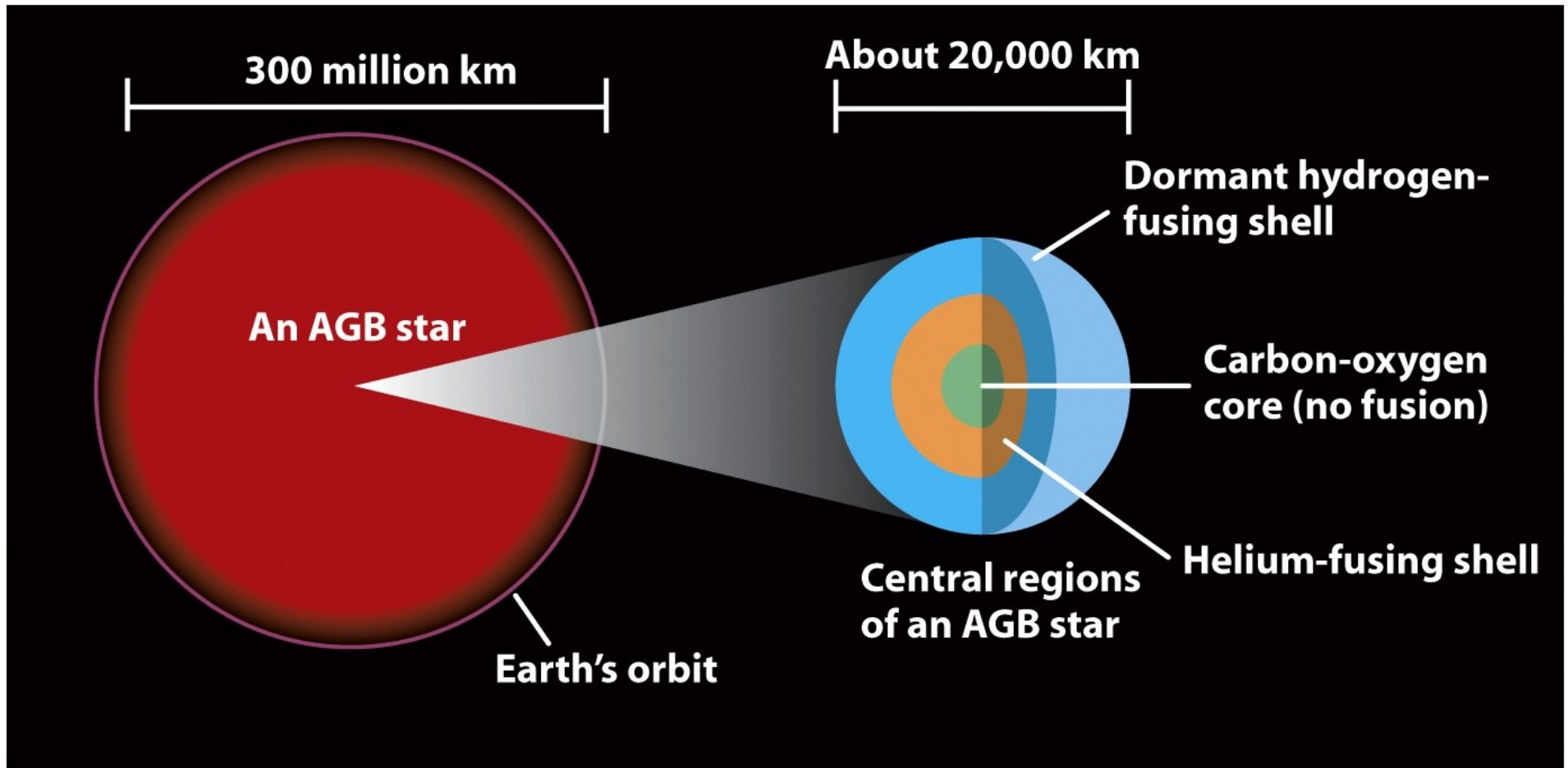


Figure 20-2

*Universe, Eighth Edition*

© 2008 W.H. Freeman and Company

# Evolução Estelar

## A Morte de uma Estrela de Baixa Massa

Se for uma estrela de **massa baixa** ( $M < 8 M_{\odot}$ ), a história **termina** aqui:

Certa hora, o **caroço para** de se **contrair**, por ser sustentado por um novo tipo de pressão, a **pressão de degeneração eletrônica**.

O **Envelope** que estava caindo em cima rebate e é **ejetado**.

O que sobra do núcleo é uma **Anã Branca** (de **C-O**, p. estrelas de  $< 4 M_{\odot}$ , ou de **O-Ne-Mg**, estr. de  $> 4 M_{\odot}$ ), enquanto o envelope ejetado é chamado **Nebulosa Planetária**.

# Evolução Estelar

## A Morte de uma Estrela de Baixa Massa



# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

Se for uma estrela de **alta massa**, o caroço atinge **temperaturas altas** o suficiente para acontecerem **mais reações nucleares**.

Enquanto o caroço se esquenta, são produzidos cada vez **mais elementos**.

A queima dos elementos ocorre em **camadas**, como de uma cebola:

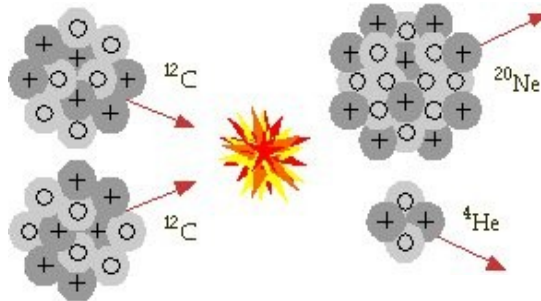
Uma camada de queima de hidrogênio em cima da camada de queima de hélio, em cima de ... etc.

# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

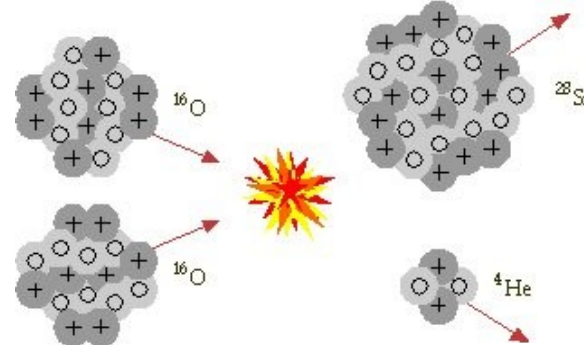
$T_{\text{caroço}} > 6 \cdot 10^8 \text{ K}$ :

queima de **carbono**  
 $\Rightarrow$  **neônio** (e hélio),



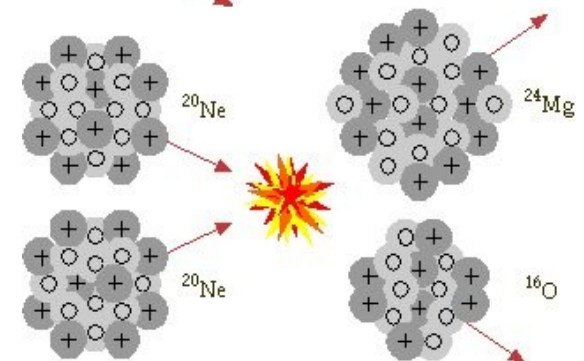
$T_{\text{caroço}} > 1.5 \cdot 10^9 \text{ K}$ :

queima de **oxigênio**  
 $\Rightarrow$  **silício** (e hélio),



$T_{\text{caroço}} > 1.2 \cdot 10^9 \text{ K}$ :

queima de **neônio**  
 $\Rightarrow$  **magnésio** (e oxigênio), ...



# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

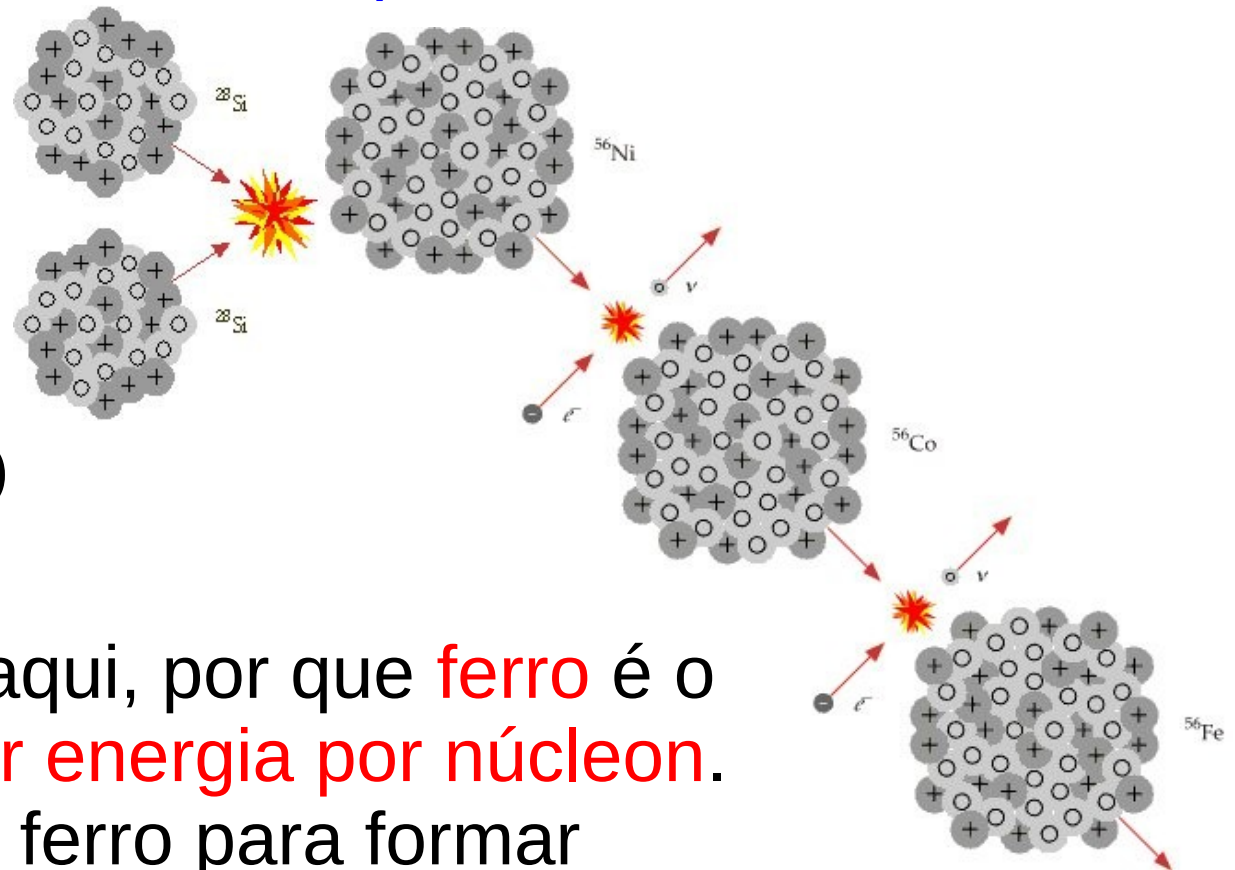
... e, finalmente

$T_{\text{caroço}} > 2.7 \cdot 10^9 \text{ K}$ :

queima de **silício**  
(após uma voltinha  
pelo níquel e o cobalt)

=> **ferro**

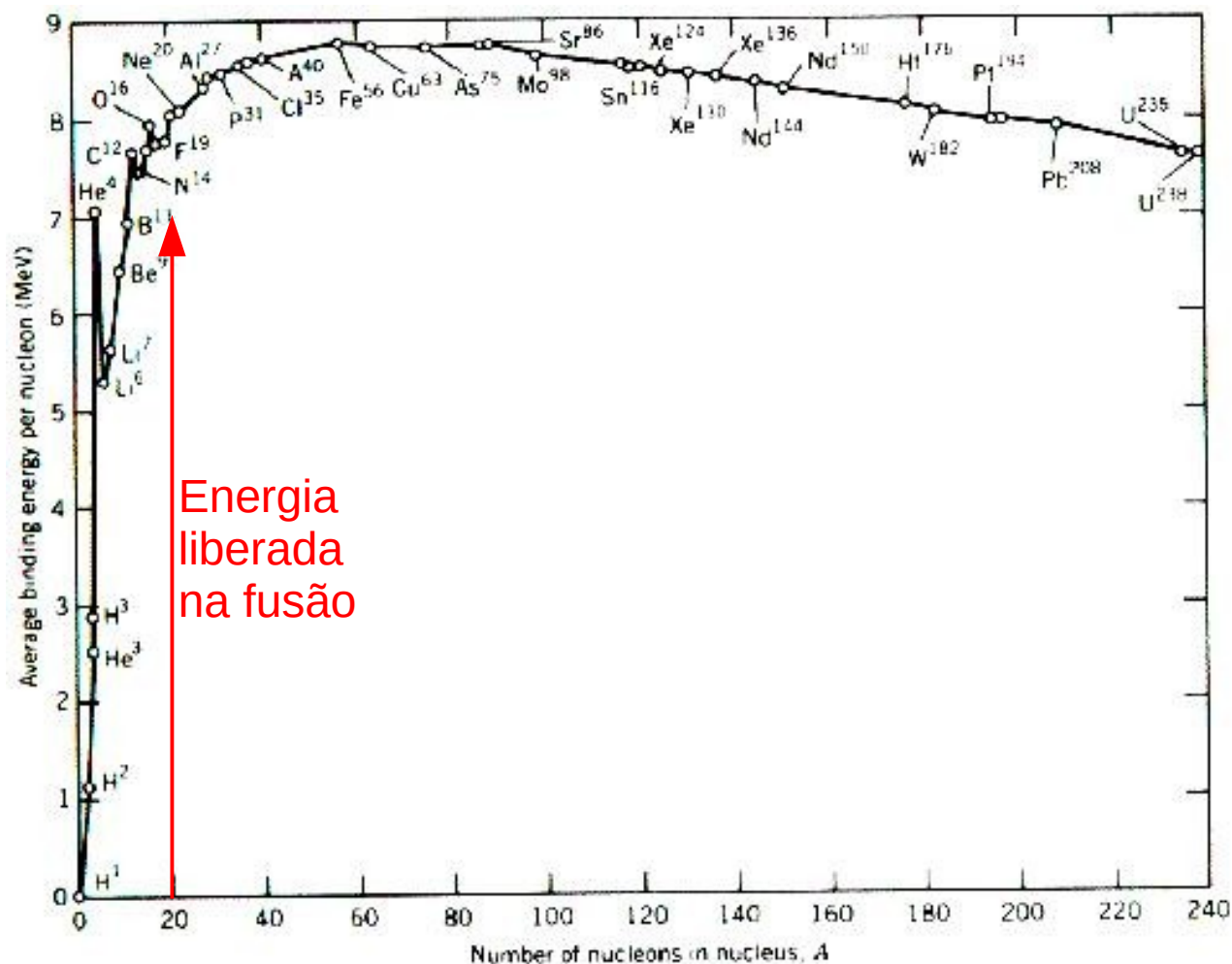
A história **termina** aqui, por que **ferro** é o  
elemento de **menor energia por núcleon**.  
A fusão nuclear de ferro para formar  
elementos mais pesados **custaria energia**.  
=> **não acontece espontaneamente**.



# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

Como em **cada passo** é gerado **menos energia** por **núcleon**, as **fases** são cada vez **mais curtos** (o último da ordem de um dia!).



# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

estrutura de  
**camadas**



fases com  
**ventos fortes:**

=> **Origem dos elementos até ferro** no Universo.

# Evolução Estelar

## 5ª fase (Estrela de Massa Alta)

Estrutura  
na  
escala  
certa

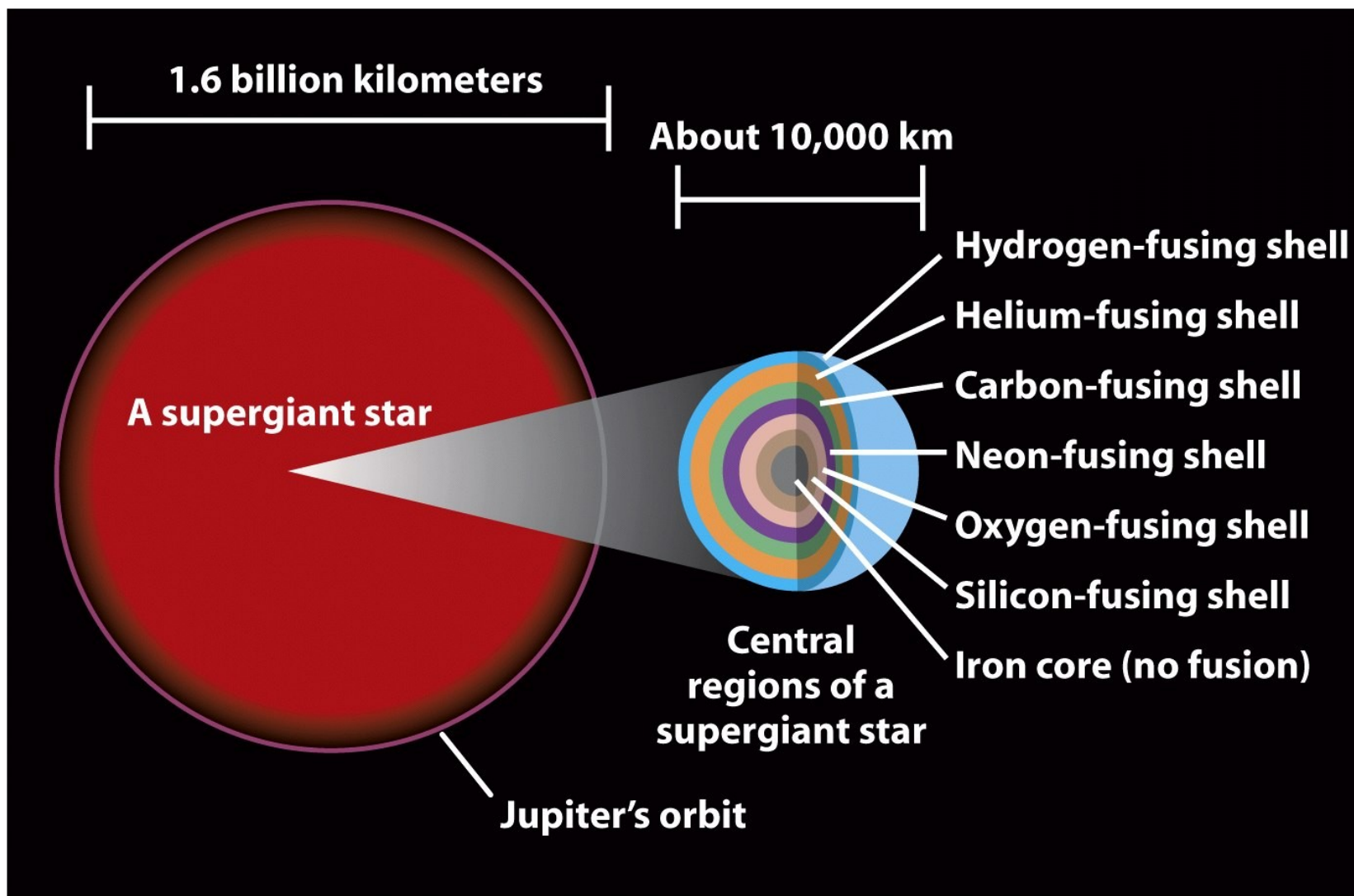


Figure 20-13

*Universe, Eighth Edition*

© 2008 W.H. Freeman and Company

# Evolução Estelar

## A Morte de uma Estrela de Massa Alta

A **pressão** de degeneração eletrônica no **caroço** de ferro **suporta** uma **massa máxima**.

Quando o **caroço ultrapassa** este limite, o que acontece quando a densidade central é de  $\sim 5 \cdot 10^{12} \text{ kg/m}^3$ , e a temperatura central, de  $\sim 7 \cdot 10^9 \text{ K}$ , o caroço **implode**, e o resto da **estrela explode** numa explosão gigantesca chamada **Supernova (SN)**.

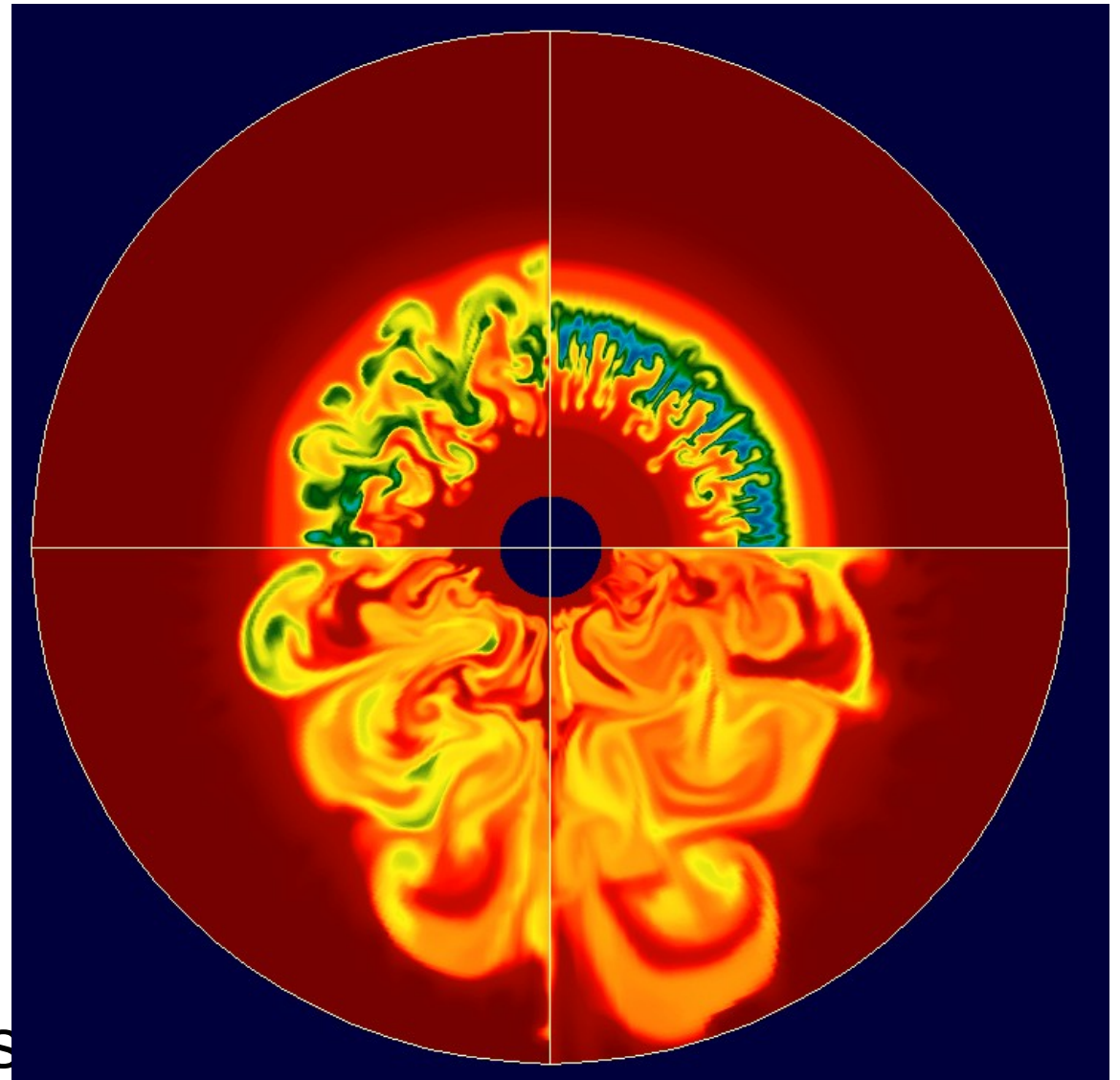


Remanescente de uma Supernova

# Supernovas de Colapso

Estas Supernovas **enriquecem o meio interestelar** com o **C, O, Ne, Mg e Si** do envelope.

Nestas SNs também, as **temperaturas e densidades** chegam a ser tão **altas**, que os **elementos mais pesados do que Fe** podem ser produzidos o que explica a existência destes elementos no Universo.



Simulação de uma Supernova (MPA Garching)

# Origem dos Elementos

E por que os elementos mais pesados não foram formados já na época da nucleossíntese, logo depois do *Big Bang*?

Afinal, a **temperatura** era de  $10^9$ - $10^{12}$  K, bem **maior** do que a temperatura necessária para a **formação de carbono** pelo processo triplo  $\alpha$ ,  $10^8$  K.

Por que o processo triplo  $\alpha$  é muito **lento**. Demora **dezenas de milhares de anos** para transformar um montante significativo de He em C.

Nos 5 minutos da **Época da Nucleossíntese**, **não houve tempo** pra isso.

Por outro lado, as **estrelas** vivem por **bilhões de anos**.

# Origem dos Elementos (Resumo)

=> ~98 % dos átomos do Universo atual foram formados na **Época da Nucleossíntese** (1 ms – ~5 min depois do *Big Bang*)

=> **composição química primordial do Universo:**

H (~76 %), He (23 a 24 %), D (0.01 %), Li (< 0.01 %).

- Os outros 2 %, ou seja todos os outros 104 ou 105 elementos estáveis foram formados mais tarde por **fusão nuclear** em **Estrelas** e **Supernovas**.

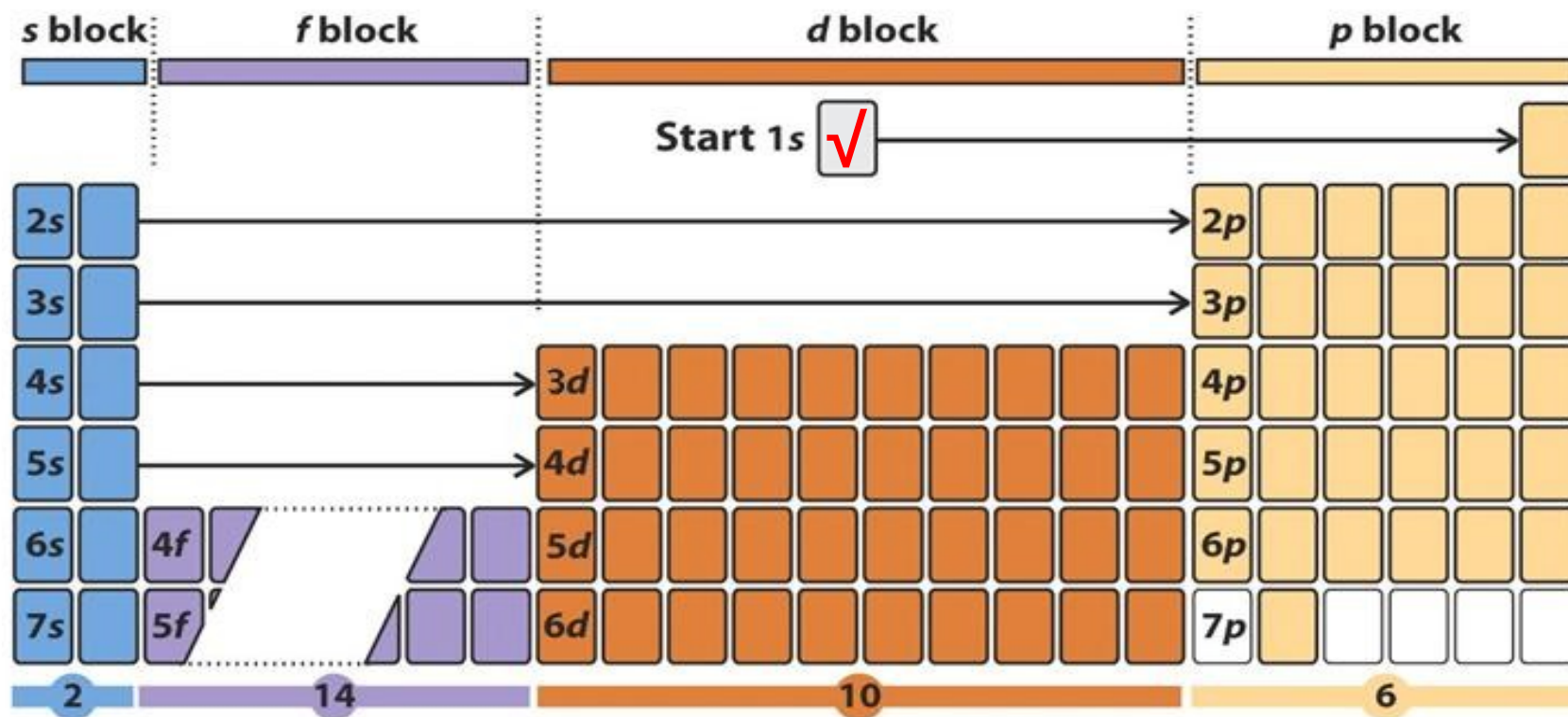
Exceção: **Lítio**, **Berílio** e **Boro** são **instáveis** a altas temperaturas e são destruídas no **interior** das **estrelas**.

O pouquinho destes elementos que é observado vem de **colisões** de **Raios Cósmicos** com H e He no **meio interestelar**.

# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

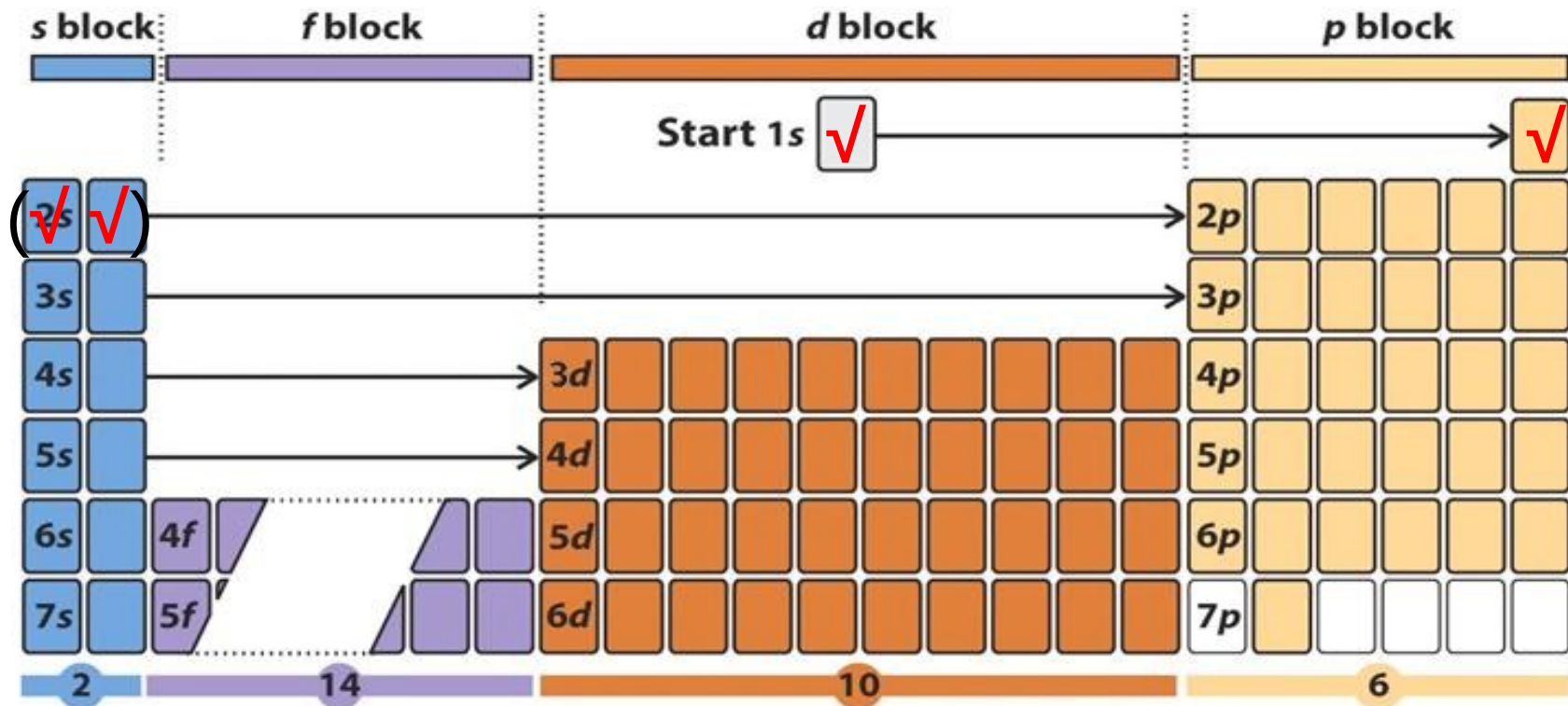
1. Época das partículas (até 1 ms)



# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

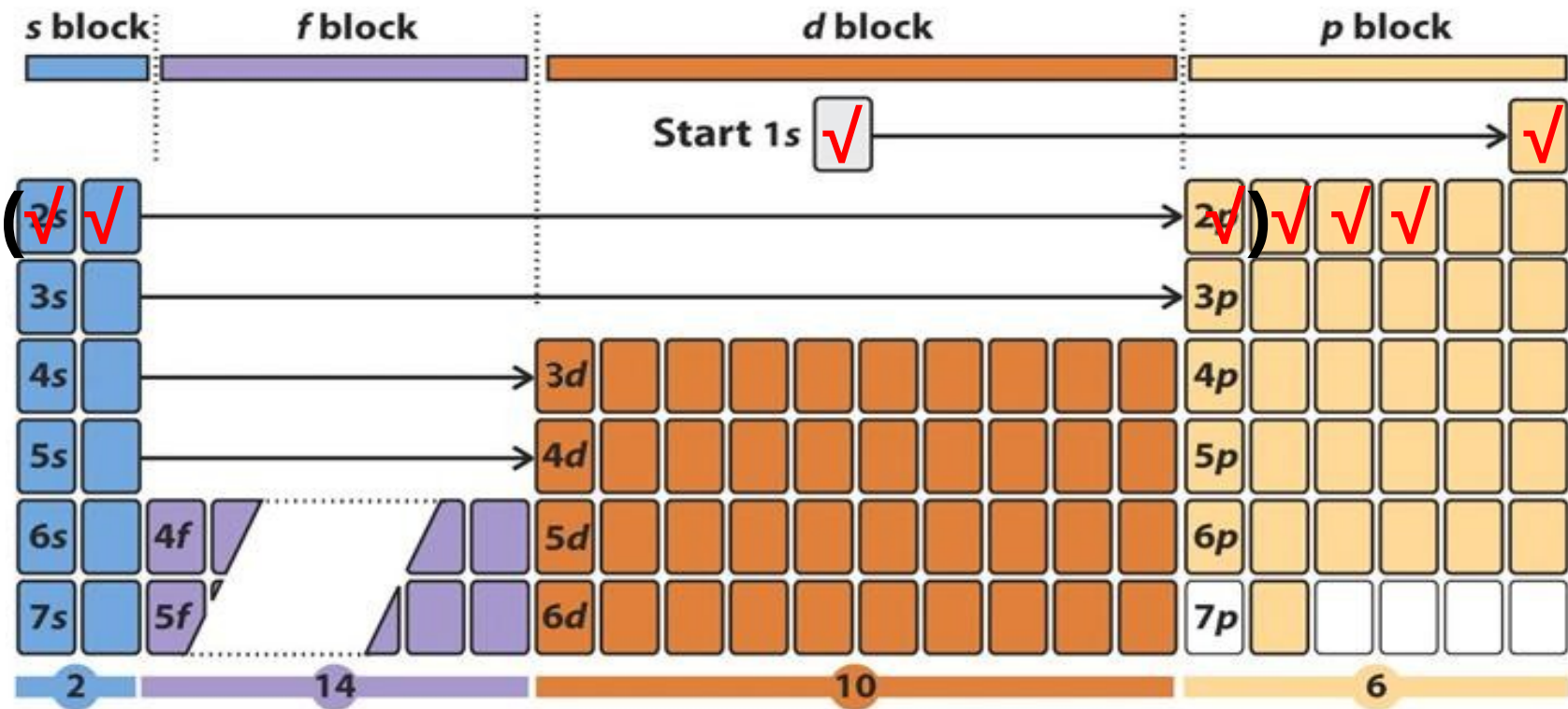
2. Época da nucleossíntese (até 5 min)



# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

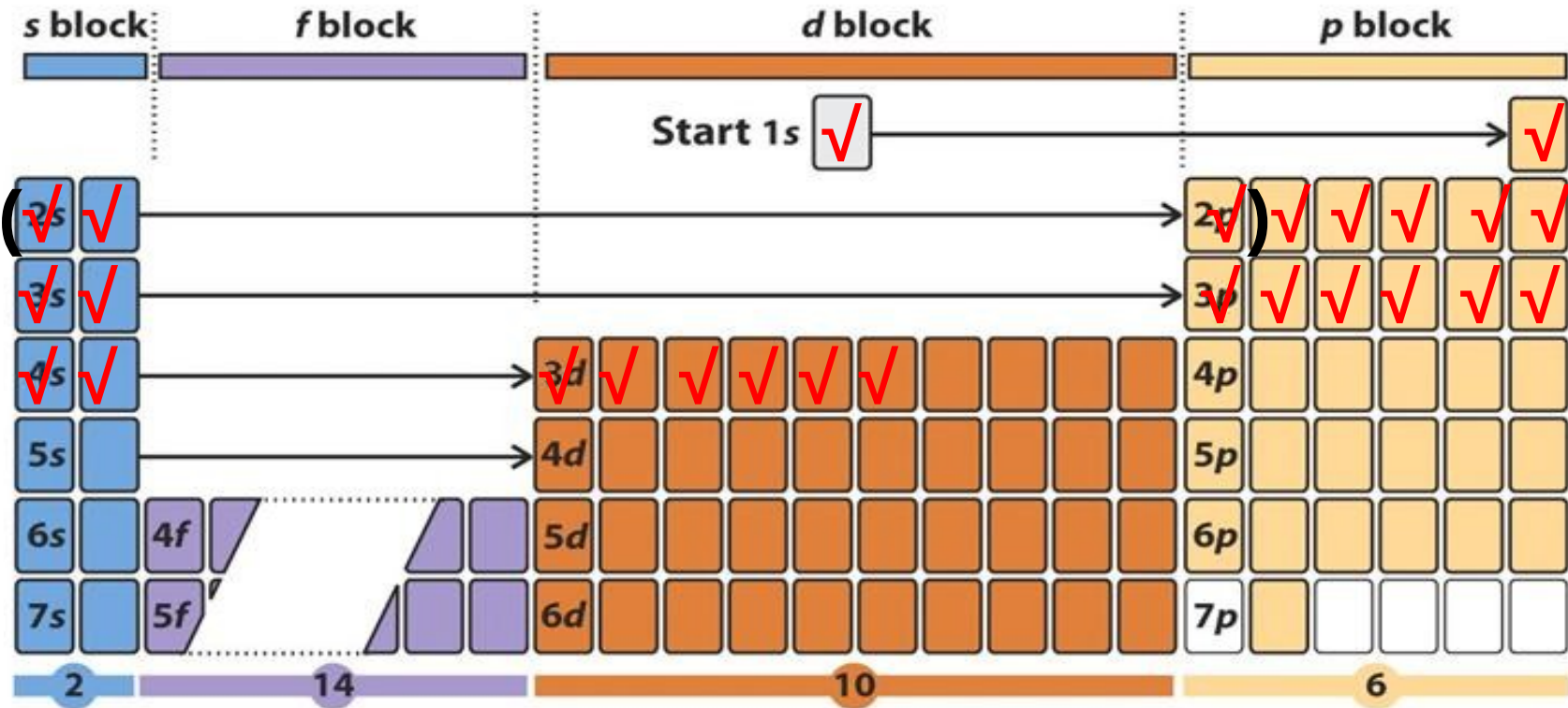
3. Em estrelas de baixa massa



# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

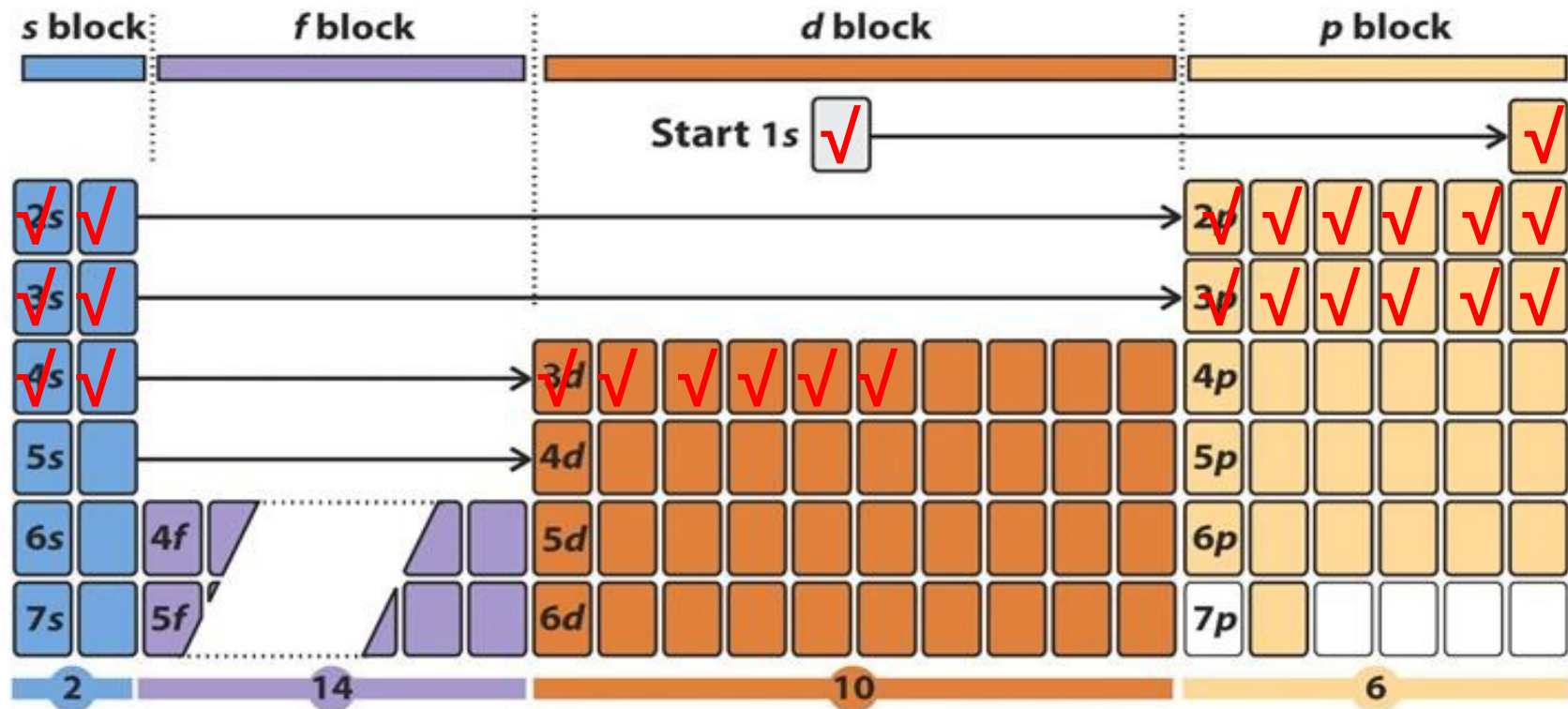
4. Em estrelas de massa intermediária ou alta



# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

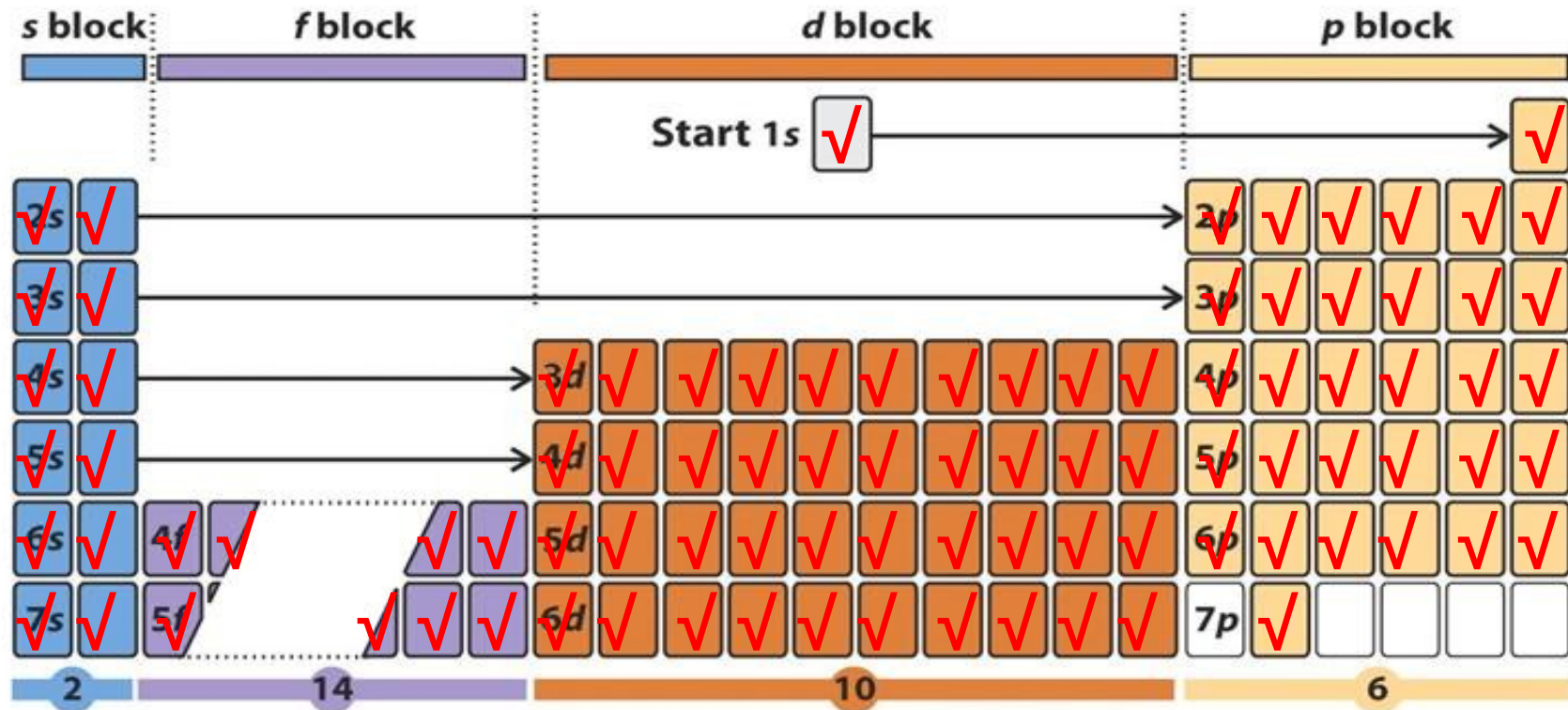
5. Em choques Raios C3smicos - Mat3ria Interestelar



# Origem dos Elementos (Resumo)

Elementos formados no decorrer do tempo:

6. Em supernovas



# Origem dos Elementos (Resumo)

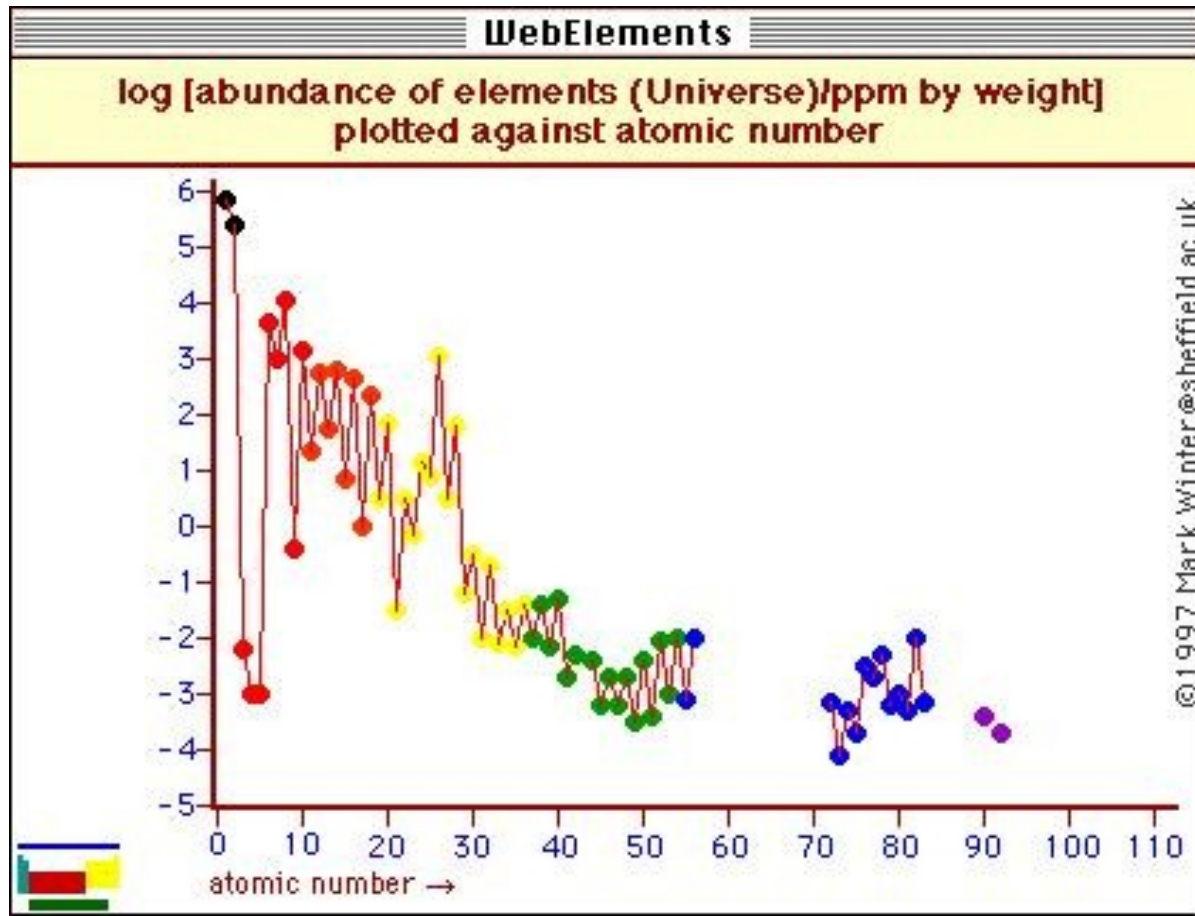
Elementos formados no decorrer do tempo:

H B																		He B					
Li C	Be C																	B C	C S L	N S L	O S L	F L	Ne S L
Na L	Mg L																	Al \$ L	Si \$ L	P L	S S L	Cl L	Ar L
K L	Ca L	Sc L	Ti \$ L	V \$ L	Cr L	Mn L	Fe \$ L	Co \$	Ni \$	Cu L	Zn L	Ga \$	Ge \$	As L	Se \$	Br \$	Kr \$						
Rb \$	Sr L	Y L	Zr L	Nb L	Mo \$ L	Tc L	Ru \$ L	Rh \$	Pd \$ L	Ag \$ L	Cd \$ L	In \$ L	Sn \$ L	Sb \$	Te \$	I \$	Xe \$						
Cs \$	Ba L	Hf \$ L		Ta \$ L	W \$ L	Re \$	Os \$	Ir \$	Pt \$	Au \$	Hg \$ L	Tl \$ L	Pb \$	Bi \$	Po \$	At \$	Rn \$						
Fr \$	Ra \$																						
La L		Ce L	Pr \$ L	Nd \$ L	Pm \$ L	Sm \$ L	Eu \$	Gd \$	Tb \$	Dy \$	Ho \$	Er \$	Tm \$	Yb \$ L	Lu \$								
Ac \$		Th \$	Pa \$	U \$	Np \$	Pu \$	Am M	Cm M	Bk M	Cf M	Es M	Fm M	Md M	No M	Lr M								

<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #ccccff; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">B</div> <p>Big Bang</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #90ee90; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">L</div> <p>Large stars</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #ffcc99; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">\$</div> <p>Supernovae</p>
<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #add8e6; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">C</div> <p>Cosmic rays</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #ffff99; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">s</div> <p>Small stars</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; background-color: #cc99ff; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-bottom: 5px;">M</div> <p>Man-made</p>

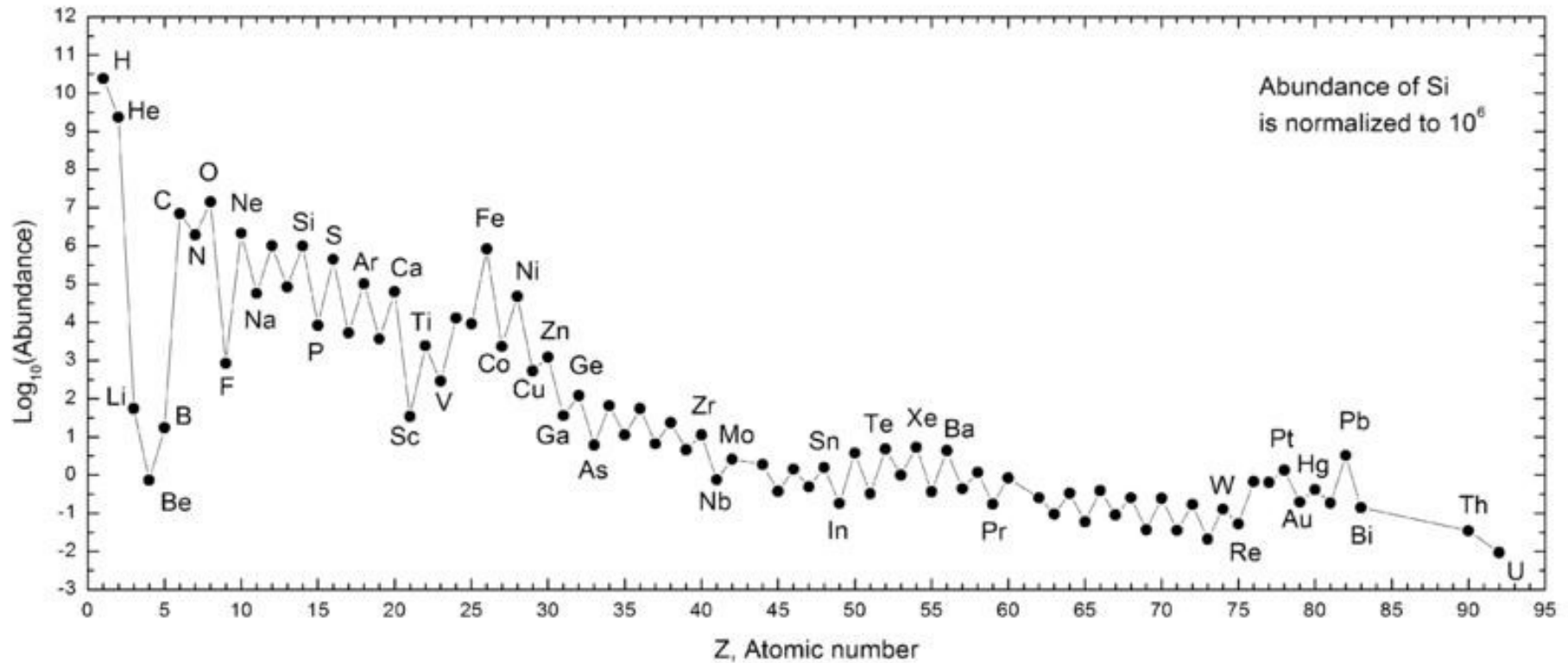
# Origem dos Elementos (Resumo)

## Abundâncias dos Elementos no Universo



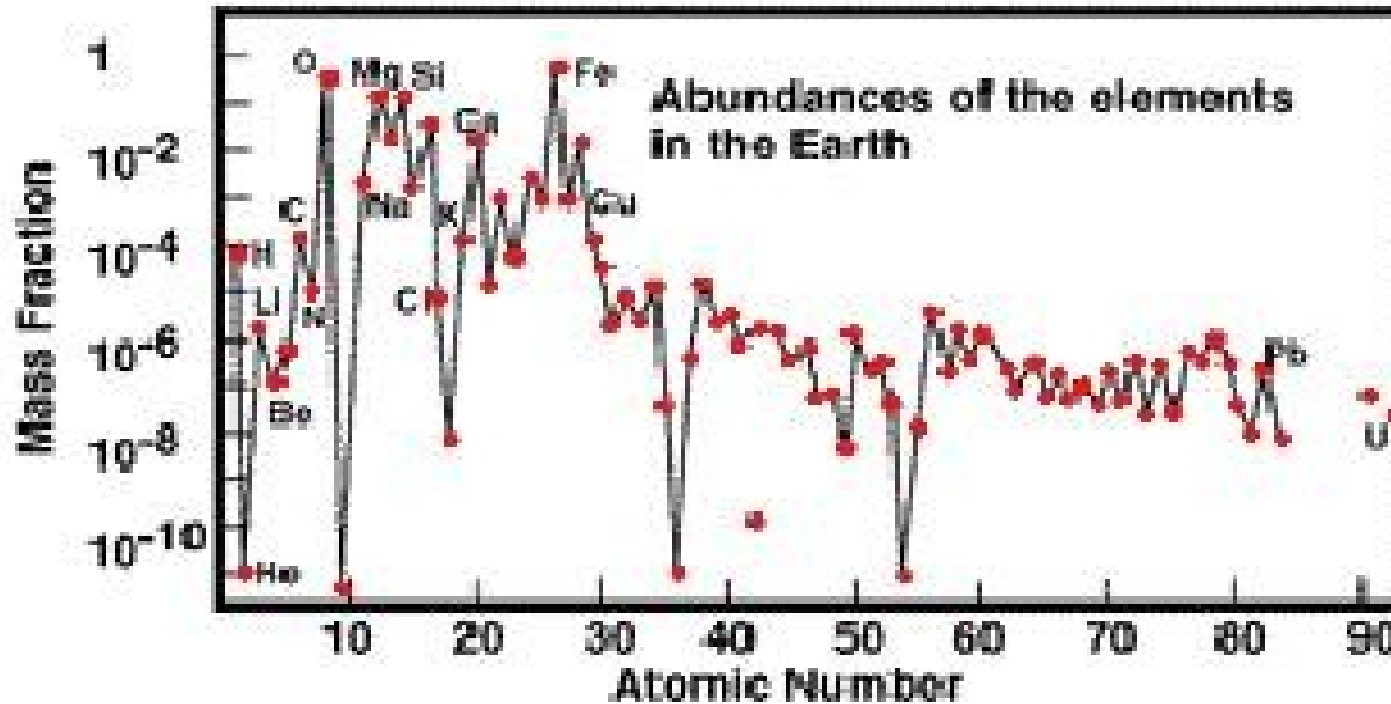
# Origem dos Elementos (Resumo)

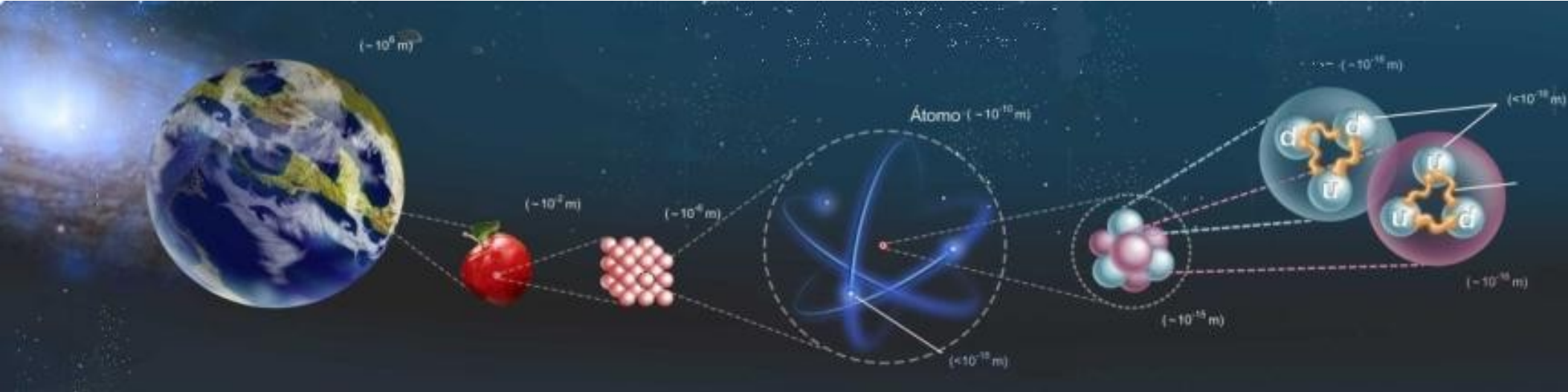
## Abundâncias dos Elementos no Sistema Solar



# Origem dos Elementos (Resumo)

## Abundâncias dos Elementos na Terra





Universidade Federal do ABC

# Estrutura da Matéria

FIM pra hoje

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>