

Resumo descarado da ultima aula

- 1) observaveis estelares
- 2) diagrama HR
- 3) perdas de energia estelar
- 4) modelo de uma estrela
- 5) equilibrio hidrostático

falta a fonte de energia!!

ÁTOMOS E NÚCLEOS

Átomo = o núcleo envolto numa nuvem de elétrons

núcleo \Leftrightarrow carga elétrica positiva (+)

elétron \Leftrightarrow carga elétrica negativa (-)



mantido coeso por **forças elétricas**

Núcleo = sistema coeso de **núcleons**

núcleons : **protons** \Leftrightarrow carga elétrica positiva (+)

neutrons \Leftrightarrow sem carga elétrica



mantido coeso pelas **forças nucleares**

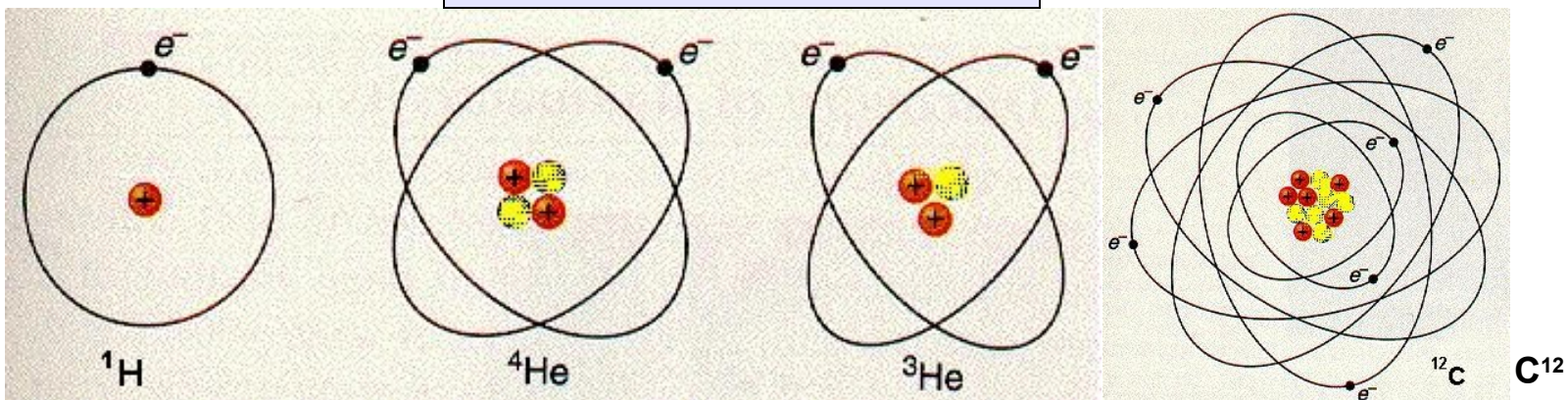
Número Atômico = Z = no. de *prótons* no núcleo

Número de Massa = A = no. de (*prótons + nêutrons*) no núcleo

núcleons

As **propriedades químicas** dos elementos são determinadas principalmente pela sua carga eletrônica = **número atômico Z**

Isótopos = mesmo elemento químico, com diferentes nos. de massa A



A Energia de Ligação dos átomos e núcleos

**É a energia necessária para desintegra-los em todos os seus
constituintes individuais: átomos: núcleo + elétrons
núcleos: núcleons individuais**

Ou, ao contrário: a energia *que é liberada para forma-los*

MORAL:

Obtemos energia formando...moléculas, átomos ou núcleos

A energia obtida é a **energia de ligação do sistema formado**

**A energia de ligação de um sistema é tanto maior quanto mais
intensas forem as forças de coesão:**

**As forças elétricas são 10 vezes mais fracas que as forças nucleares
⇒ **obtem-se mais energia formando núcleos que átomos ...****

As fontes de energia de uma estrela

Energia Nuclear:

reações de fusão de núcleons (*protons e neutrons*),
formando núcleos das várias espécies atômicas.

Problema : 80% da massa das estrelas é Hidrogênio, isto é, protons.

Mas onde encontrar os neutrons ???

Fontes de energia estelar (1)

1. Energia Térmica

(desculpem... mas algumas equações serão necessárias !)

$$E_{\uparrow} = \bar{U} M_{\odot}$$
$$\sim \frac{3}{2} \frac{k T}{\mu m_{\text{H}}} M_{\odot}$$

► fazendo as contas para o Sol:

$$k = 1,381 \times 10^{23} \text{ J K}^{-1}$$

$$T = 5,75 \times 10^6 \text{ K}$$

$$\mu = 0,5$$

$$m_{\text{H}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$M_{\odot} \sim 2,00 \times 10^{30} \text{ kg}$$

donde

$$E_{\text{T}} \sim 3 \times 10^{41} \text{ J}$$

Fontes de energia estelar (2)

➤ vocês podem medir a Luminosidade Solar (!!!!) e encontrar que

$$L_{\odot} \sim 4 \times 10^{26} \text{ J s}^{-1}$$

➤ lembrando que potência = energia/tempo, o Sol, então, poderia irradiar essa energia por um tempo de

$$t_{\top} \sim 7,5 \times 10^{14} \text{ s}$$

➤ lembrando que um ano tem, aproximadamente $\pi \times 10^7 \text{ s}$, temos

$$t_{\top} \sim 24 \text{ milhões de anos}$$

2. Energia Gravitacional

(esta vai ser bem mais simples !)

► de acordo com o teorema do virial

$$E_G = 2 \times E_T$$

ou seja, para o caso do Sol, este poderia irradiar sua potência observada por um período de

$$t_G \sim 48 \text{ milhões de anos}$$

► achar a fonte da energia Solar (e estelar) foi um dos grandes problemas da Astrofísica: e uma grande sorte pra Física !

Fontes de energia estelar (4)

2. Energia Nuclear

➤ massa do átomo $H^1 \rightarrow 1,0075$ uma
(lembrando que $1 \text{ uma} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$)

➤ massa do átomo de $He^4 \rightarrow 4,0026$ uma

assim, na conversão de $4 H^1 \rightarrow He^4$, temos que a **diferença de massa** é de $4,57 \times 10^{-29} \text{ kg}$; a eficiência desse processo então é

$$\eta = \frac{4,57 \times 10^{-29}}{4 \times 1,673 \times 10^{-27}} = 0,007$$

➤ assim, a energia que se pode extrair no processo de conversão de Hidrogênio em Hélio, no Sol, pode ser dada por

$$E_{\text{nuc}} = 0,007 \times m c^2$$

se 10% da massa do Sol estiver disponível para este tipo de reação, teríamos

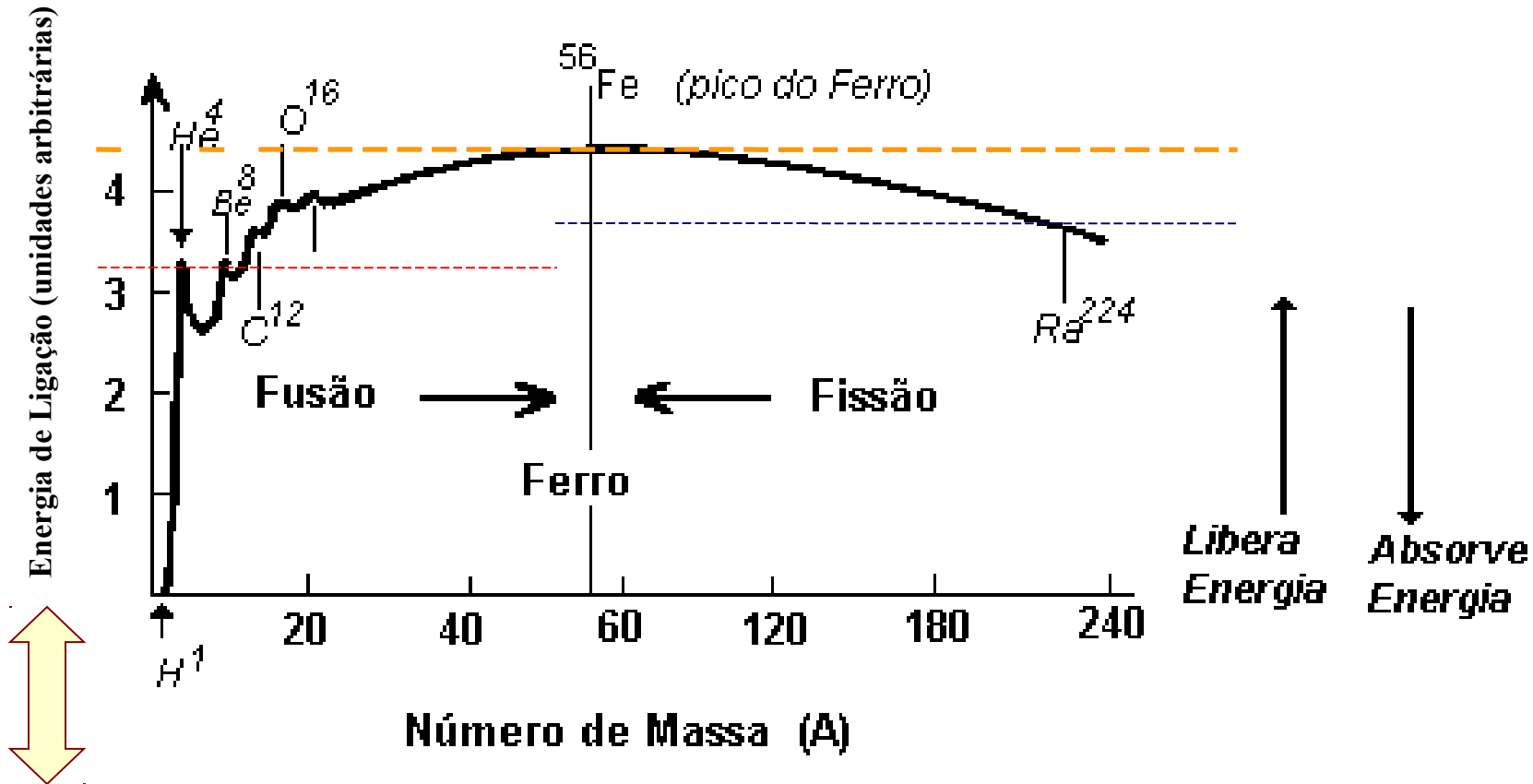
$$E_{\text{nuc}} = 1,26 \times 10^{44} \text{ J}$$

Fontes de energia estelar (5)

e, analogamente aos casos anteriores, encontraremos

$$t_{\text{nuc}} = 10 \text{ bilhões de anos}$$

► a descoberta de que a fonte de energia no Sol, ou melhor, **nas estrelas**, é nuclear, **é um dos grandes alicerces da física no século XX.**



A GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR NAS ESTRELAS

QUAIS COMBUSTÍVEIS ??

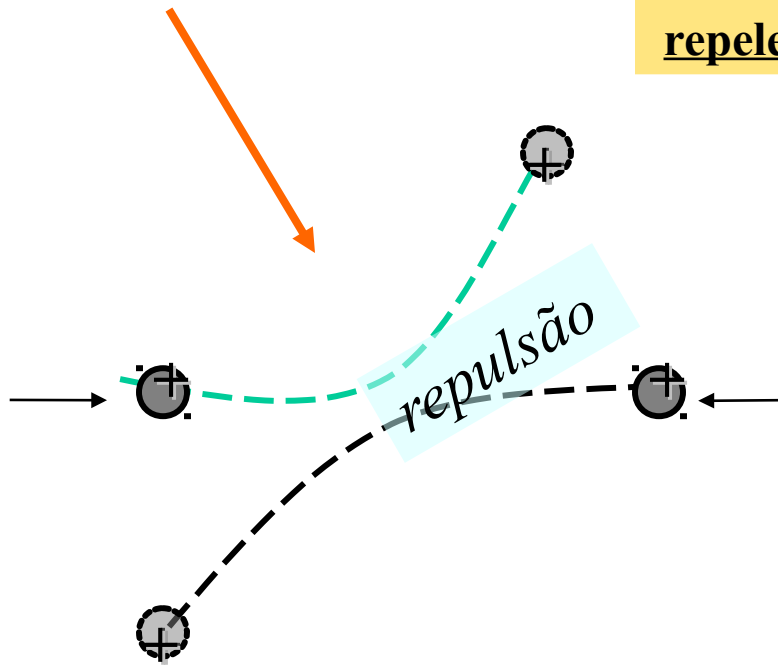
A composição química das estrelas (quando jovens):
80%: Hidrogênio
18%: Hélio
2%: Carbono, Oxigênio, elementos mais pesados

A Barreira Coulombiana

→ os núcleos têm sempre carga positiva !

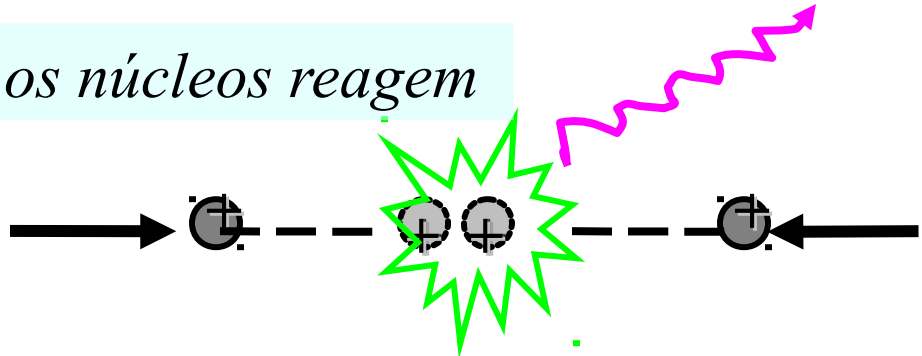
repelem-se mutuamente!

tanto mais quanto maior a carga)



baixas temperaturas,
baixas velocidades

os núcleos reagem



altas temperaturas,
altas velocidades

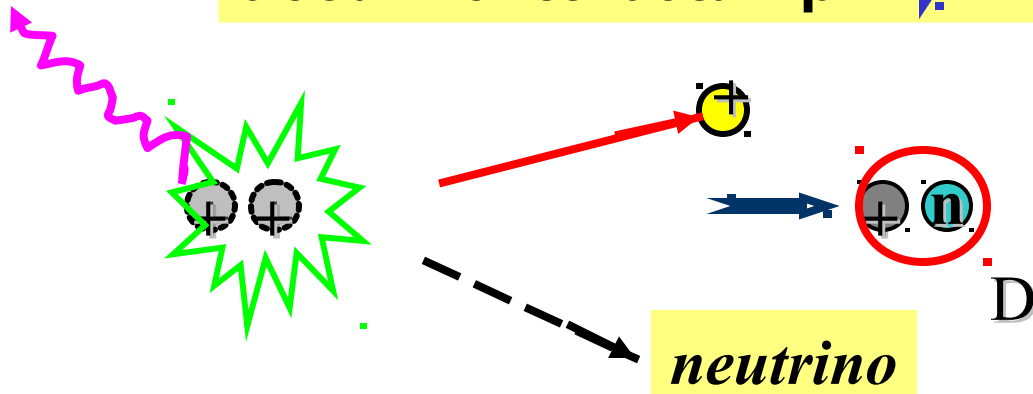
altas temperaturas e pequenas cargas elétricas ?

O combustível deve ser o Hidrogênio,
na região central da estrela:



Problema!!!
Aonde encontrar os neutrons ???

decaimento beta: $p \Rightarrow n + e^+ + \text{neutrino}$



Cola descarada:

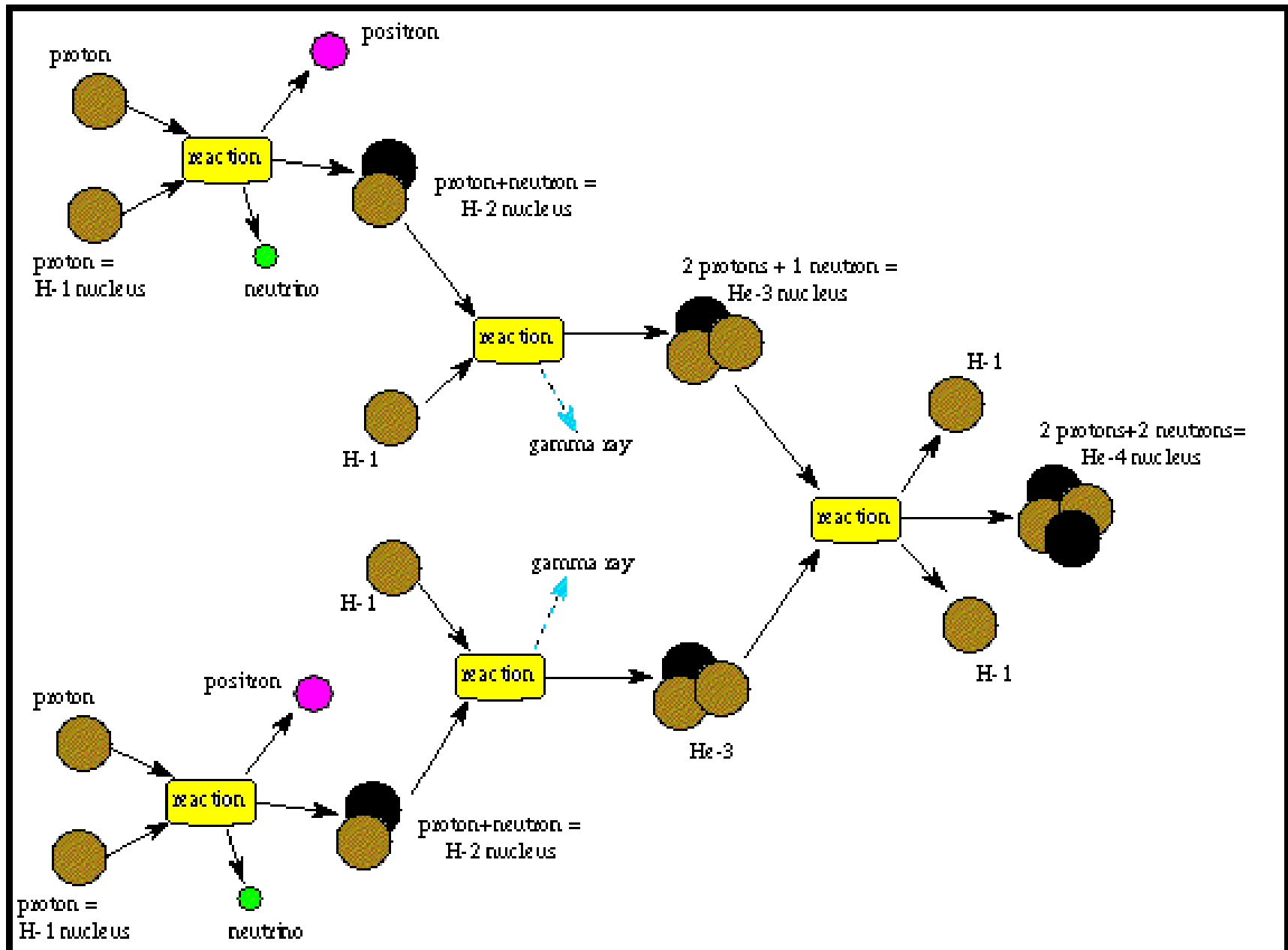
Massa do neutron = $939,579 \text{ MeV}/c^2$

Massa do proton = $938,280 \text{ MeV}/c^2$

E tem mais cola.....

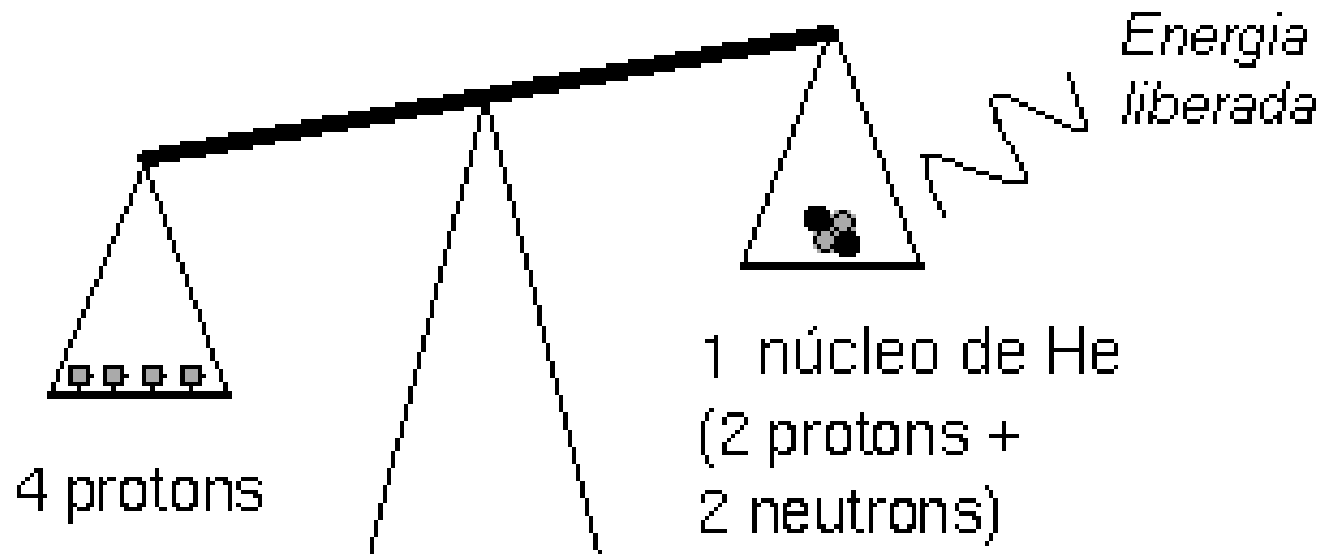
Vamos tratar a partir de agora das
estrelas de baixa massa

A CADEIA P-P DA FUSÃO DO HIDROGÊNIO





UMA PARTE DA MASSA É CONVERTIDA EM ENERGIA!



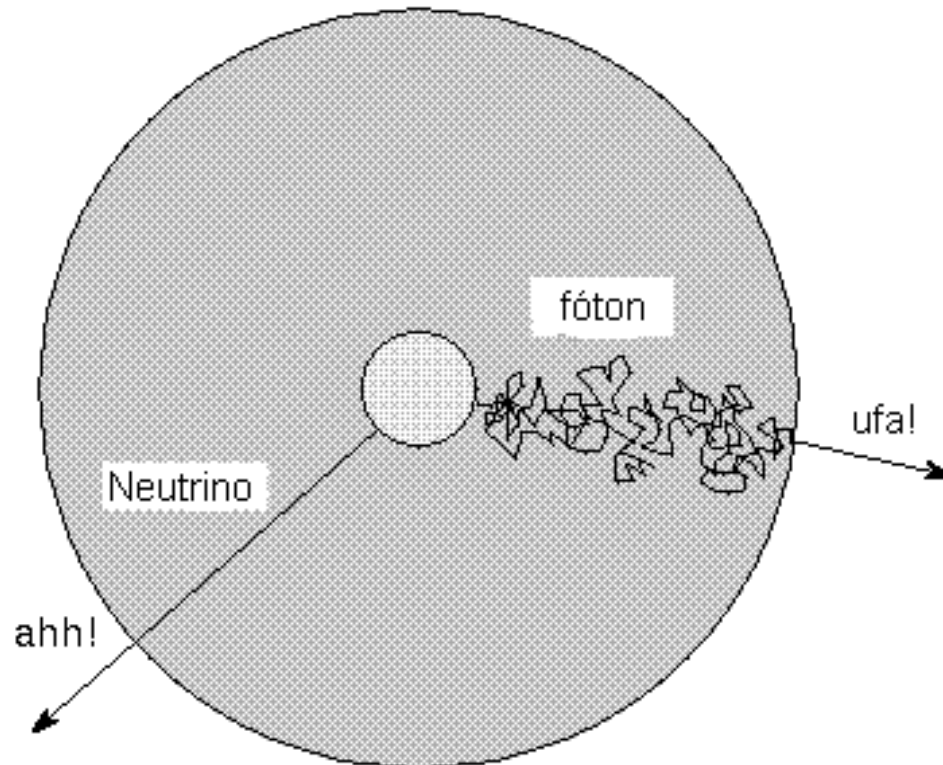
➤ **ENERGIA = massa x c^2**

A luminosidade do Sol equivale a
4 milhões de toneladas p/ segundo

E O NEUTRINO ???

Interage muito fracamente com a matéria: escapa do interior estelar sem outros efeitos...

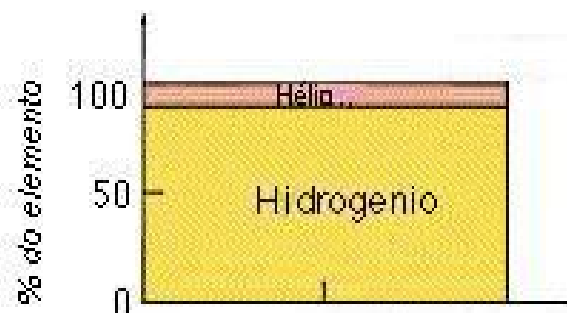
***A estrela perde energia na forma de neutrinos .
É uma forma de luminosidade que não podemos detectar***



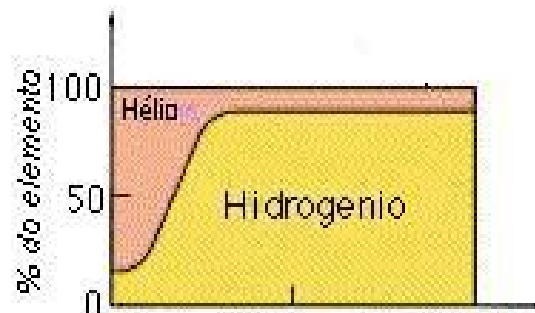
AS ESTRELAS EVOLUEM À MEDIDA QUE CONSOMEM SUAS FONTES DE ENERGIA:

- Nuclear
- gravitacional

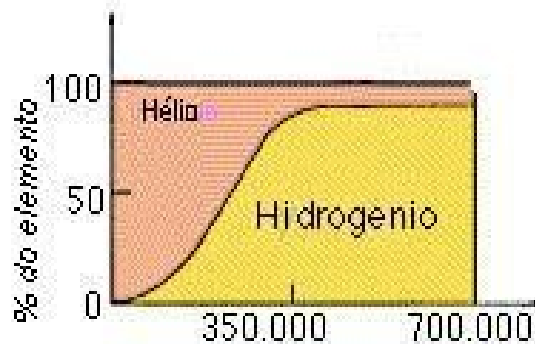
As estrelas da *sequencia principal* produzem sua energia através da **queima do Hidrogênio** e sua lenta transmutação em **Hélio**



Ao se formar



*depois de 5 bilhões de anos
(Sol)*



depois de 10 bilhões de anos

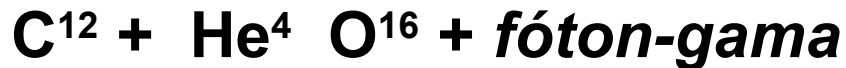
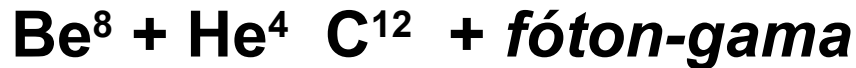
Distância ao centro da estrela (km)

QUANDO A ESTRELA ESGOTA SEU HIDROGÊNIO CENTRAL

Tem de recorrer a suas fontes alternativas...

✂ ➤ Energia Gravitacional: **a estrela trata de se contrair...**

✂ ➤ Fusão do Hélio (*temperaturas ainda maiores que p-p*)



✂ ➤ Fusões do Carbono



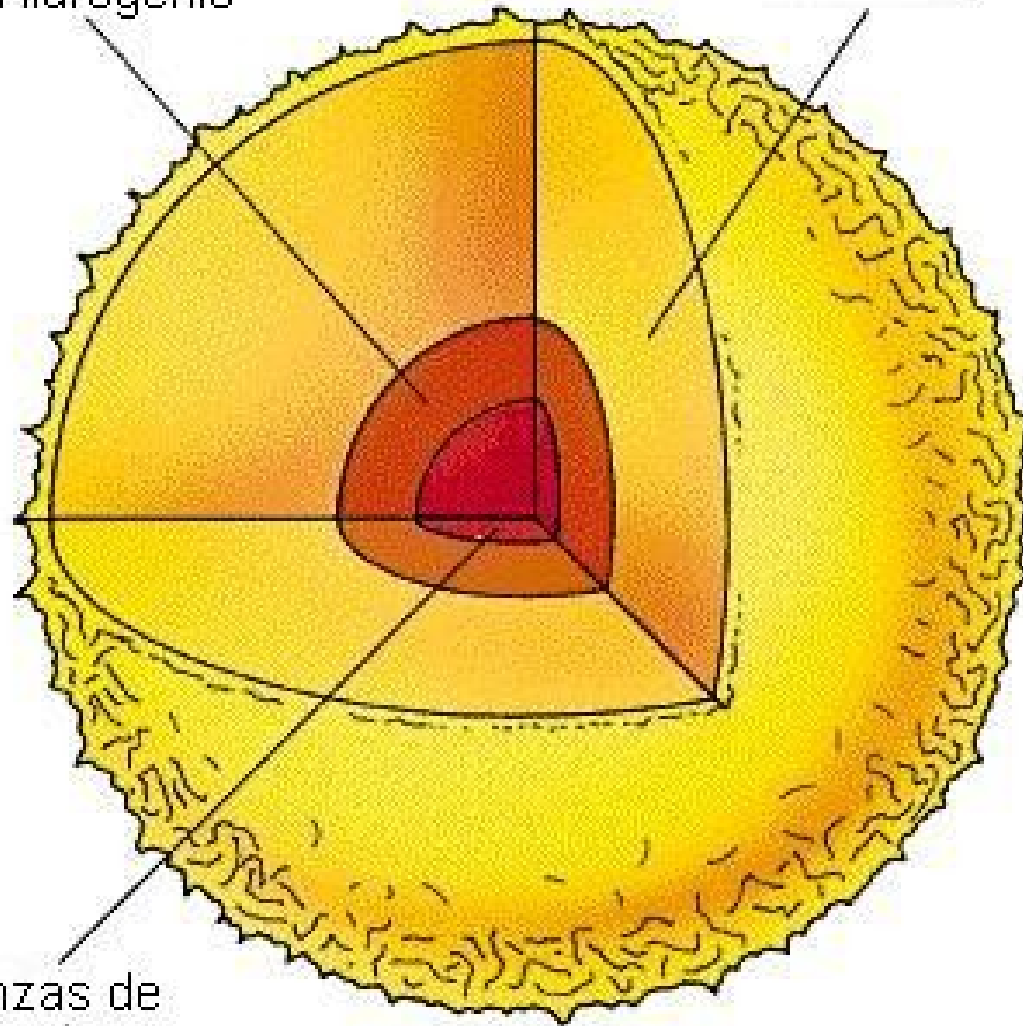
✂ ➤ Fusões do Oxigênio ... etc

temperaturas



Camada de queima
de Hidrogênio

Envelope inerte



Cinzas de
Hélio

A FASE DE GIGANTE VERMELHA

Quando a estrela esgota seu Hidrogênio central

O caroço central deixa de produzir energia e **ESFRIA !!!**

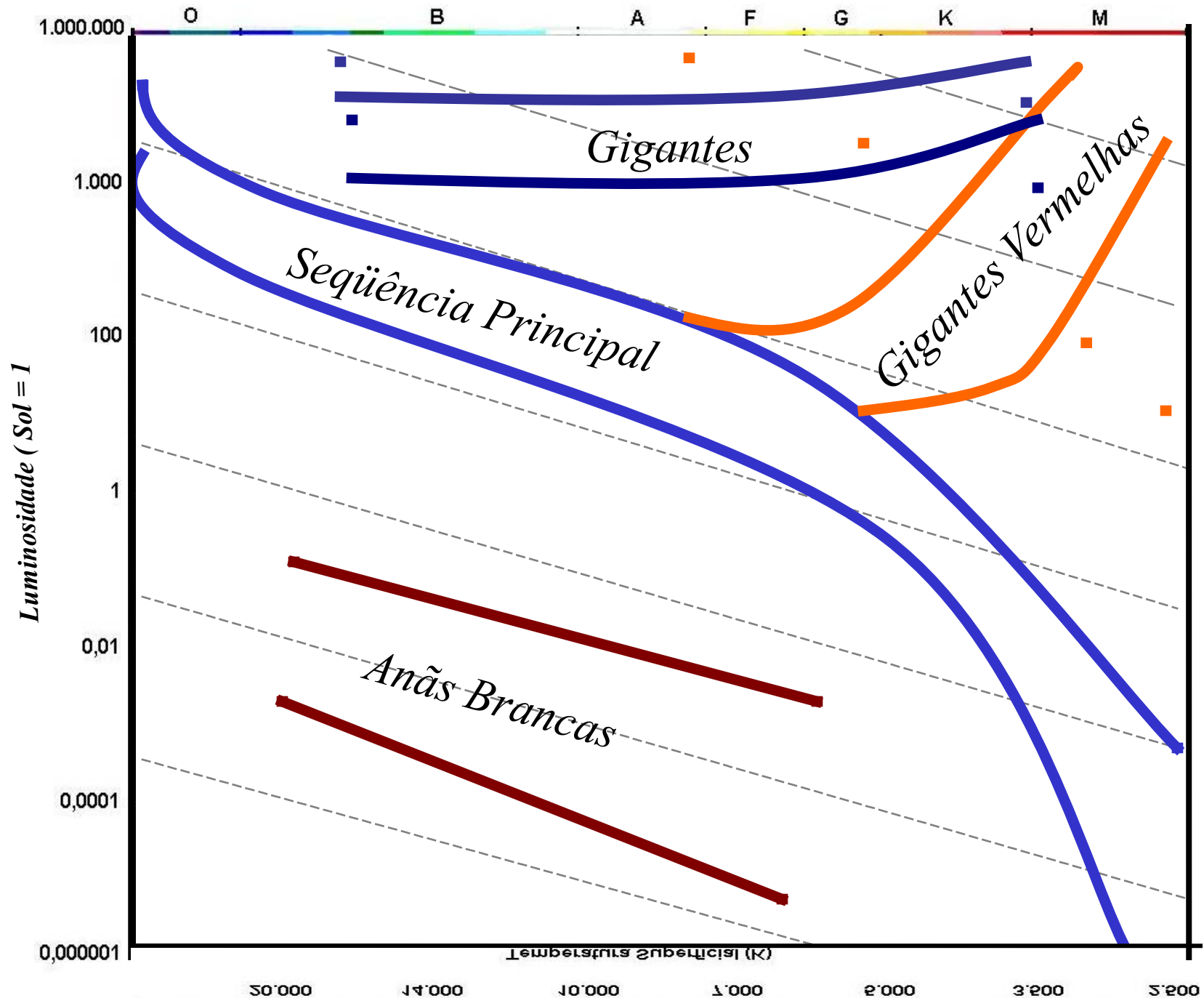
a pressão diminui - **o caroço de He⁴** começa a "afundar" sob o peso das camadas superiores...

MAS... a contração libera energia gravitacional! Com isso...

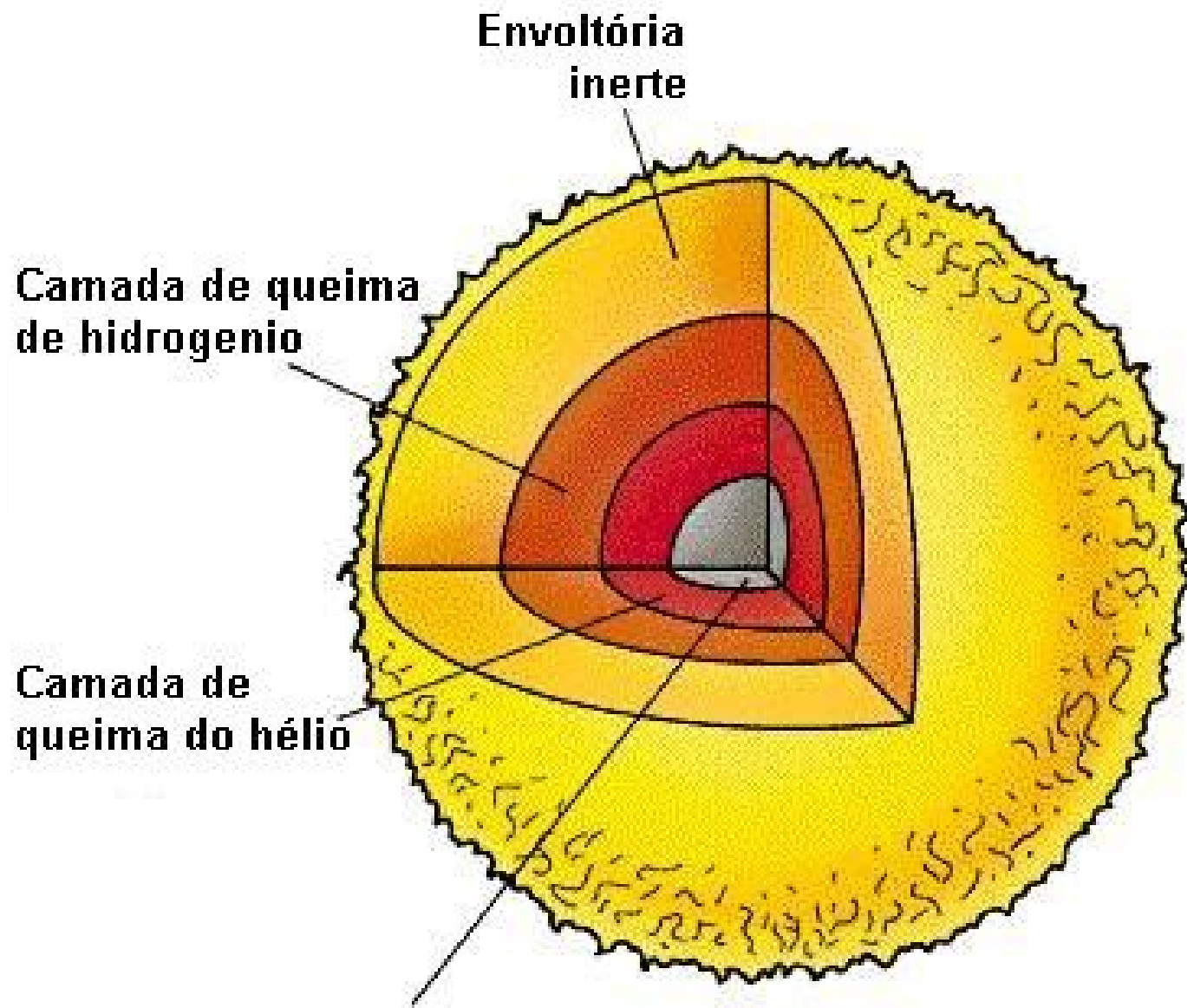
Camadas superiores aquecem e expandem (novo equilíbrio)

Camadas mais próximas do caroço atingem temperatura suficiente para queimar o Hidrogênio que lhes resta.

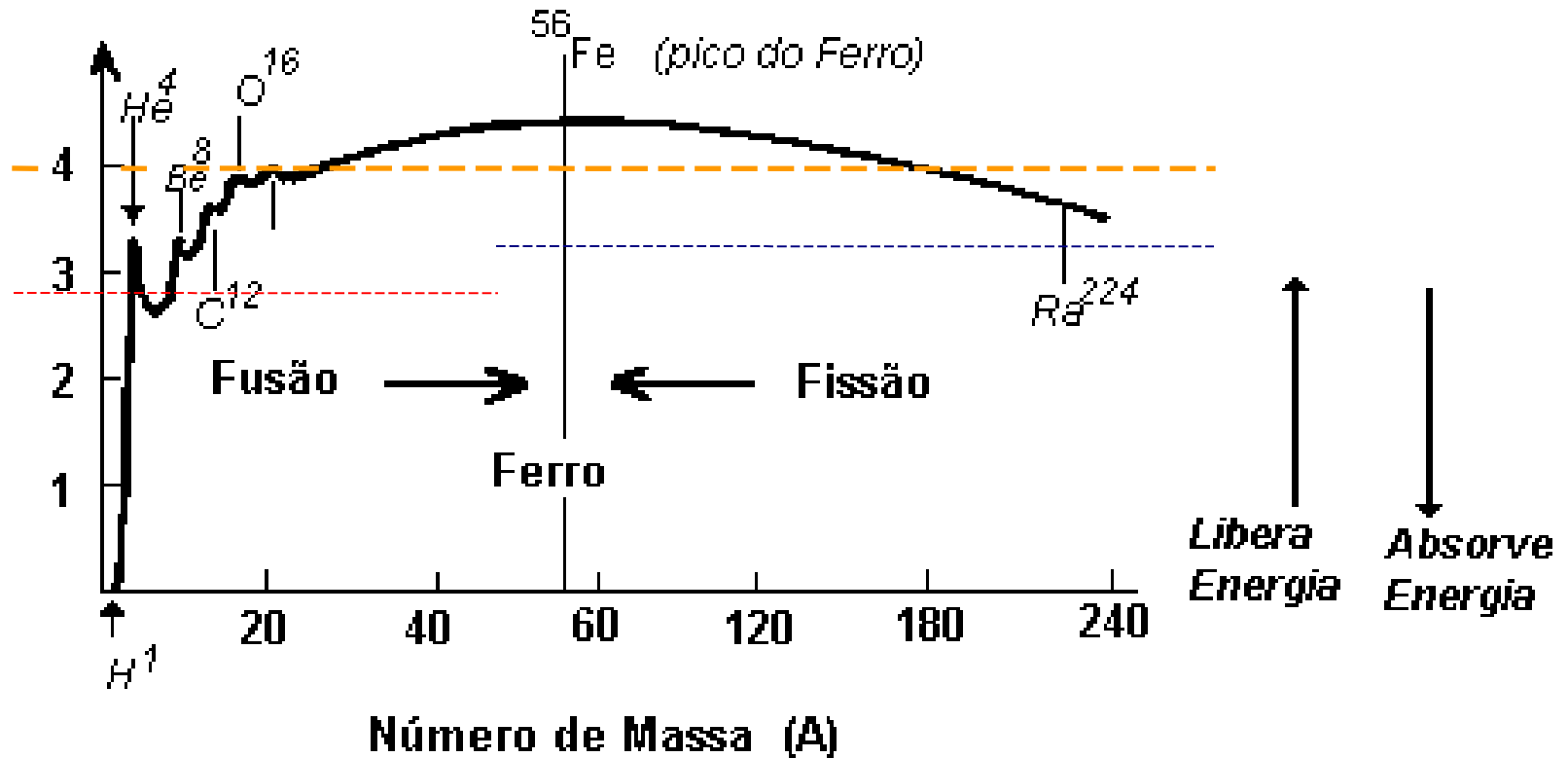
O caroço também aumenta de temperatura até o ponto de tornar possível a reação de fusão do He⁴ C¹² .



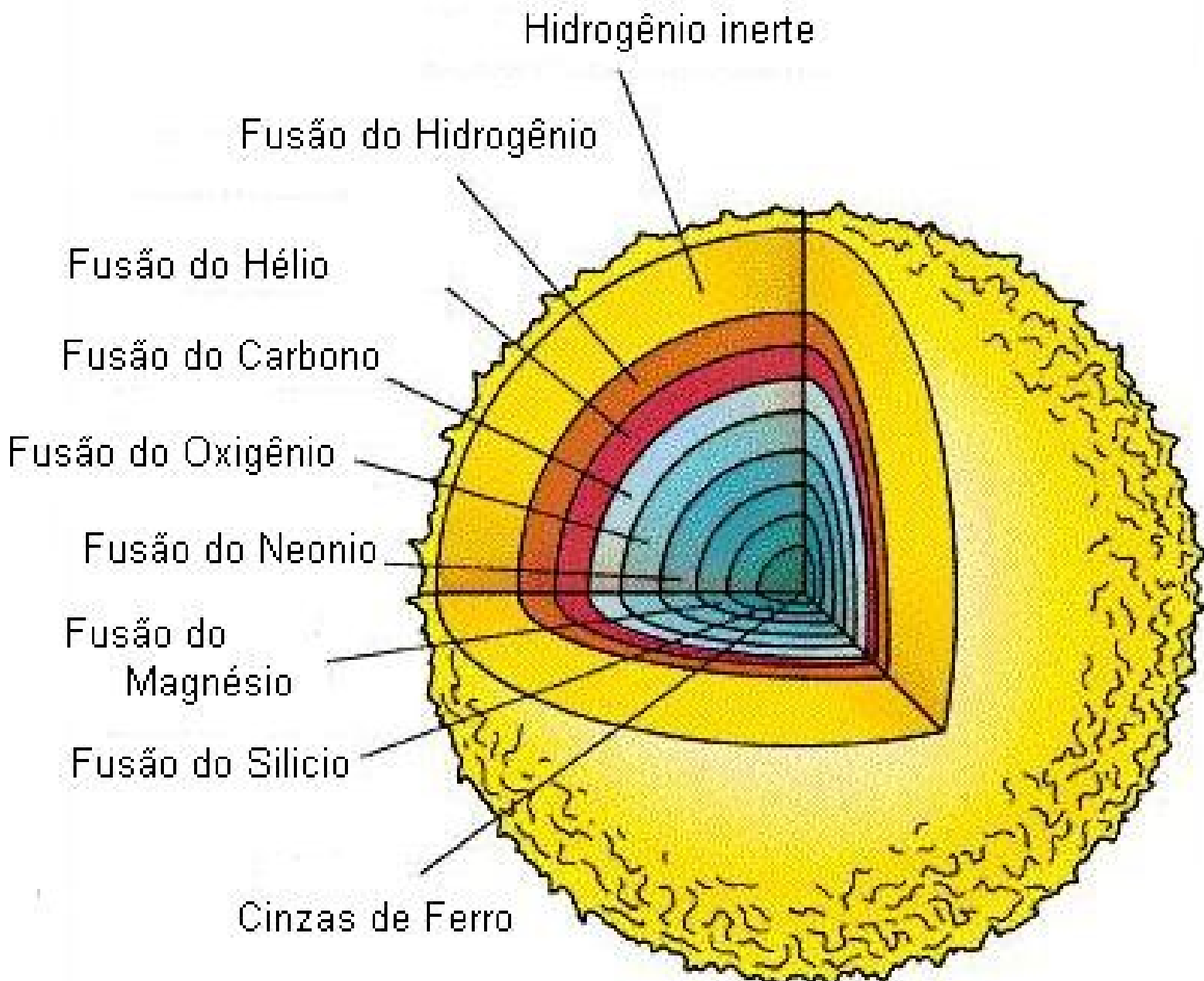
Agora, as estrelas de grande massa



**O Ferro é o ponto final desta sequencia:
a partir daqui
não é mais possível extrair energia das fusões nucleares**



Estágios Finais Massa > 2M_{sol} (pré-Supernova)



As Fases finais da vida de uma Super-Gigante (apenas alguns segundos ...)

Não é possível obter energia através da fusão do Ferro (a reação é endotérmica!)

A estrela já não tem mais nenhum combustível nuclear a sua disposição.

Só lhe resta sua energia gravitacional

→ *O núcleo da estrela começa a se contrair, aumentando a temperatura até o ponto em que o Ferro é obrigado a fudir-se em elementos mais pesados: mais energia é consumida, apressando a contração.*

→ *Os neutrinos produzidos nestas reações escapam livremente da estrela: a estrela perde energia mais rapidamente do que ganha através da contração.*

→ *A densidade aumenta tanto que os neutrinos já não podem escapar: a temperatura aumenta rapidamente e os núcleos pesados começam a se fragmentar de volta em núcleos de Hélio, consumindo mais energia ainda.*

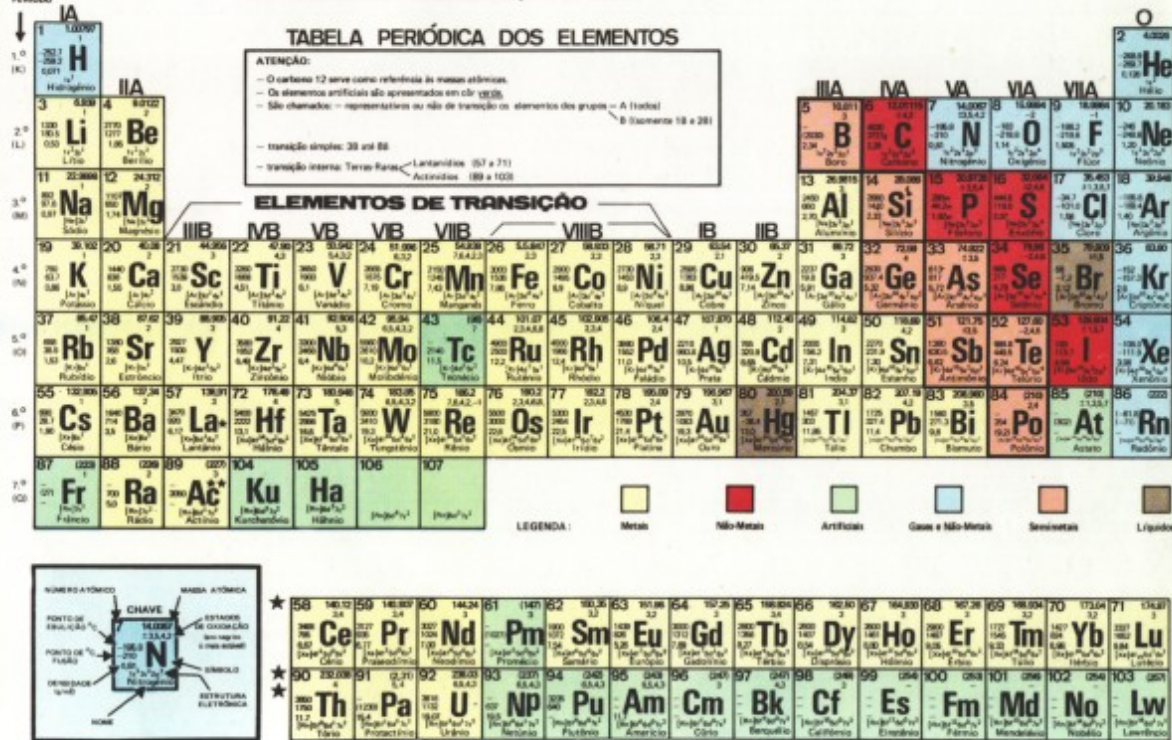
→ *A pressão dos neutrinos torna-se tão grande que eles acabam explodindo varrendo, todo o manto estelar: é a explosão da Supernova.*

→ *O núcleo continua em colapso livre. A matéria fica tão densa que os núcleos são todos destruídos e protons e electrons transmutam-se em neutrons → **forma-se uma estrela de neutrons, ultradensa (100 trilhões de gramas/cm³***

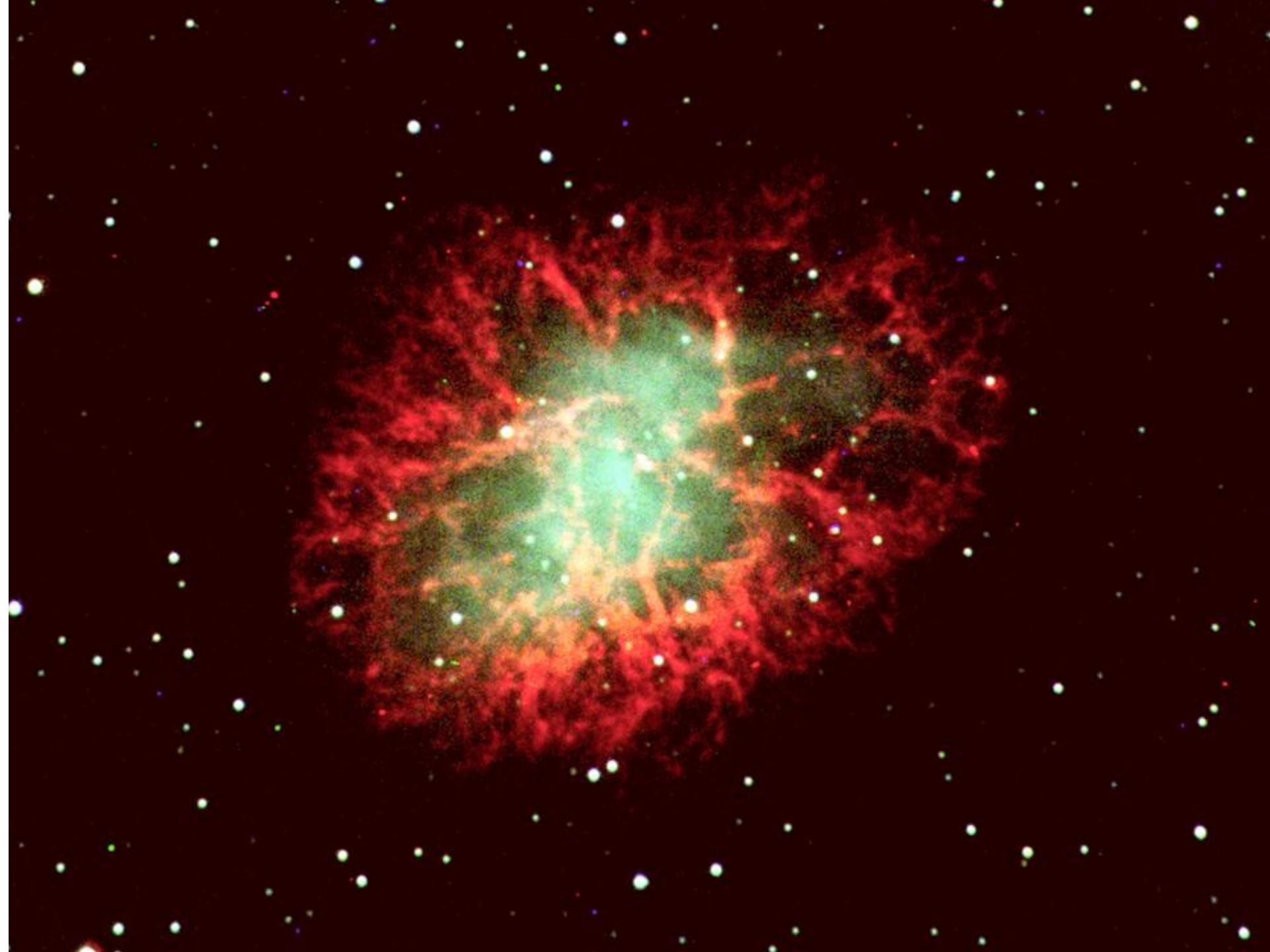
O poder do método científico (1)

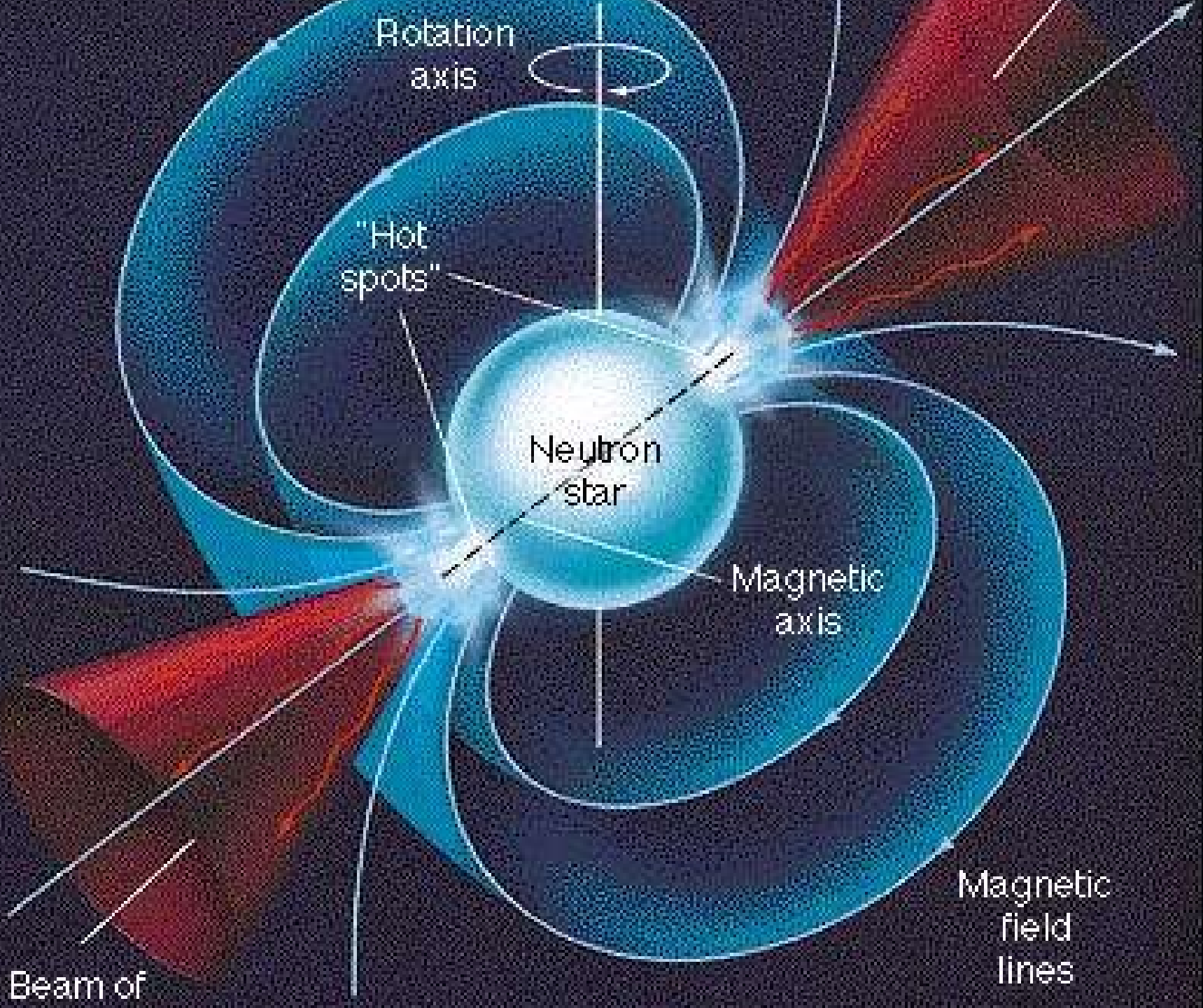
CLASSIFICAÇÃO PERIÓDICA DOS ELEMENTOS.

Com massas atômicas referidas ao isótopo 12 do Carbono



► o Nobel de Física de 1983 foi conferido à William A. Fowler “por seus estudos teóricos e observacionais sobre a formação dos elementos químicos no Universo” (o artigo original é de 1957) e à Subrahmanyan Chandrasekhar “por seus estudos de evolução estelar”





Main - sequence
companion

Roche lobe of
white dwarf

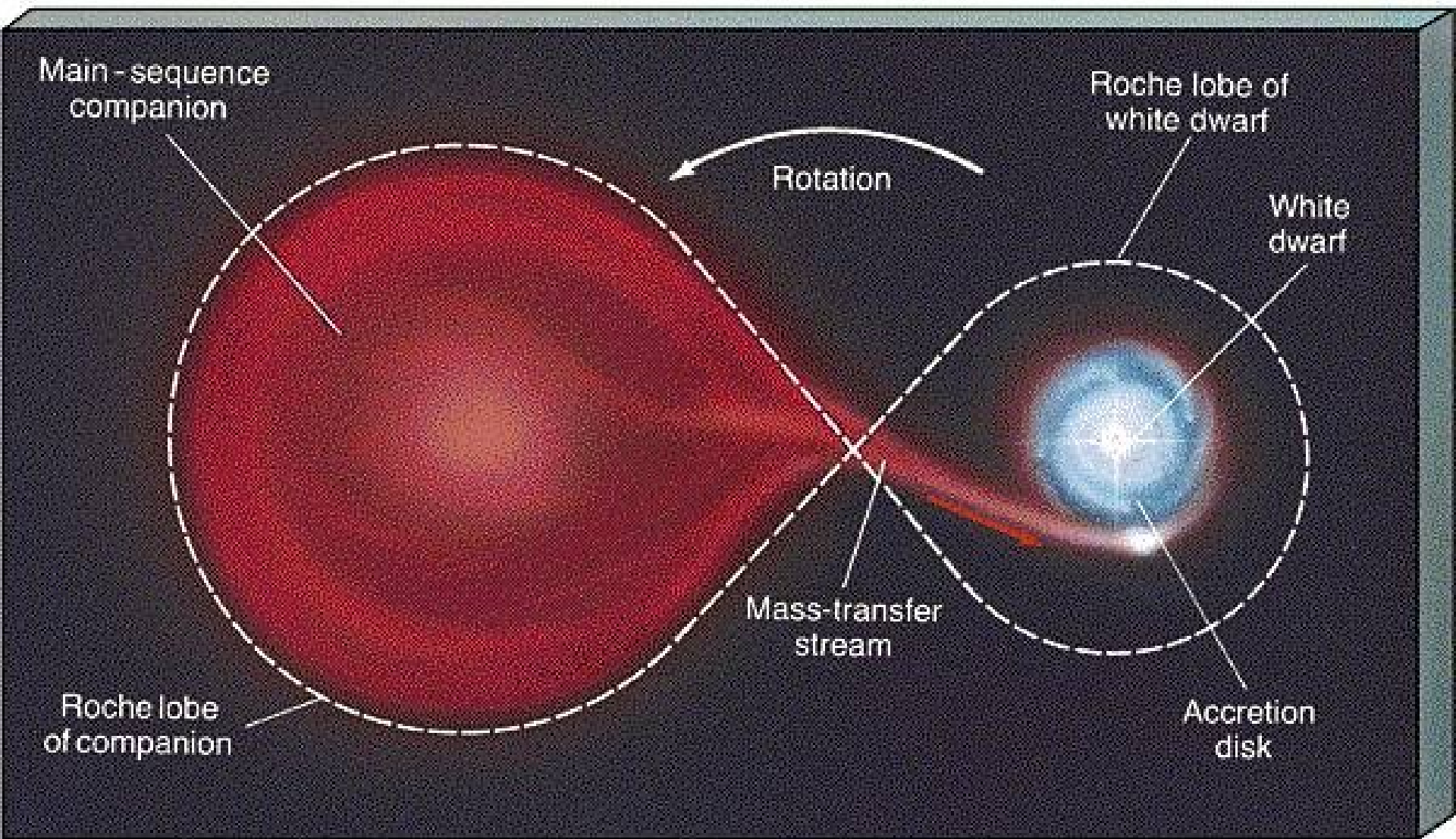
Rotation

White
dwarf

Mass-transfer
stream

Roche lobe
of companion

Accretion
disk



(a) Type Ia Supernova

