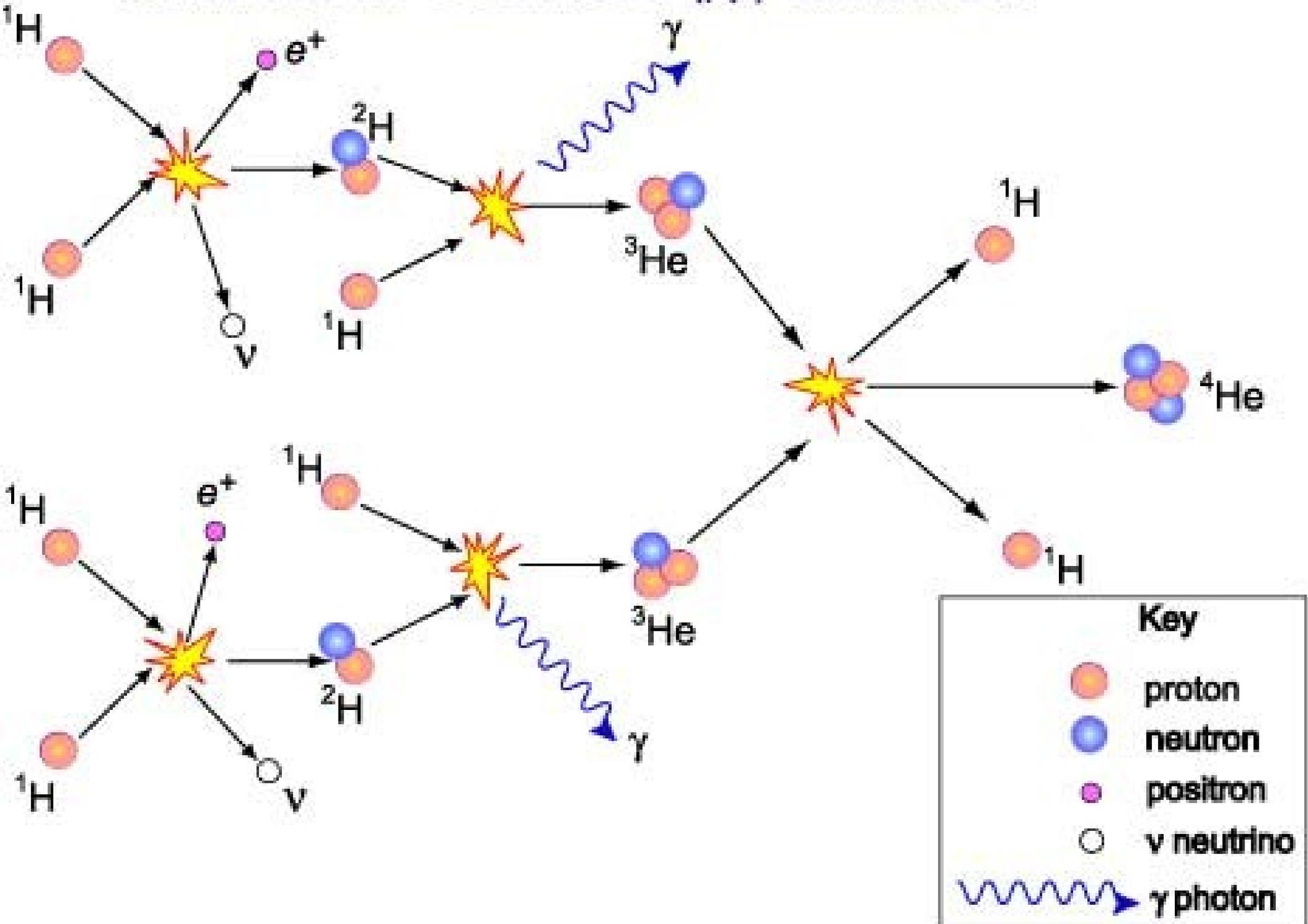
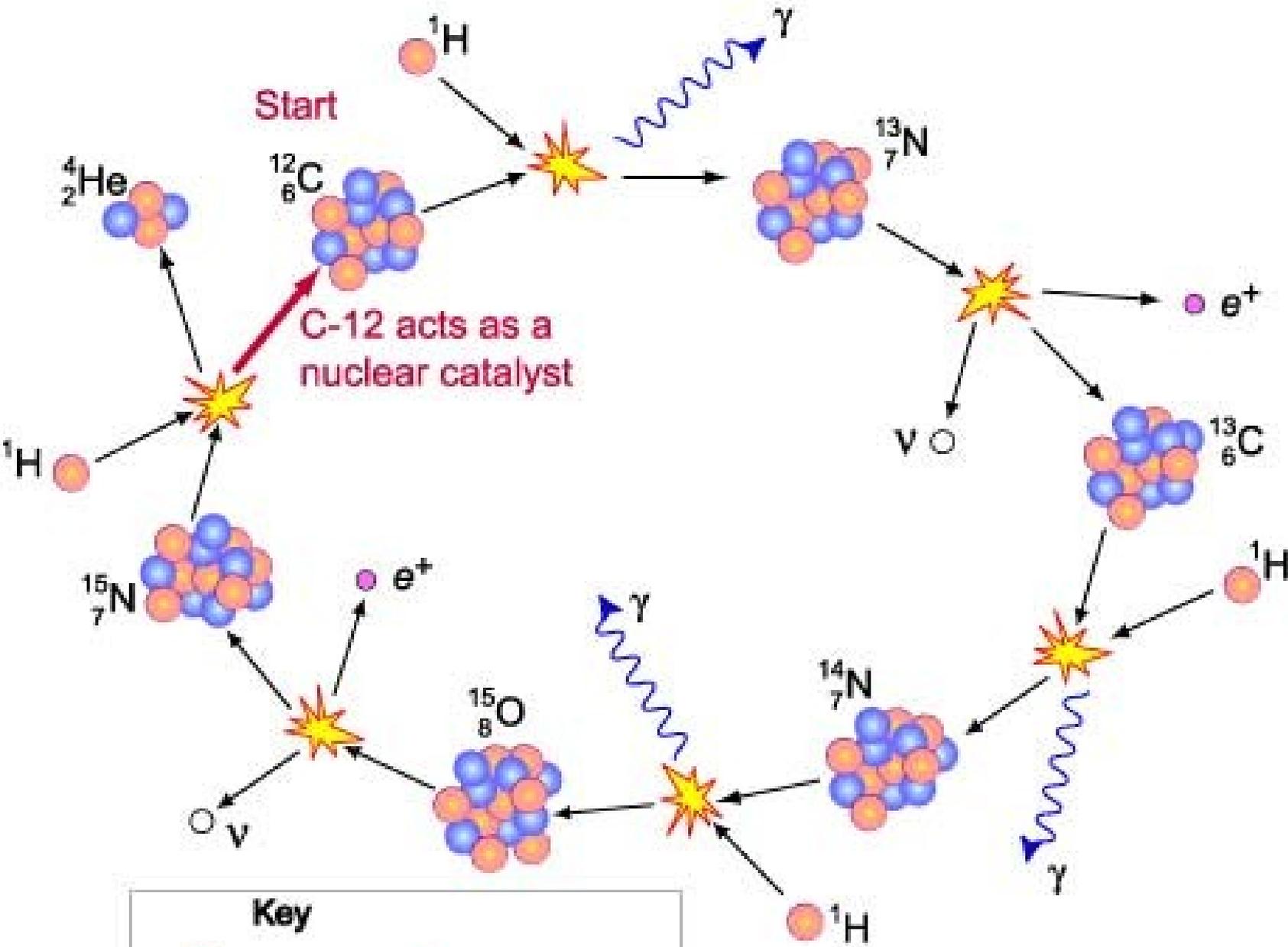


Introdução à Astronomia
Prof. Antônio Kanaan
Aula 8 – 21 maio 2007

Main Form of Proton-Proton (pp) Chain in Sun



The CNO Cycle

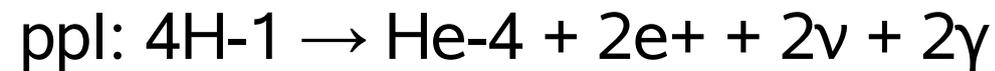


Key

- proton
- neutron
- positron
- ν neutrino
- γ photon

vejam:

http://outreach.atnf.csiro.au/education/senior/astrophysics/stellar_evolution_mainsequence.html



$E = \Delta m c^2$ so substituting in values gives

$$E = 0.0286(1.66 \times 10^{-27})(3 \times 10^8)^2$$

$$\therefore E = 4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$E_{\text{total}} = (\text{mass defect per He nucleus produced}) \times c^2 \times (\text{mass of H in core})$

$$\therefore E_{\text{total}} = 0.0071(9 \times 10^{16})(0.1 \times 2.0 \times 10^{30})$$

$$= 1.28 \times 10^{44} \text{ J}$$

$$t_{\text{vida}} = E / L = ???$$

$$L = 3.90 \times 10^{26} \text{ J. s}^{-1}$$

Figuras desta aula:

<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit2>

Estrela de baixa massa = $M < 4 M_{\text{sun}}$

Estágios da evolução de uma estrela de baixa massa:

Sequência principal

Gigante vermelha

Horizontal Branch (ramo horizontal)

Asymptotic Giant Branch

Nebulosa Planetária

Anã Branca - White Dwarf

Tempo na sequência principal:

* ~10 Gyr para 1 Mo (Sol)

* ~10 Tyr para 0.1 Mo (anã vermelha)

Exaustão do núcleo de hidrogênio

dentro:

He colapsa e esquenta via $G \rightarrow T$.

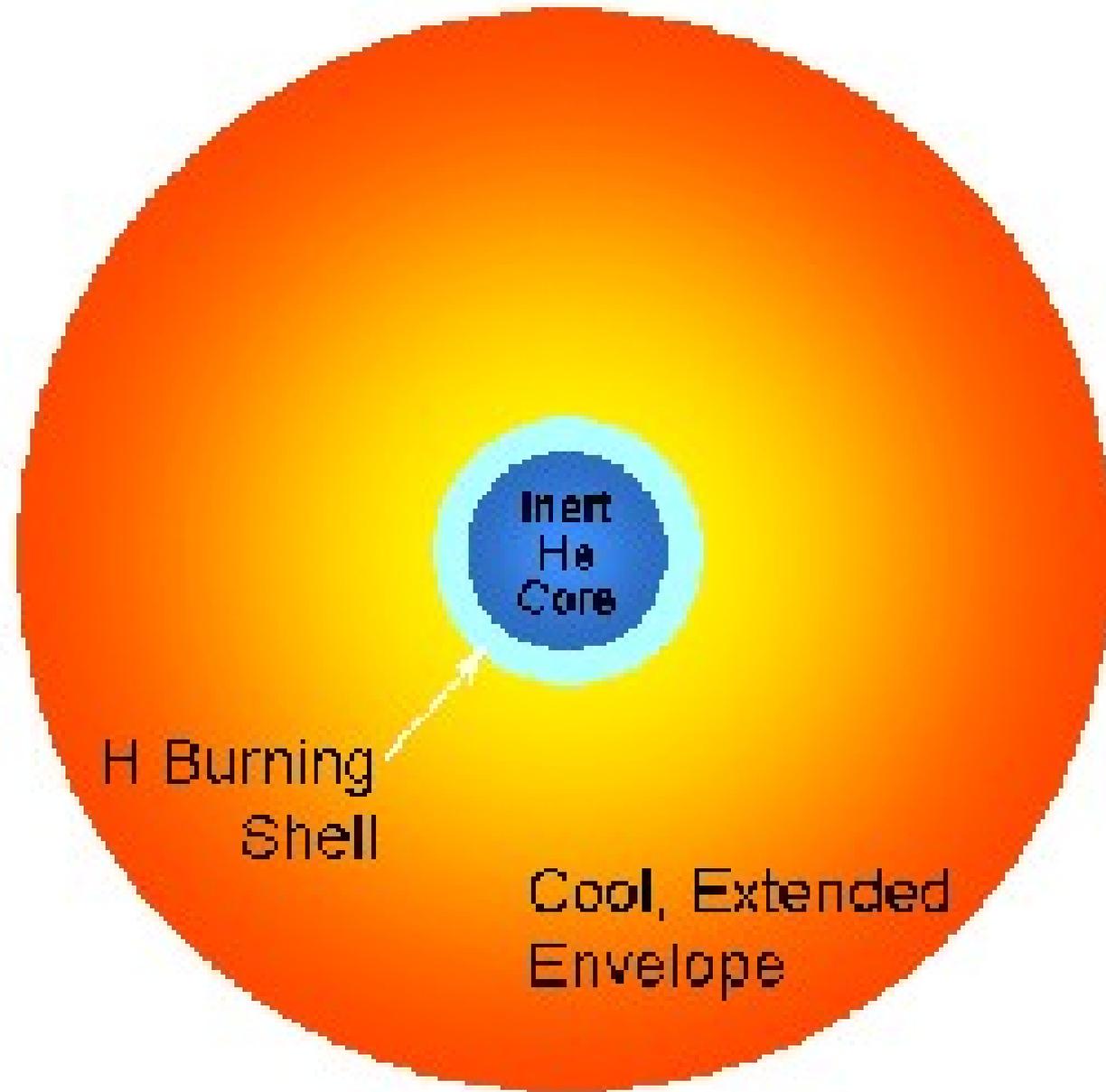
H “queima” em uma casca esférica

O núcleo de hélio em colapso gravitacional esquenta a casca.

Mais fusão = Mais calor \rightarrow Pressão > Gravidade

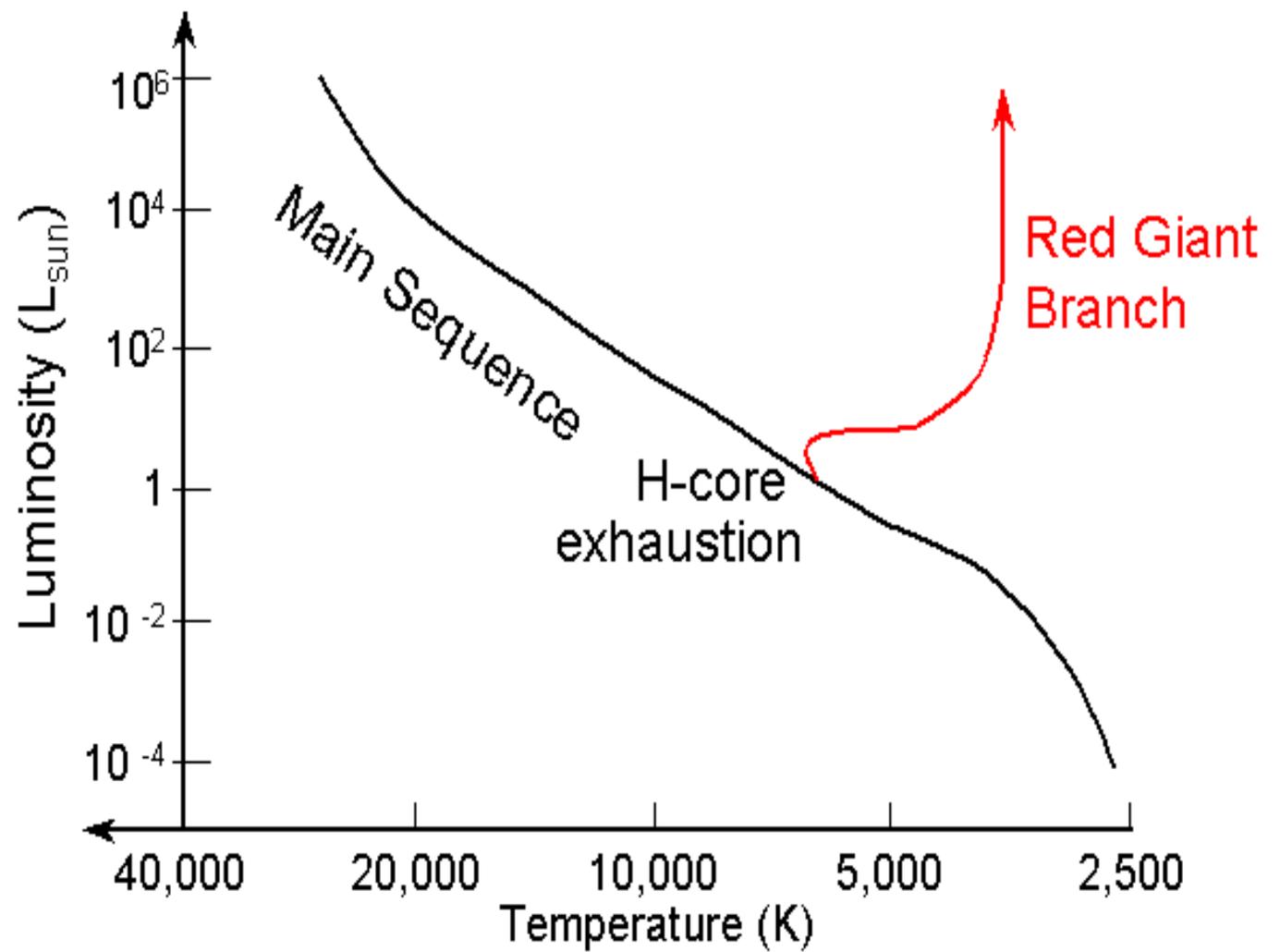
Fora:

- * Envelope expande e esfria
- * Estrela + brilhante e + fria



Fora:

- * Envelope expande e esfria
- * Estrela + brilhante e + fria



Ascensão ao ramo das gigantes:

10^9 anos para “subir” ao ramo das gigantes

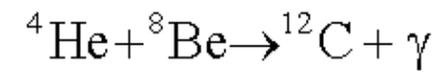
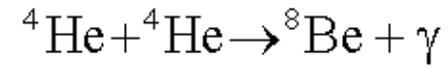
- * Núcleo de hélio contrai e aquece, sem fusão
- * H queima numa casca ao redor do núcleo
- * Grande envelope rarefeito (órbita de Vênus)

No topo do ramo:

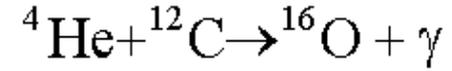
- * $T_{\text{núcleo}} = 10^8 \text{ K}$
- * Liga a queima de He

Flash do hélio:

10^8 K, liga a fusão do hélio – cadeia triplo alfa



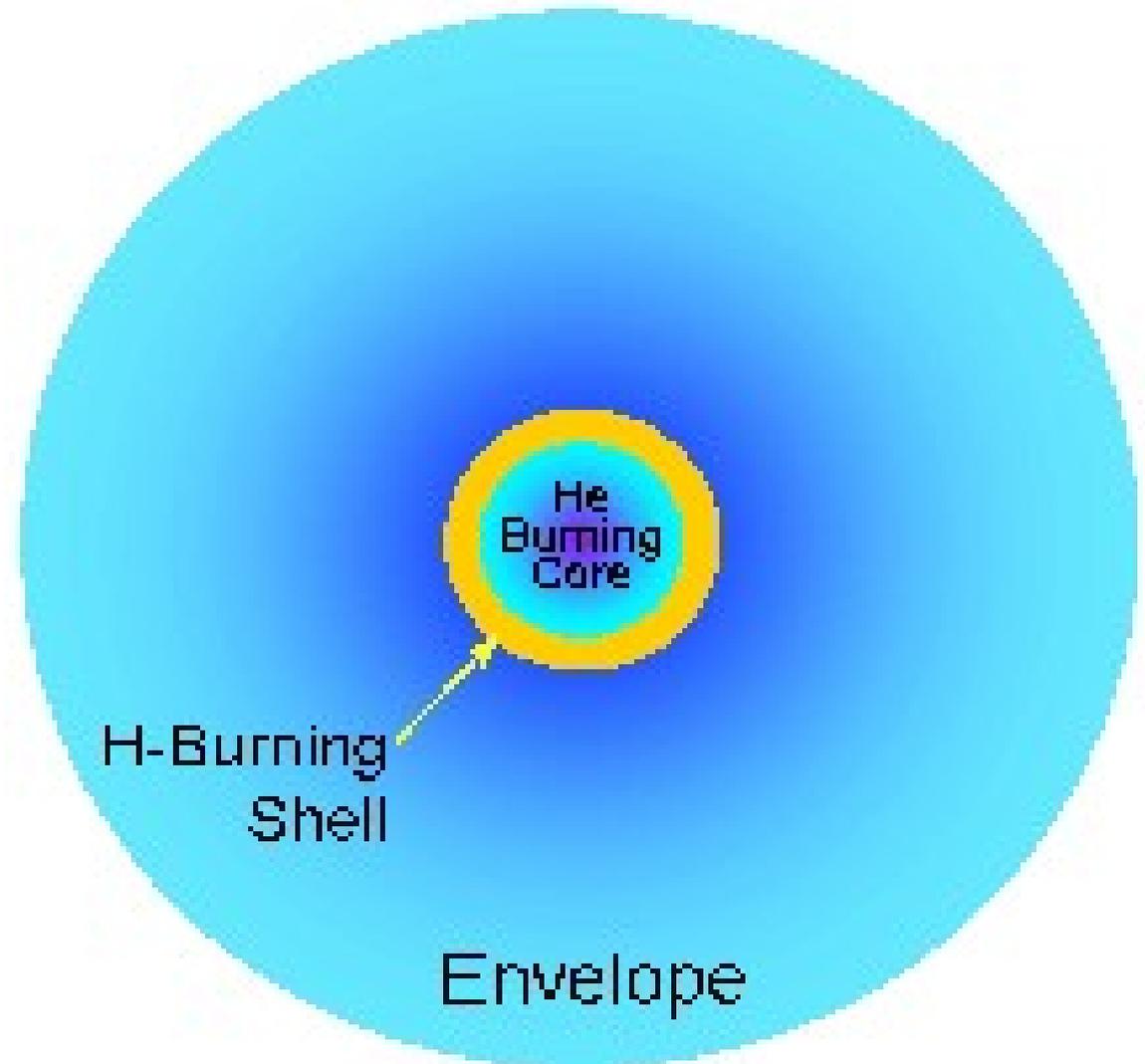
Uma reação secundária gera carbono & hélio:



Quando isso ocorre a estrela sai do ramo das gigantes.

Dentro:

- * Geração de energia a partir da queima de hélio
- * Fonte adicional de energia da queima do hidrogênio na casca.

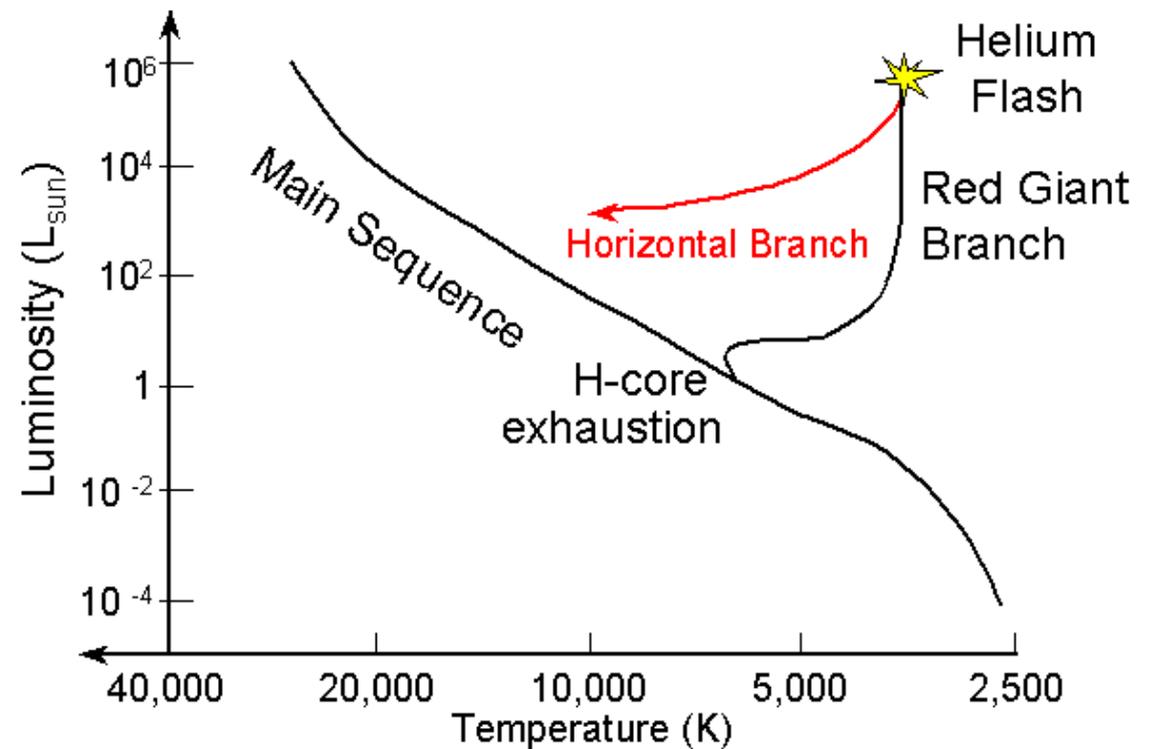


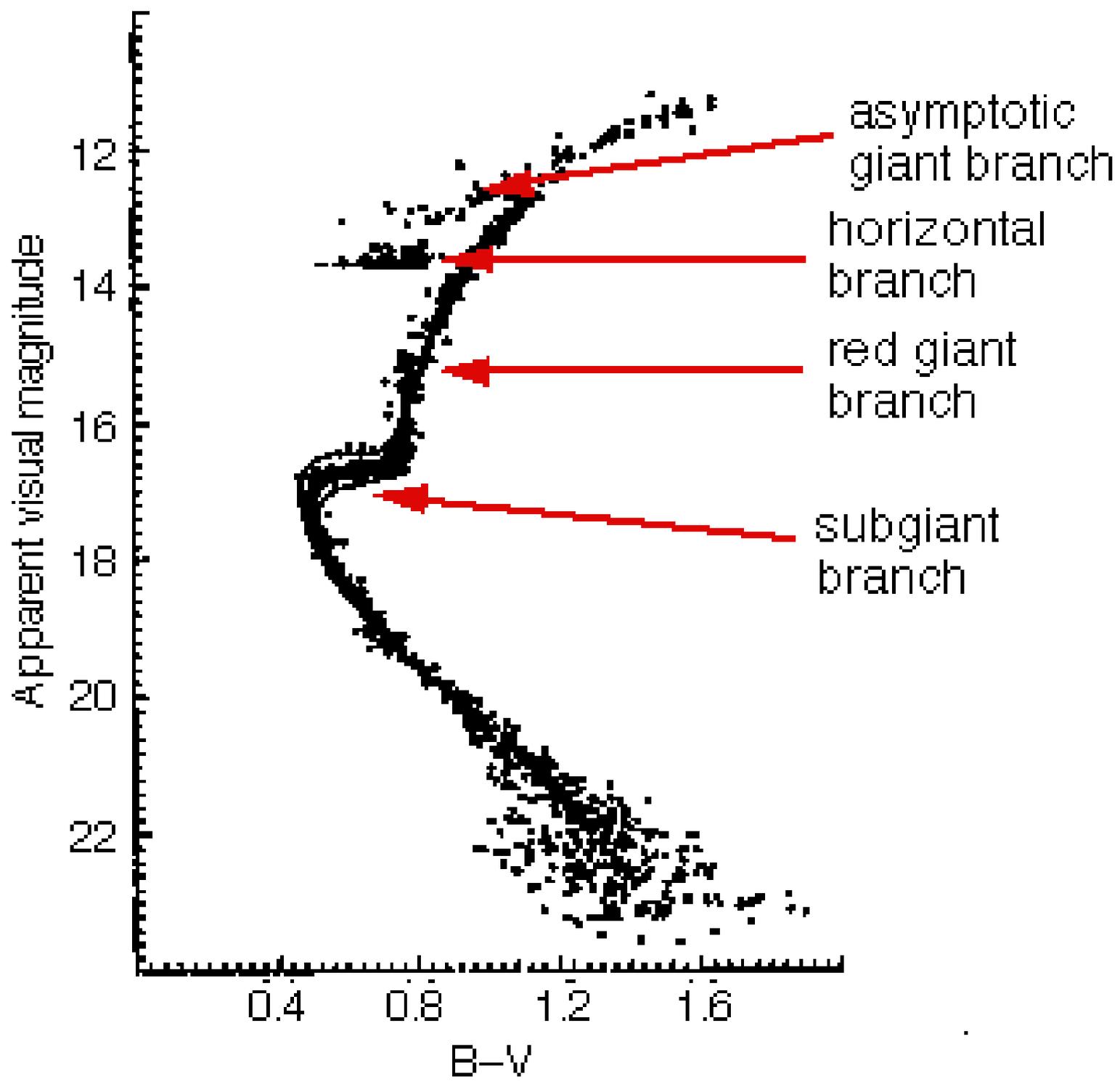
Fora:

- * Mais quente e portanto mais azul
- * Estrela encolhe e portanto diminui de brilho.

A nova fonte de energia ajuda a estrela a recuperar o equilíbrio hidrostático, ela move-se para o **ramo horizontal**.

Duração: 10^8 anos





Ramo assintótico das gigantes:

Depois de 10^8 anos acaba o hélio.

Dentro:

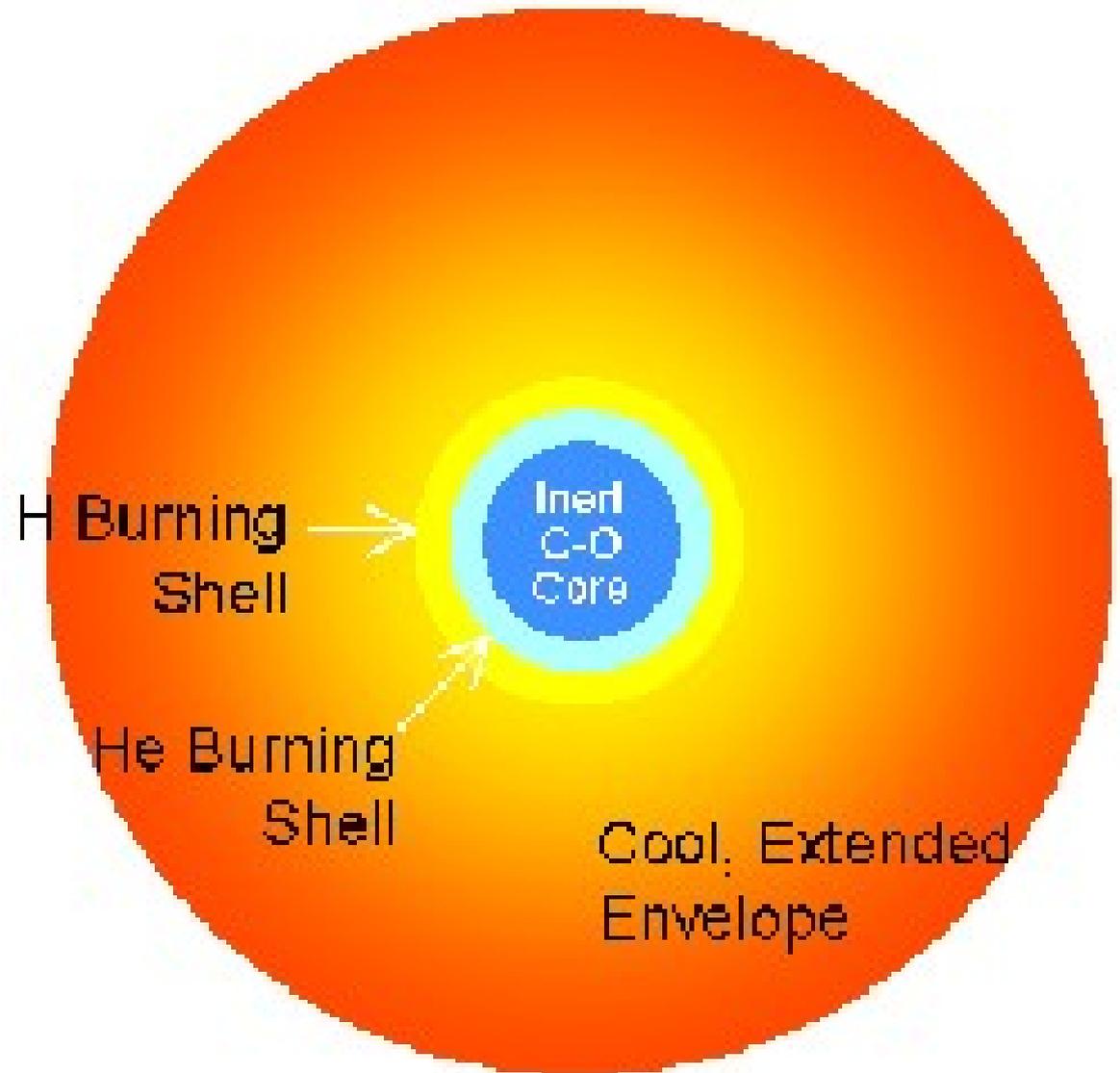
- * C-O colapsa e esquenta
- * He queima em casca ao redor do núcleo
- * H queima em casca ao redor da casca de He

Fora:

* Estrela cresce em raio e esfria. Fica mais brilhante e mais vermelha.

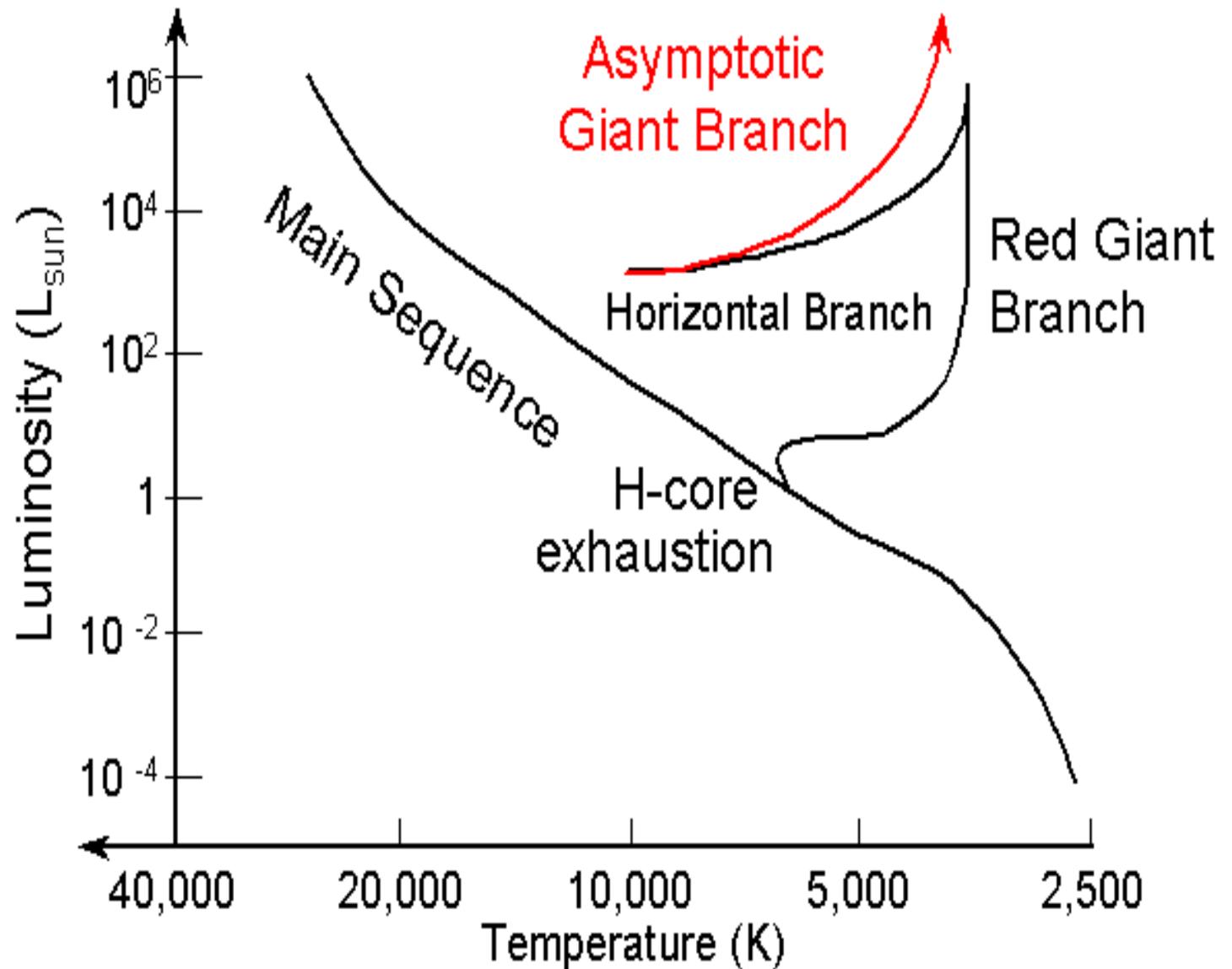
Dentro:

- * C-O colapsa e esquenta
- * He queima em casca ao redor do núcleo
- * H queima em casca ao redor da casca de He



Fora:

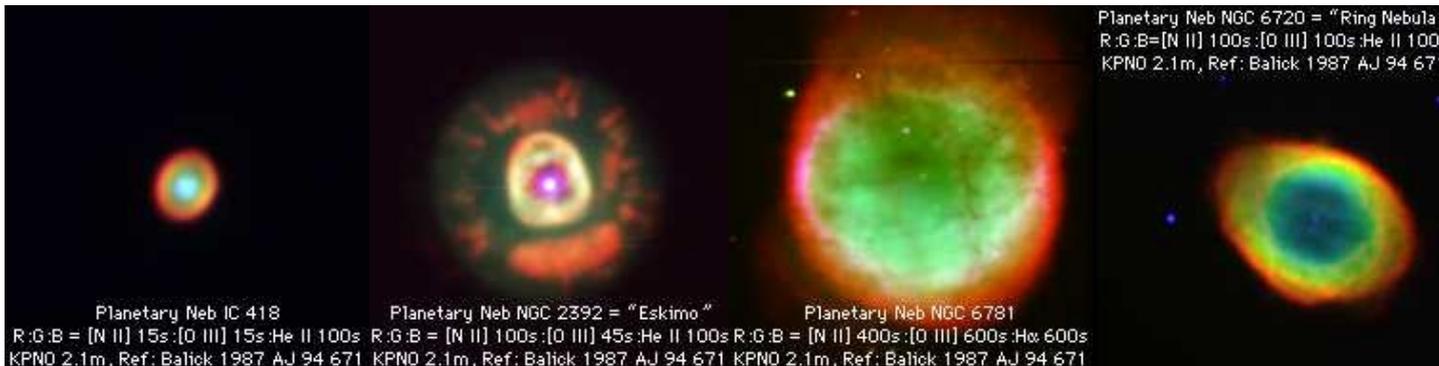
* Estrela cresce em raio e esfria. Fica mais brilhante e mais vermelha.



Nebulosa Planetária

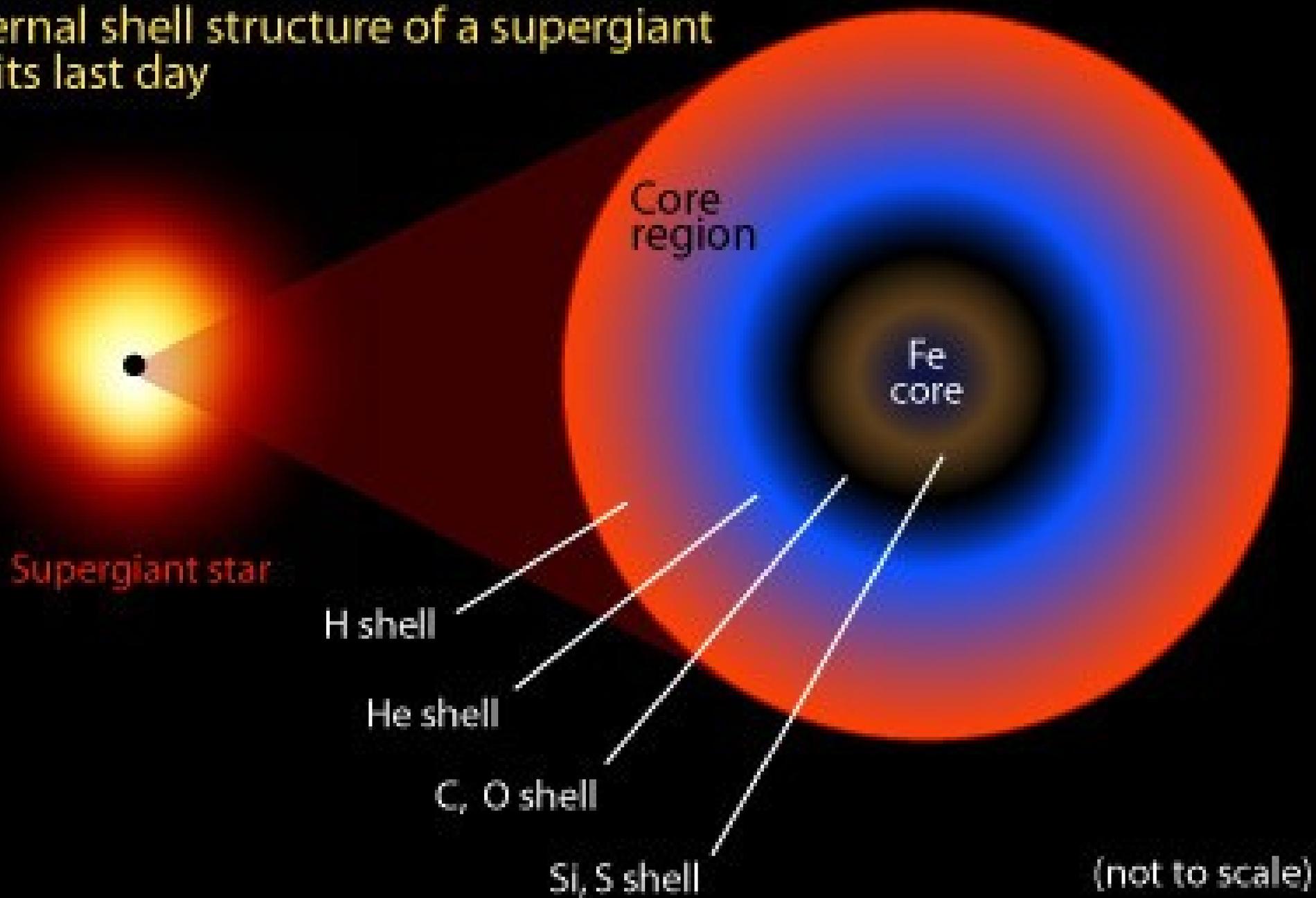
Nuvem ao redor da estrela e forma uma nebulosa ao redor do núcleo de C-O que se contrai.

- * Ionizada e esquentada pela estrela central
- * Desaparece em 10^4 anos



Fim da história: ANÃS BRANCAS

Internal shell structure of a supergiant on its last day



High Mass Stars: $M > 8 M_{\text{sun}}$

At the onset of Carbon Burning:

- * Evolution is so fast that the envelope can no longer respond.
- * Should see little outward sign of the inward turmoil to come.

Exception: Strong stellar winds can erode the envelope, changing the outward appearance of the star.

[For example, the massive star Eta Carina has immense stellar winds. Hubble reveals a furiously expanding pair of dust and gas clouds billowing off this star. See this page at STScI for more details & pictures.]

Neon Burning

O-Ne-Mg core contracts & heats up until:

- * $T_{\text{core}} \sim 1.5 \text{ Billion K}$
- * density $\sim 10^7 \text{ g/cc}$

Estrelas de alta massa: $M > 8 M_{\odot}$

No começo da queima do carbono:

- * Evolução é tão rápida que o envelope não responde mais
- * Deve haver poucos sinais externos do que está por vir.

Ventos estelares podem desmanchar o envelope, mudando a aparência externa da estrela. (exemplo: Eta Carina)

Queima do neônio:

O-Ne-Mg núcleo contrai até que:

- * Tnúcleo $\sim 1.5 \times 10^9$ K
- * densidade $\sim 10^7$ g/cc

Na ignição do neônio:

- * síntese de O, Mg, e outros
- * grandes emissões de neutrinos $> L^*$!
- * produção de um núcleo de O + Mg

Dura poucos anos até que o neônio acabe.

Queima do oxigênio

Com o fim do Ne, núcleo contrai, esquenta até que:
Ne runs out, core contracts & heats up until:

- * Tnúcleo $\sim 2.1 \times 10^9$ K
- * densidade $\sim 10^7$ g/cc

Ligada a fusão do oxigênio:

- * reação produz: Si, S, P, e outros
- * Enorme emissão de neutrinos: $> 100,000 L^*$!
- * Produz um núcleo de silício

Dura cerca de 1 ano, é isto mesmo um ano!!!

Queima do silício

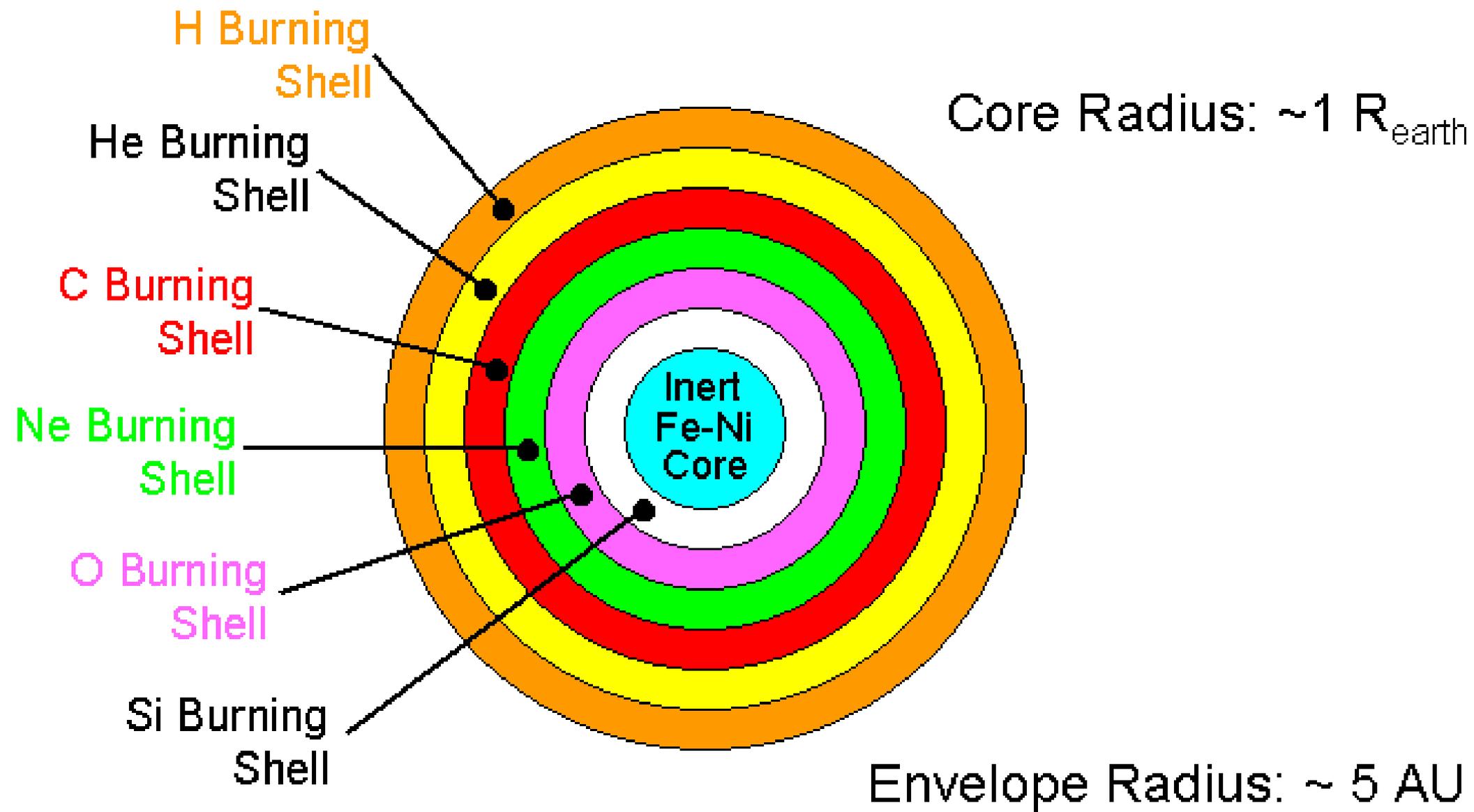
Oxigênio acaba, núcleo de Si contrai, aquece:

- * Tnúcleo $\sim 3.5 \times 10^9$ K
- * densidade $\sim 10^8$ g/cc

Ligada a queima do silício:

- * Produz um núcleo de Ni/Fe.

Dura cerca de 1 dia, é isto mesmo um dia !!!



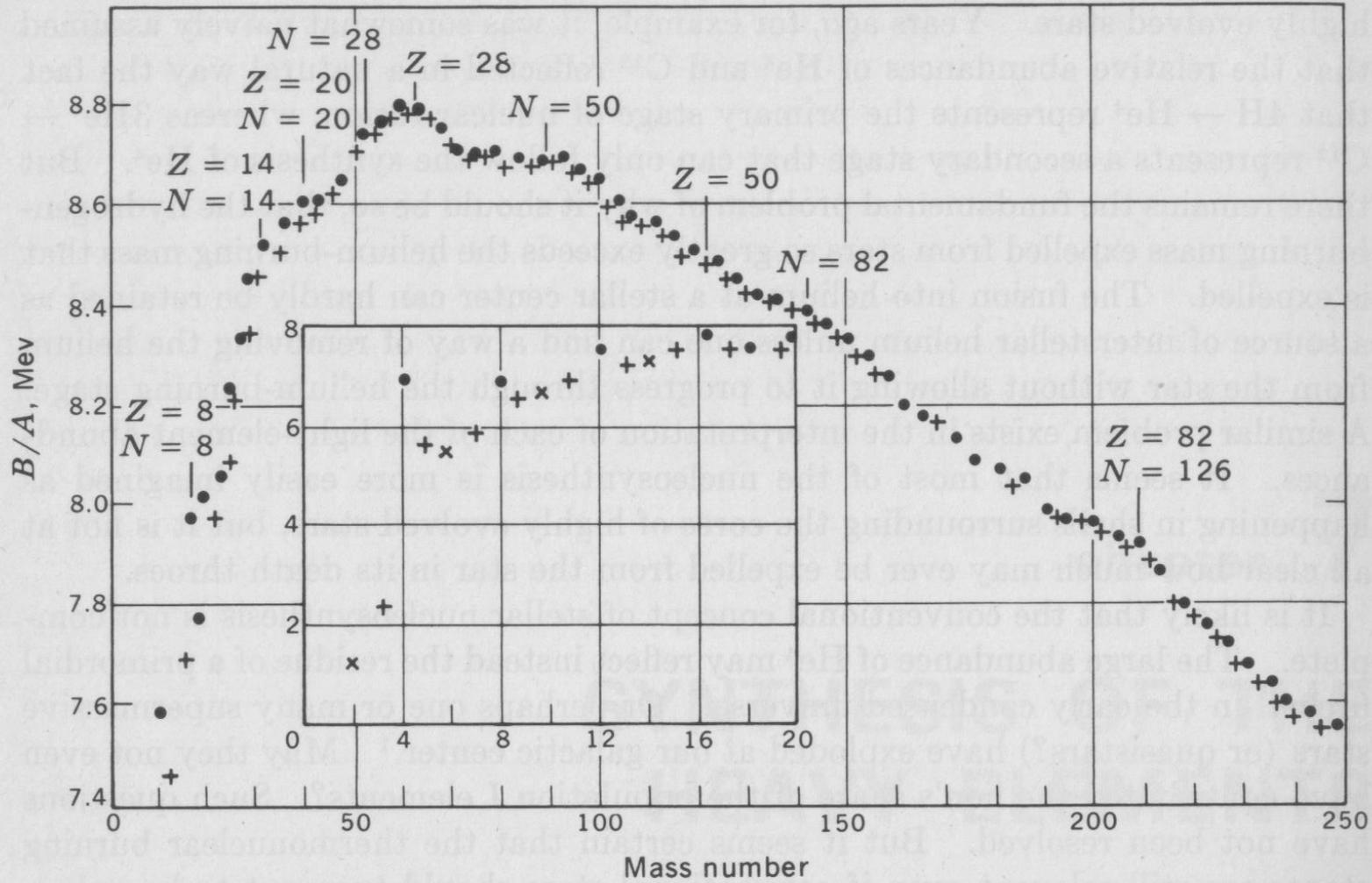


Fig. 7-1 The binding energy per nucleon of the most stable isobar of atomic weight A . The solid circles represent nuclei having an even number of protons and an even number of neutrons, whereas the crosses represent odd- A nuclei. (*M. A. Preston, "Physics of the Nucleus," Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Mass., 1962.*)

ents. To illustrate the peculiarities of nuclear binding, a graph of the nuclear

