

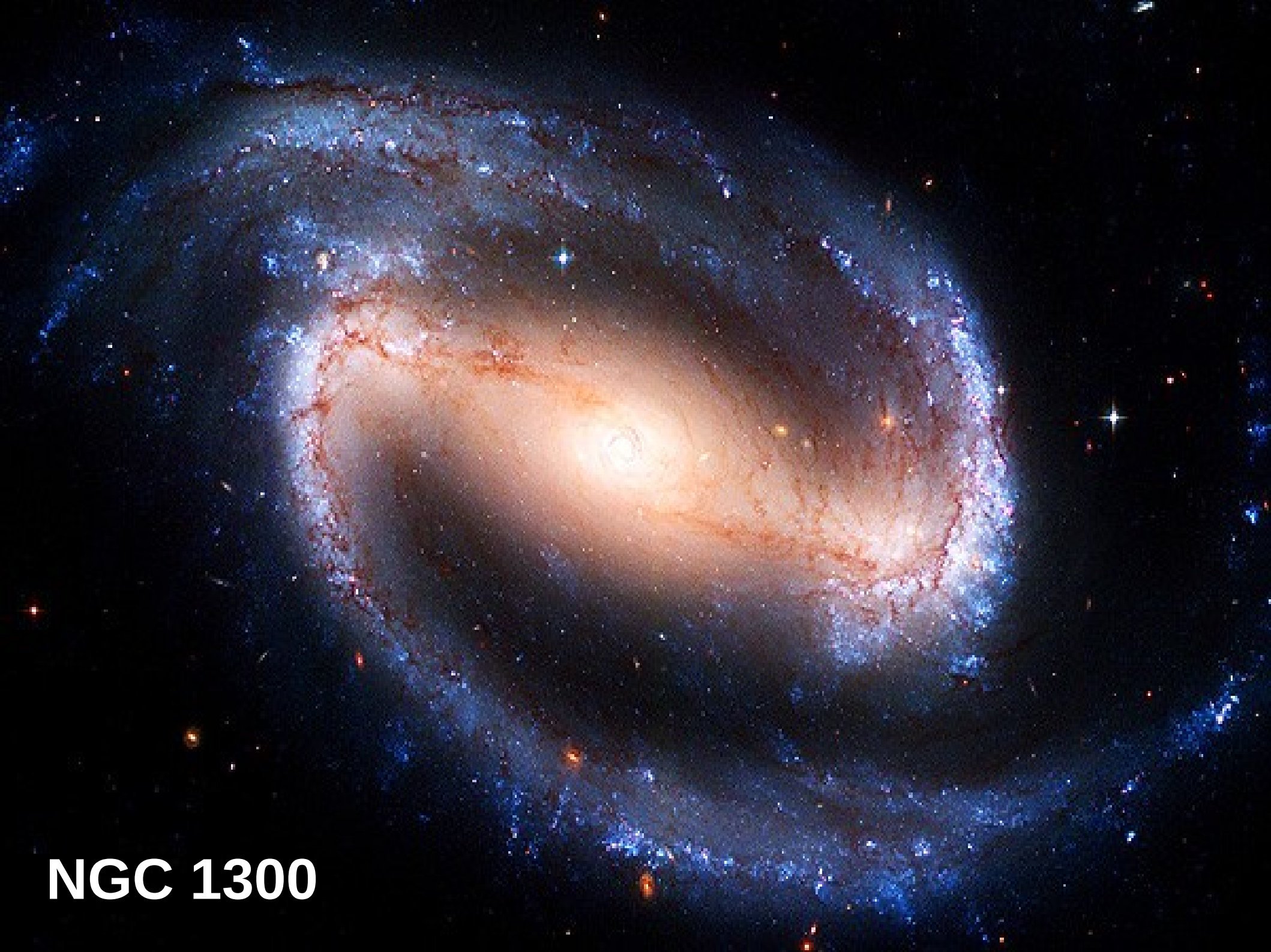
Nascimento e Morte das Estrelas

Explorando o Universo - FIS2009
2015/1

Nascimento e Morte das Estrelas

...ou: Formação e Evolução Estelar

Explorando o Universo - FIS2009
2015/1

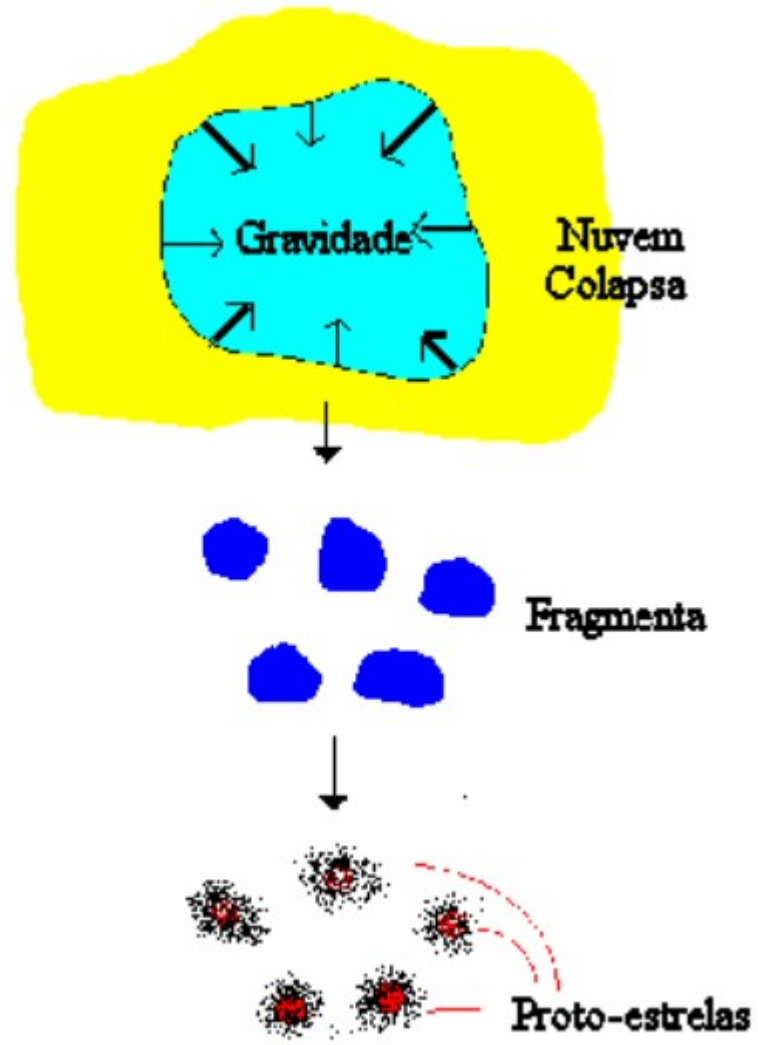


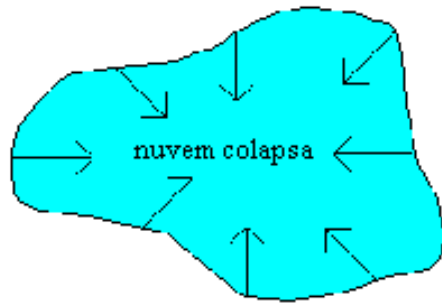
NGC 1300

Nuvens Moleculares Gigantes

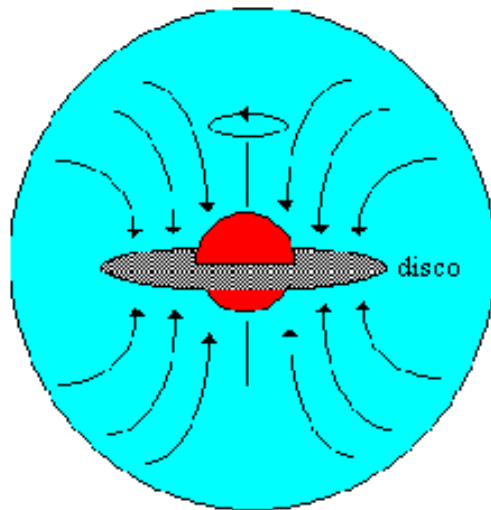


Colapso = Estrelas!

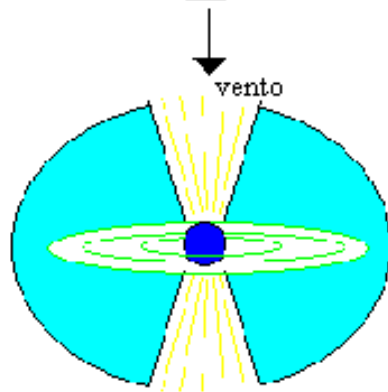




Uma porção densa de gás separa-se da nuvem molecular e colapsa. Por conservação de momentum angular transforma essa nuvem irregular em um disco em rotação.

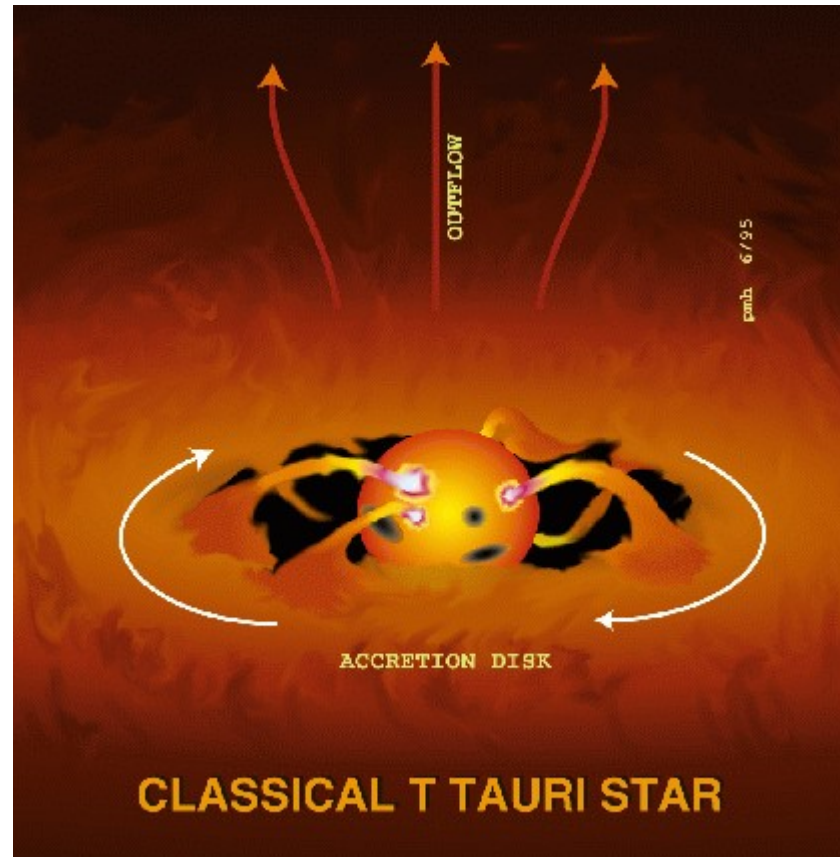


A densidade na região central é maior e forma a proto-estrela. Um disco planetário forma-se ao redor da estrela. Matéria é acretada e aumenta o tamanho da proto-estrela por um fator da ordem de 100.



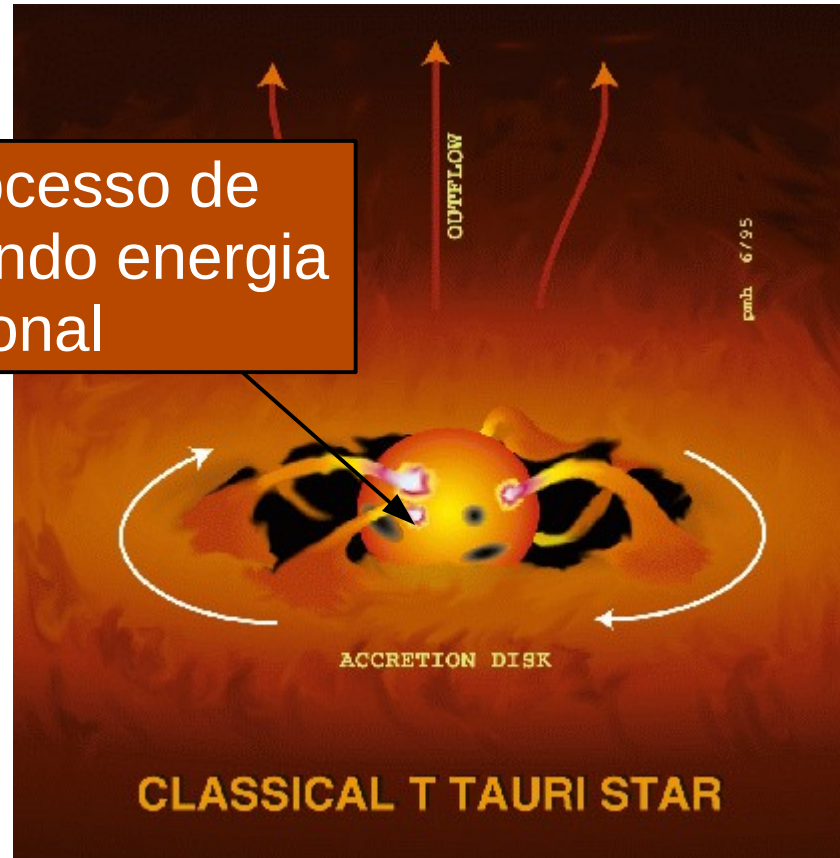
A acreção para quando a proto-estrela inicia a produção de energia, o que causa forte vento estelar.

Estrelas T Tauri



Estrelas T Tauri

Estrela em processo de
contração, liberando energia
gravitacional



Estrelas T Tauri

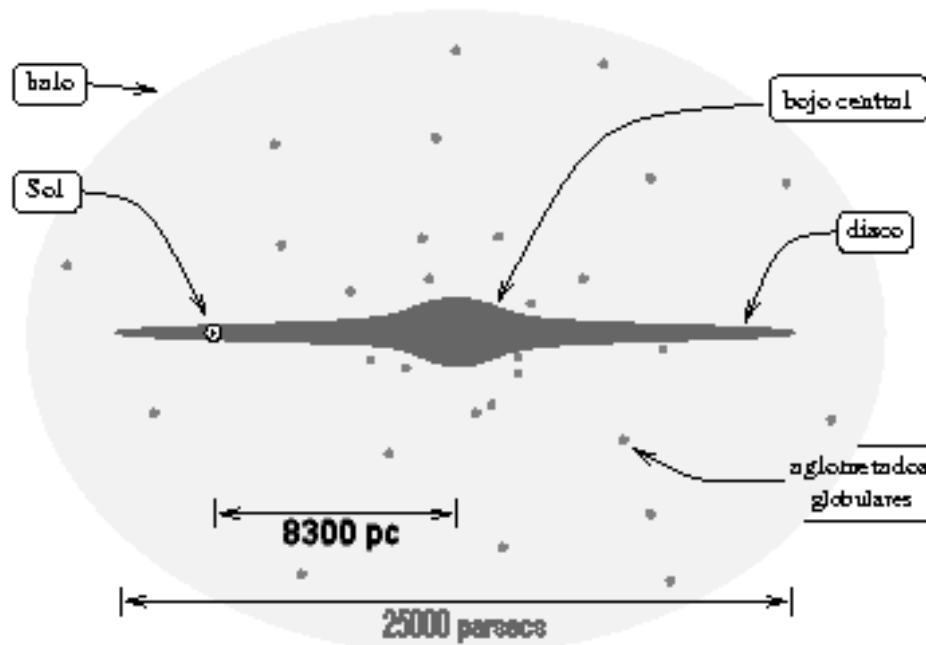


Populações Estelares

População I: estrelas azuis, jovens, abundantes em metais.

População II: estrelas vermelhas, velhas, menos metálicas.

População III: primeiras estrelas que se formaram, praticamente sem metais.

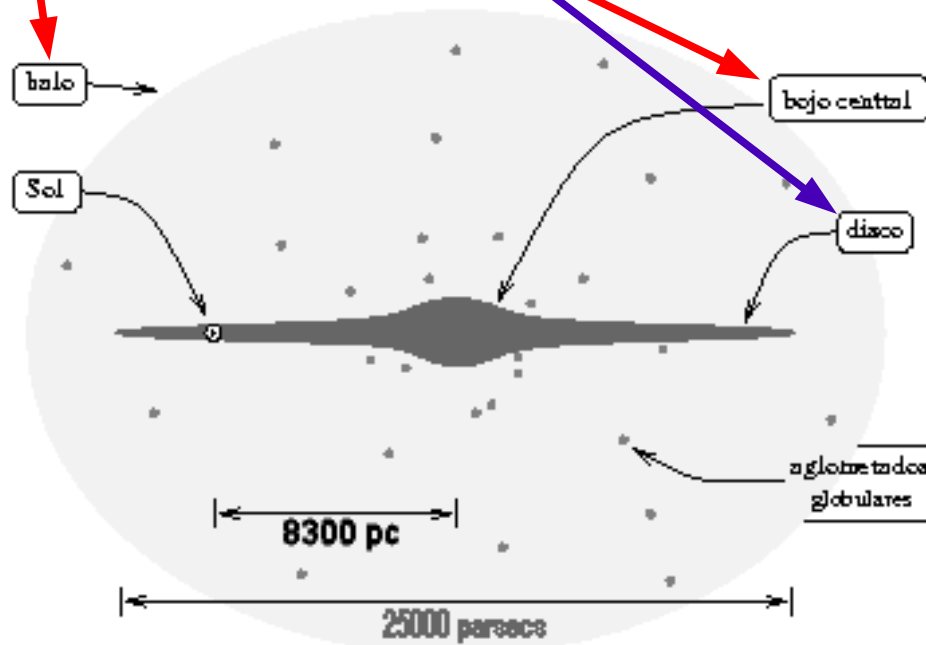


Populações Estelares

População I: estrelas azuis, jovens, abundantes em metais.

População II: estrelas vermelhas, velhas, menos metálicas.

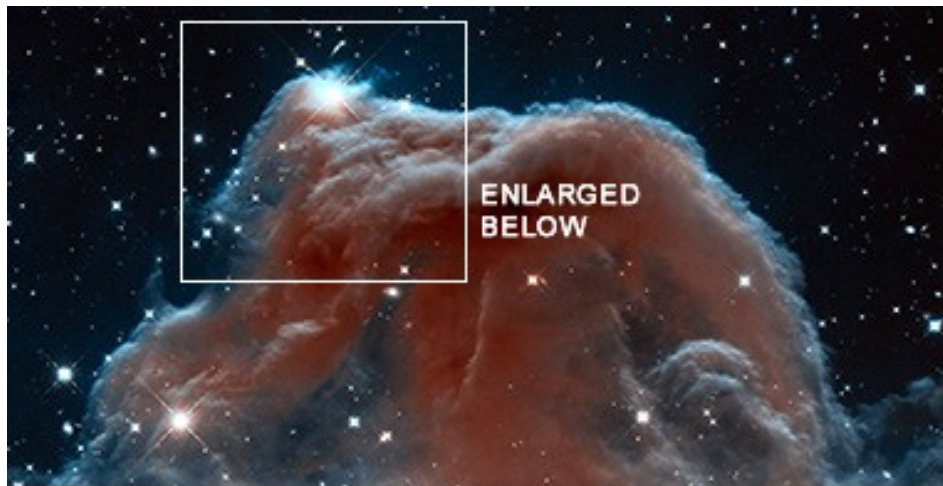
População III: primeiras estrelas que se formaram, praticamente sem metais.



Nebulosas de Absorção

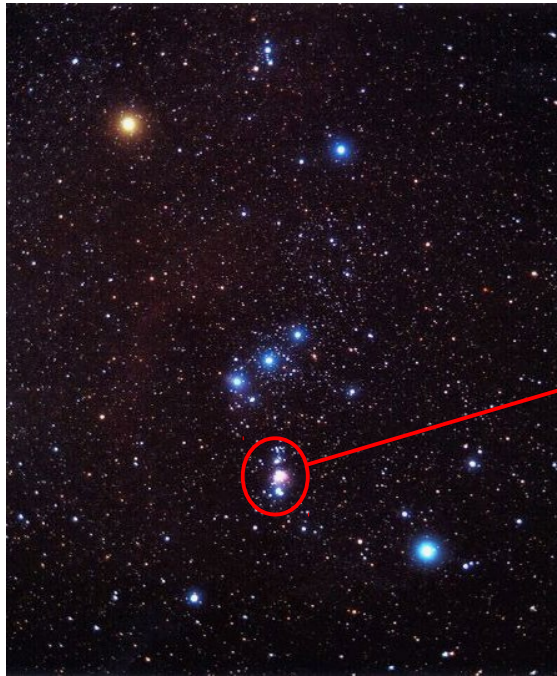


Nebulosas de Absorção



Tão densa que
obscurece a luz de
objetos de fundo!

Nebulosas de Emissão



Nebulosa de Órion
(M42, em Órion)

Nebulosas de Emissão



Contém gás ionizado e por isso emite luz!

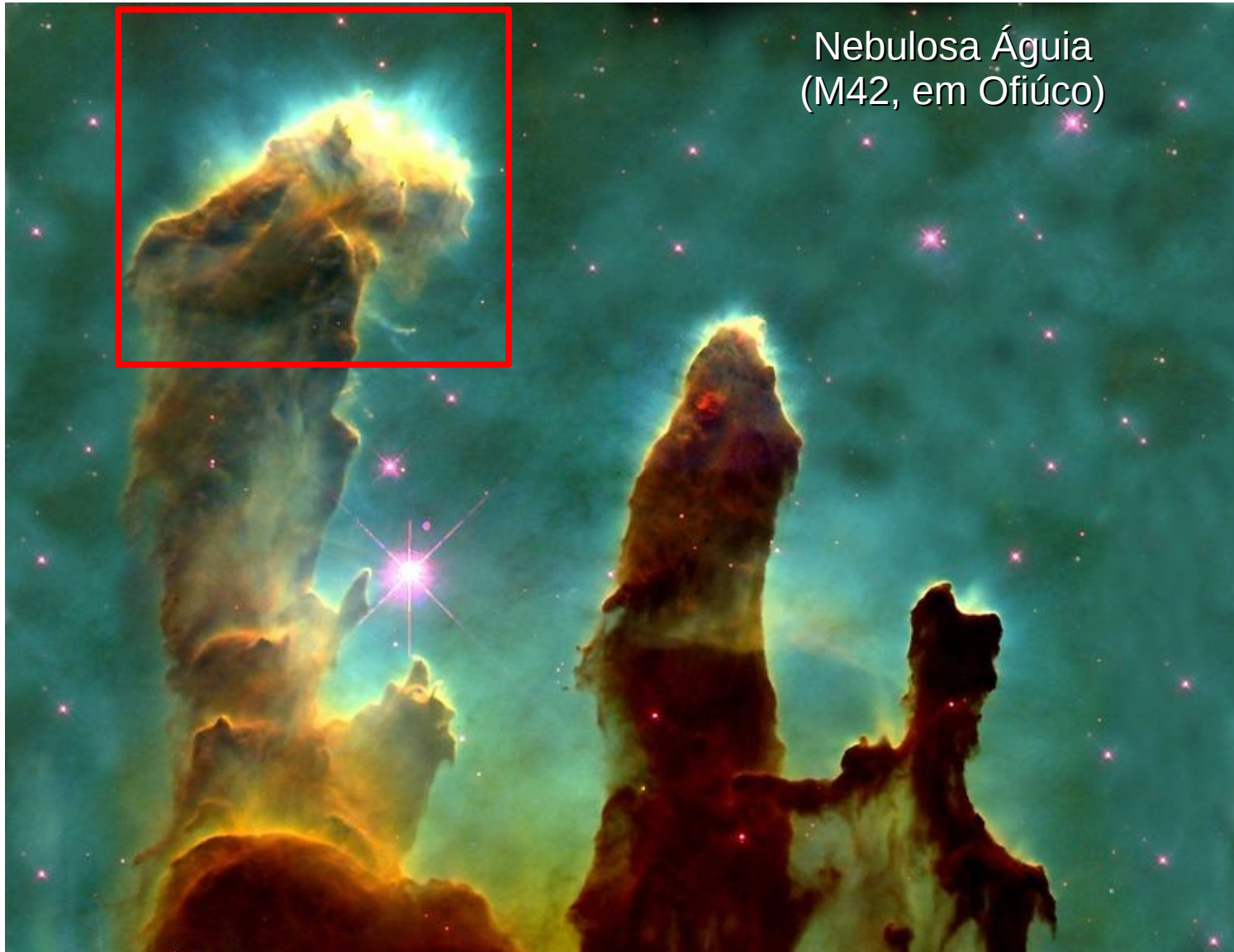
Nebulosa de Órion
(M42, em Órion)

Regiões de Formação Estelar



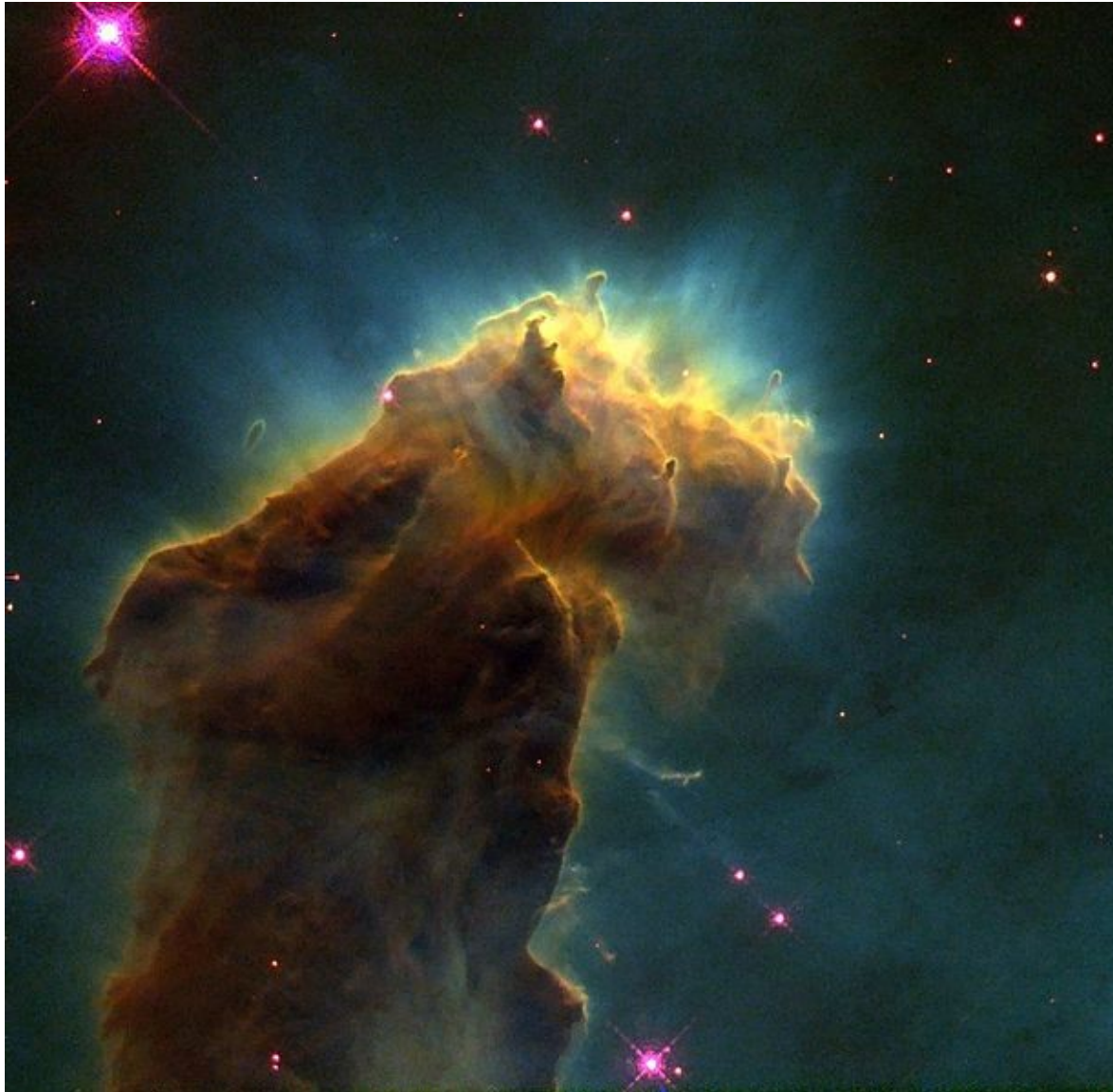
Nebulosa Água
(M42, em Ofiúco)

Regiões de Formação Estelar

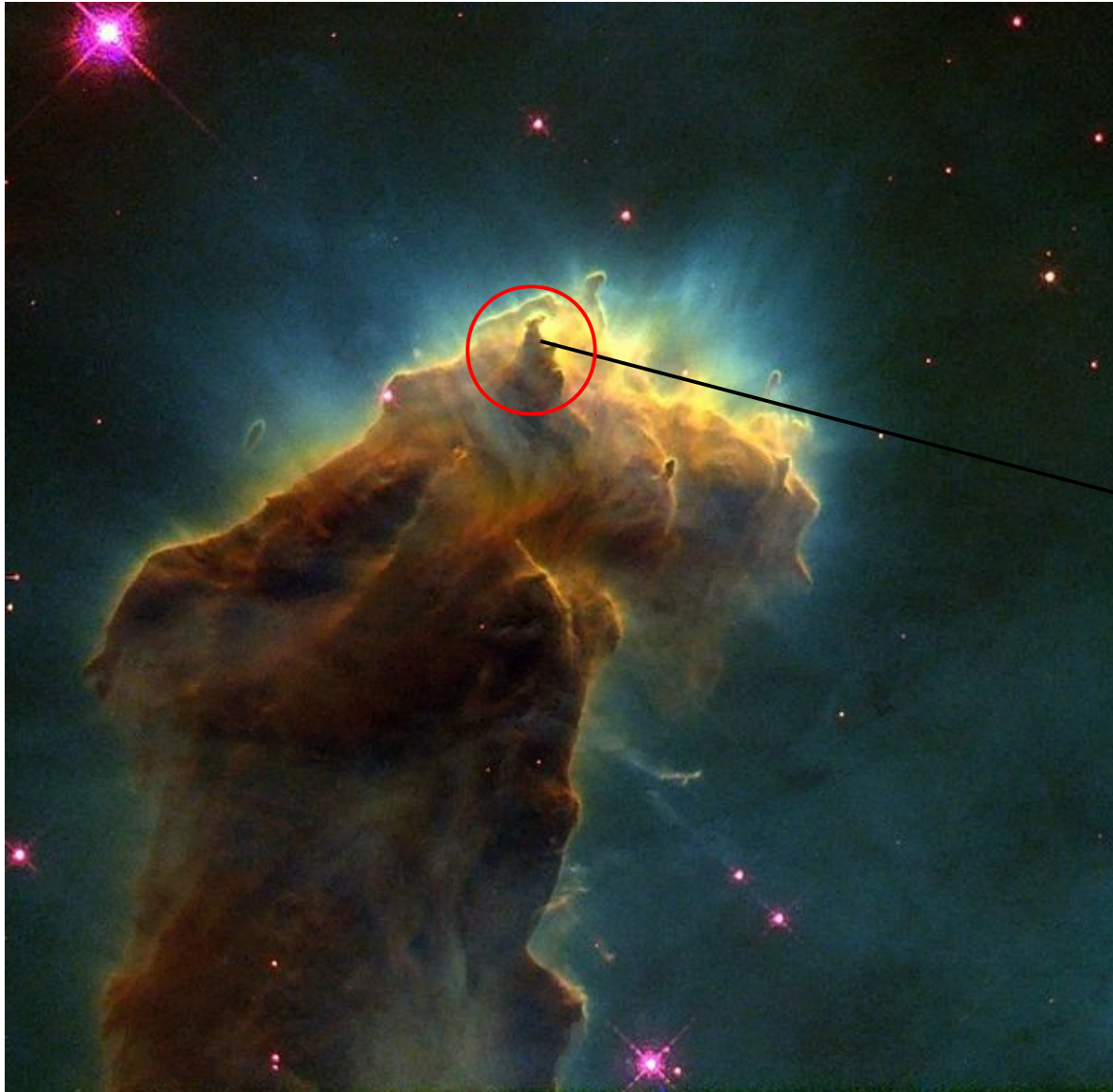


Nebulosa Água
(M42, em Ofiúco)

Regiões de Formação Estelar

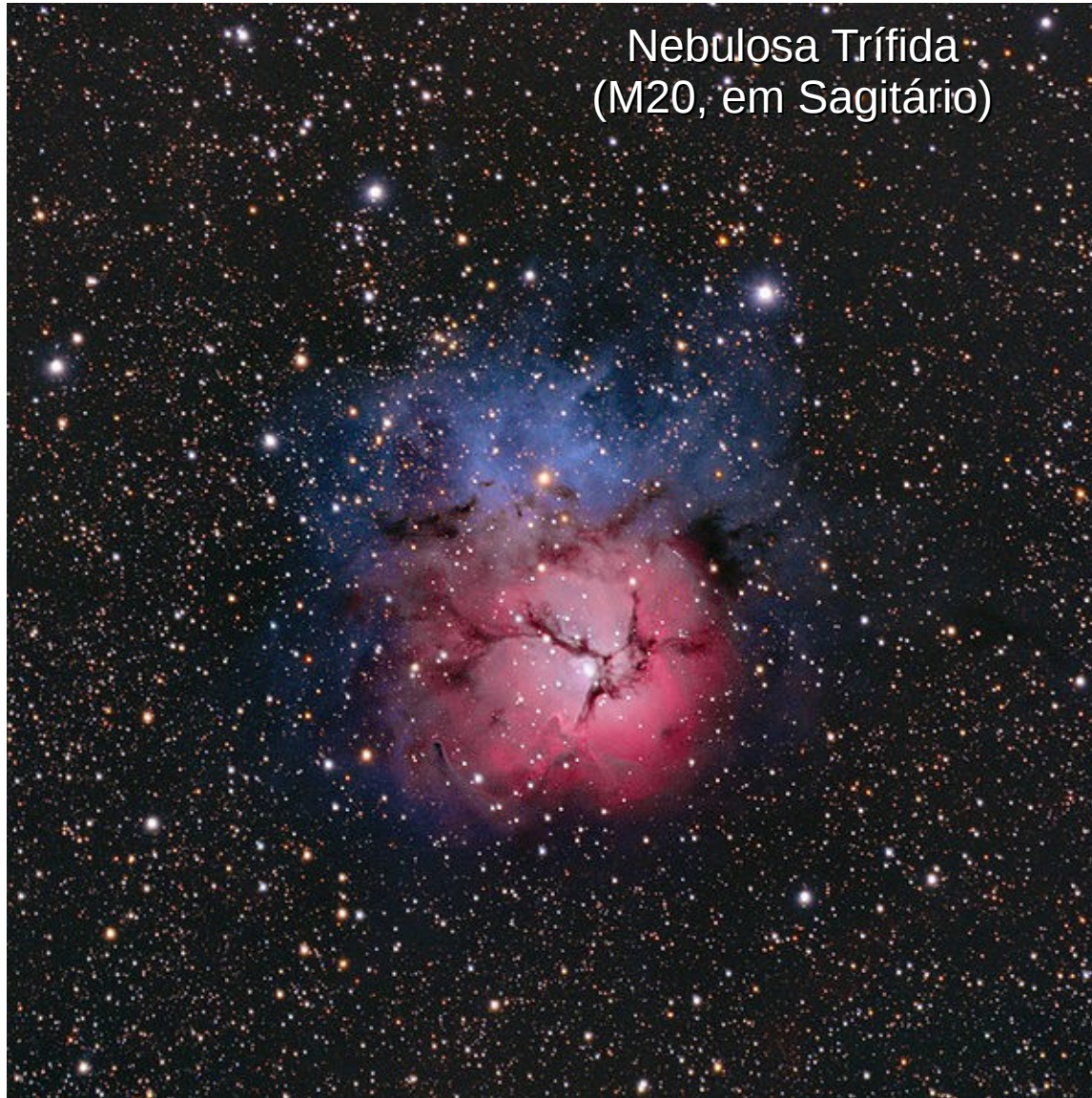


Regiões de Formação Estelar



Regiões de
sobredensidade =
formação estelar!

Regiões de Formação Estelar



Nebulosa Trífida
(M20, em Sagitário)

Regiões de Formação Estelar



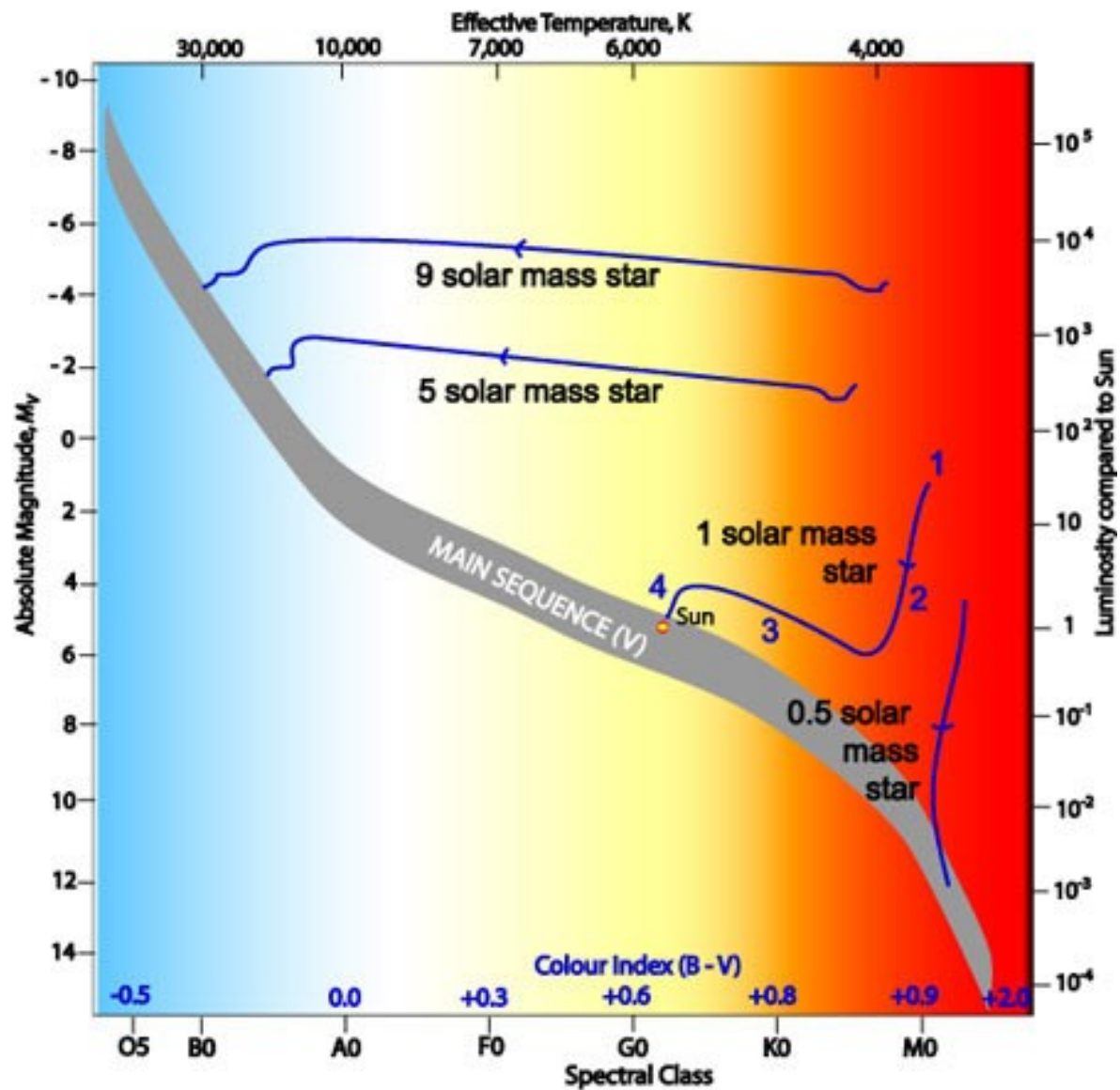
Estrelas jovens e gás restante sendo expulso.

Regiões de Formação Estelar

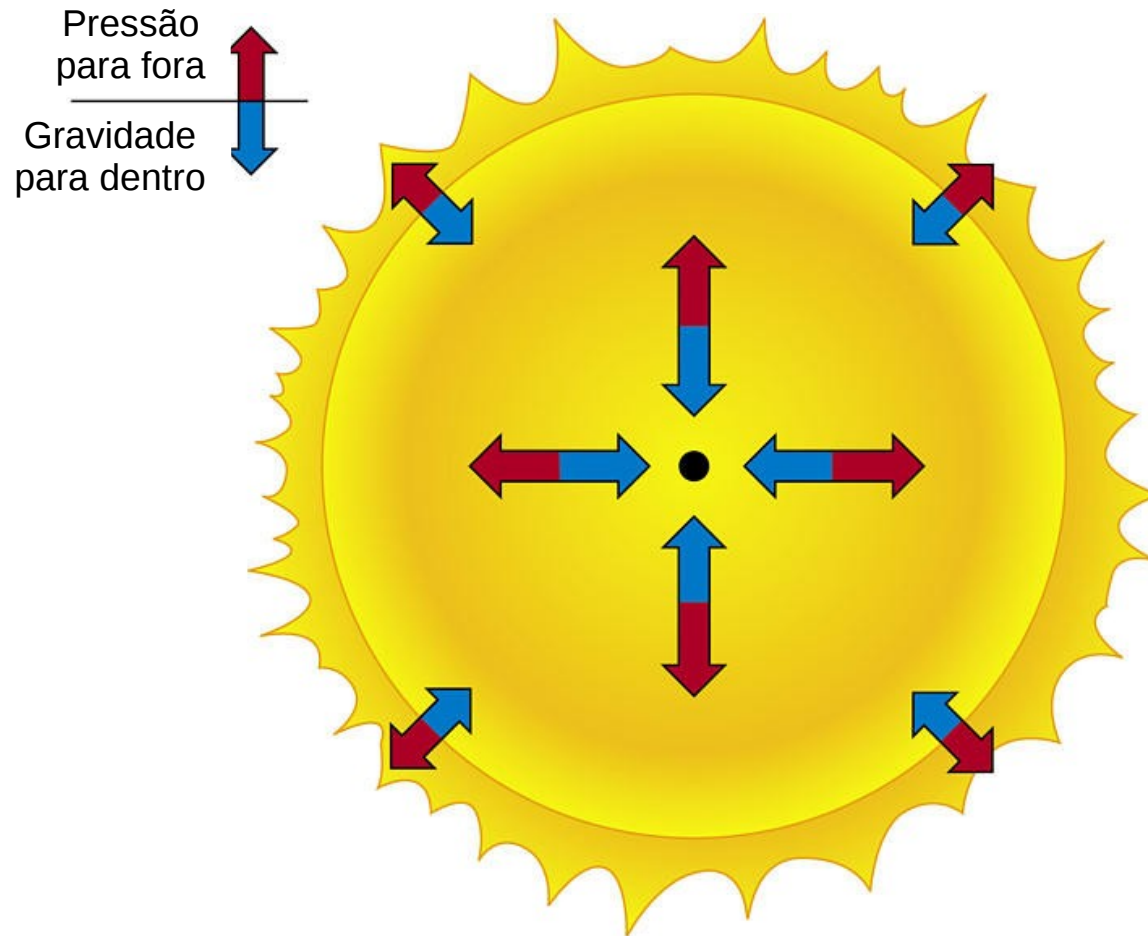


NGC 602
(na Pequena Nuvem
de Magalhães)

Caminho teórico das proto-estrelas



Estrelas = em eterna batalha contra o peso



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Propriedades das Estrelas

Magnitudes aparentes

Brilho aparente das estrelas
(Hiparcos, séc. II a.C.)

1^a



As mais brilhantes do céu noturno

2^a



3^a



4^a



5^a



6^a



No limite da visibilidade do olho humano.

Crédito da imagem:
Prof. Roberto Boczko,
com adaptações

Magnitudes

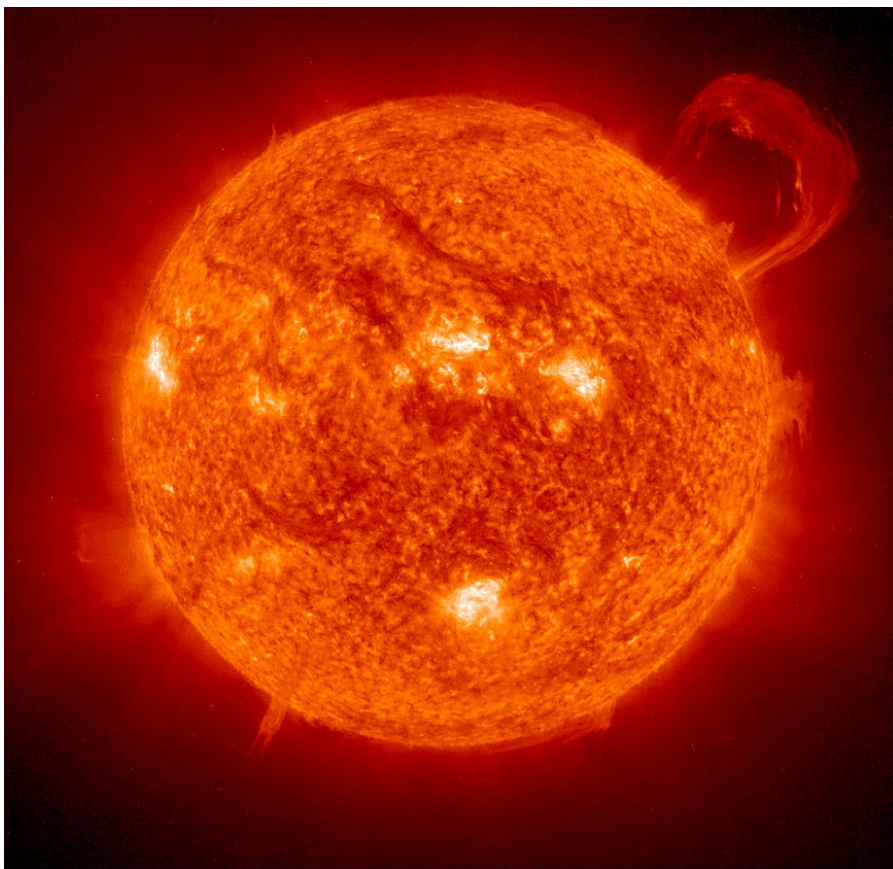
SOL	-26.72
SIRIUS	-1.46
CANOPUS	-0.72
PRÓXIMA CENTAURI	-0.27
ARCTURUS	-0.04
VEGA	0.03
LUA	-10.28
VÊNUS	-3.9
JÚPITER	-2.1
SATURNO	0.2
MERCÚRIO	0.3
MARTE	1.2

Propriedades das Estrelas

Luminosidade: taxa com que uma estrela emite energia.
Expressa em termos da luminosidade solar: $L_{\odot} \approx 3.85 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Propriedades das Estrelas

Luminosidade: taxa com que uma estrela emite energia.
Expressa em termos da luminosidade solar: $L_{\odot} \approx 3.85 \cdot 10^{26} \text{ W}$



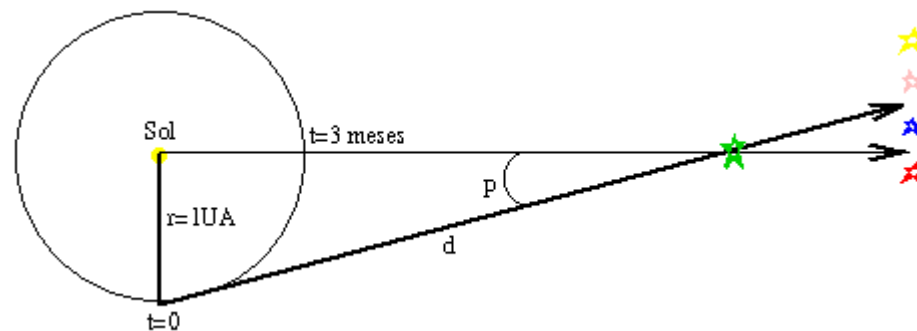
≈



$L_{\odot} \approx 3.85 \cdot 10^{24}$ lâmpadas!

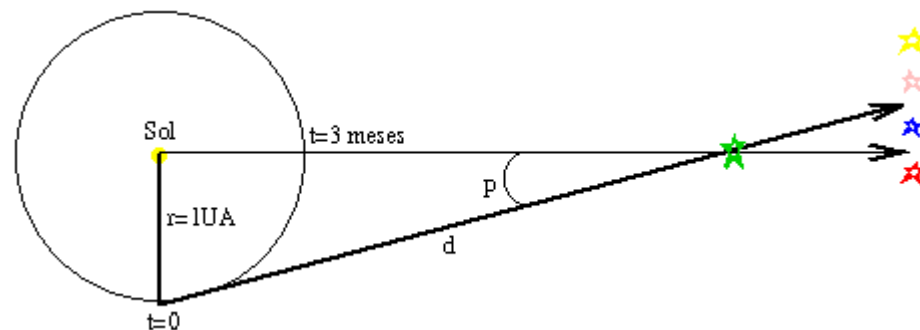
Propriedades das Estrelas

Distância: medida por paralaxe.
Expressa em *parsecs* (pc).



Propriedades das Estrelas

Distância: medida por paralaxe.
Expressa em *parsecs* (pc).



$1 \text{ pc} \approx 2.5 \cdot 10^9$ diâmetros da Terra

Propriedades das Estrelas

$$1 \text{ pc} = 3.08 \cdot 10^{13} \text{ km}$$

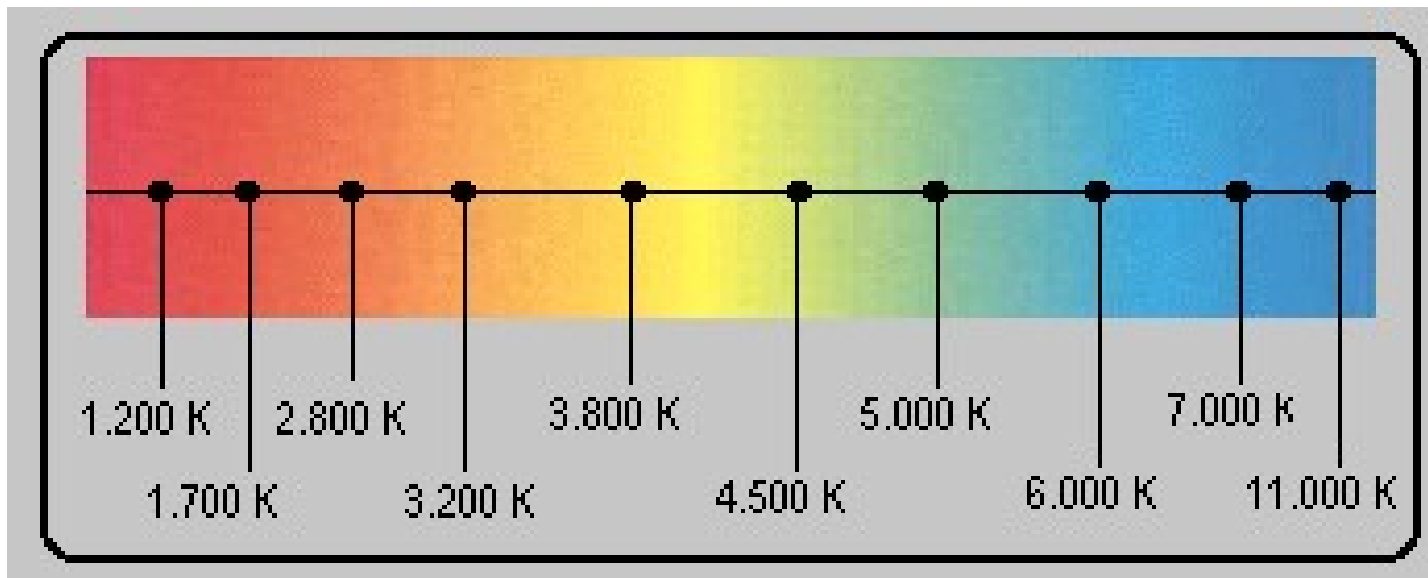
$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ anos-luz}$$

Unidade de distância,
NÃO de tempo.

Propriedades das Estrelas

Temperatura: determinada a partir da cor.

Expressa em Kelvin (K): $[K] = [^{\circ}C] + 273.15$



Propriedades das Estrelas

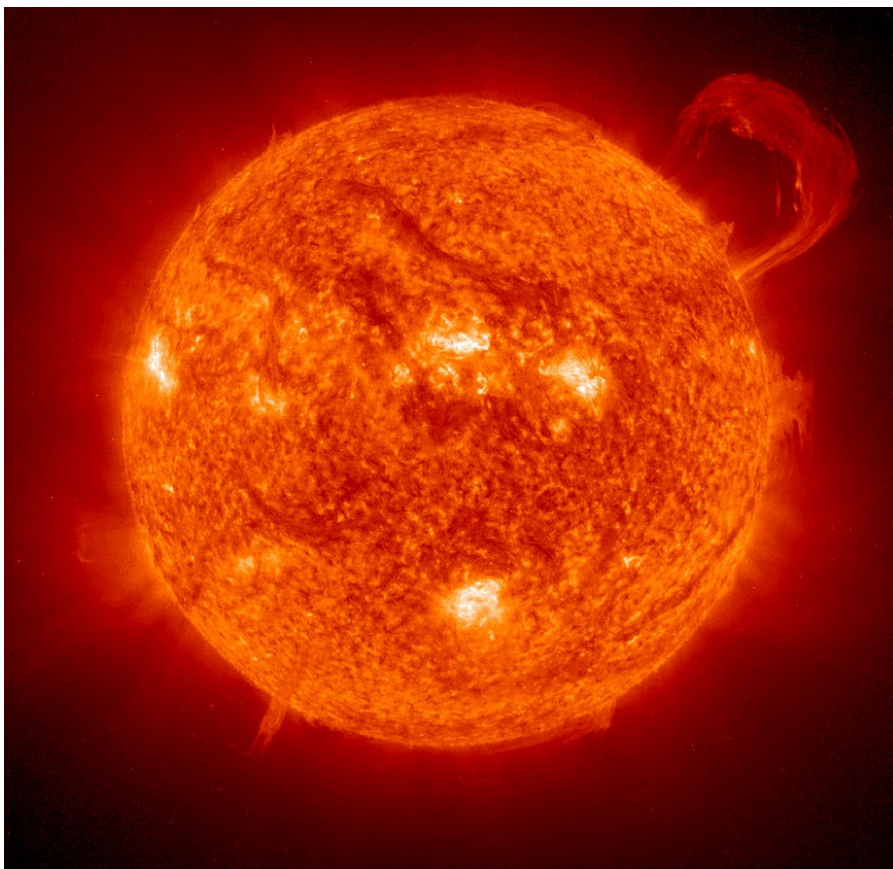
Massa: medida em sistemas binários.

Expressa em termos da massa do Sol: $M_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Propriedades das Estrelas

Massa: medida em sistemas binários.

Expressa em termos da massa do Sol: $M_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30}$ kg



≈



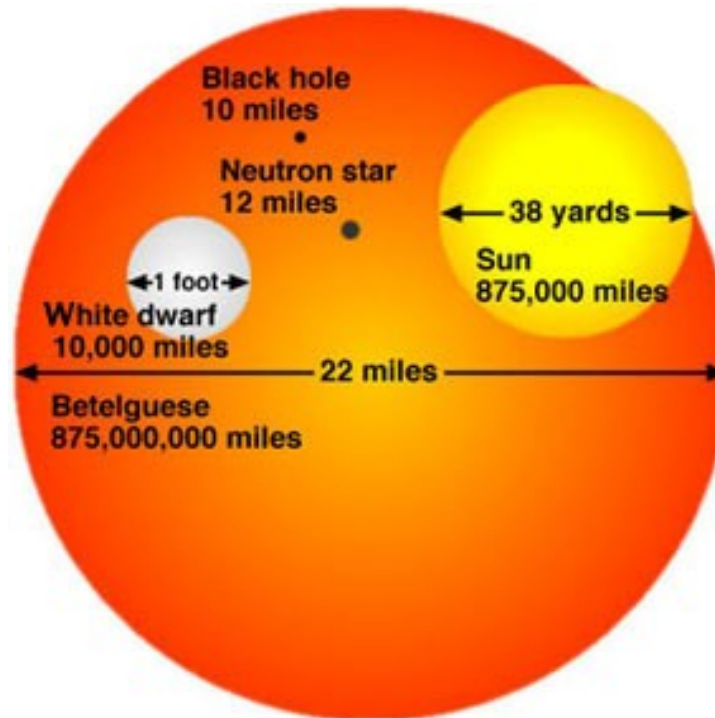
$M_{\odot} \approx 4 \cdot 10^{30}$ bolas de futebol!

Propriedades das Estrelas

Raio: o tamanho da estrela.
Expresso em km.

Anã branca: $R \approx 10\,000$ km

Supergigante: $R \approx 100\,000\,000$ km



Propriedades das Estrelas

Composição química: expressa em fração de massa dos elementos.

X = fração de H, Y = fração de He, Z = metais

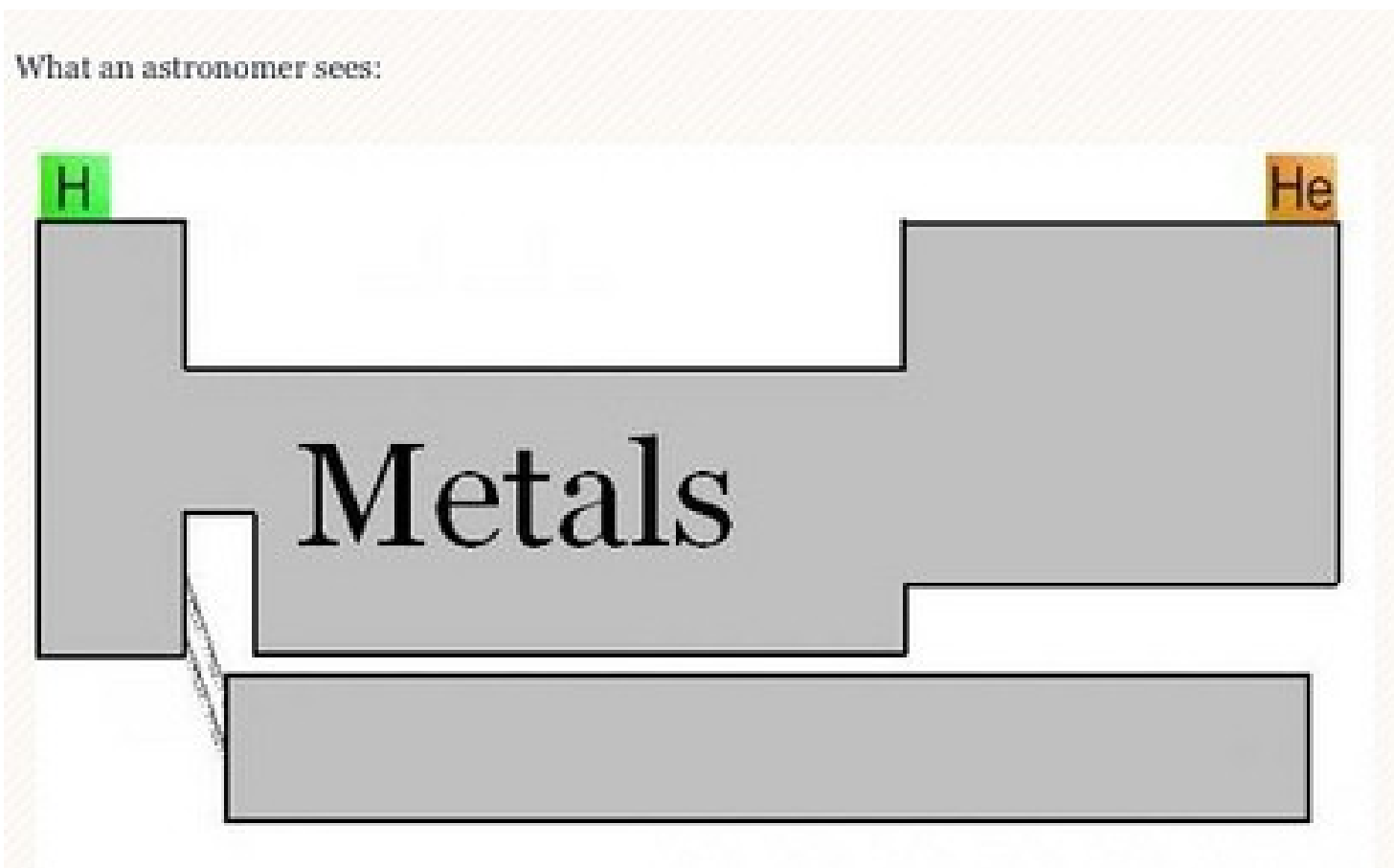
What a chemist sees:

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

Propriedades das Estrelas

Composição química: expressa em fração de massa dos elementos.

X = fração de H, Y = fração de He, Z = metais



Propriedades das Estrelas

Composição química: expressa em fração de massa dos elementos.

X = fração de H, Y = fração de He, Z = metais

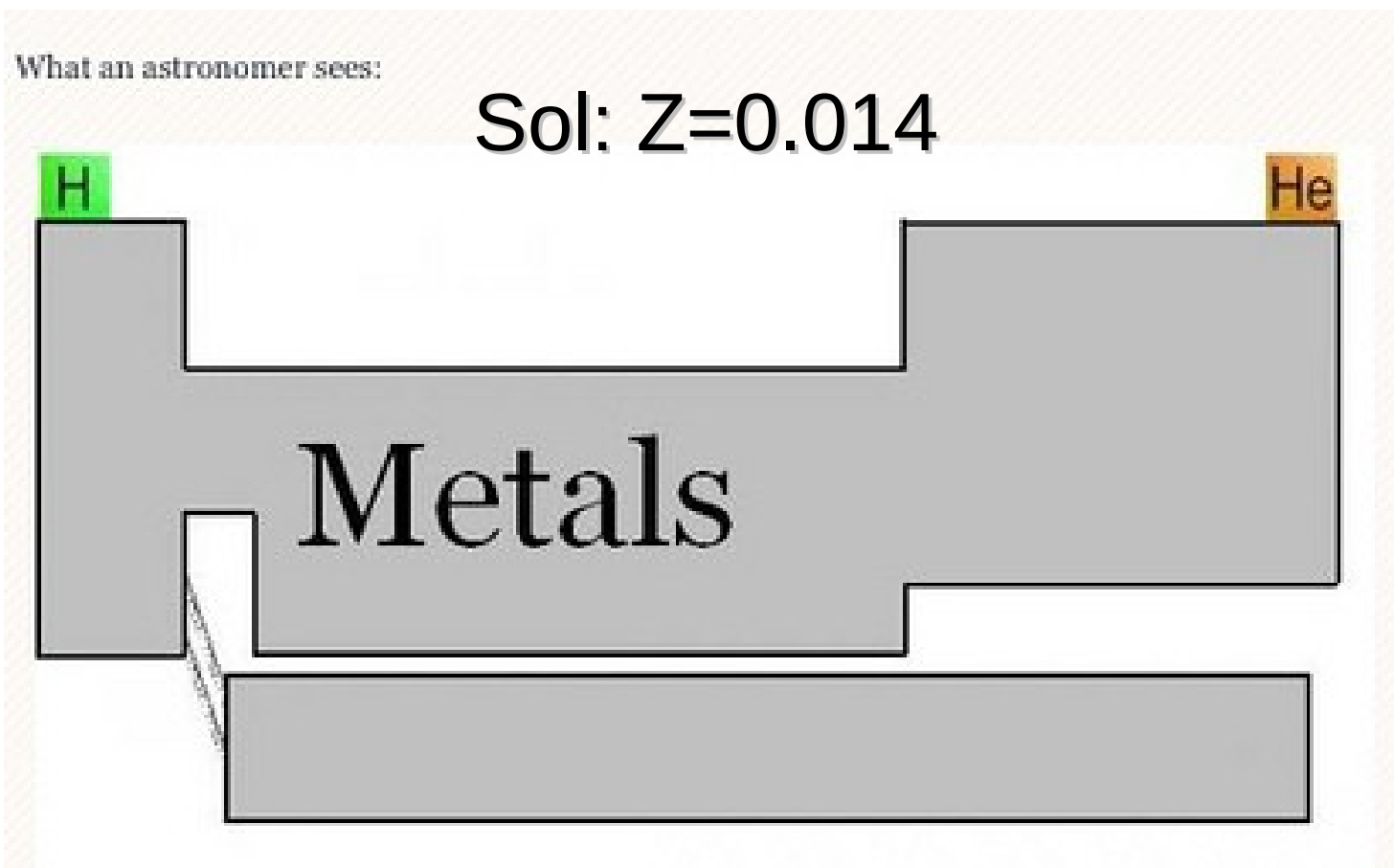
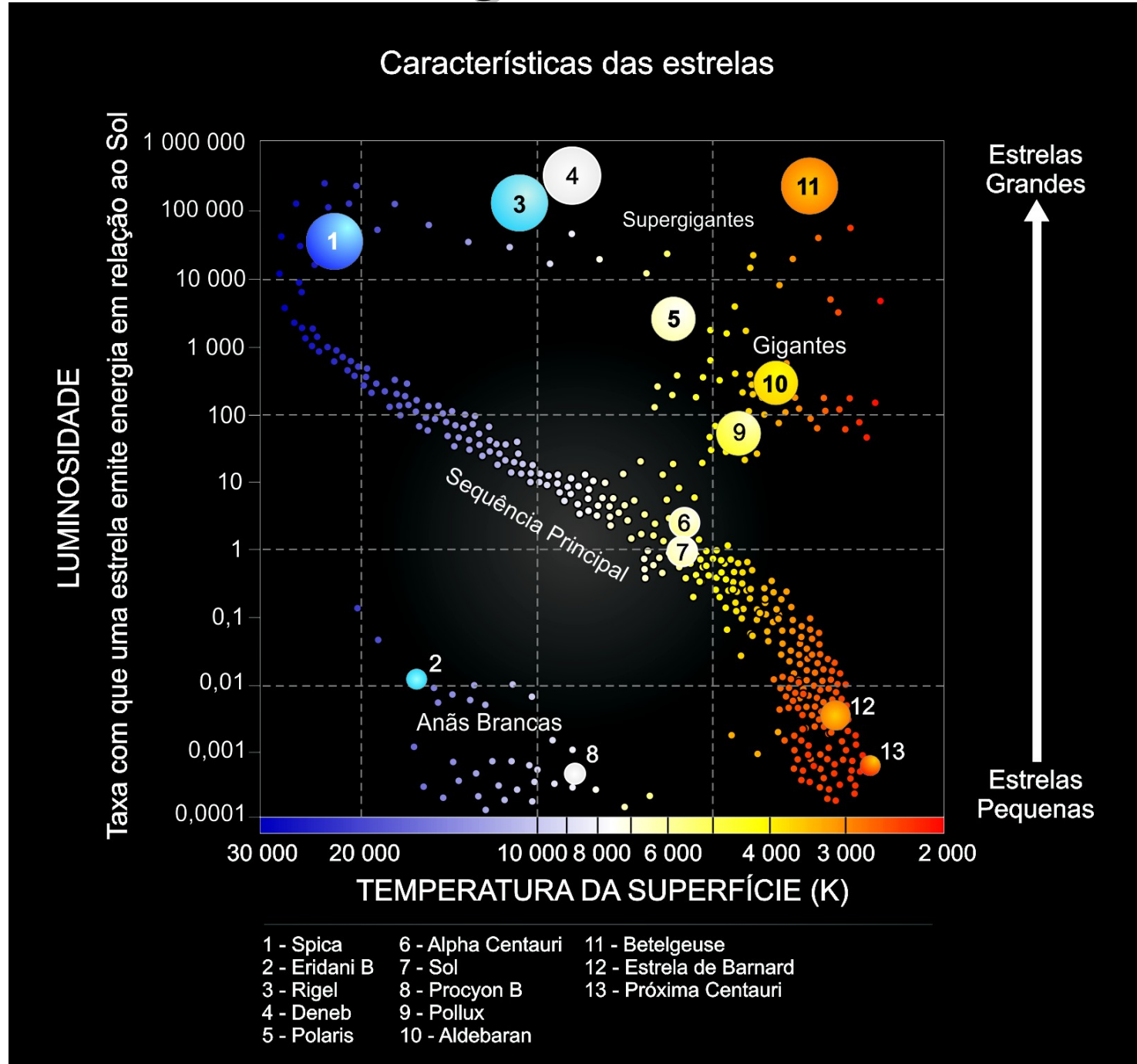


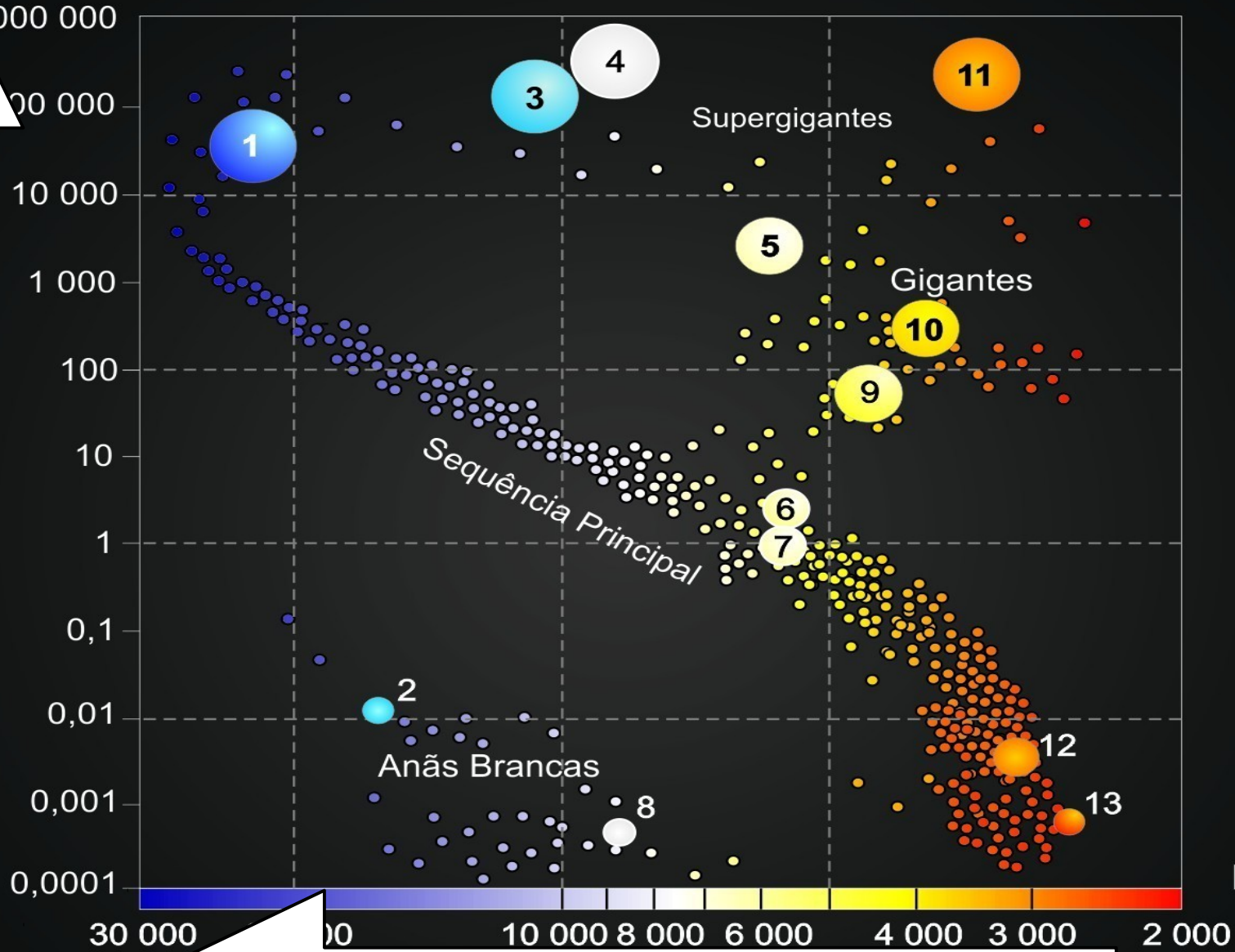
Diagrama HR



Características das estrelas

LUMINOSIDADE

LUMINOSIDADE



Estrelas Grandes

Estrelas Pequenas

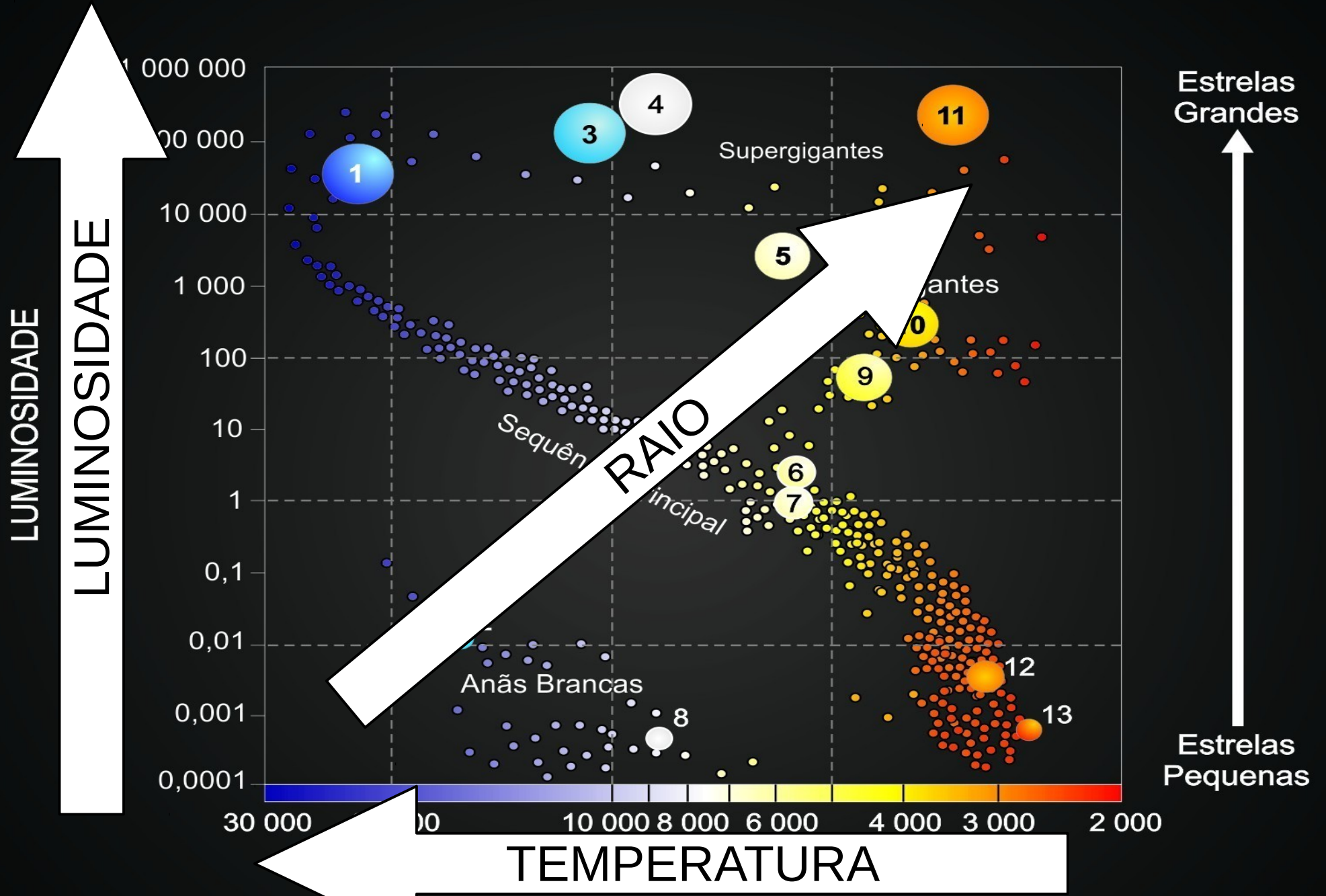
TEMPERATURA

- 1 - Spica
- 2 - Eridani B
- 3 - Rigel
- 4 - Deneb
- 5 - Polaris

- 6 - Alpha Centauri
- 7 - Sol
- 8 - Procyon B
- 9 - Pollux
- 10 - Aldebaran

- 11 - Betelgeuse
- 12 - Estrela de Barnard
- 13 - Próxima Centauri

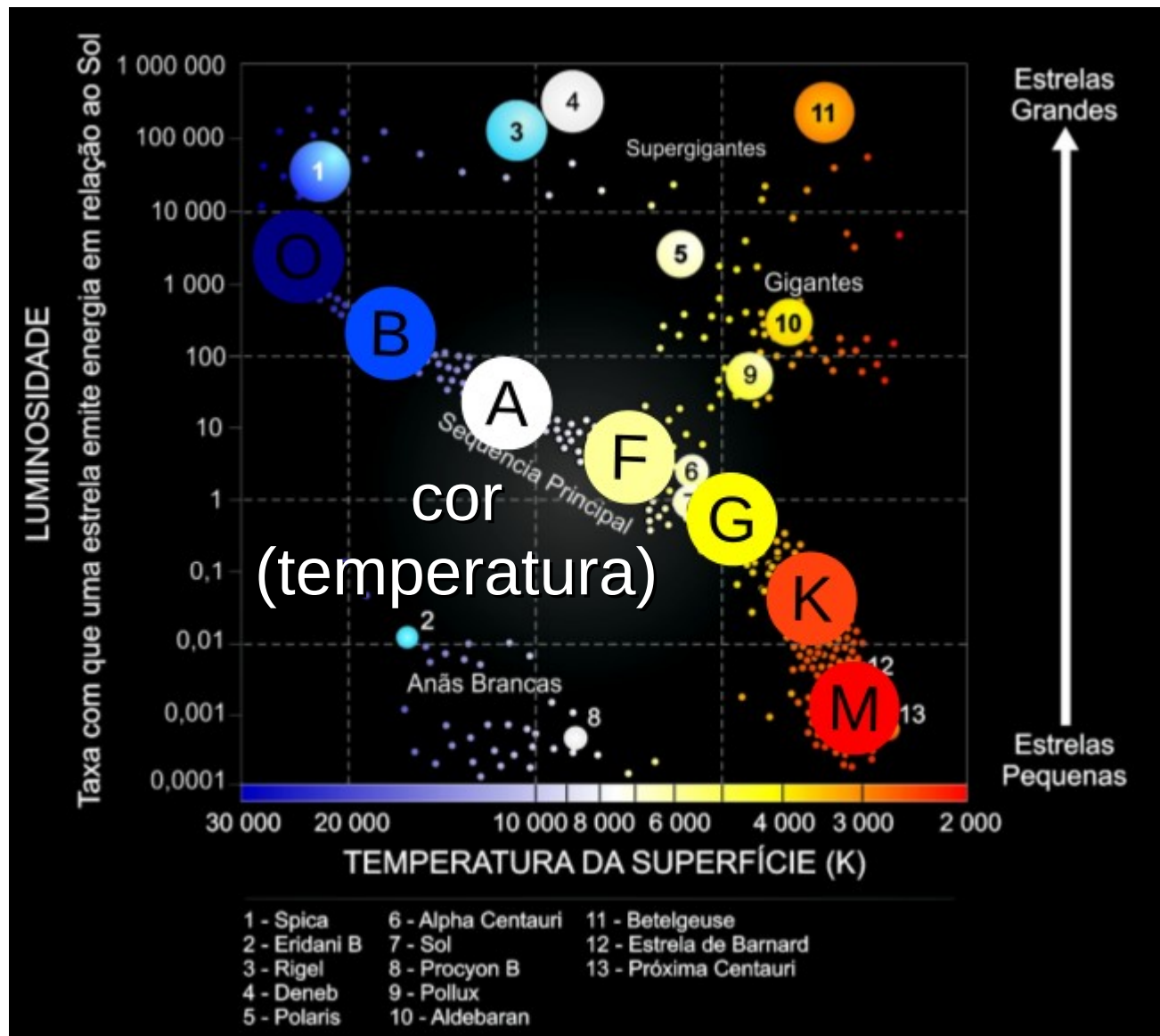
Características das estrelas



- | | | |
|---------------|--------------------|-------------------------|
| 1 - Spica | 6 - Alpha Centauri | 11 - Betelgeuse |
| 2 - Eridani B | 7 - Sol | 12 - Estrela de Barnard |
| 3 - Rigel | 8 - Procyon B | 13 - Próxima Centauri |
| 4 - Deneb | 9 - Pollux | |
| 5 - Polaris | 10 - Aldebaran | |

Diferentes cores = Classes Espectrais

⇒ Diferentes propriedades



Diferentes cores = Classes Espectrais

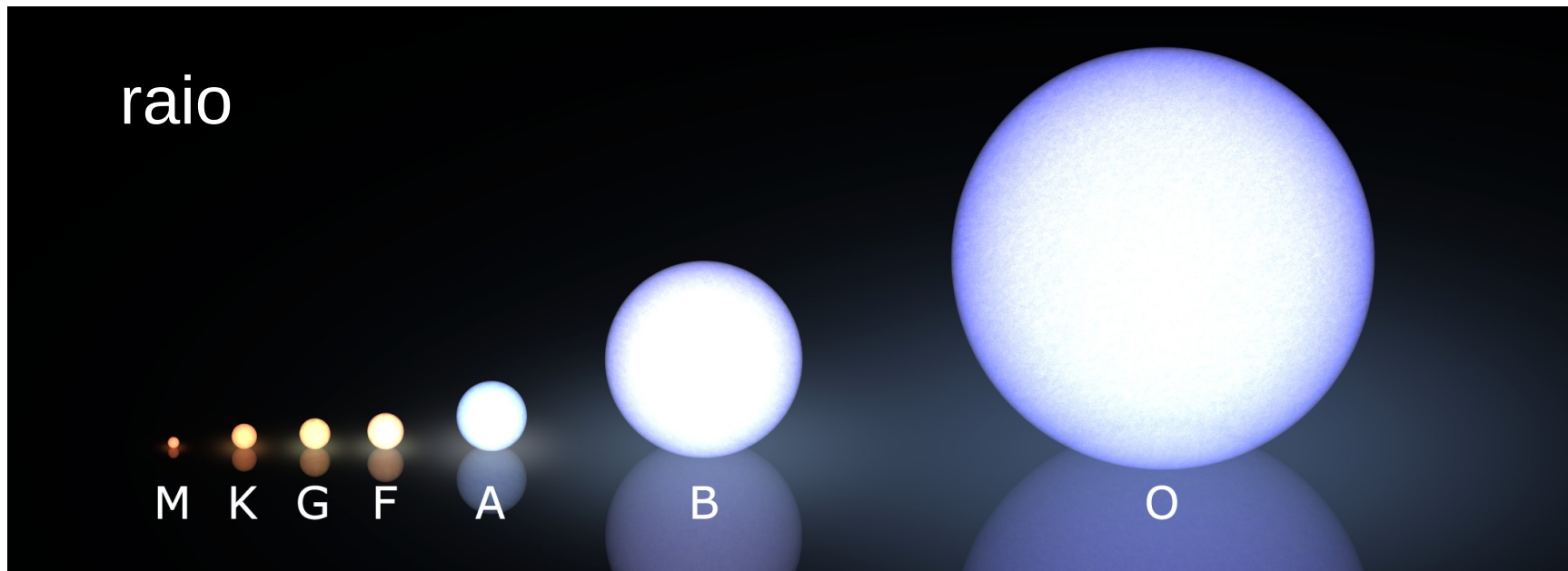
⇒ Diferentes propriedades

Oh, Be A Fine Girl: Kiss Me!

Only Boring Astronomers Find Gratification
Knowing Mnemonics!

OBA! Frango Grelhado “Kom” Molho!

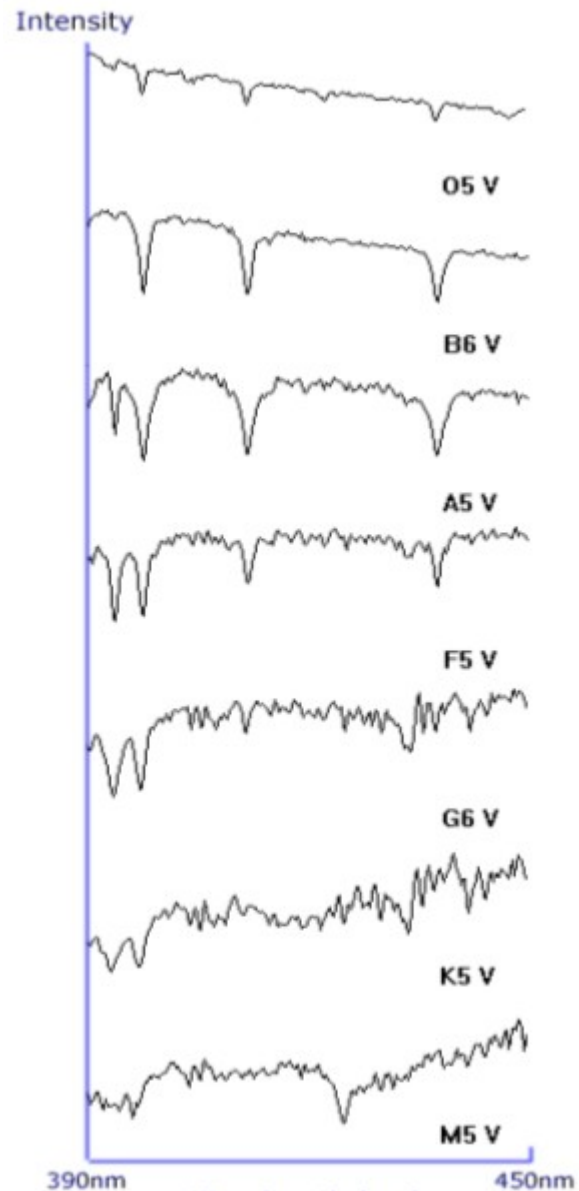
Diferentes cores = Classes Espectrais
⇒ Diferentes propriedades



Diferentes cores = Classes Espectrais

⇒ Diferentes propriedades

composição
química



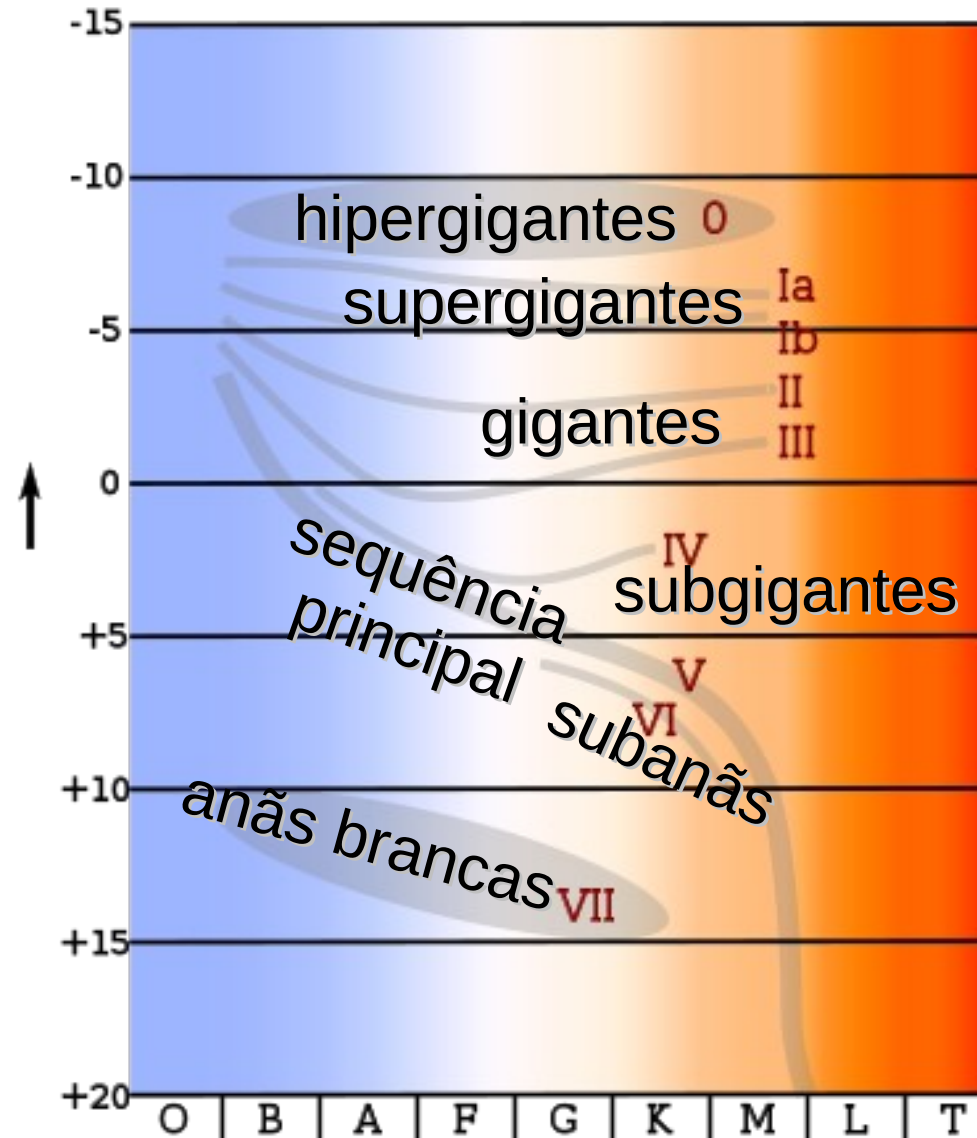
Propriedades na Sequência Principal

Massa (M_{\odot})	Luminosidade (L_{\odot})	Temperatura efetiva (K)	Raio (R_{\odot})	Tempo na Sequência Principal (anos)
0.10	0.003	2 900	0.16	$2 \cdot 10^{12}$
0.50	0.03	3 800	0.6	$2 \cdot 10^{11}$
0.75	0.3	5 000	0.8	$3 \cdot 10^{10}$
1.00	1.0	6 000	1.0	$1 \cdot 10^{10}$
1.50	5.0	7 000	1.4	$2 \cdot 10^9$
3.00	60	11 000	2.5	$2 \cdot 10^8$
5.00	600	17 000	3.8	$7 \cdot 10^7$
10.0	10 000	22 000	5.6	$2 \cdot 10^7$
15.0	17 000	28 000	6.8	$1 \cdot 10^7$
25.0	80 000	35 000	8.7	$7 \cdot 10^5$
60.0	790 000	44 500	15	$3.4 \cdot 10^5$

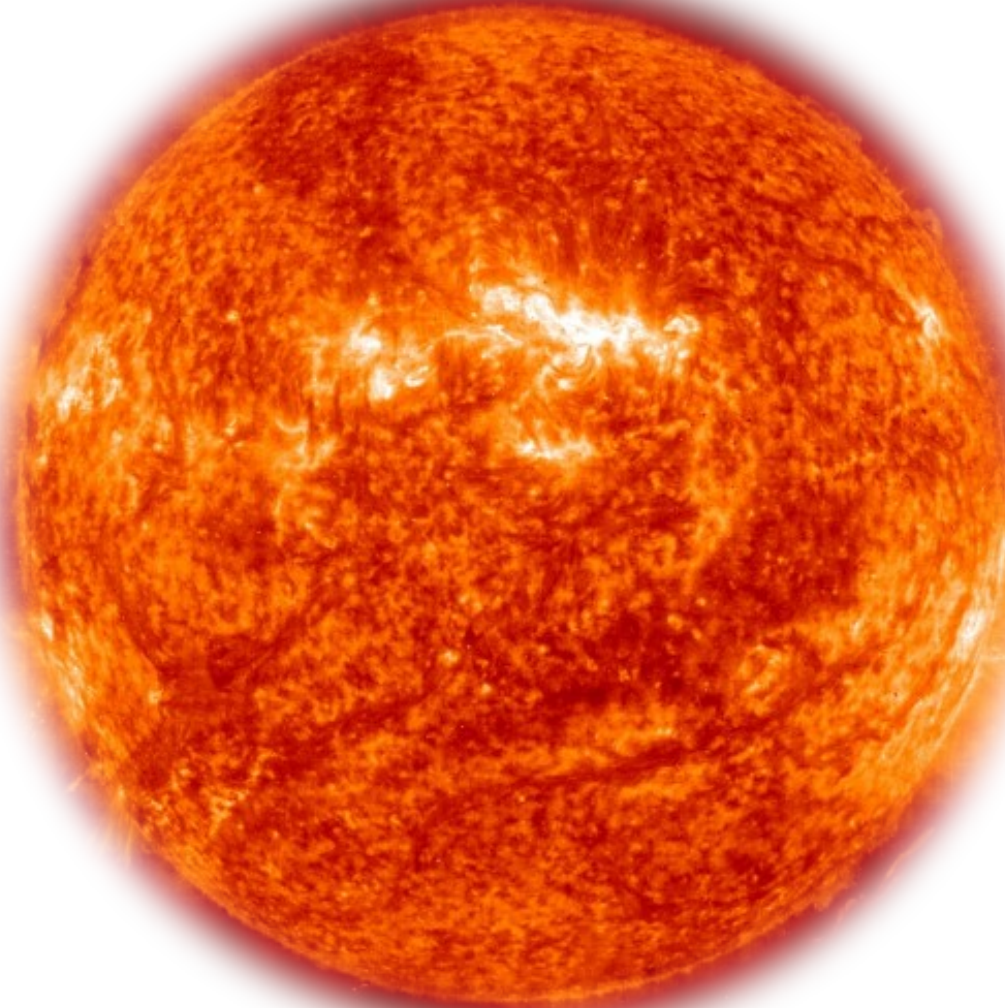
Propriedades na Sequência Principal

Massa (M_{\odot})		Luminosidade (L_{\odot})	Temperatura efetiva (K)	Raio (R_{\odot})	Tempo na Sequência Principal (anos)
0.10	M	0.003	2 900	0.16	$2 \cdot 10^{12}$
0.50	K	0.03	3 800	0.6	$2 \cdot 10^{11}$
0.75	} G	0.3	5 000	0.8	$3 \cdot 10^{10}$
1.00		1.0	6 000	1.0	$1 \cdot 10^{10}$
1.50	F	5.0	7 000	1.4	$2 \cdot 10^9$
3.00	A	60	11 000	2.5	$2 \cdot 10^8$
5.00	B	600	17 000	3.8	$7 \cdot 10^7$
10.0	} O	10 000	22 000	5.6	$2 \cdot 10^7$
15.0		17 000	28 000	6.8	$1 \cdot 10^7$
25.0		80 000	35 000	8.7	$7 \cdot 10^5$
60.0		790 000	44 500	15	$3.4 \cdot 10^5$

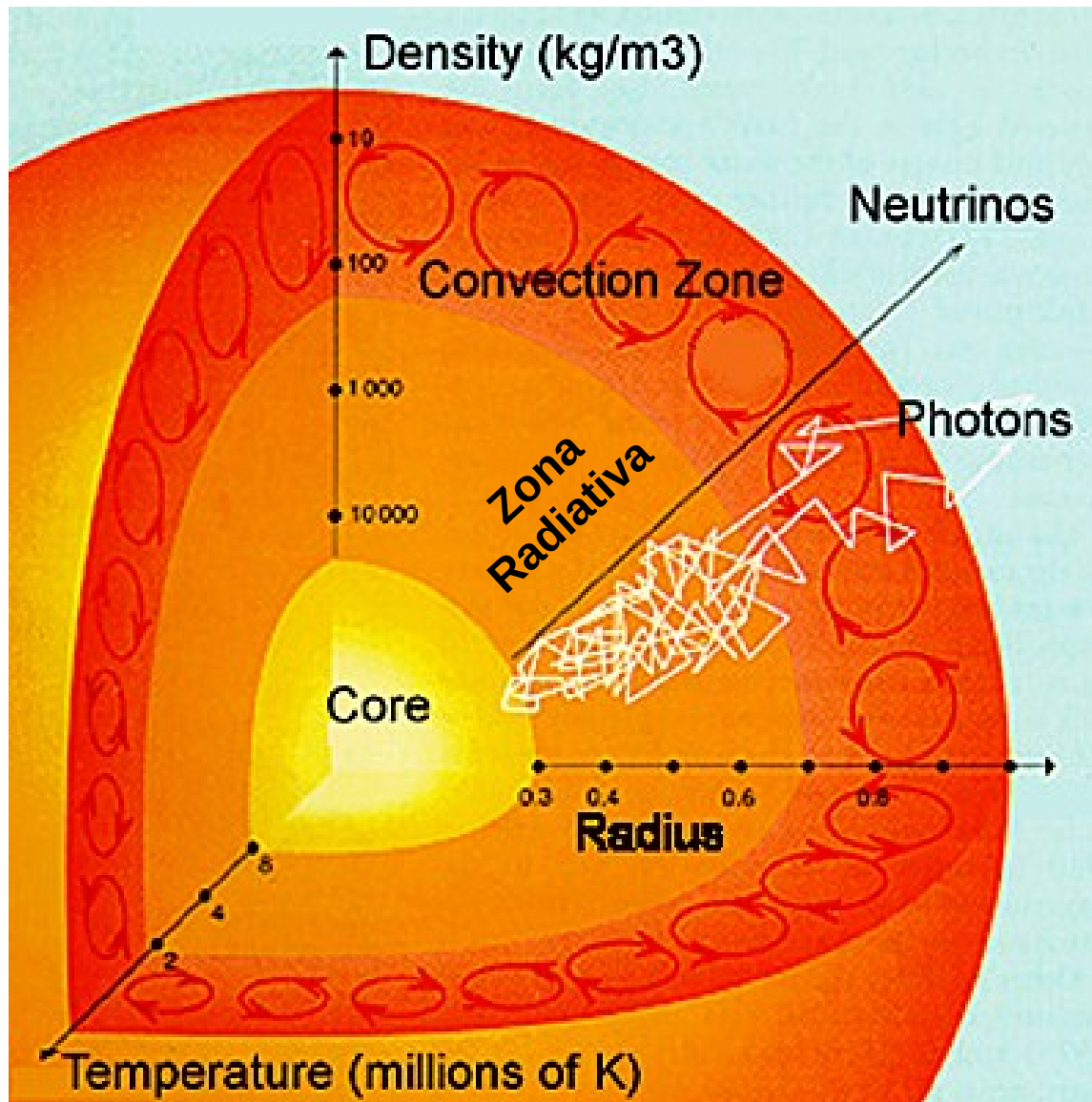
Diferentes brilhos = Classes de Luminosidade



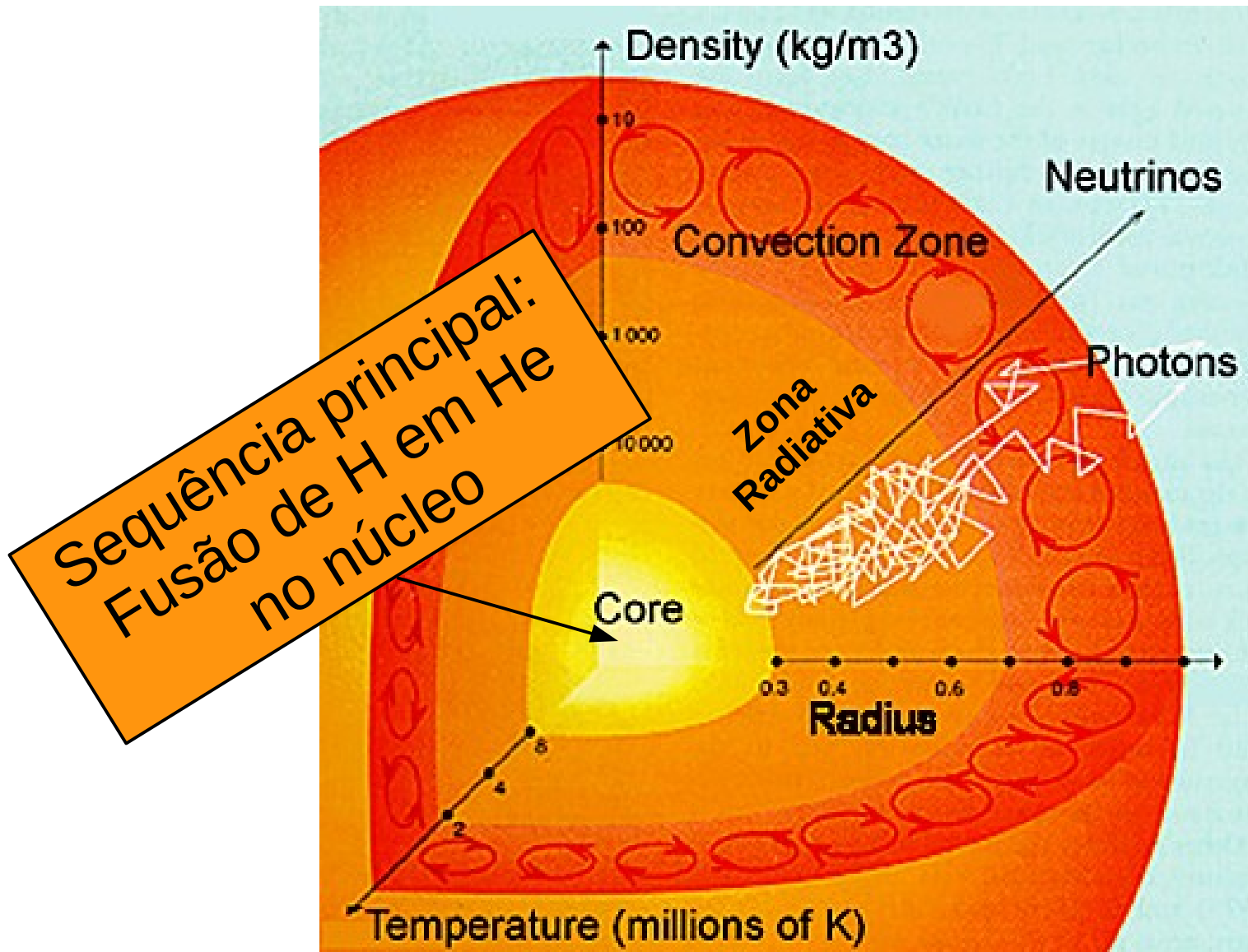
Mas o que faz as estrelas brilharem?



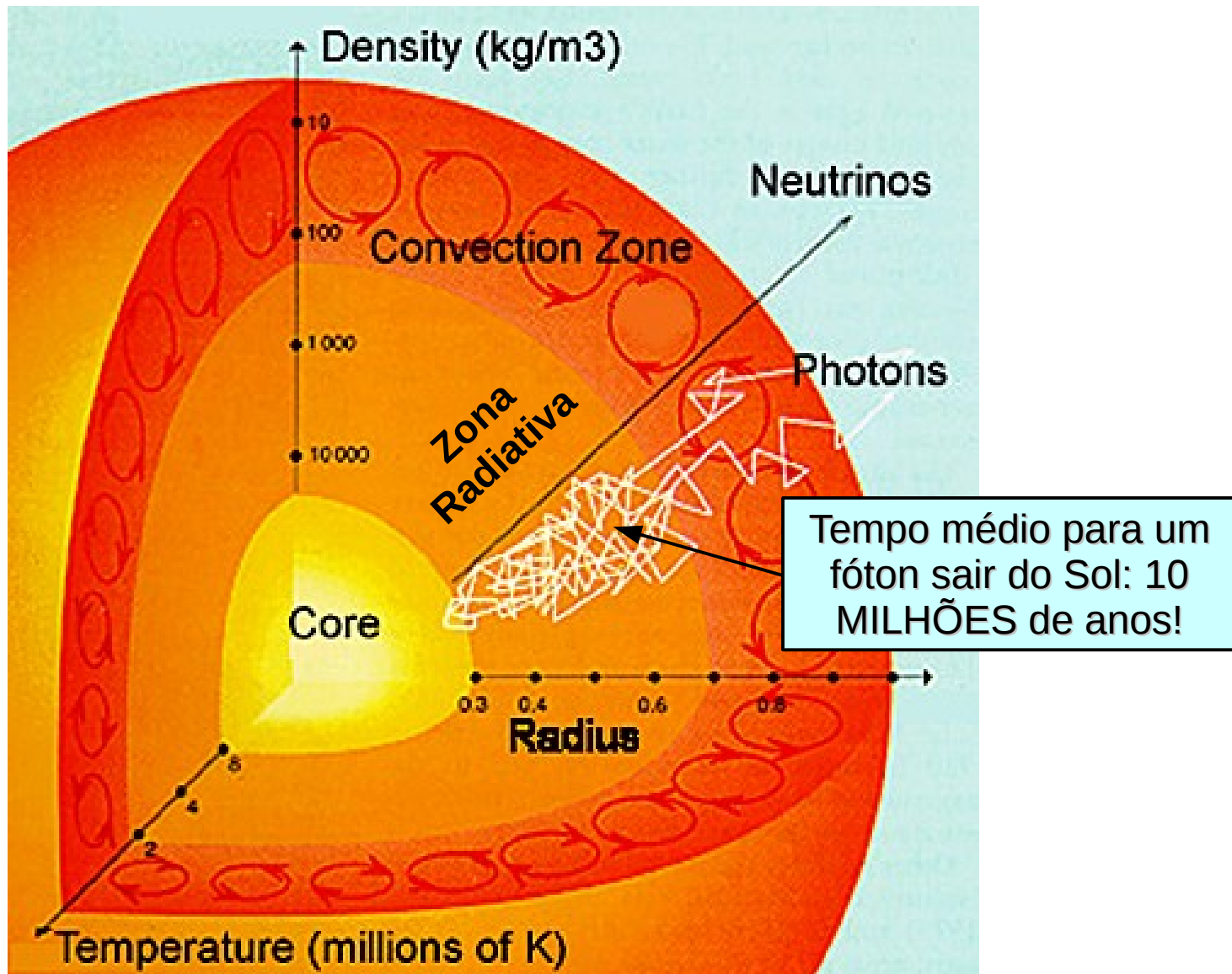
Interiores Estelares



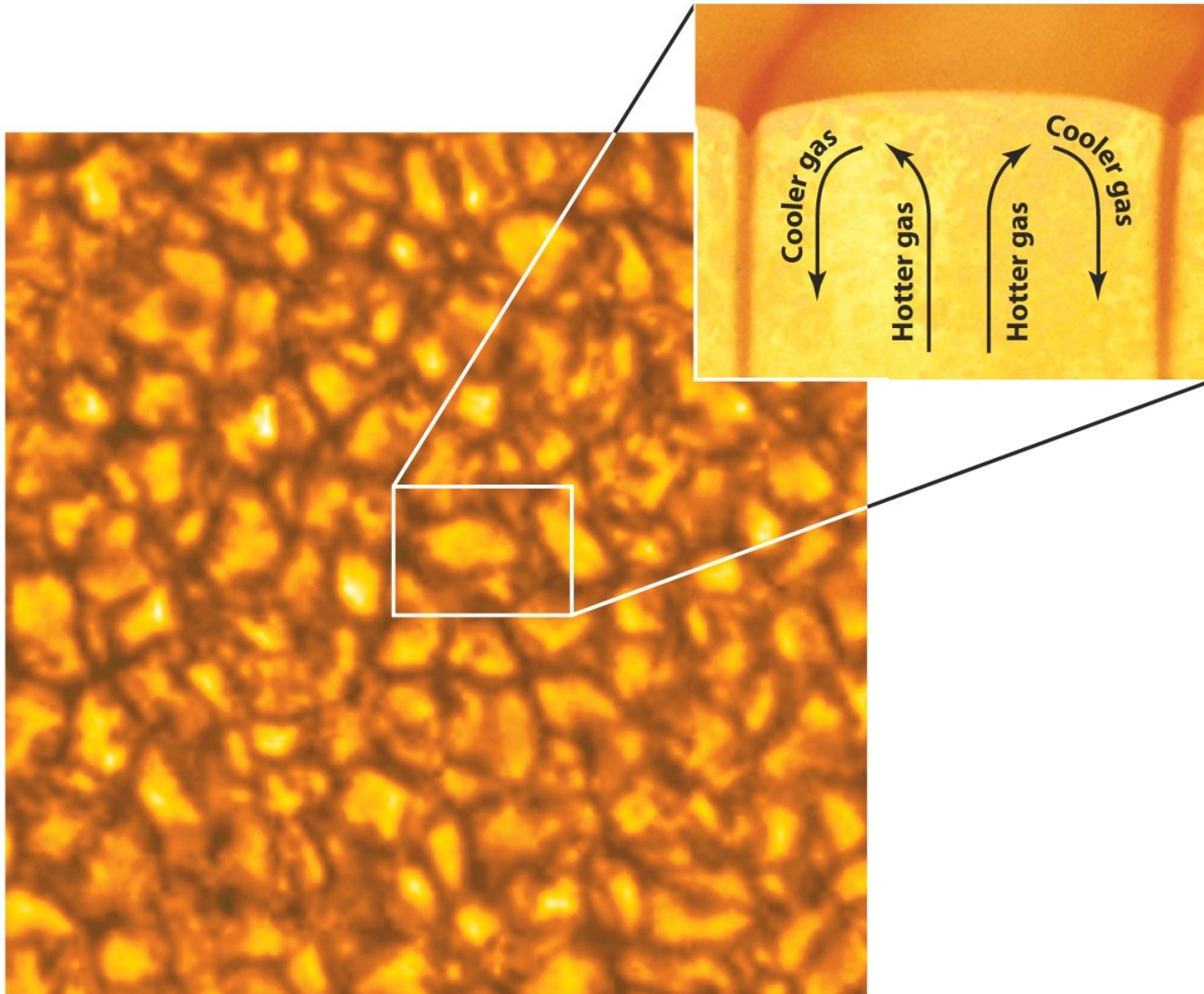
Interiores Estelares



Interiores Estelares

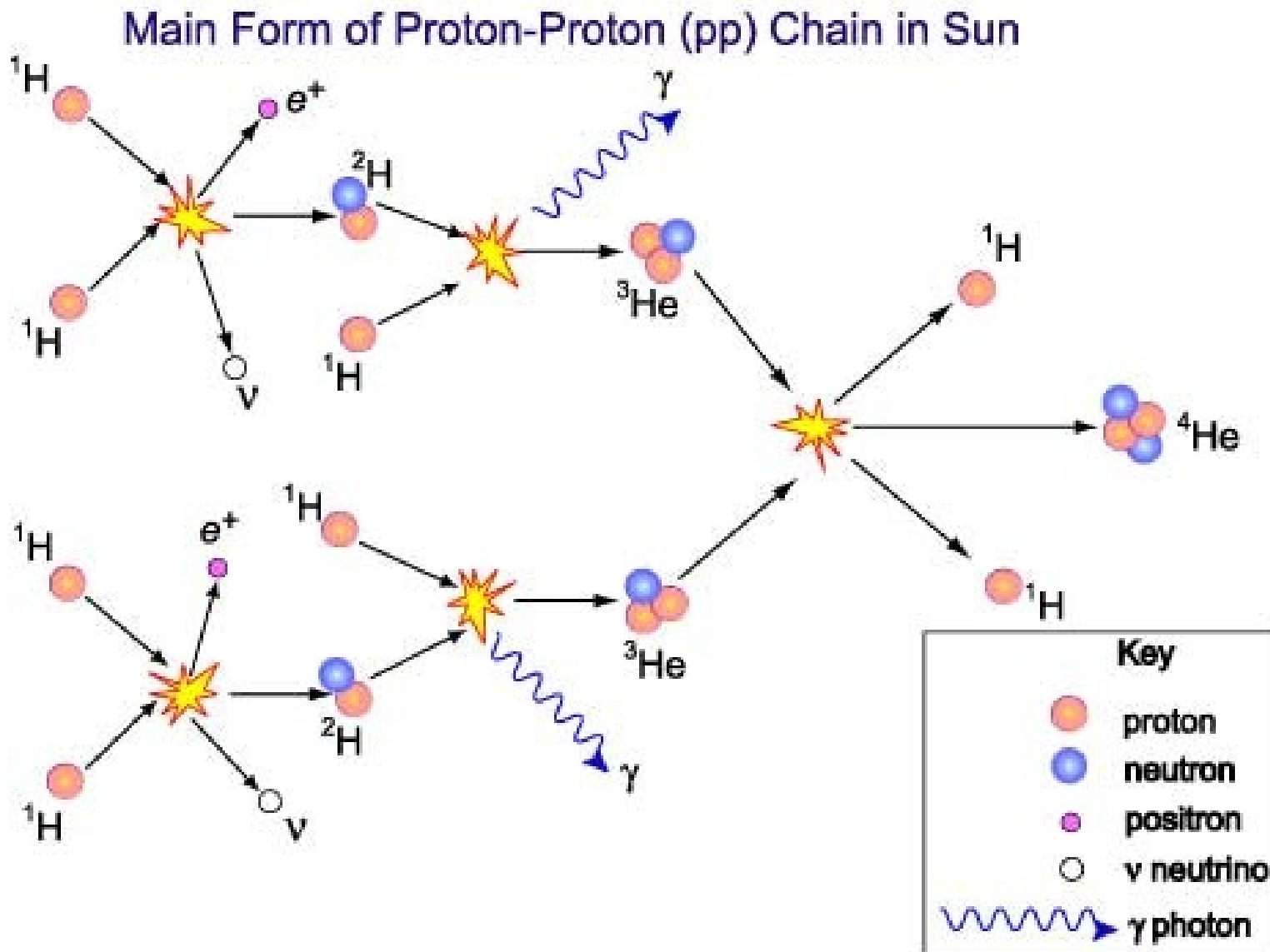


Grânulos: topo da camada convectiva



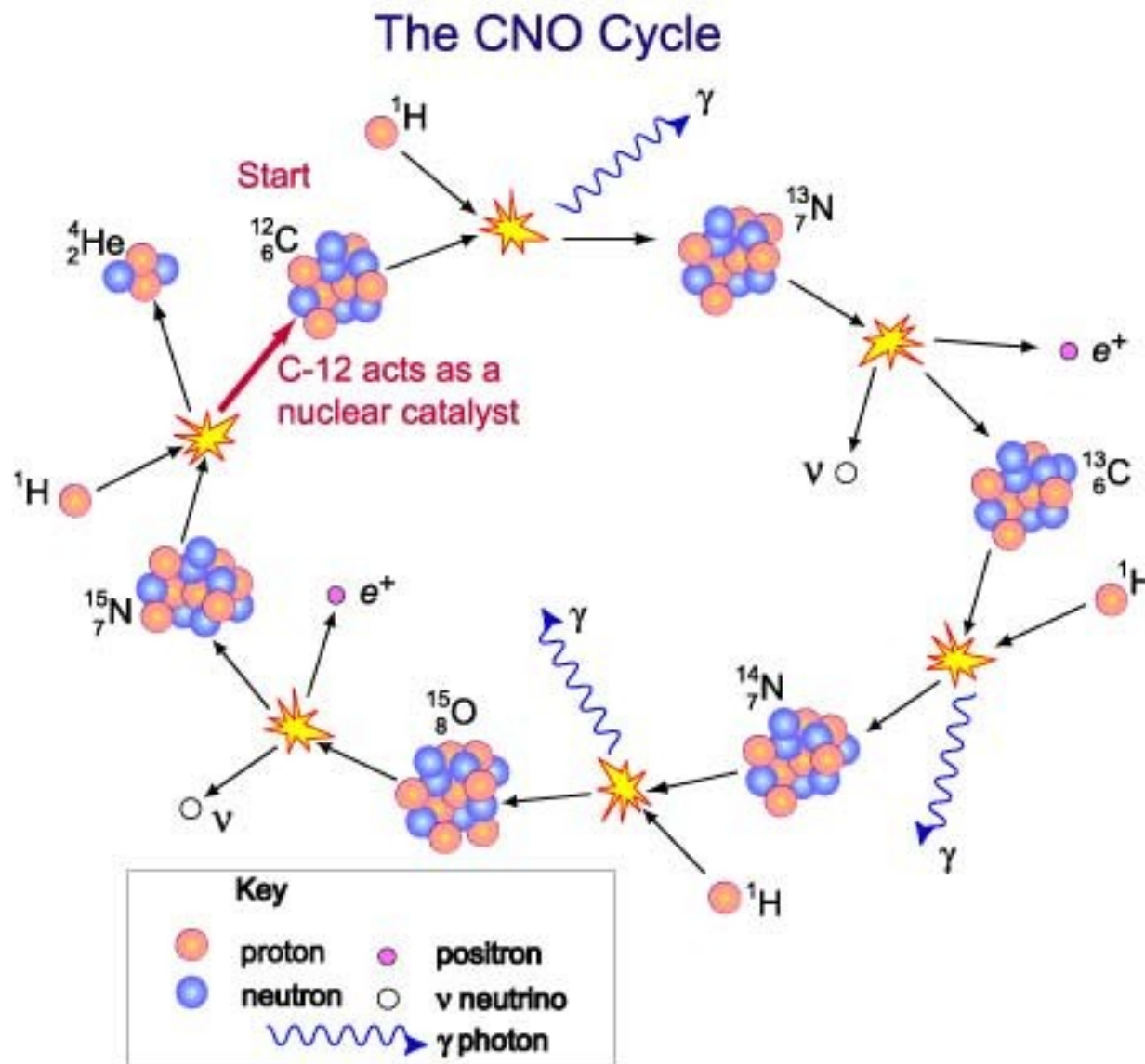
Fonte de energia: ciclo pp

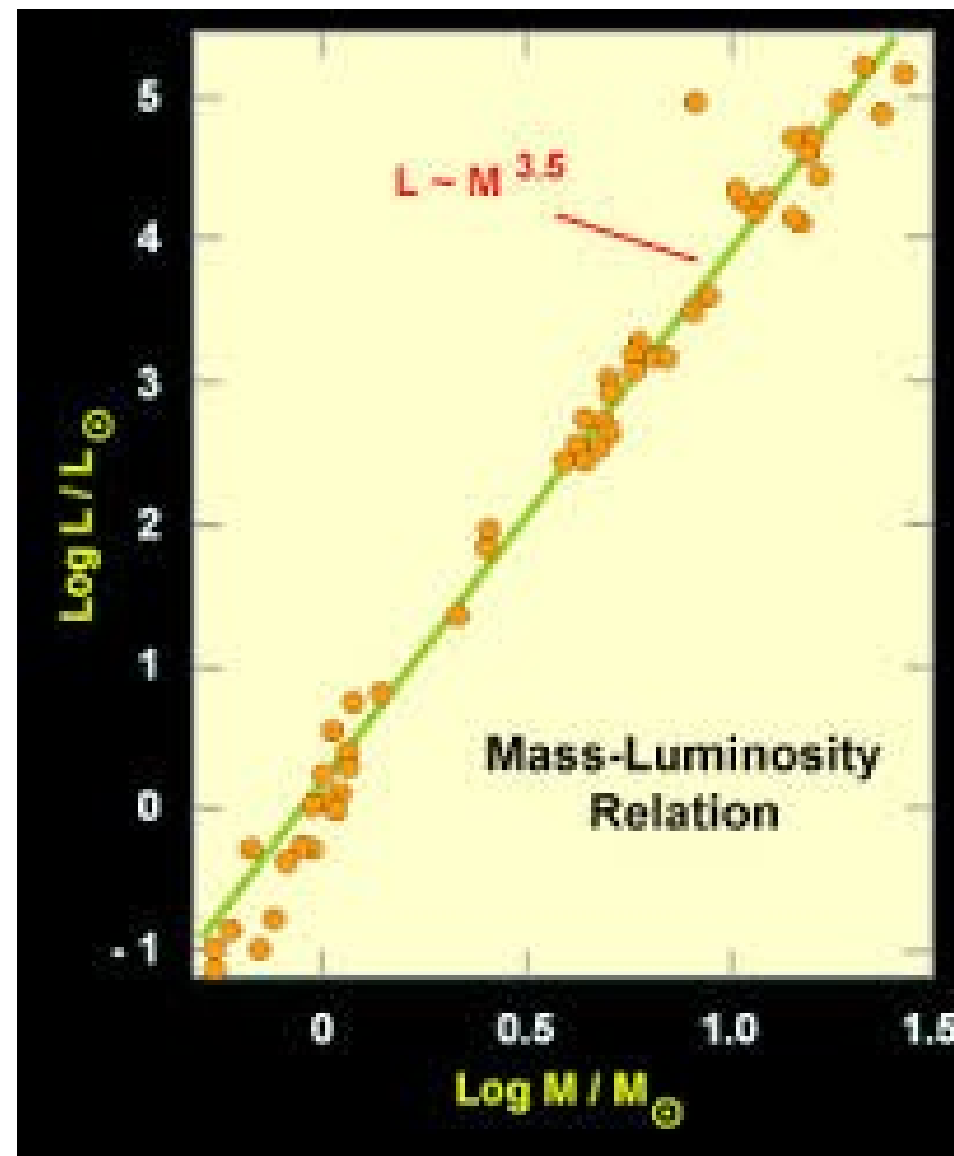
($M < 1.25 M_{\odot}$)



Fonte de energia: ciclo CNO

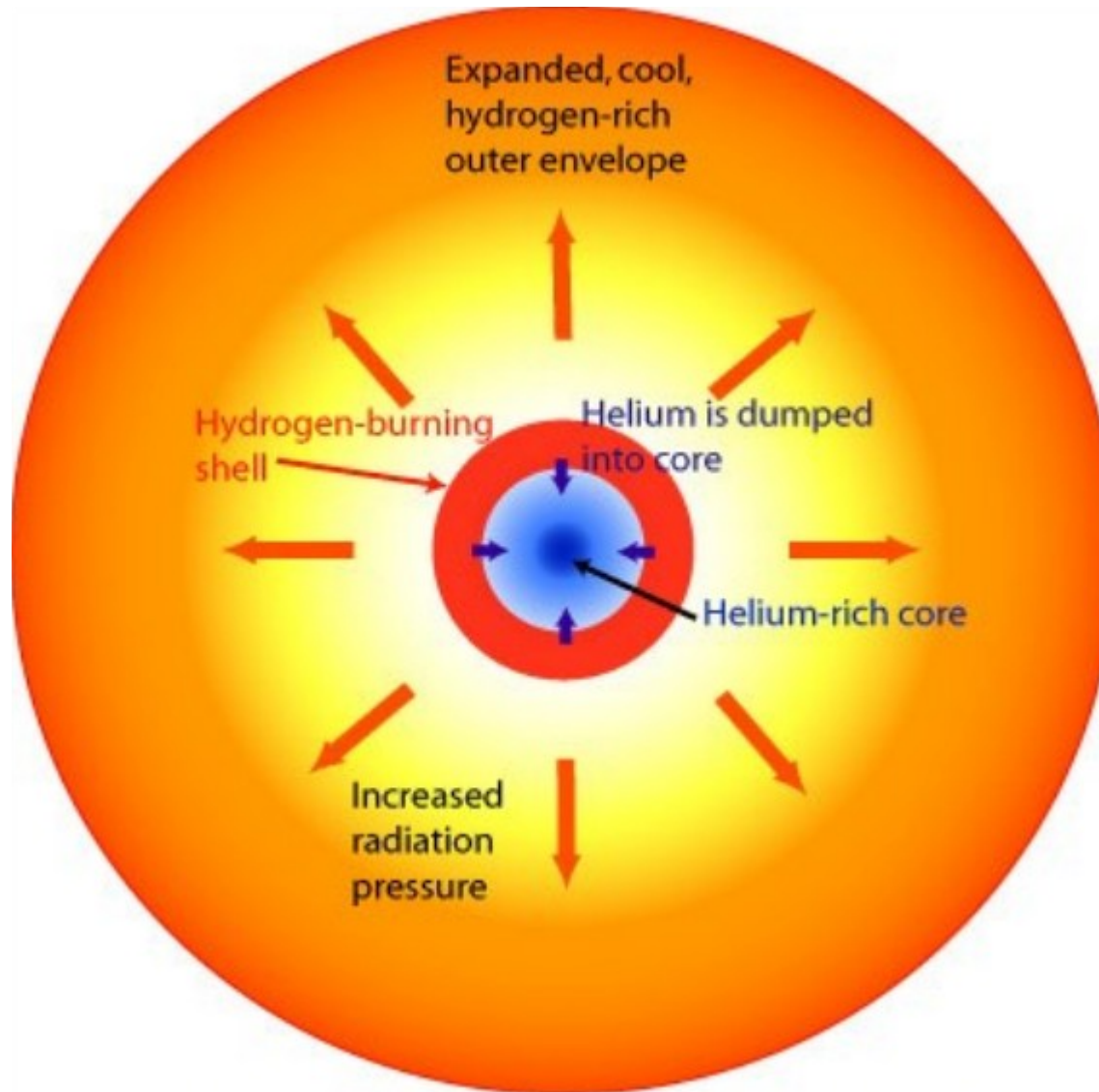
($M > 1.25 M_{\odot}$)





Gigantes

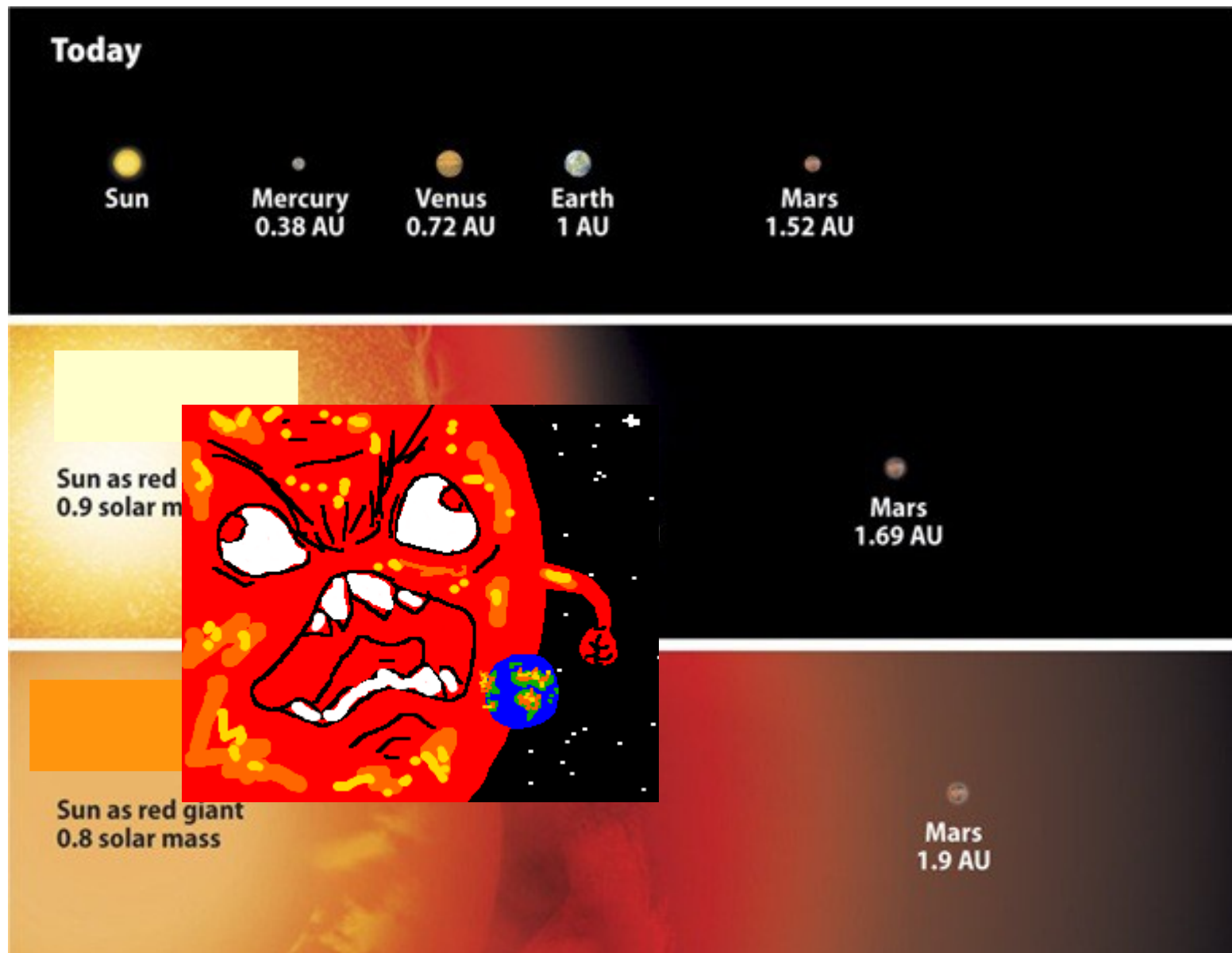
Queima de H em camada externa ao núcleo



Gigante: o futuro do Sol!

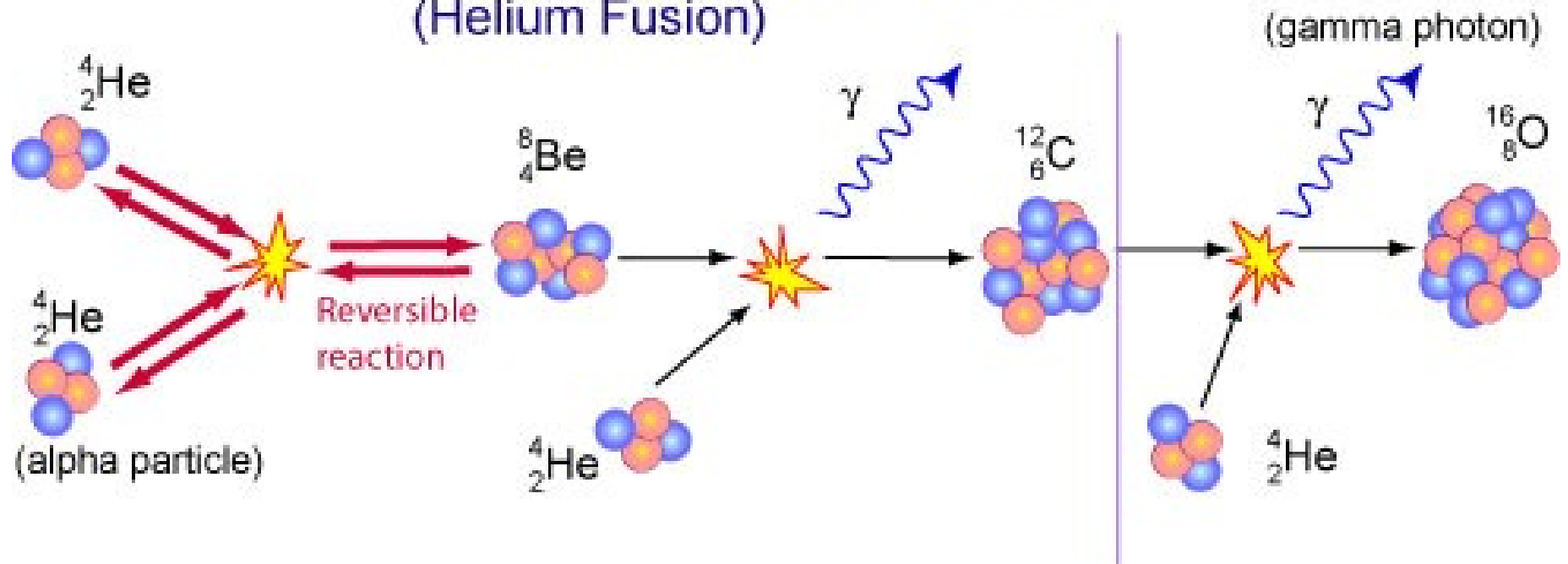


Gigante: o futuro do Sol!

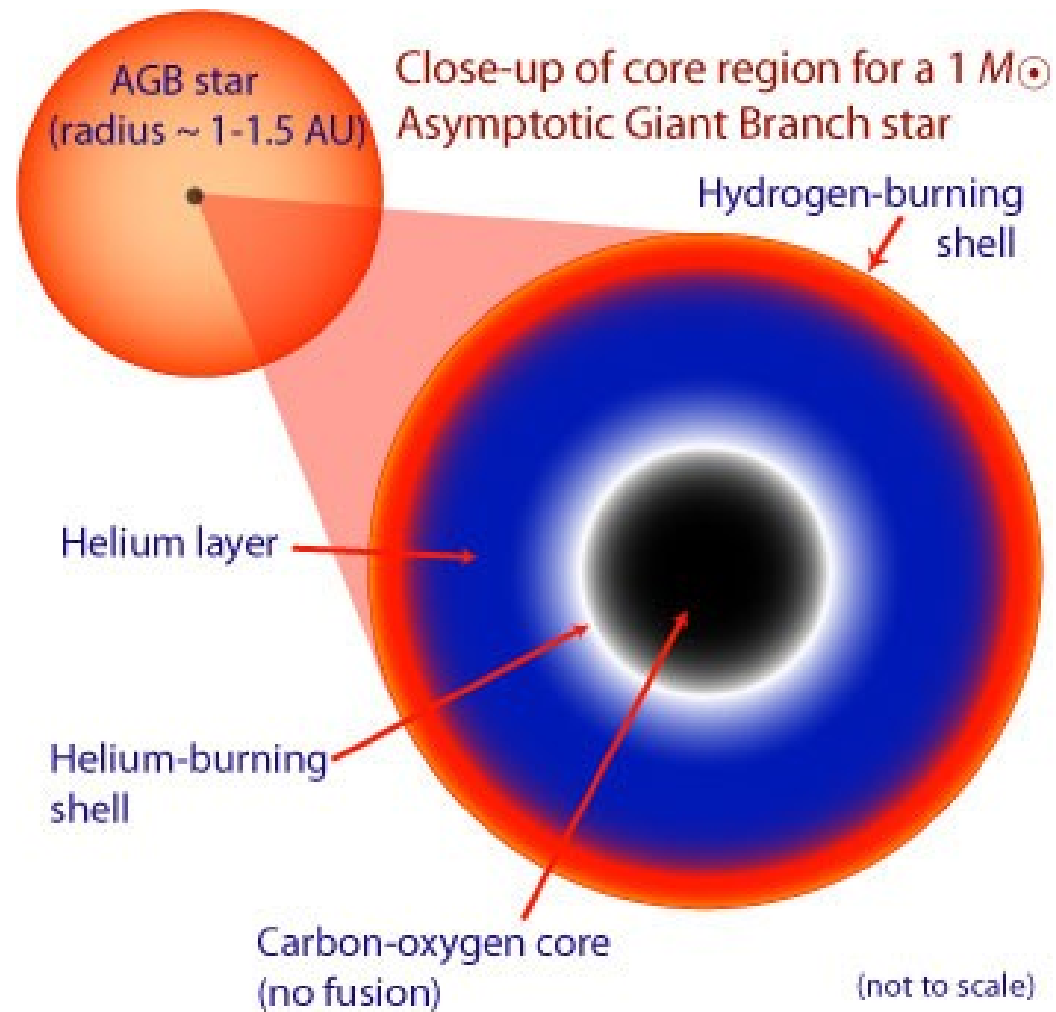


Queima de Hélio

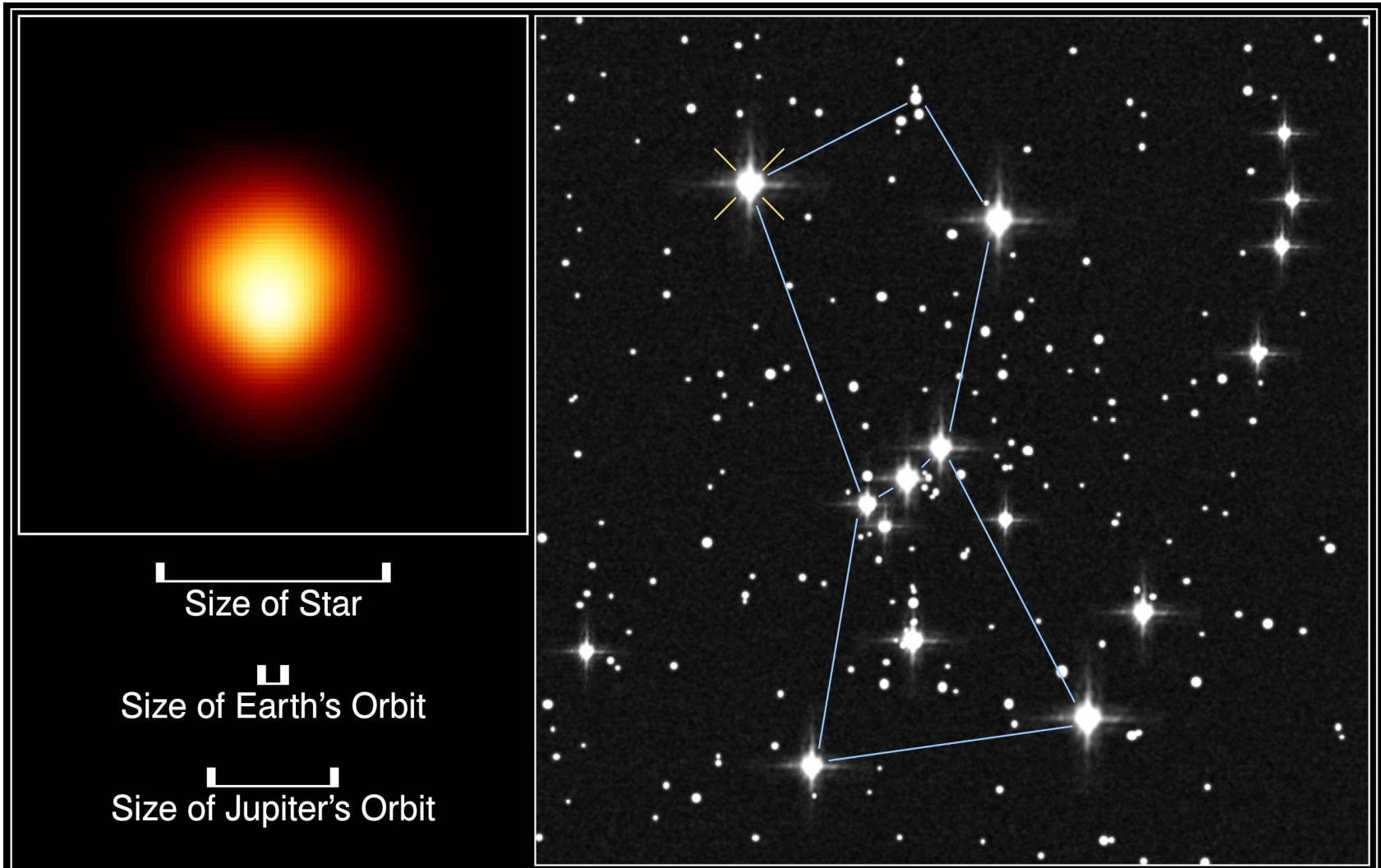
The Triple Alpha Process (Helium Fusion)



AGB: caminho para as supergigantes!



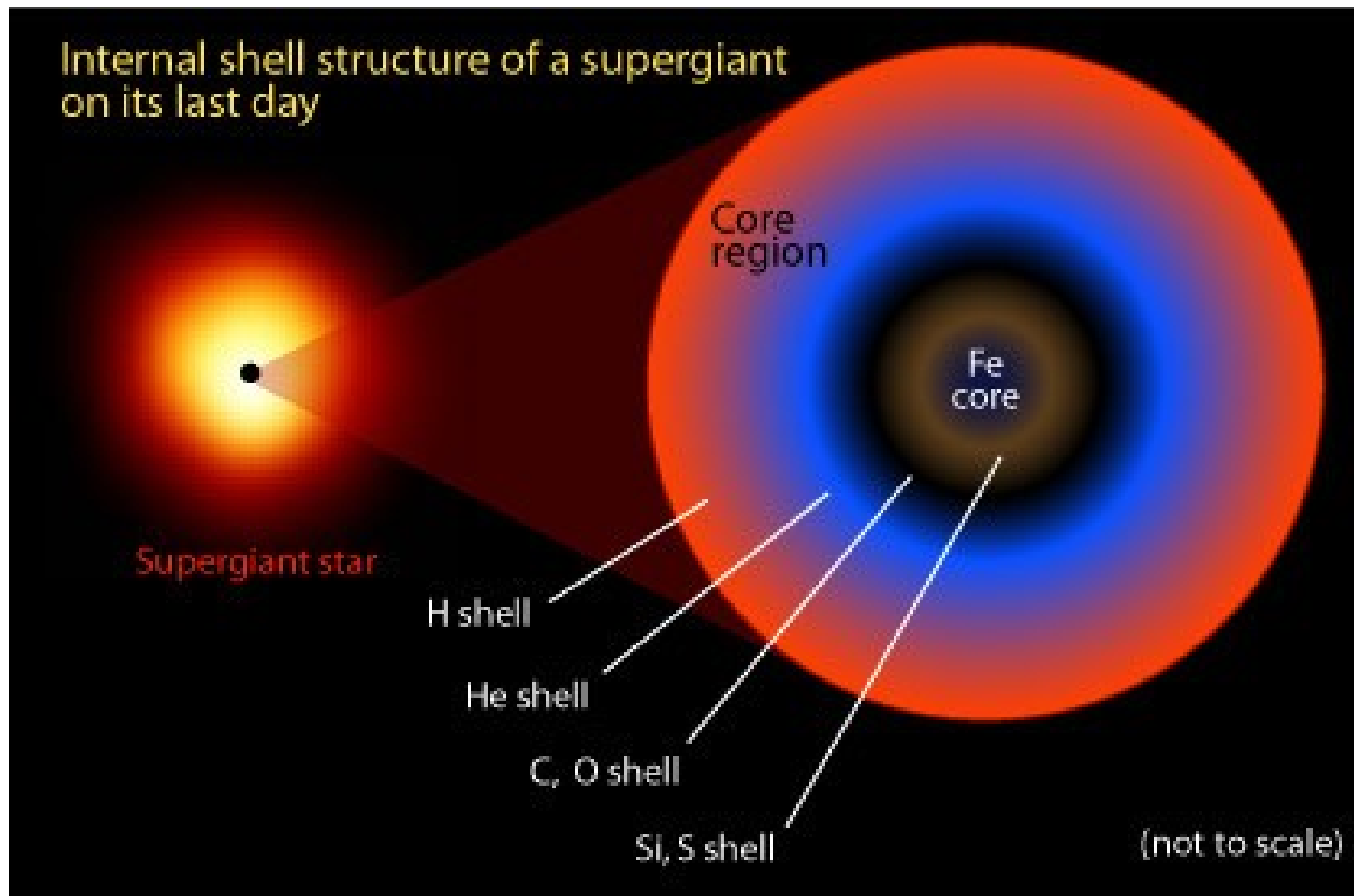
Betelgeuse – uma supergigante vermelha



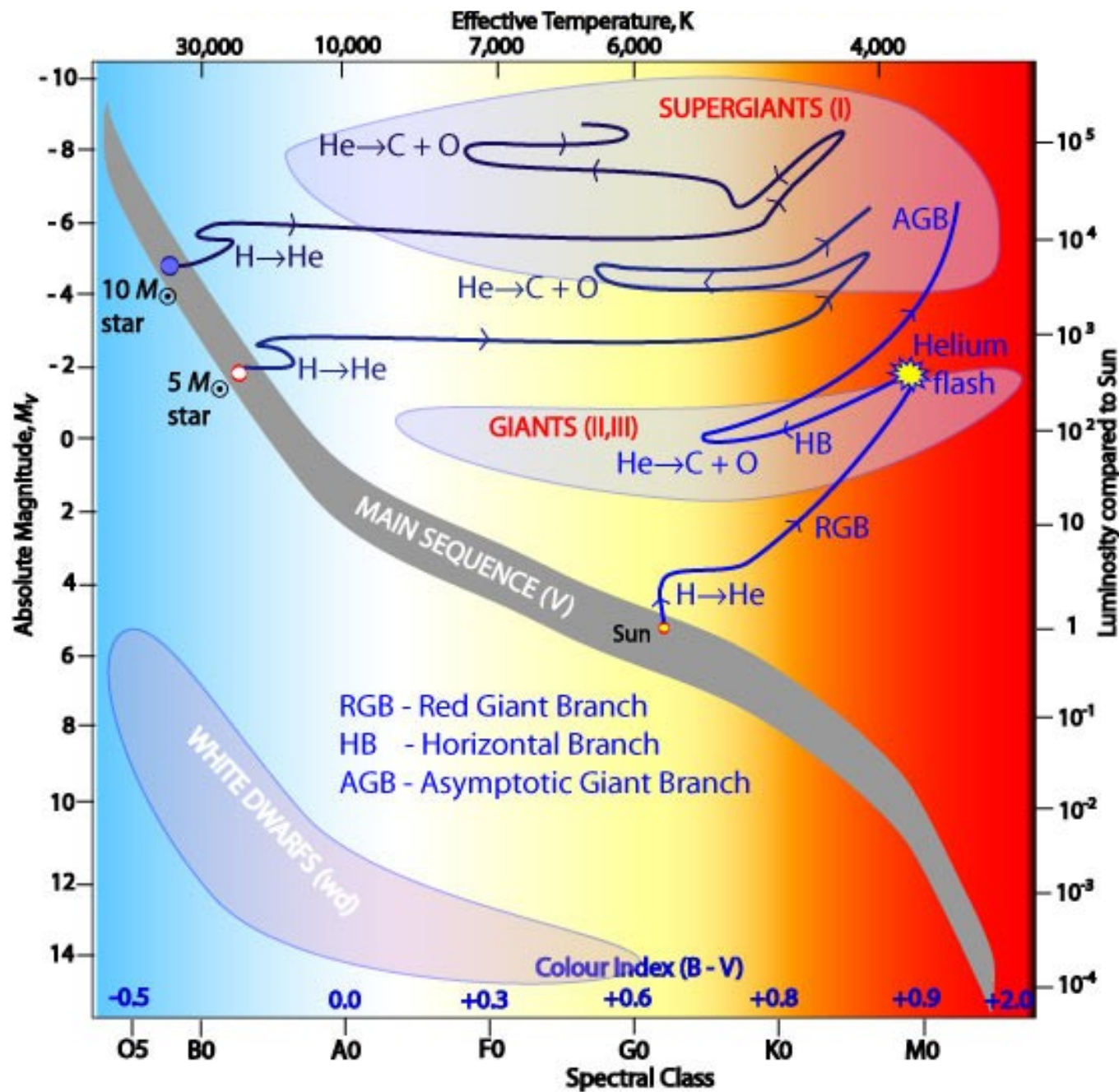
Atmosphere of Betelgeuse · Alpha Orionis

Hubble Space Telescope · Faint Object Camera

Estrutura de supergigante vermelha



Evolução Estelar



Morte de estrelas como o Sol: Nebulosas Planetárias

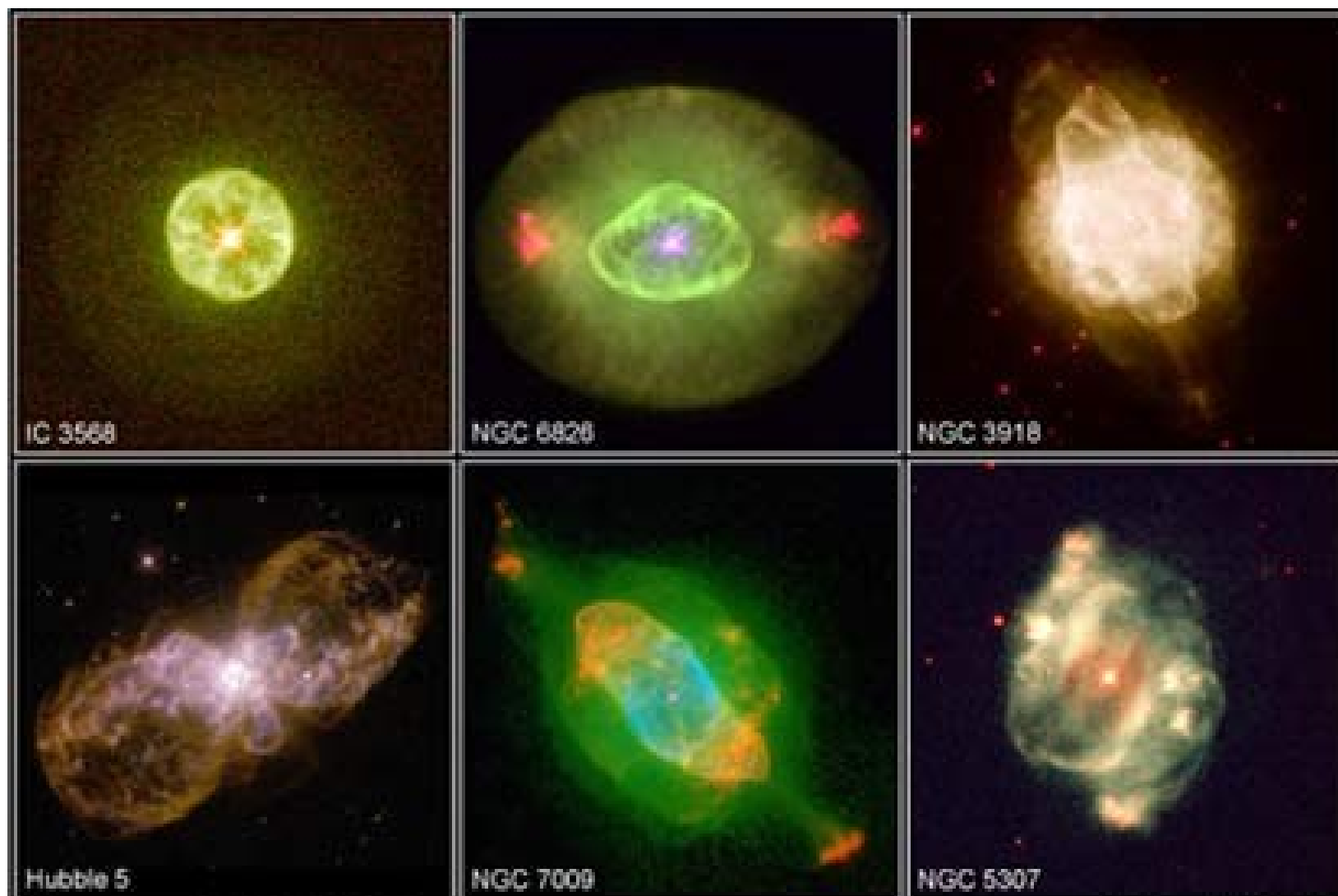


Morte de estrelas como o Sol: Nebulosas Planetárias



Nebulosa do Espirógrafo
(IC 418, na Lebre)

Galeria de Nebulosas Planetárias



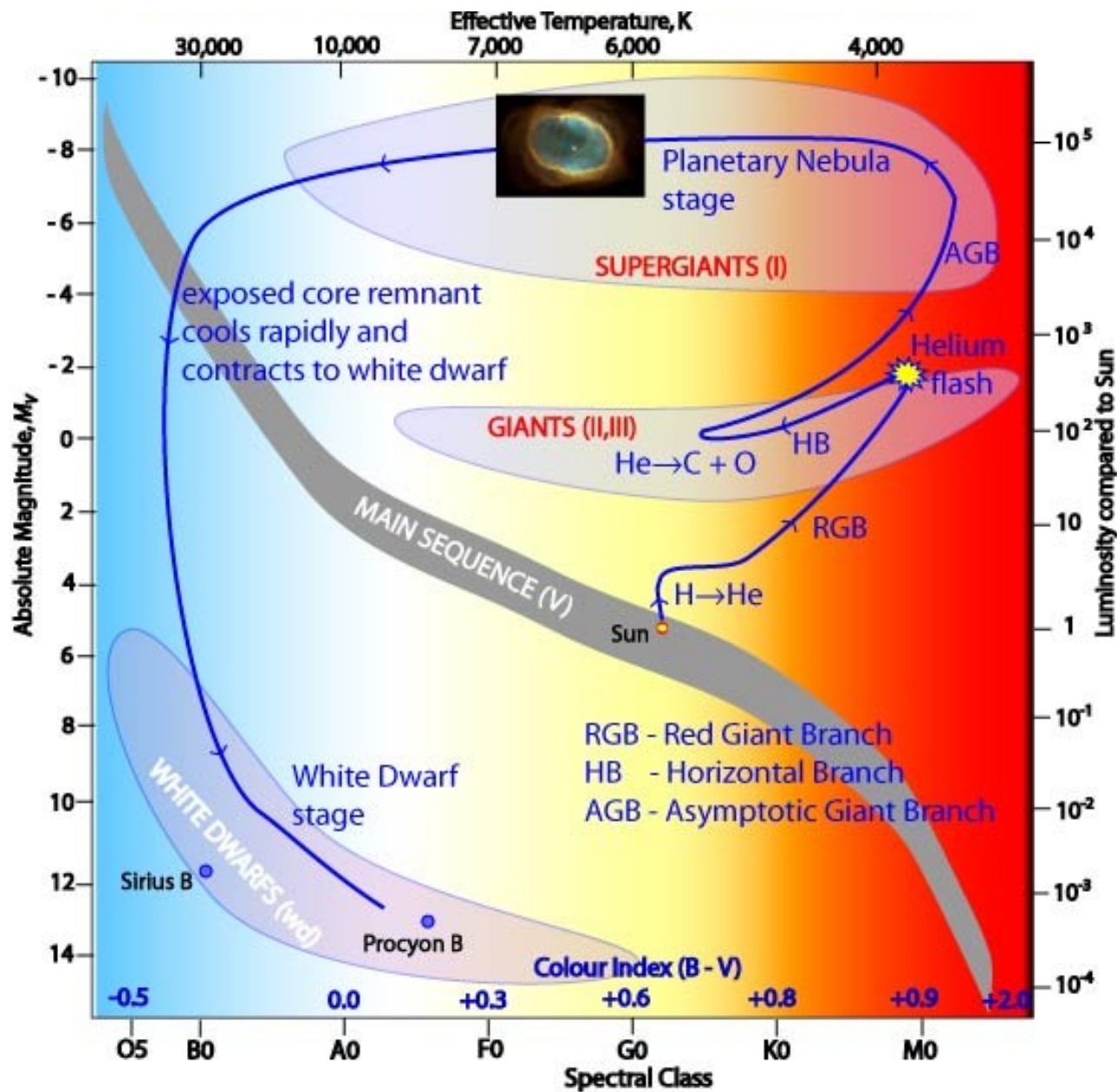
Planetary Nebula Gallery

PRC97-38b • ST ScI OPO • December 17, 1997

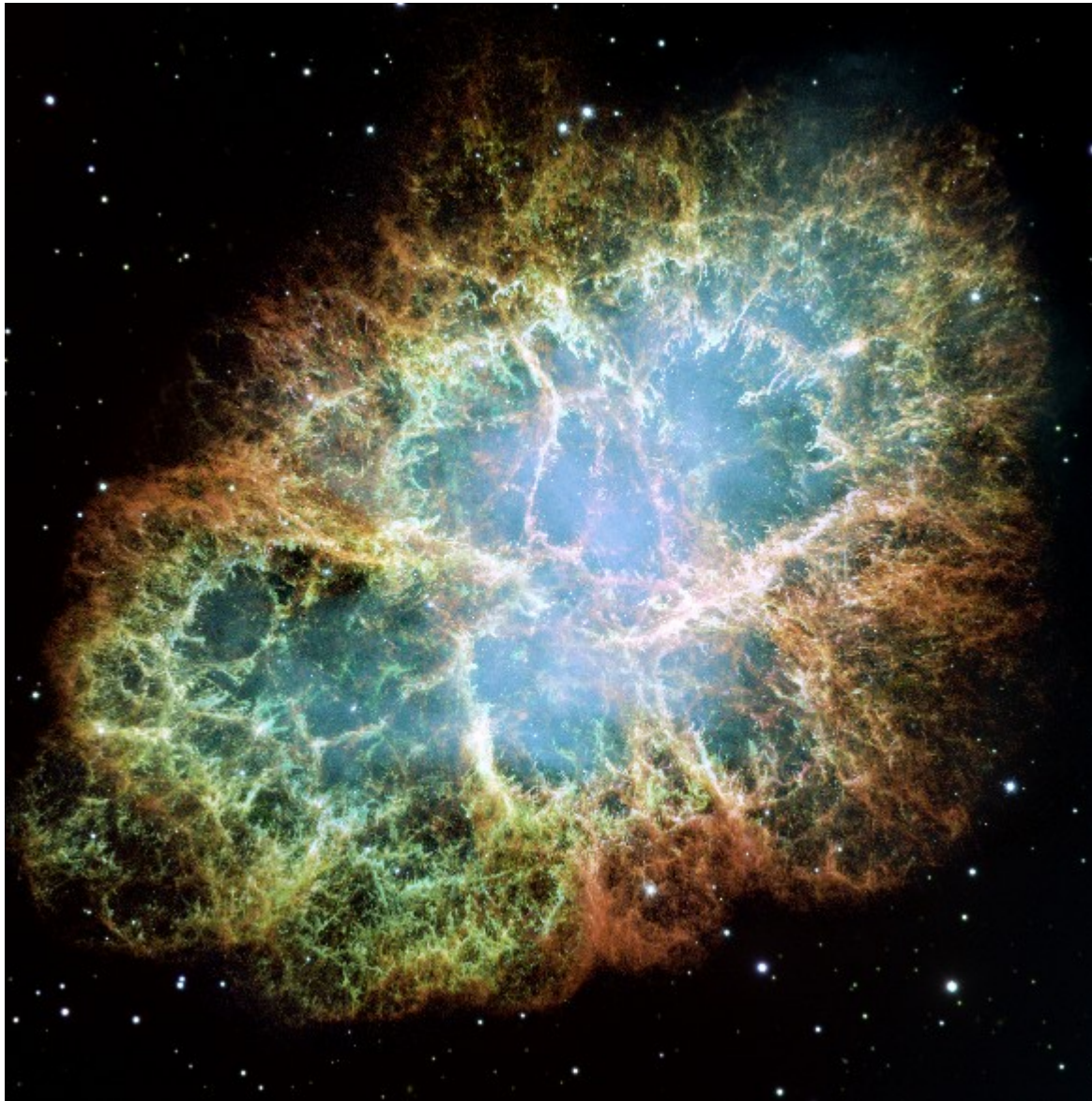
H. Bond (ST ScI), B. Balick (University of Washington) and NASA

HST • WFPC2

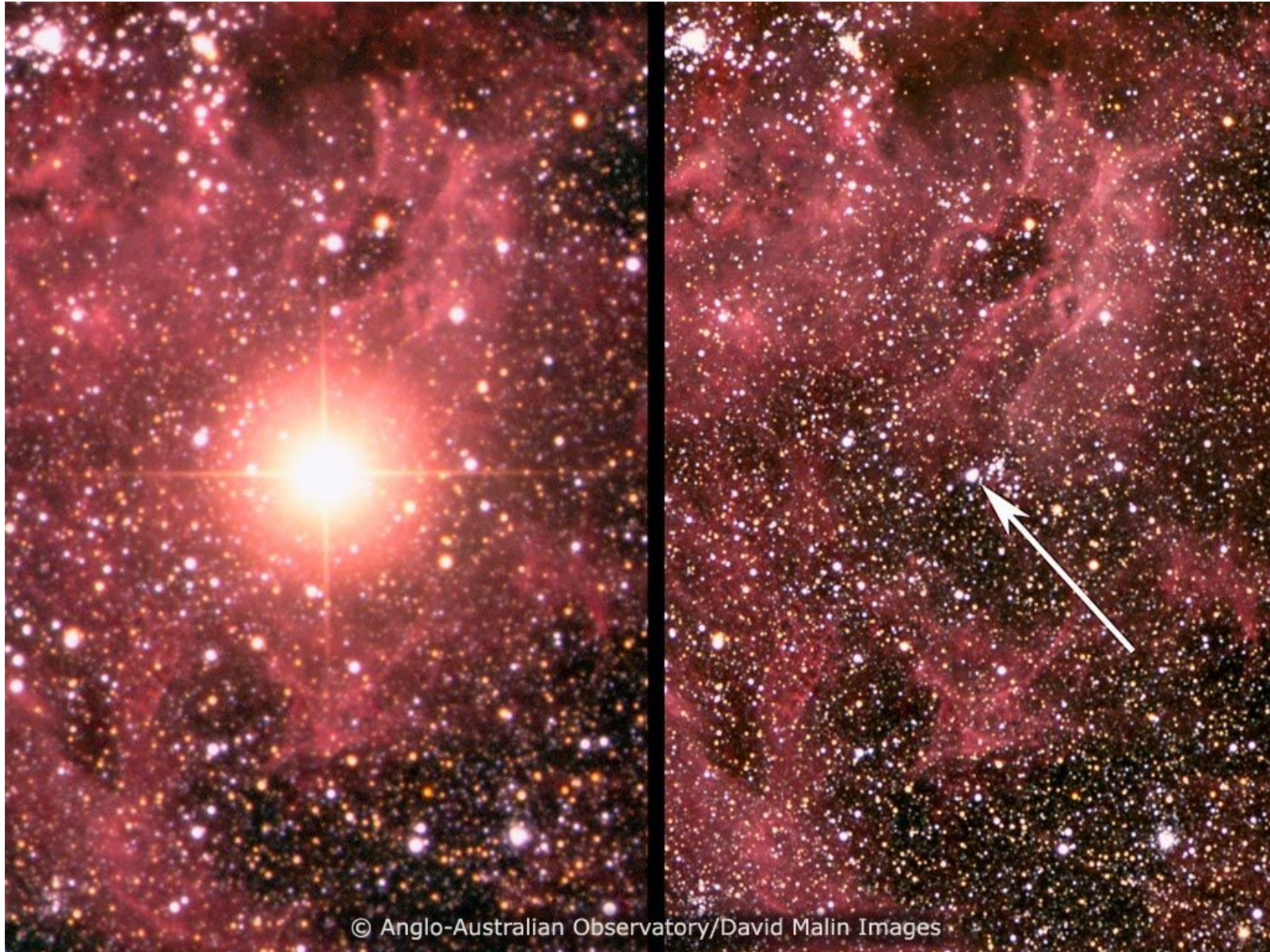
O Futuro do Sol



Morte de estrelas massivas: Supernova → Nebulosas

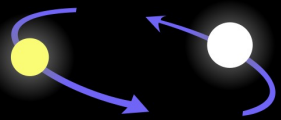


Morte de estrelas massivas: Supernova → Nebulosas

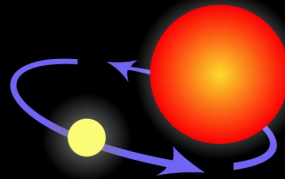


Morte de estrelas binárias: Supernova tipo Ia

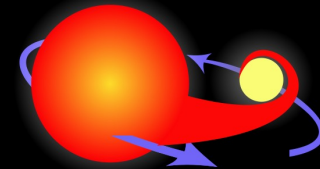
The progenitor of a Type Ia supernova



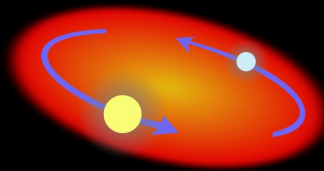
Two normal stars are in a binary pair.



The more massive star becomes a giant...



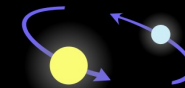
...which spills gas onto the secondary star, causing it to expand and become engulfed.



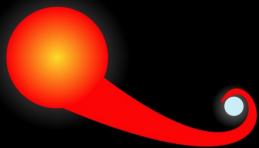
The secondary, lighter star and the core of the giant star spiral toward within a common envelope.



The common envelope is ejected, while the separation between the core and the secondary star decreases.



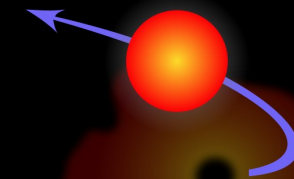
The remaining core of the giant collapses and becomes a white dwarf.



The aging companion star starts swelling, spilling gas onto the white dwarf.



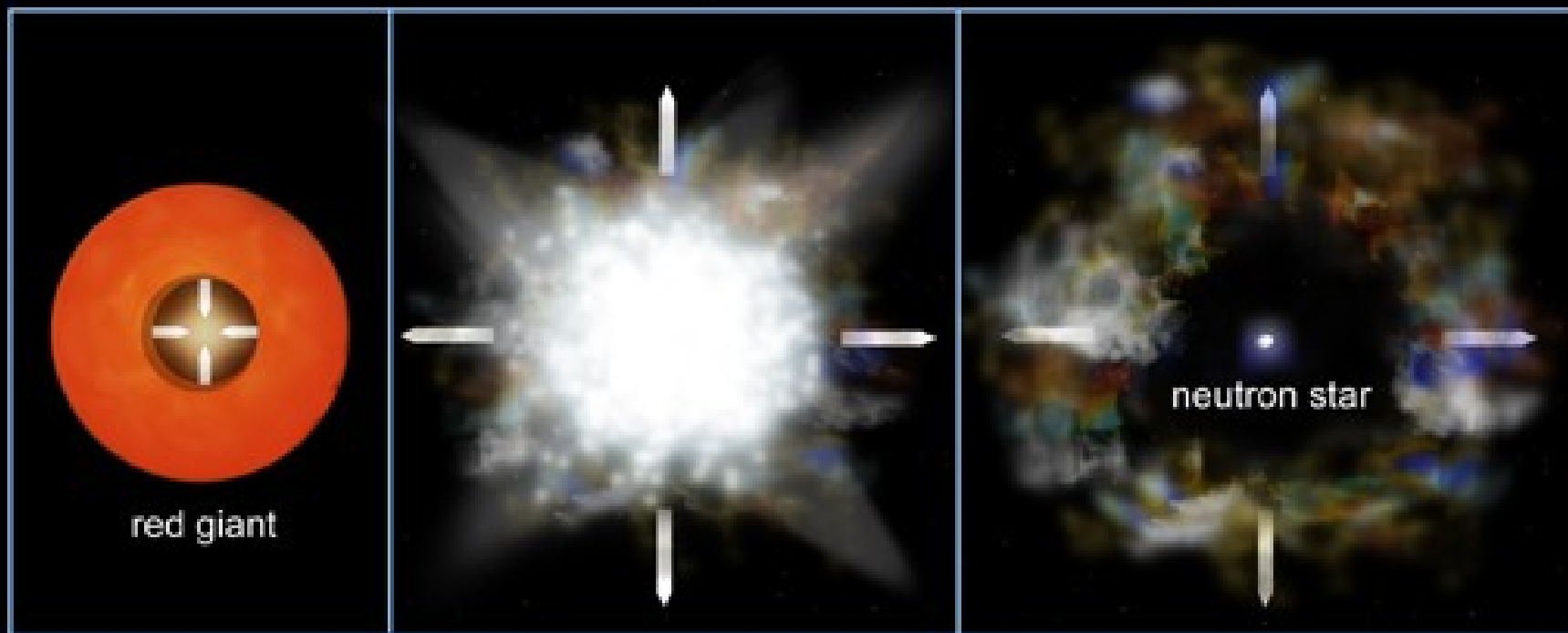
The white dwarf's mass increases until it reaches a critical mass and explodes...



...causing the companion star to be ejected away.

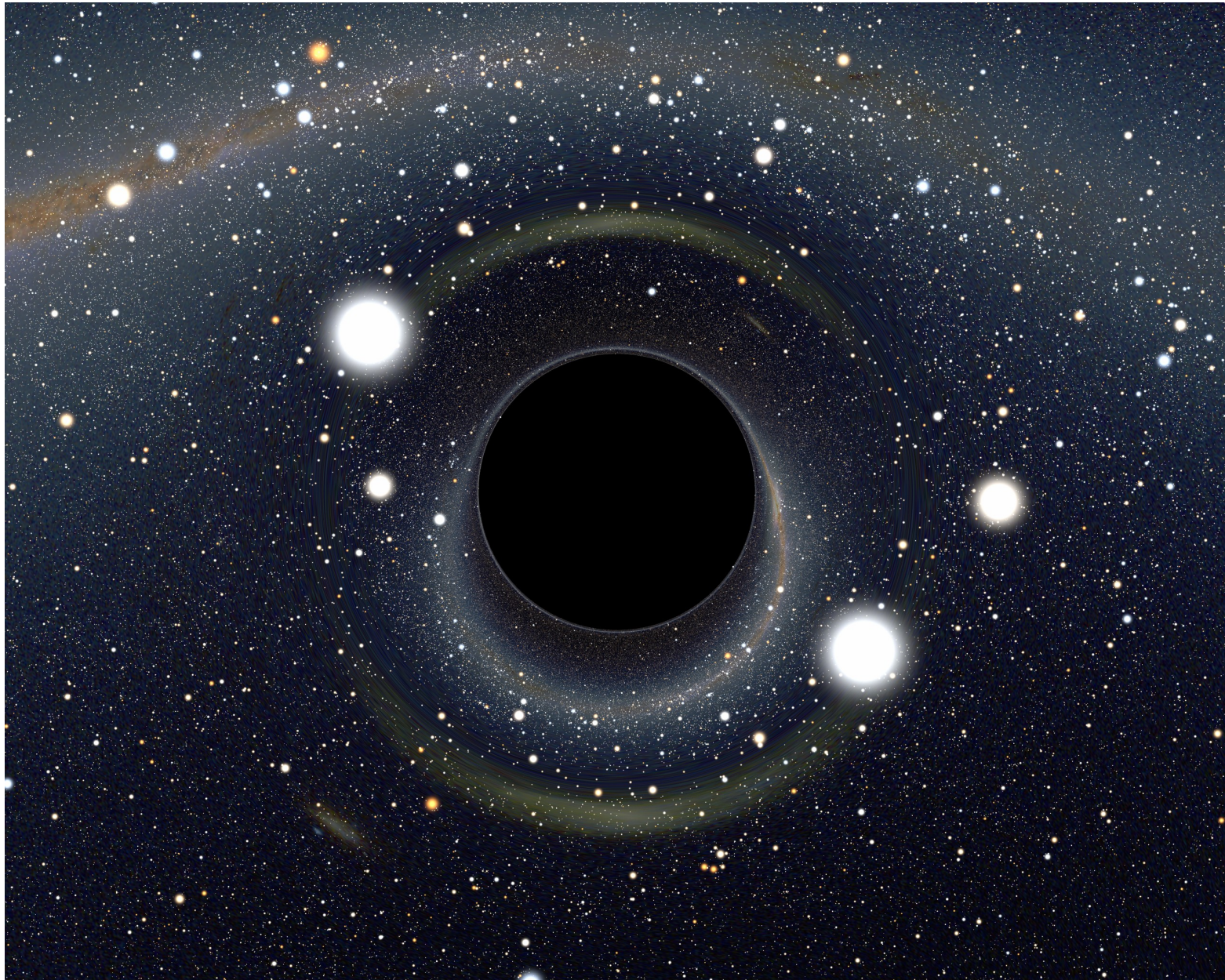
Supernova → Estrela de Nêutrons

Birth of a Neutron Star and Supernova Remnant (not to scale)



Core Implosion → Supernova Explosion → Supernova Remnant

Supernova → Buraco Negro



Evolução Estelar

0.08 < M < 0.45 M_{sol}

Protoestrela

H → He



Gigante vermelha
(He)



Anã Branca
(He)



0.45 < M < 8 M_{sol}

H → He



Gigante vermelha
(He)



SuperGigante
vermelha



He → C, O

Nebulosa Planetária



Anã Branca
(C, O)



8 < M < 25 M_{sol}

H → He

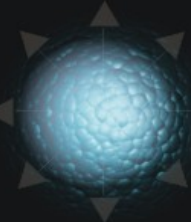


He → C, O → Na → Mg → Si, S



Fe

Supernova



Estrela de
Neutrons



25 < M < 100 M_{sol}

H → He

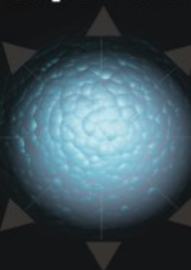


Estrela
Wolf - Rayet



Fe

Supernova



Buraco Negro



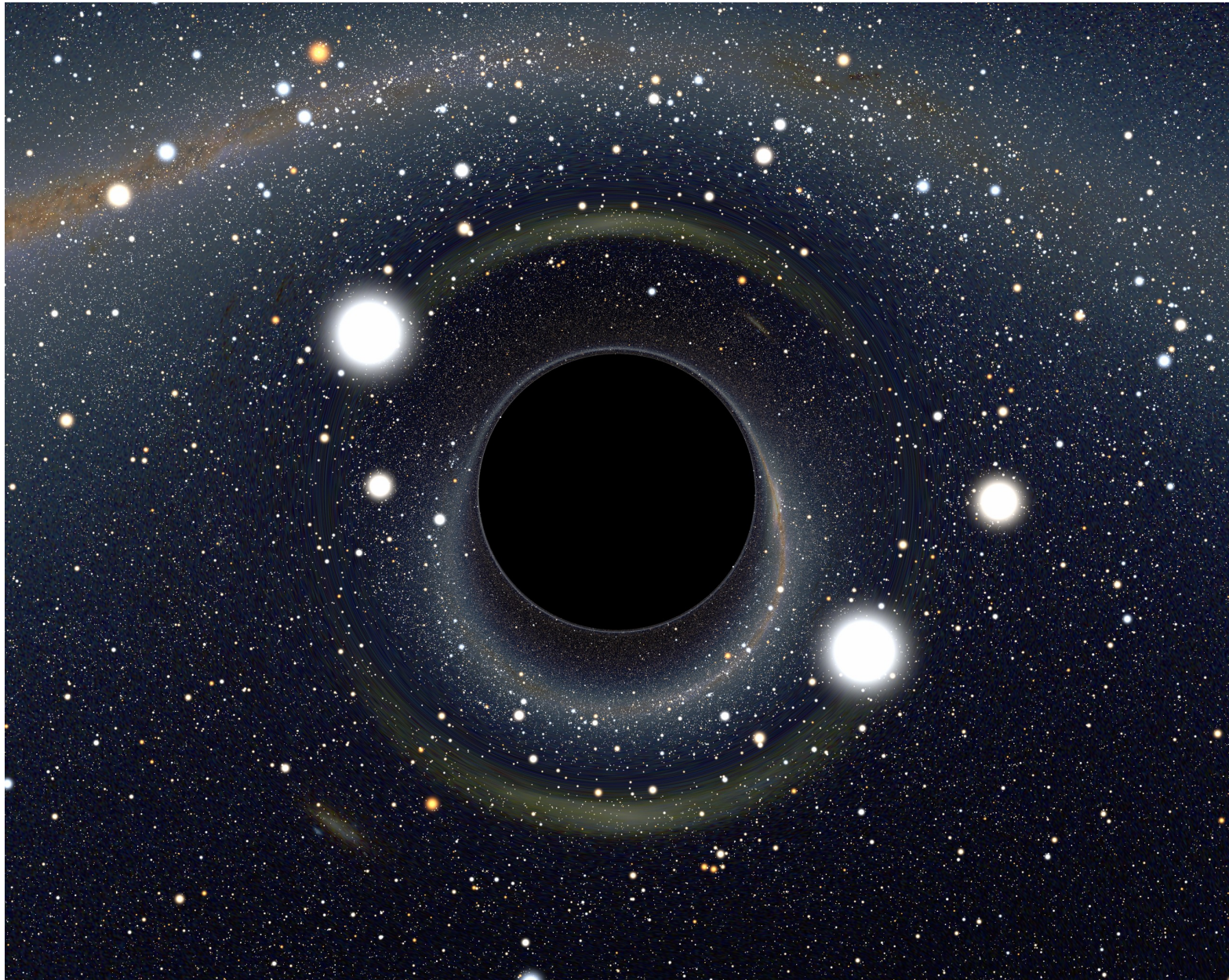
Tempo (sem escala)

Estrelas Wolf-Rayet



Perda muita massa
devido a fortes
ventos estelares

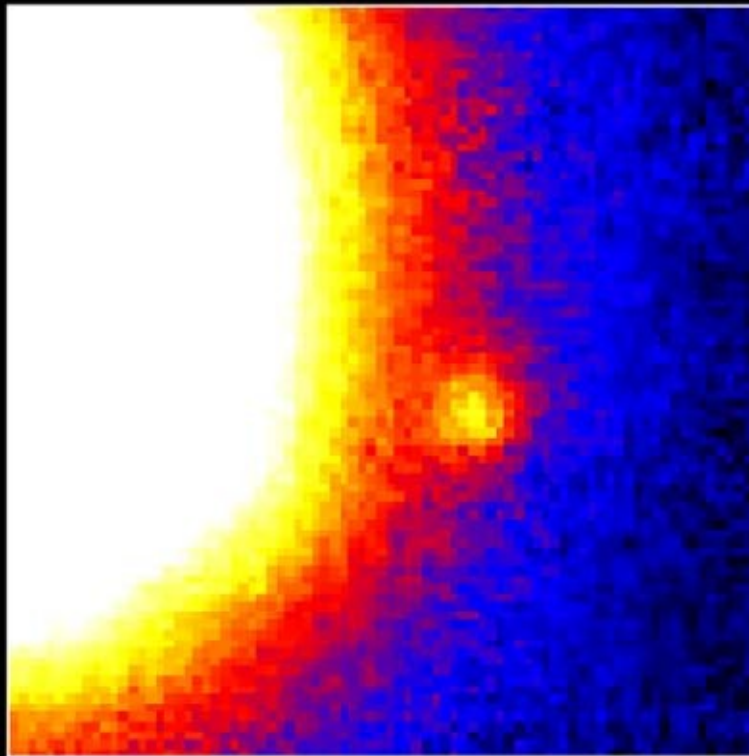
Supernova → Buraco Negro



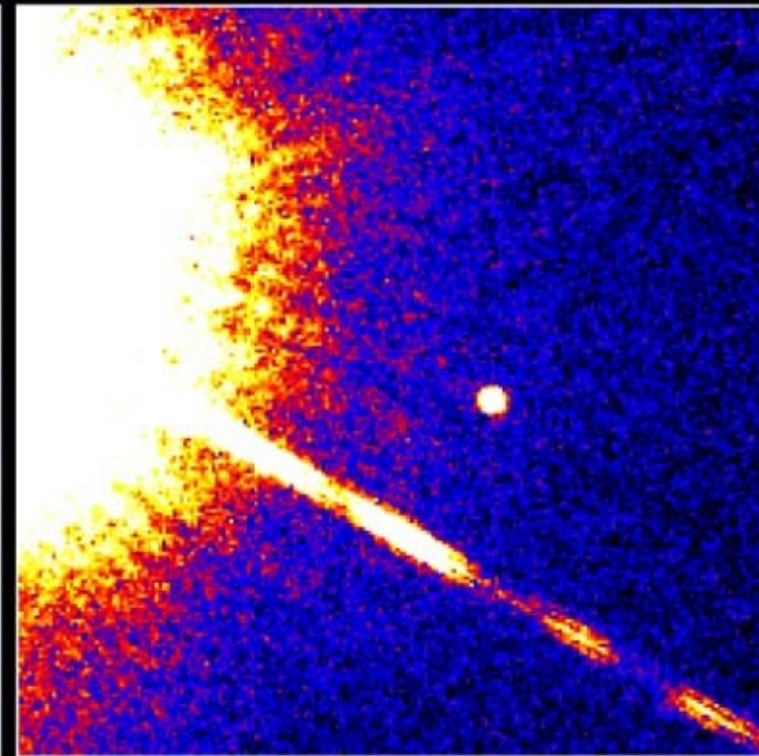
Anãs Marrons

Estrelas que não deram certo... $M < 0.08 M_{\odot}$

Brown Dwarf Gliese 229B



Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2
November 17, 1995

PRC95-48 · ST ScI OPO · November 29, 1995

T. Nakajima and S. Kulkarni (CalTech), S. Durrance and D. Golimowski (JHU), NASA