



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica

ESTRELAS – AULA 1

Flavio D'Amico
flavio.damico@inpe.br

estas aulas são de autoria de Hugo Vicente Capelato

Apresentação formal

- ▶ Eu sou *Técnico* em alguma coisa pelo Colégio Macedo Soares, Volta Redonda (RJ), 1983-1985.
- ▶ Eu sou *Bacharel em Física* pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 1986-1989.
- ▶ *Mestre em Astrofísica* pelo INPE, 1990-1992 – Telescópio de raios-X
- ▶ *Doutor em Astrofísica*, INPE, 1992-1997 – Telescópio de raios-X
- ▶ Eu fiz meu pós-doutoramento na *University of California at San Diego – UCSD* entre 1999 e 2001 usando dados em raios X do *RXTE*
- ▶ O que eu ando fazendo atualmente ?

Apresentação INformal

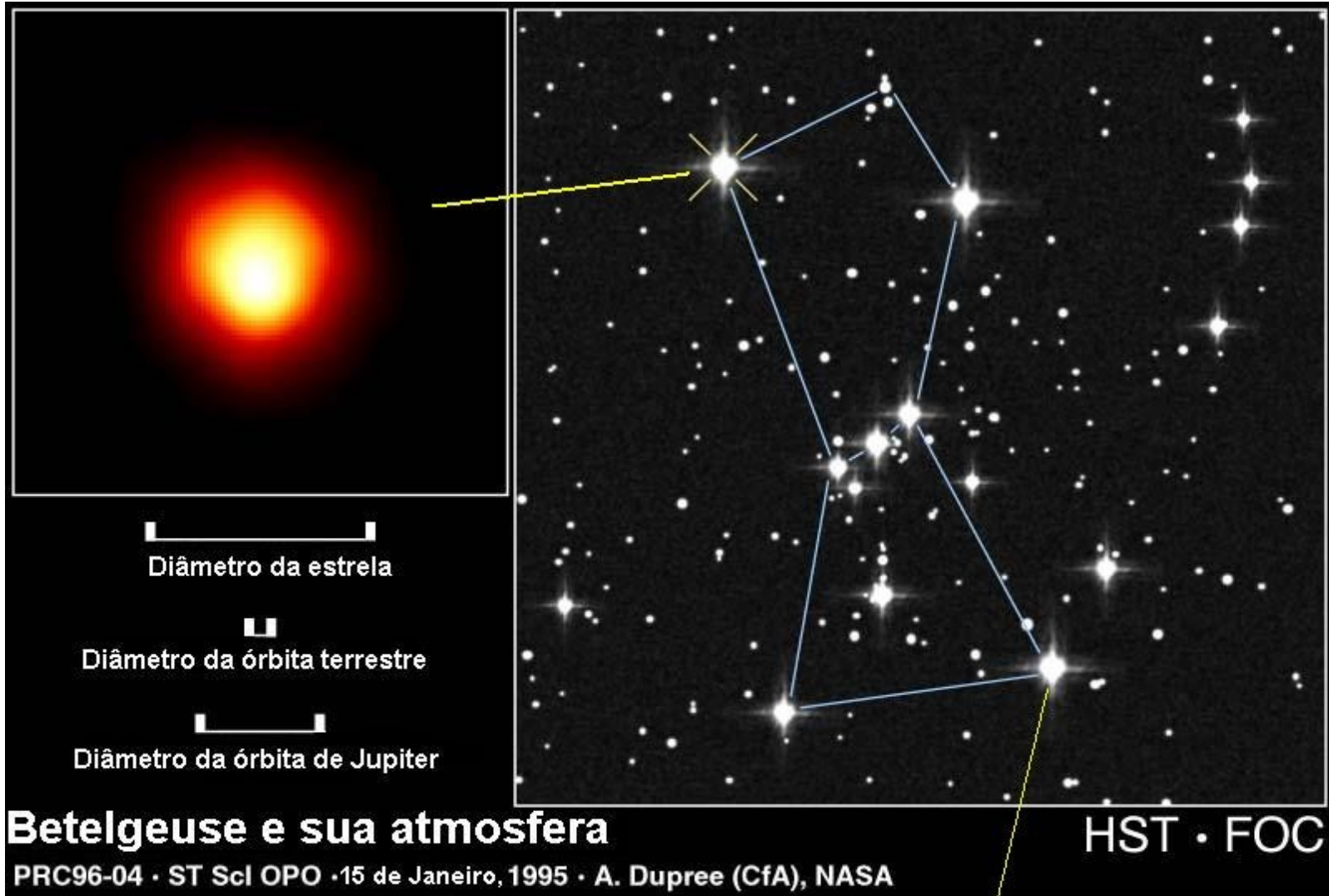




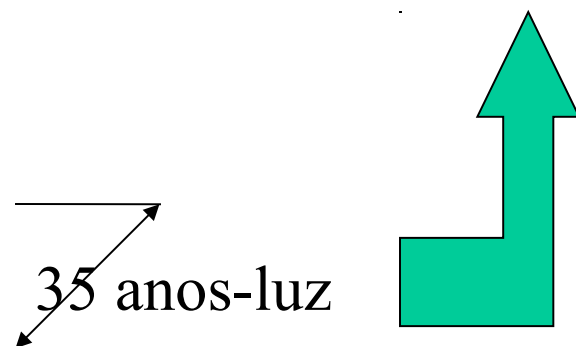
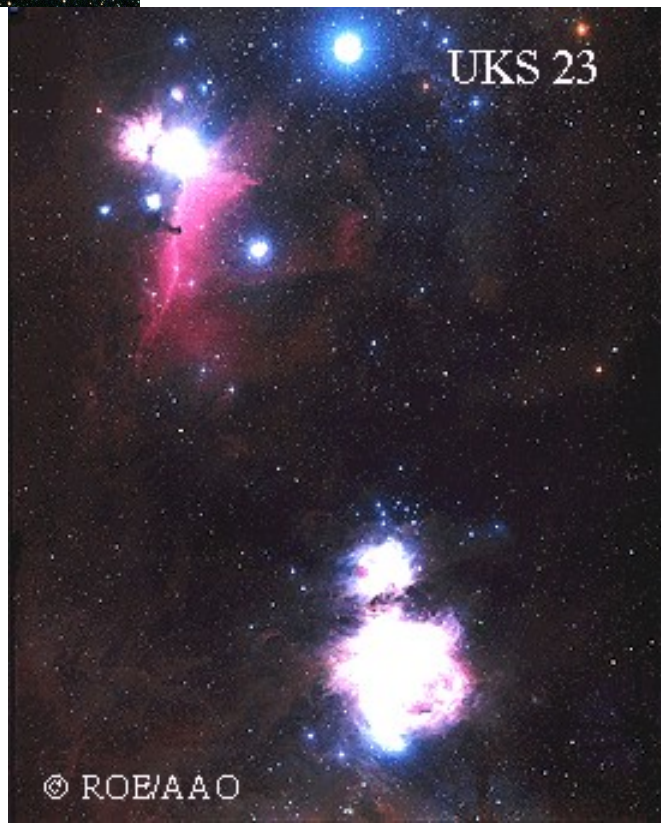
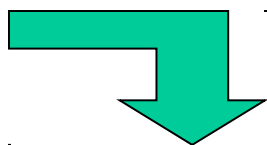
A Constelação de Orion e as 3 Marias

super

Betelgeuse: uma estrela ↑ Gigante Vermelha (distância = 510 anos-luz)



Rigel (distância = 910 anos-luz)

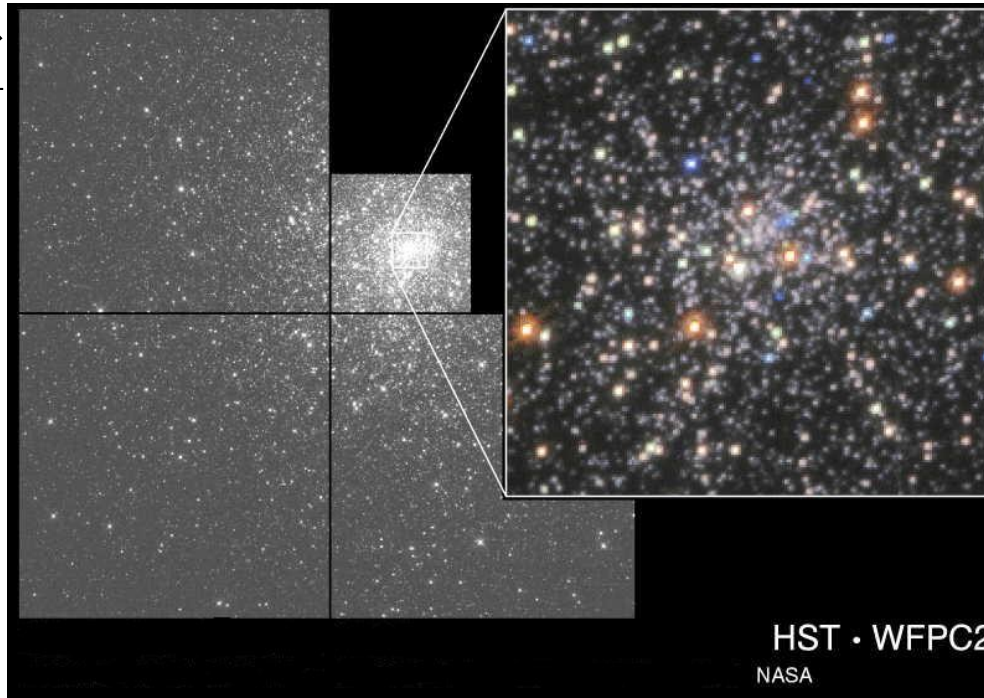
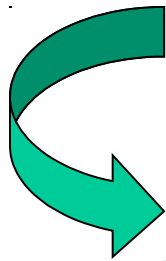
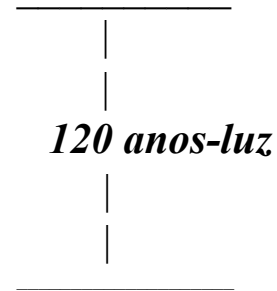


Aglomerado de Estrelas (*aglomerado globular*)

aproximadamente 10.000 estrelas

M15

(*catálogo Messier no.15*)



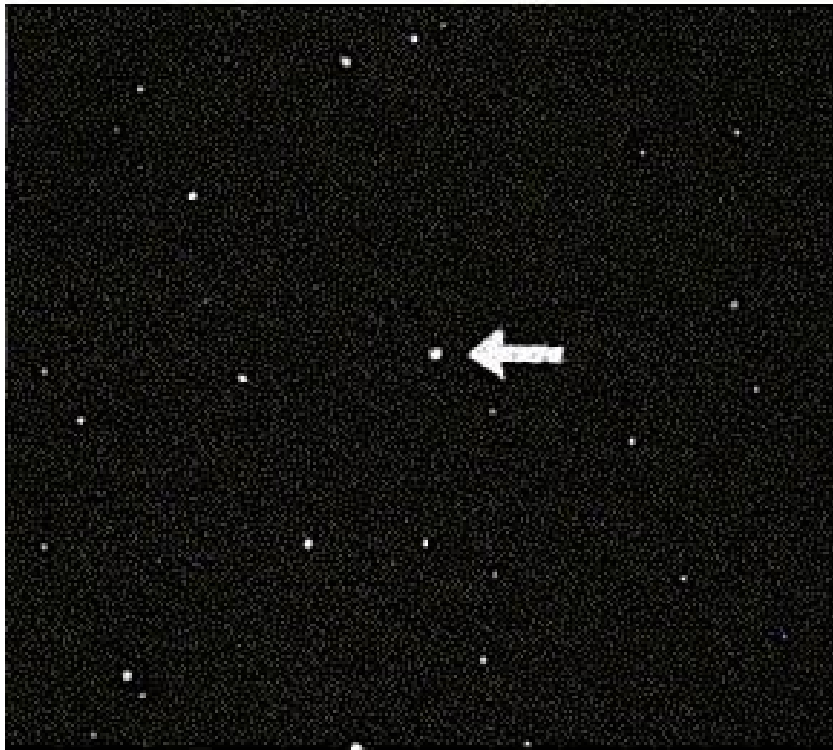
Aglomerado de estrelas jovens – as Plêiades (M45)



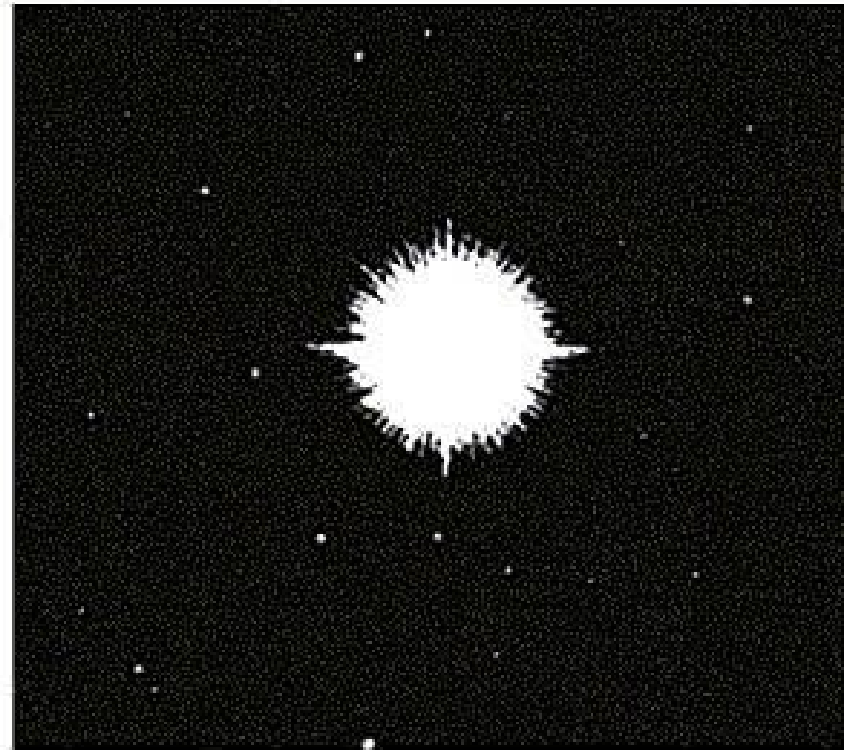
M45 © Royal Observatory Edinburgh/Anglo-Australian Observatory
Photograph from UK Schmidt plates by David Malin

As estrelas podem explodir !!!

antes...



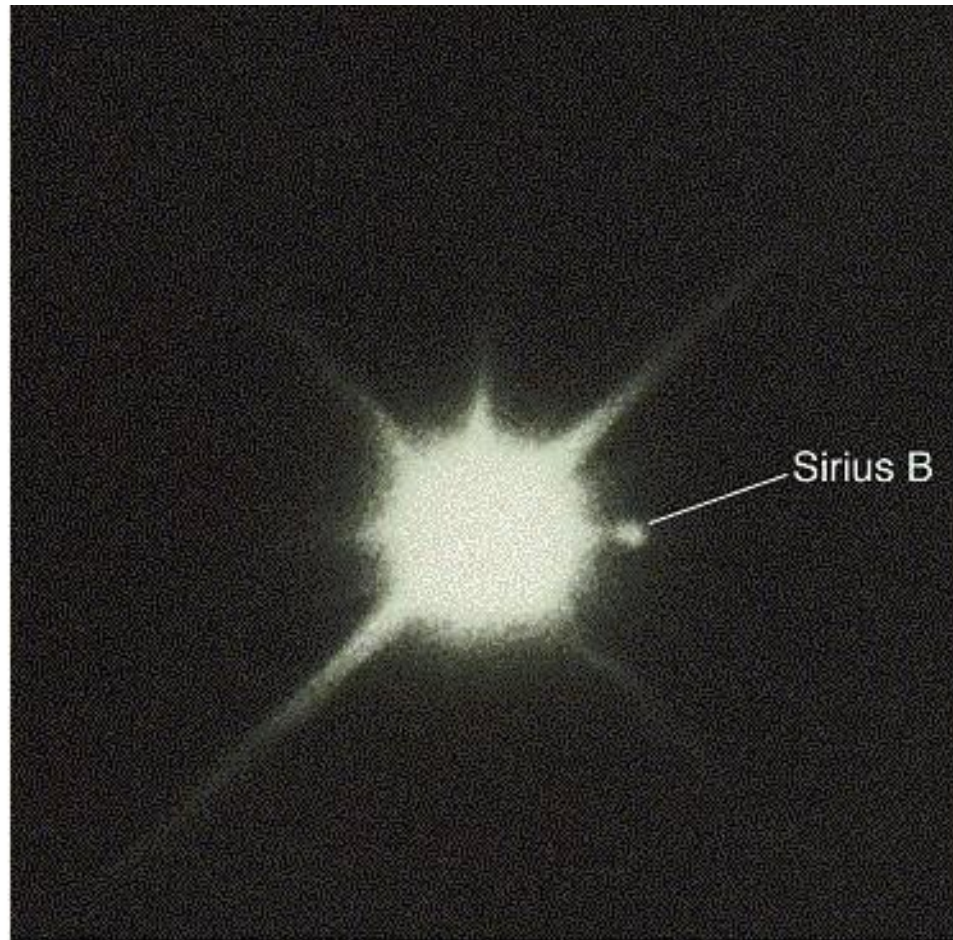
bummmm....





Estrelas Anãs-Branças:

a massa do Sol concentrada num volume igual à Terra.



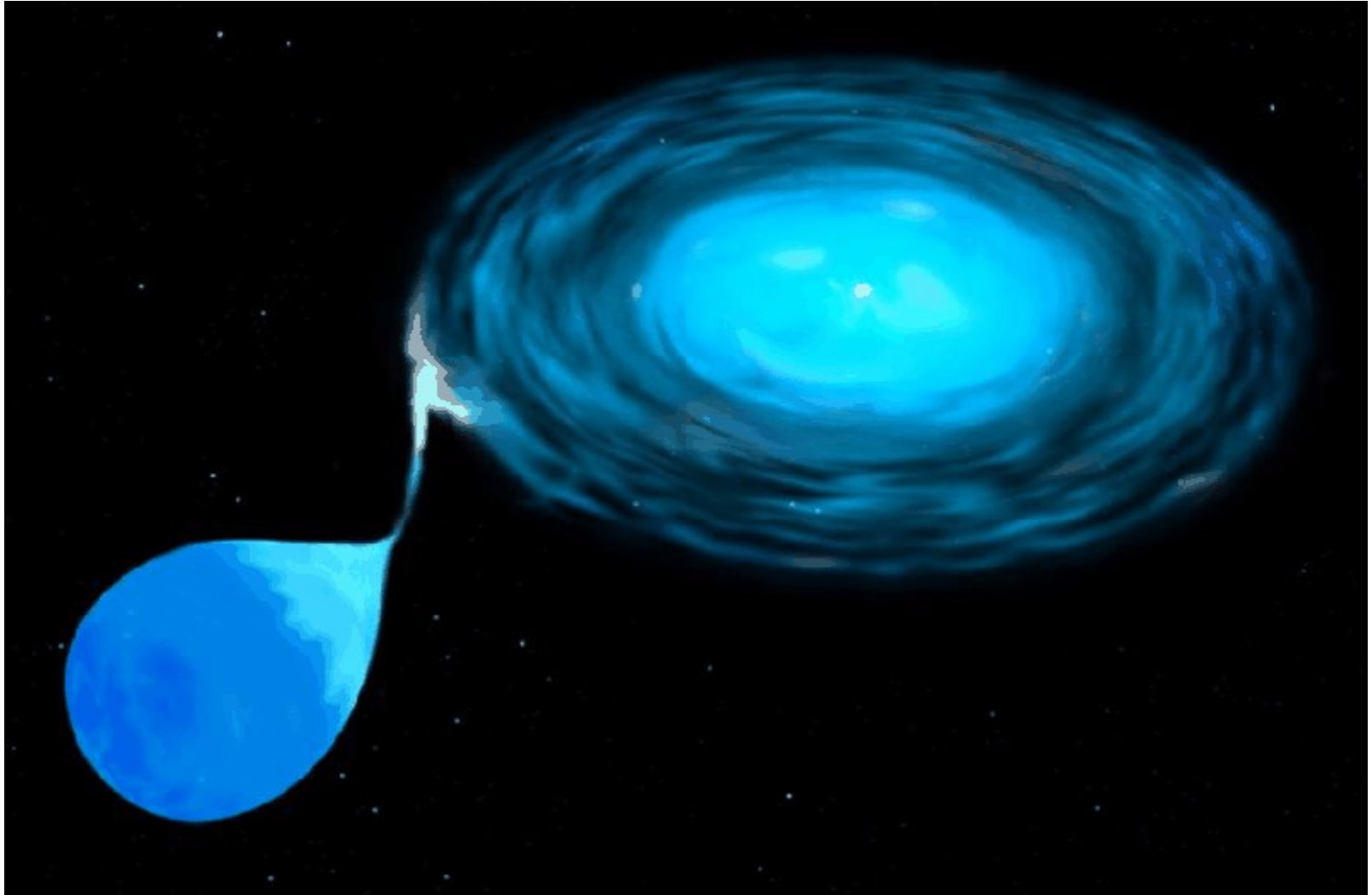
Sirius = A+B

[*período de rotação ~ 50 anos*]

Coisas esdrúxulas podem acontecer: **estrelas binárias de acréscimo**

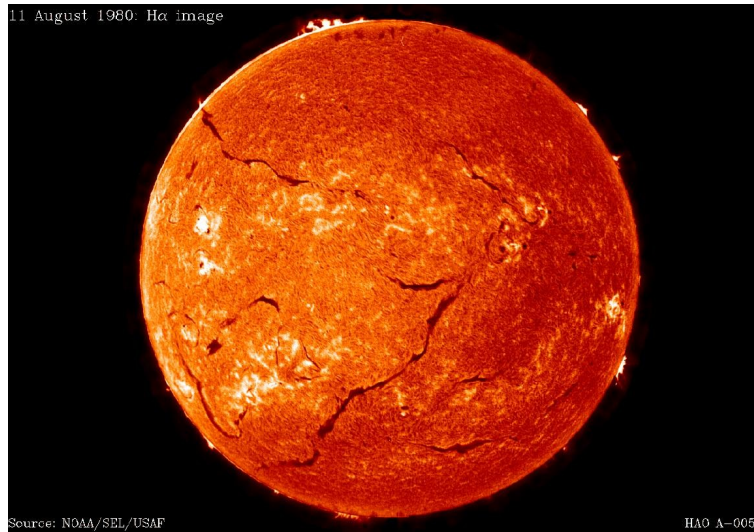
(visão do artista)

...situações explosivas...

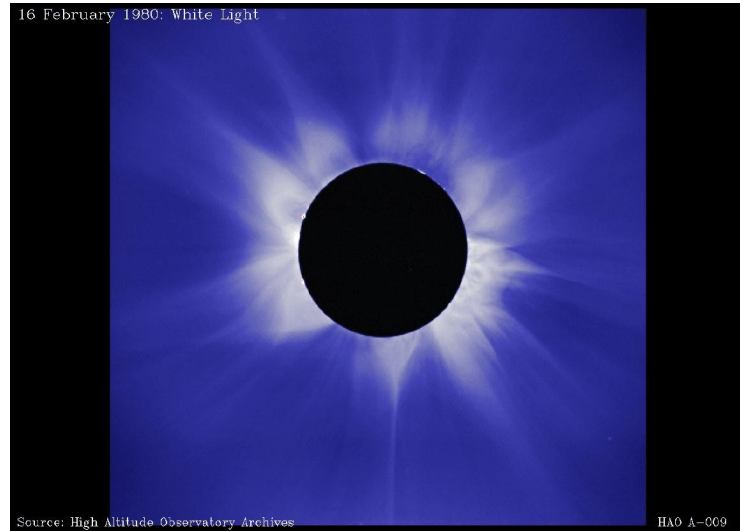
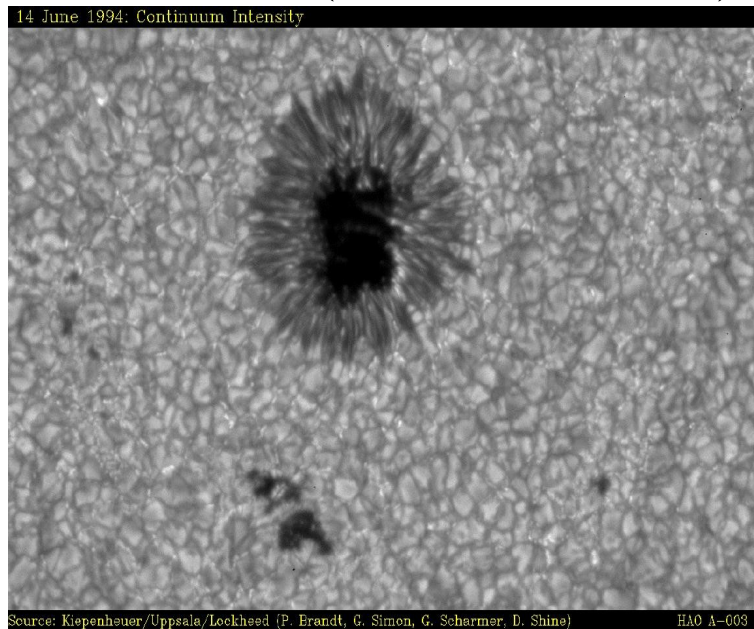


Período de rotação ~ **horas!** (*ou menos ainda!!!*)

O Sol sob vários “pontos de vista”...



na luz vermelha (0,66 microm = H α)



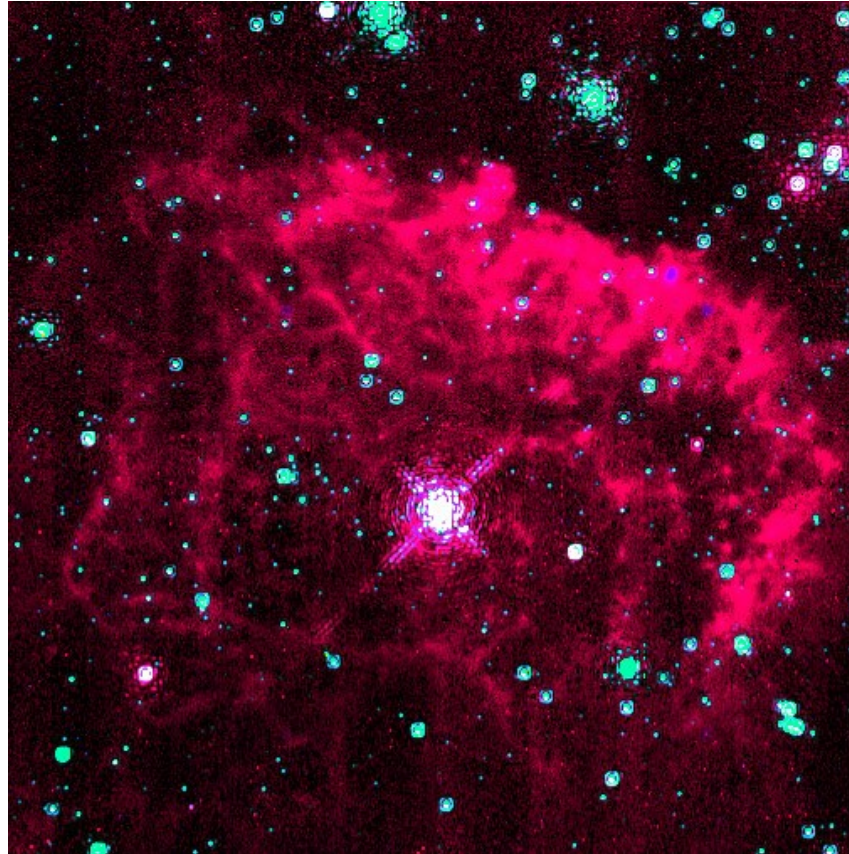
A coroa solar (vista durante eclipse...)



Uma estrela supermassada

Massa = 100 - 200 Massas solares

Luminosidade = 10 milhões x luminosidade solar



...mas só pode ser vista na luz Infravermelho: a estrela está escondida no interior de uma grande nuvem molecular

As principais etapas do conhecimento da natureza:

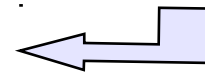
- Ordenar e classificar o objeto de seu estudo.

A partir dos observáveis disponíveis !

- procurar entender e descrever a classificação como manifestação de processos mais elementares e gerais.

Novos observáveis e novos processos são propostos

- Re-ordenar e classificar o objeto de estudo



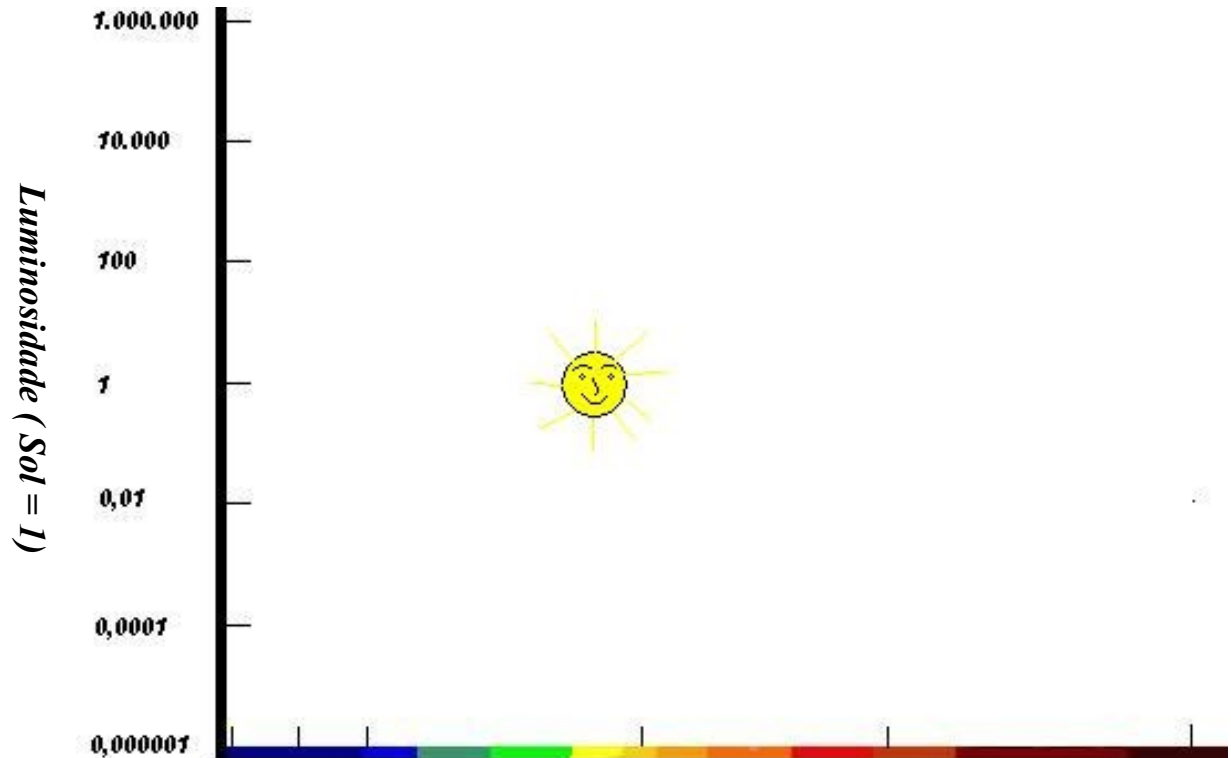
•
•
•
•
•

(Processo ~ Teoria)

observáveis!

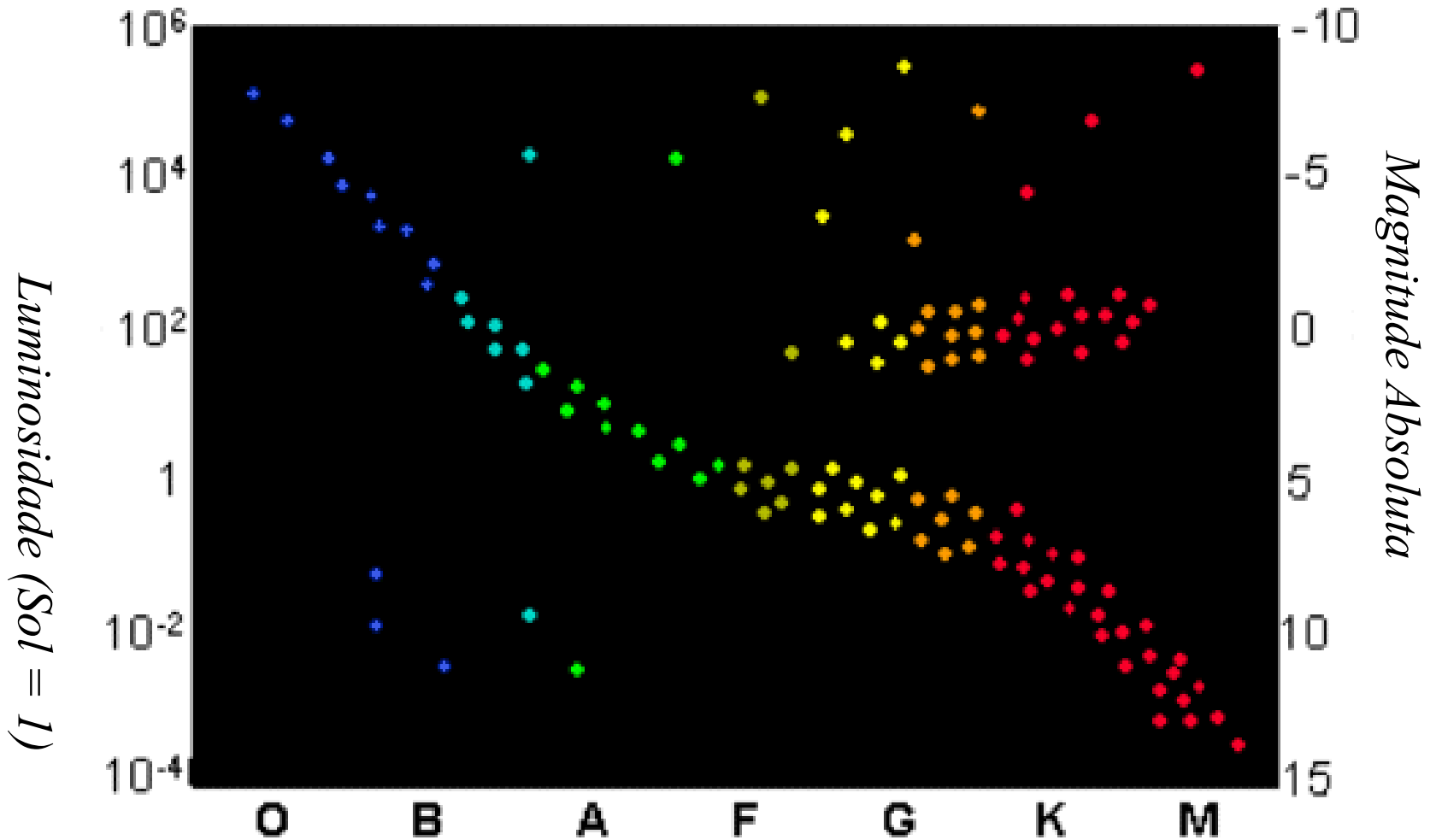
As duas propriedades mais importantes

LUMINOSIDADE x COR



Hertzsprung-Russell

(~ 1920)



Cor = "classe espectral"

$$\text{Magnitude Absoluta (M)} = -2,5 \times \text{logaritmo}(\text{luminosidade})$$

observáveis!

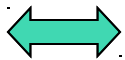


As duas propriedades mais importantes

LUMINOSIDADE = *potência irradiada (watts!)*

COR \longleftrightarrow *temperatura na região superficial da estrela
(a região visível...)*

C O R



comprimento-de-onda (λ) =

velocidade-da-luz

freqüência

400nm

500nm

600nm

700nm



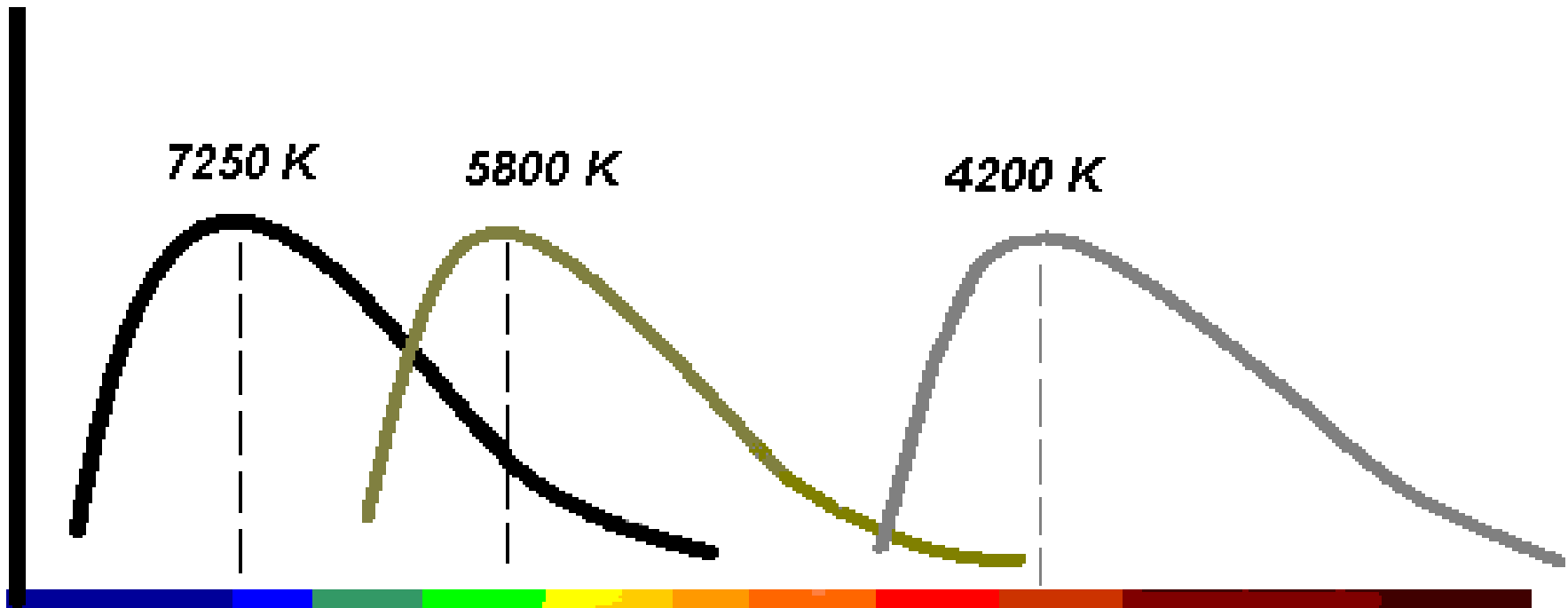
A Lei de Wien (1898)

a **cor** da luz **emitida** por uma substância em **equilíbrio térmico**
muda do vermelho para o azul quando sua **temperatura** aumenta.

*Por exemplo, uma substância encerrada num vaso isolante, OU suficientemente densa (quer dizer, “não muito rarefeita”...)
 (“corpo negro”)*

Lei de Wien

Intensidade da luz



= 400 nm

500 nm

700 nm

$$= \frac{2.897.900}{T} \text{ nm}$$



lei de Wien

LUMINOSIDADE (L) = potência irradiada

A Lei de Stefan (“corpo negro”)

$$L \sim [\text{ÁREA SUPERFICIAL}] \times [\text{TEMPERATURA}]^4$$

$$L \text{ (watts)} = [5,67 \times 10^{-8} \text{ (watts/ m}^2\text{/ K)}] \times [\text{Area (m}^2\text{)}] \times T \text{ (K)}^4$$

Uma estrela é *quase* como um forno ... esférico...

$$\text{Area} = 4 R^2 \quad \longrightarrow \quad L \text{ (watts)} = 7,13 \times 10^{-7} \times R^2 \text{ (m)} \times T^4 \text{ (K)}$$

observáveis!



As duas propriedades mais importantes

$$\underline{\text{LUMINOSIDADE}} = 7,13 \times 10^{-7} \times R^2 \text{ (m)} \times T^4 \text{ (K)} \quad (\underline{\text{watts!}})$$

$$\underline{\text{COR}} \longleftrightarrow = \frac{2.897.900}{T} \text{ nm}$$

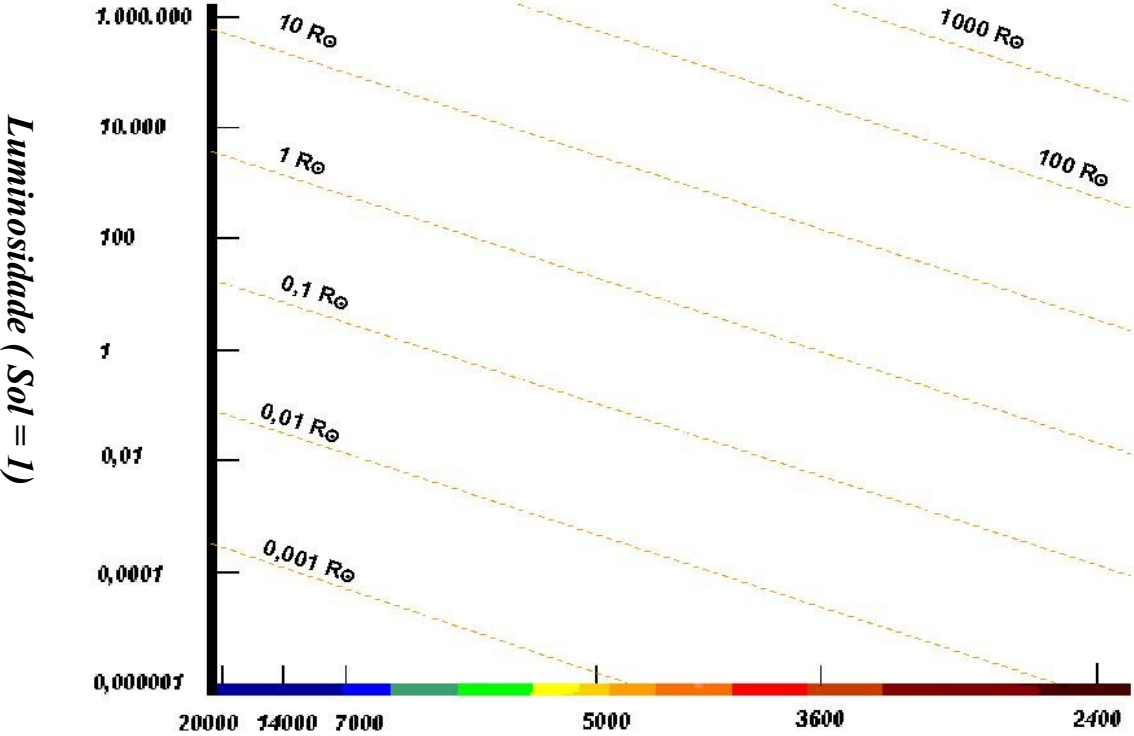
T = temperatura na região superficial da estrela
(a região visível...)

observáveis!



As duas propriedades mais importantes

LUMINOSIDADE x COR

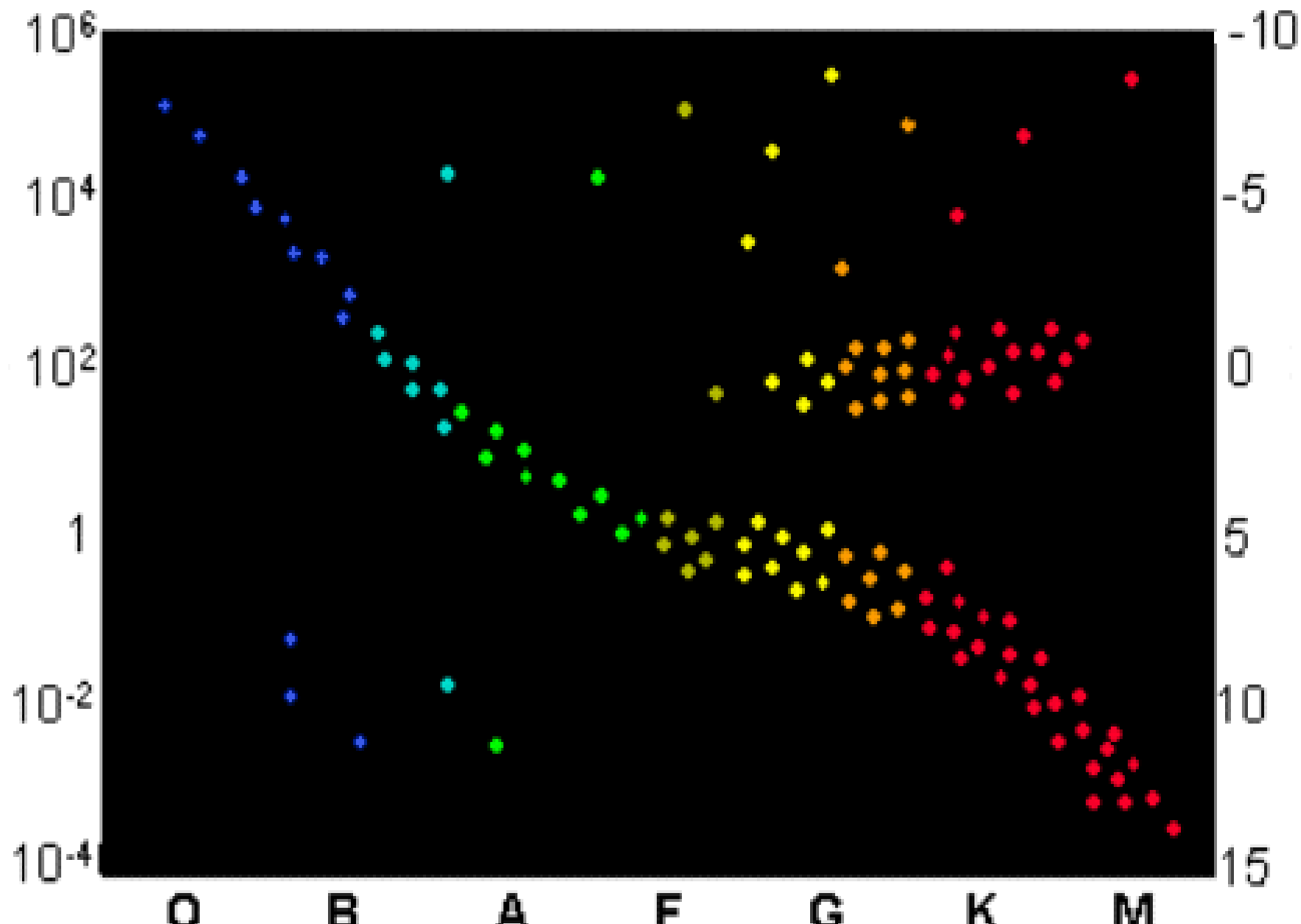


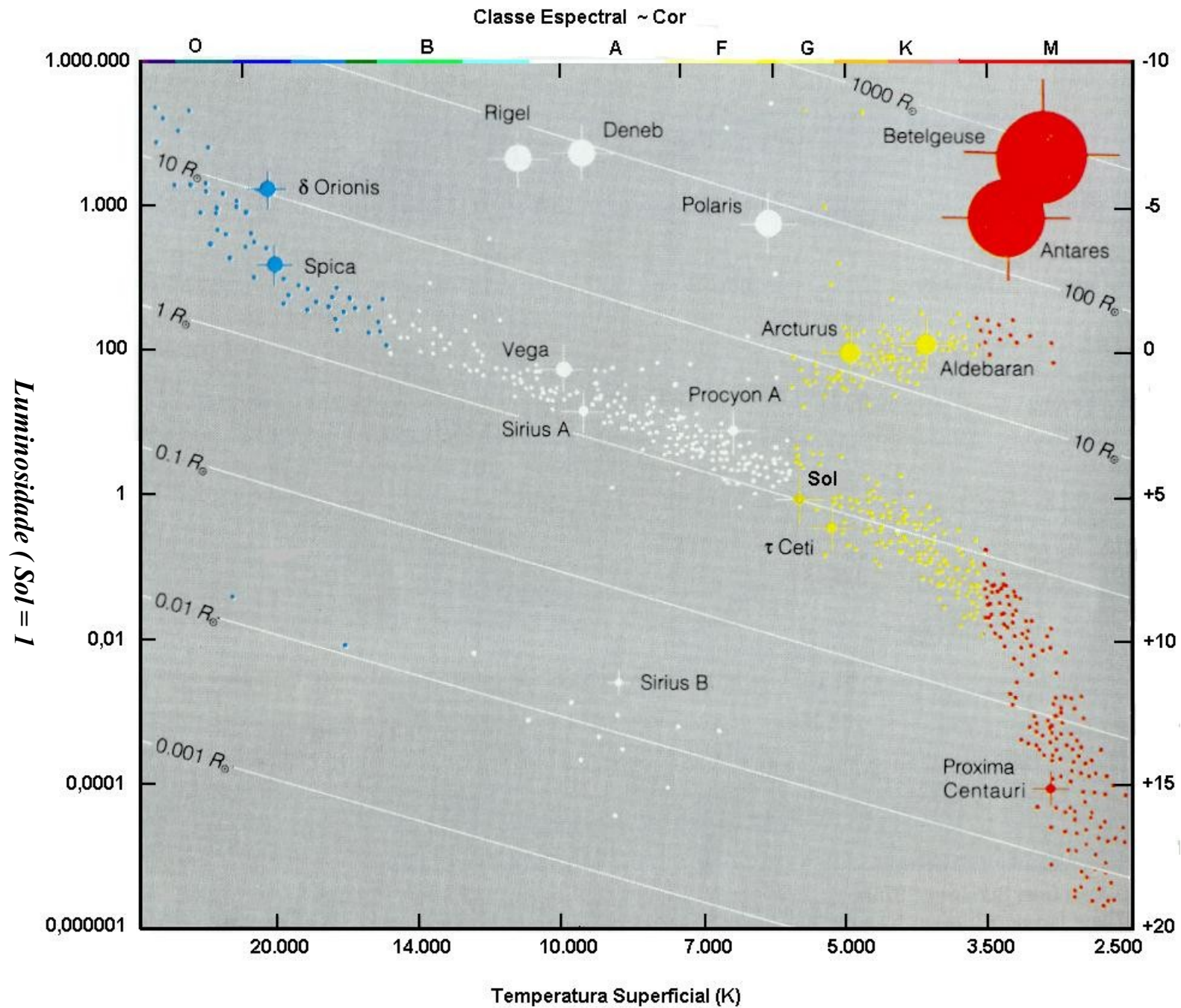
$$L = 1,78 \times 10^{13} \times R^2 \times T^4$$

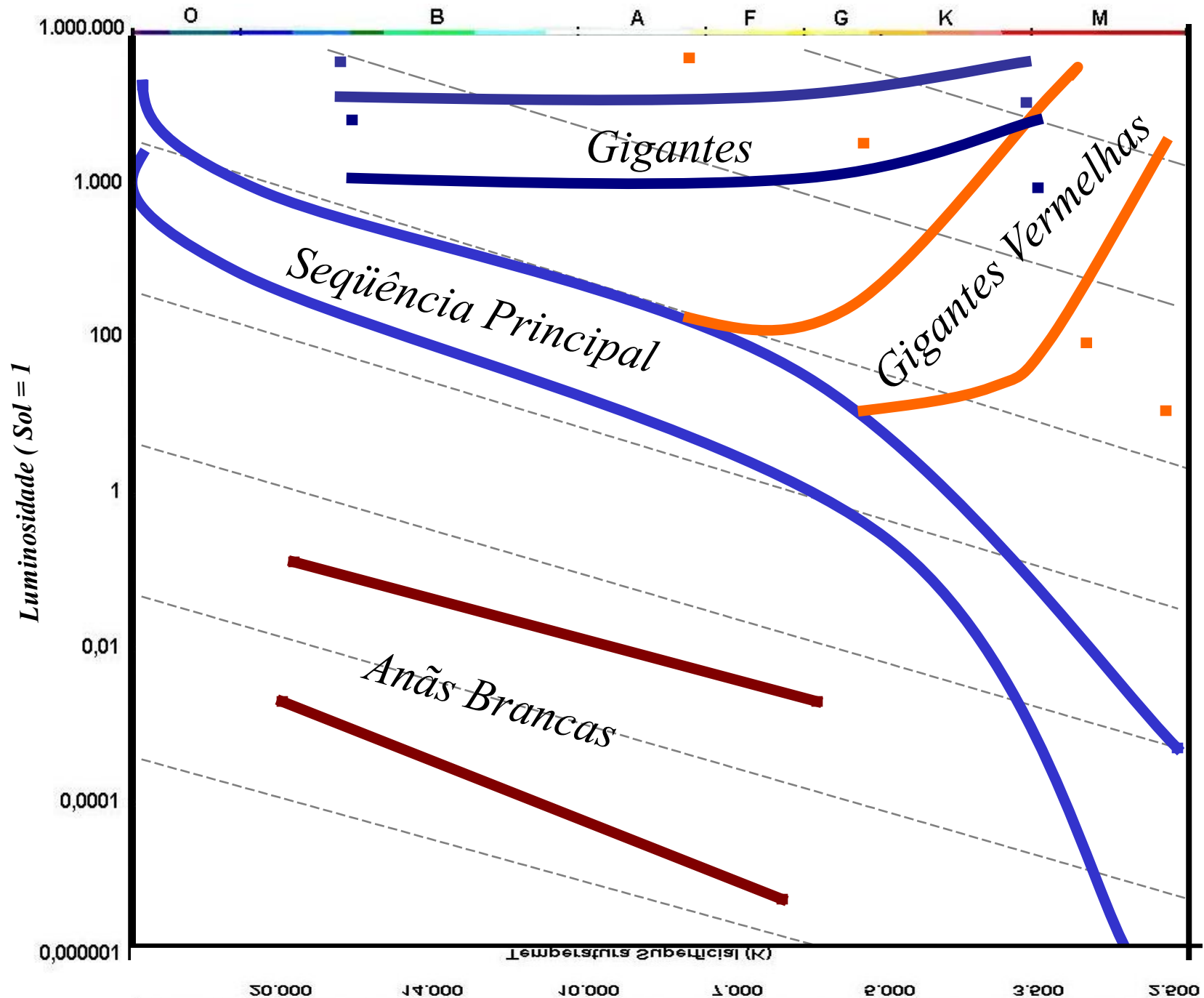
$$= \frac{2.897.900}{T} \text{ nm}$$

Temperatura superficial

Hertzsprung-Russell







A IMPORTÂNCIA DO DIAGRAMA HR

- **As estrelas agrupam-se em diferentes zonas**, sem superposições significativas →

o diagrama sugere uma maneira de **classificar as estrelas !**

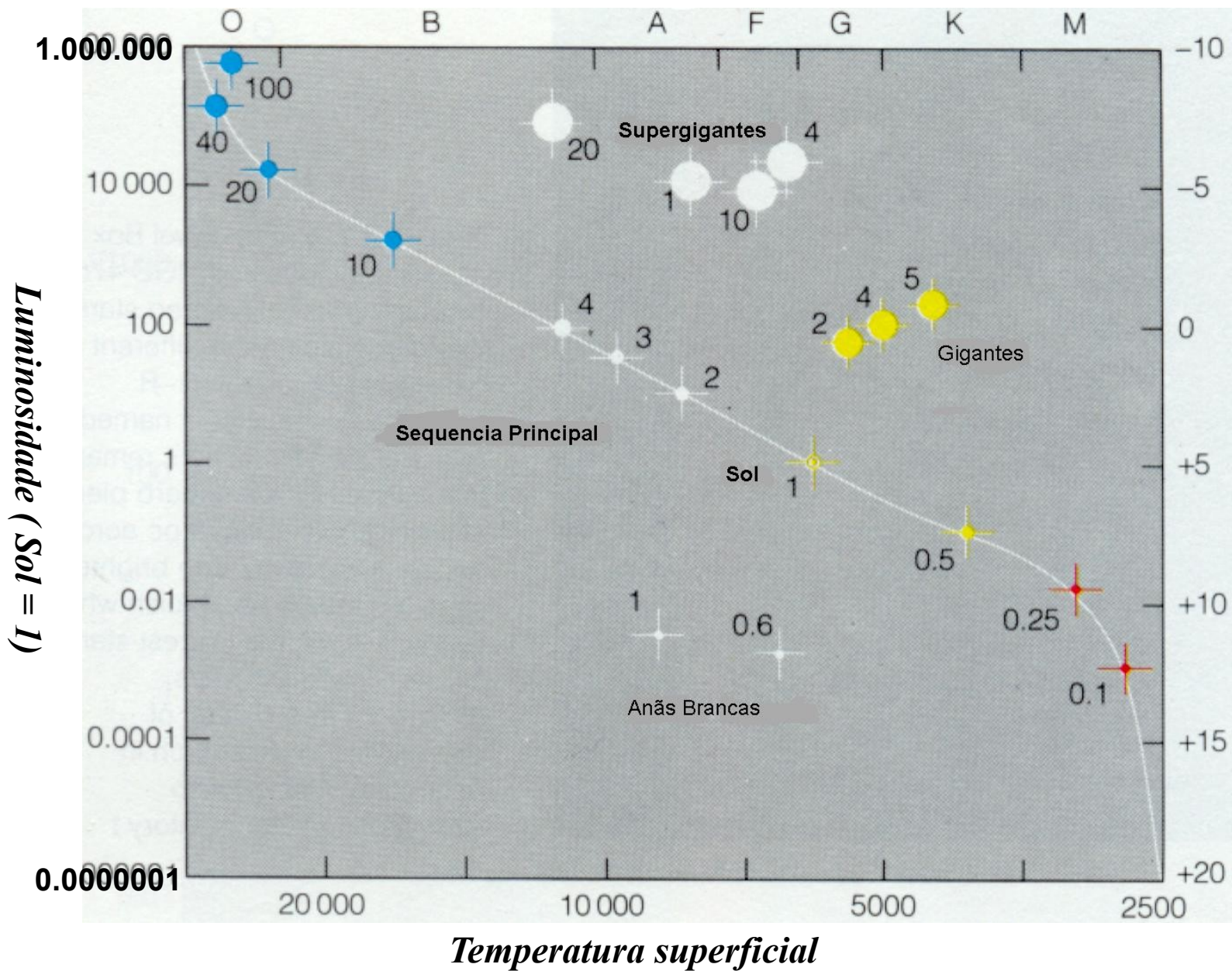
- Às **classes de estrelas** (as diferentes regiões do diagrama), correspondem a **distintas fases da vida das estrelas**:
 - ∇• ***Seqüência Principal***: fase em que o Hidrogênio é o principal combustível nuclear
 - ∇• ***Gigantes Vermelhas***: fase em que o Hidrogênio já está esgotado → a estrela queima outros combustíveis nucleares (Hélio, Carbono, Oxigênio,...)
 - ∇• ***Anãs Brancas***: o caroço da estrela está inerte - é uma estrela morta, ainda que muito quente.

Em consequência, todos os estudos sobre:

- *A estrutura interna das estrelas*
 - *A evolução das estrelas*

São sempre referidos ao diagrama HR

A Massa das Estrelas (*Unidade de massa: a massa do Sol*)



Na seqüência principal, quanto maior a massa tanto maior a luminosidade

COMO FUNCIONAM AS ESTRELAS ?

Estrela = bola de gas quente e autogravitante

- São esferas de gas *muito quente* → grandes forças de pressão
→ tendencia a expansão !

Pressão do gas ~ densidade X temperatura

Gas frio → baixas pressões
Gas quente → altas pressões

- São esferas de gas **autogravitantes** →
as forças de gravidade as mantem coesas

Força de Gravidade ~ Massa / Raio²

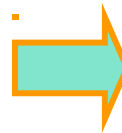
Grande massas → mais coesão gravitacional



*A **pressão** do gas quente tende à expansão*

*A **gravidade** mantem a coesão contra o colapso.*

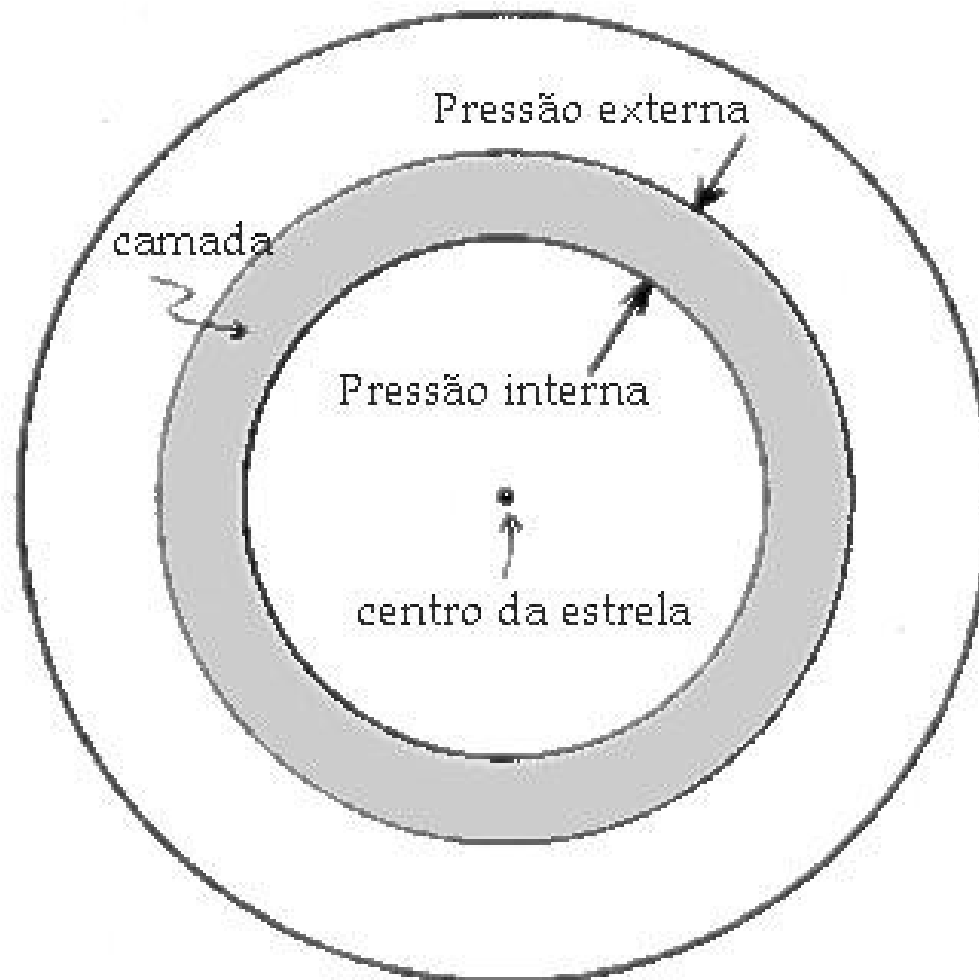
Pressão do gás X Gravidade



Equilíbrio!

O Equilíbrio Hidrostático

$$\text{Pressão Interna} - \text{Pressão Externa} \sim \frac{\text{Peso da Camada}}{\text{área}}$$



O Equilíbrio Hidrostático

$$\text{Pressão Interna} - \text{Pressão Externa} \sim \frac{\text{Peso da Camada}}{\text{área}}$$

as regiões mais internas tem que suportar o peso de um número maior de camadas .

(as camadas superiores)



A pressão do gás aumenta na direção do centro da estrela.

pressão ~ densidade x temperatura



Densidade e temperatura aumentam na direção do centro da estrela

NO SOL

	<i>TEMPERATURA</i> graus Kelvin	<i>PRESSÃO</i> atmosferas	<i>DENSIDADE</i> gramas/cm ³
<i>Centro</i>	15 milhões	100 bilhões	150
<i>Superfície</i>	5.780	100.000	0,5

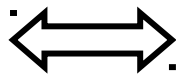
MAS...

Quando há um gradiente de temperaturas → *fluxo de energia*

Temperaturas

fluxo de energia

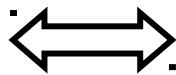
mais altas



Caroço da estrela



mais baixas



Superfície da estrela

E PORISSO AS ESTRELAS SÃO LUMINOSAS !!!

Porque as estrelas são luminosas ??

Porque no seu interior as temperaturas são extremamente altas:



bilhões de graus no centro !

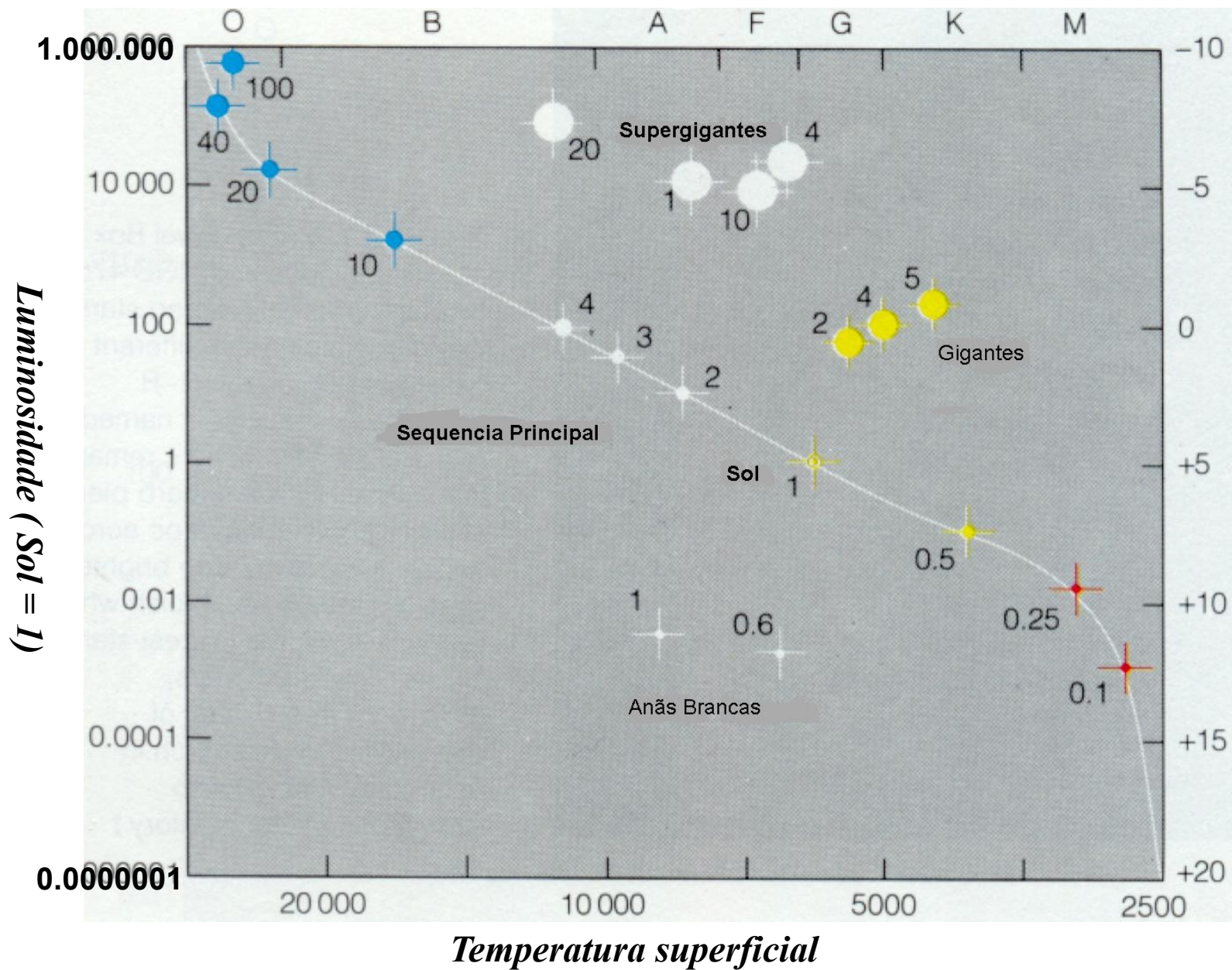
As temperaturas **têm** que ser altas para produzir pressões elevadas

suficiente para contrabalançar as forças de gravidade geradas pela própria massa da estrela ("o peso da estrela"...)

Portanto, as estrelas são luminosas por causa das enormes massas que contêm !

maior a Massa  *maior a Luminosidade*

A Massa das Estrelas (*Unidade de massa: a massa do Sol*)

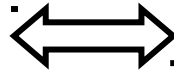


Na seqüência principal, quanto maior a massa tanto maior a luminosidade

Temperaturas

fluxo de energia

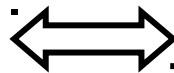
mais altas



Caroço da estrela



mais baixas



Superfície da estrela

Como transportar a energia do centro para a superfície ????????

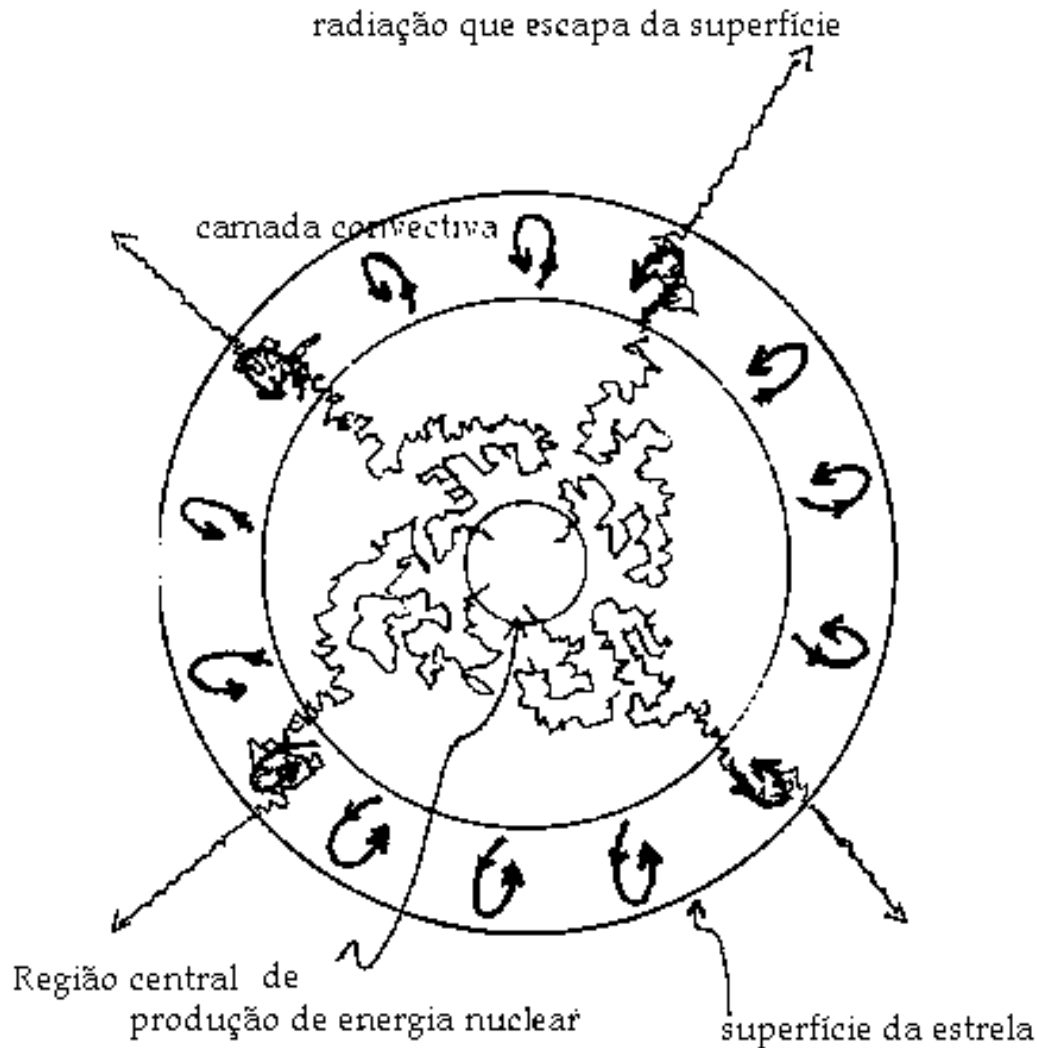
MECANISMOS DE TRANSPORTE DE ENERGIA

Através da **RADIAÇÃO** (*pelos fótons*)

Através da **CONVECCÃO** (*pelo movimento da matéria*)

ou ainda por **CONDUÇÃO** (*pelas partículas de matéria*)

O Transporte de Energia no Interior Estelar



Tempo de difusão de um fóton no interior do Sol:

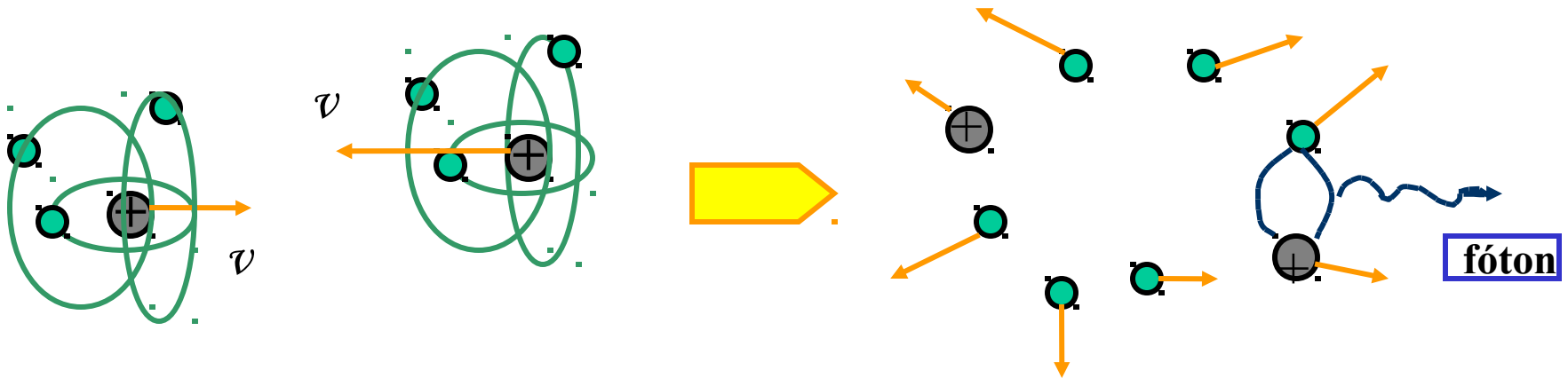
10 milhões de anos !!!

- Num gás quente como no interior das estrelas, as colisões entre átomos são muito violentas (as velocidades relativas atingem $\sim 500\text{km/s!}$).

As colisões arrancam todos os elétrons de seus núcleos

O gás encontra-se **ionizado**:

deixam de existir os átomos. Restam somente elétrons e núcleos atômicos, separados entre si.



velocidade média das partículas de um gás a temperatura T : $v \sim m$

Porque uma estrela deve produzir energia no seu interior

P O R Q U E

a estrela perde energia continuamente pela sua superfície

Esta é a sua **luminosidade** !

Ao produzir radiação, o gás perde energia, que é cedida para os fótons produzidos.

A estrela tem que compensar estas perdas !

se não:

a temperatura interna diminui,



a pressão diminui

catástrofe!!!! :

Perda do equilíbrio hidrostático !!!