

AGA 293

16 - Remanescentes degenerados de Estrelas

Anãs brancas; matéria degenerada
até 16,5 (Próxima aula 16,6 →)

Jorge Meléndez

A descoberta de Sirius B

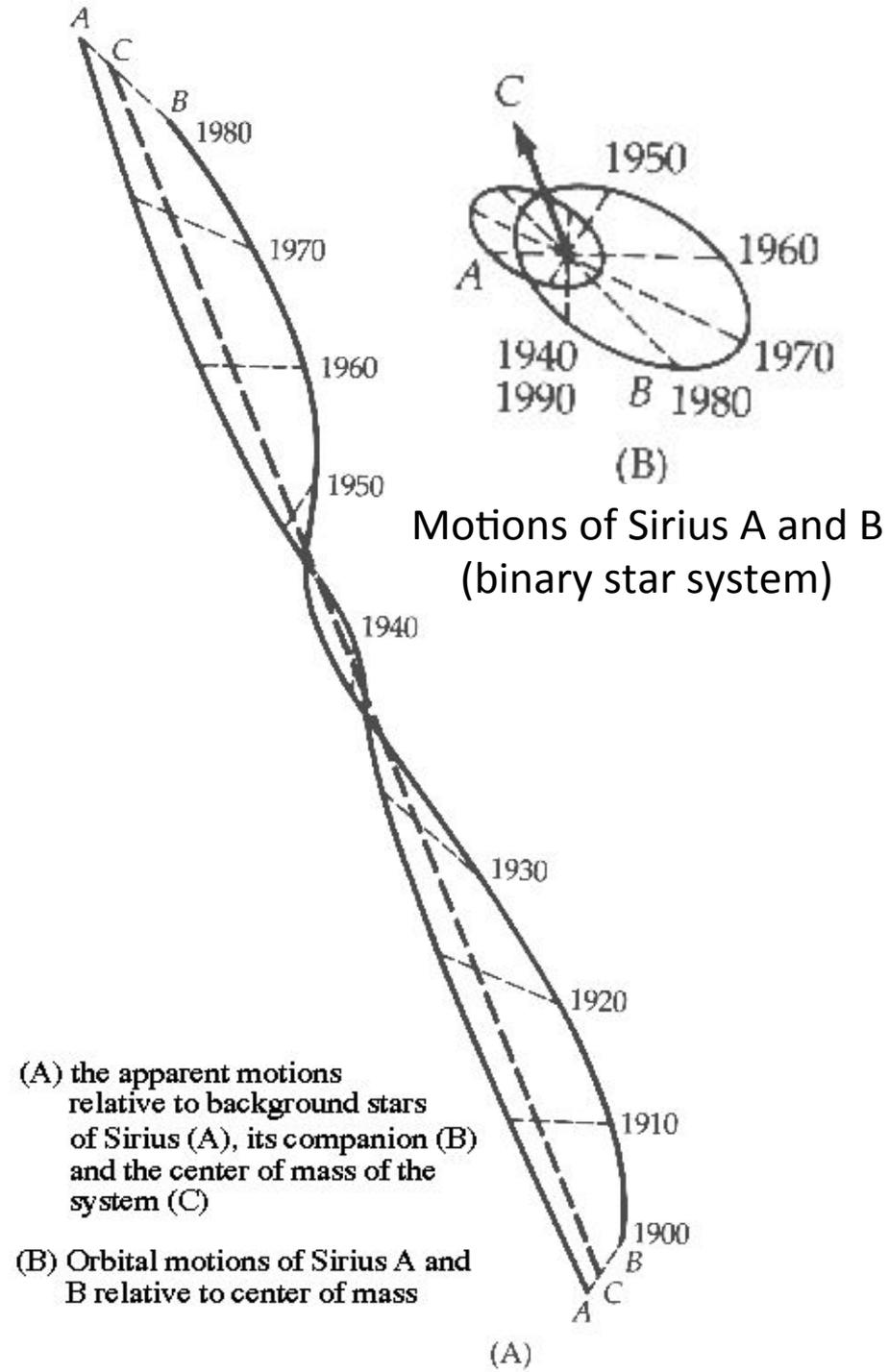


Friedrich Bessel

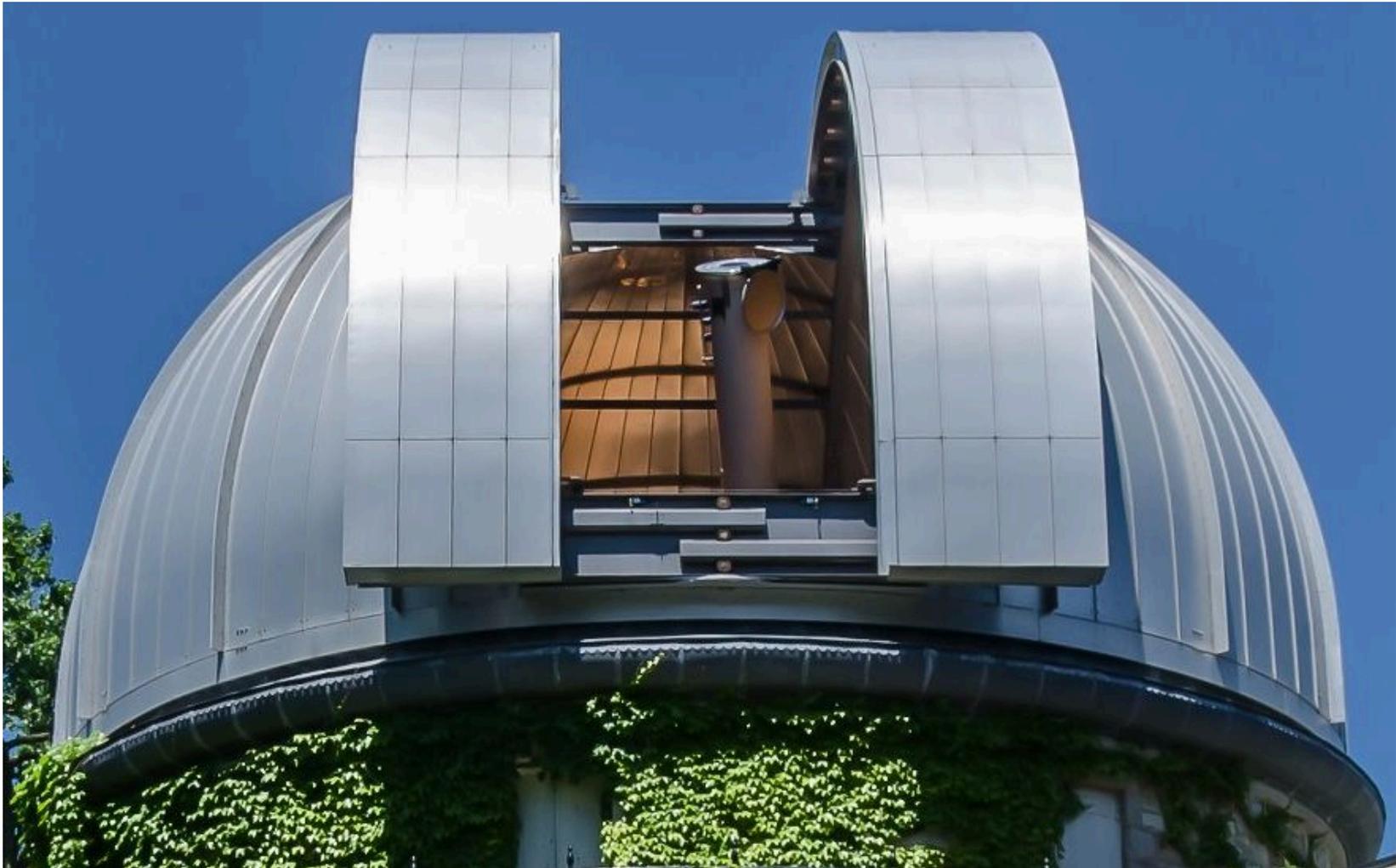
1838: paralaxe 61 Cyg.

Após 10 anos de pesquisa (1844) → Sirius é binária.

Morreu 16/3/1846 sem conseguir observar Sirius B



Alvan Graham Clark (1832-1897) testou em 31 Jan 1862 um novo refrator de 18,5" (47 cm), o maior da época, e fez a primeira observação de Sirius B



Dearborn Observatory

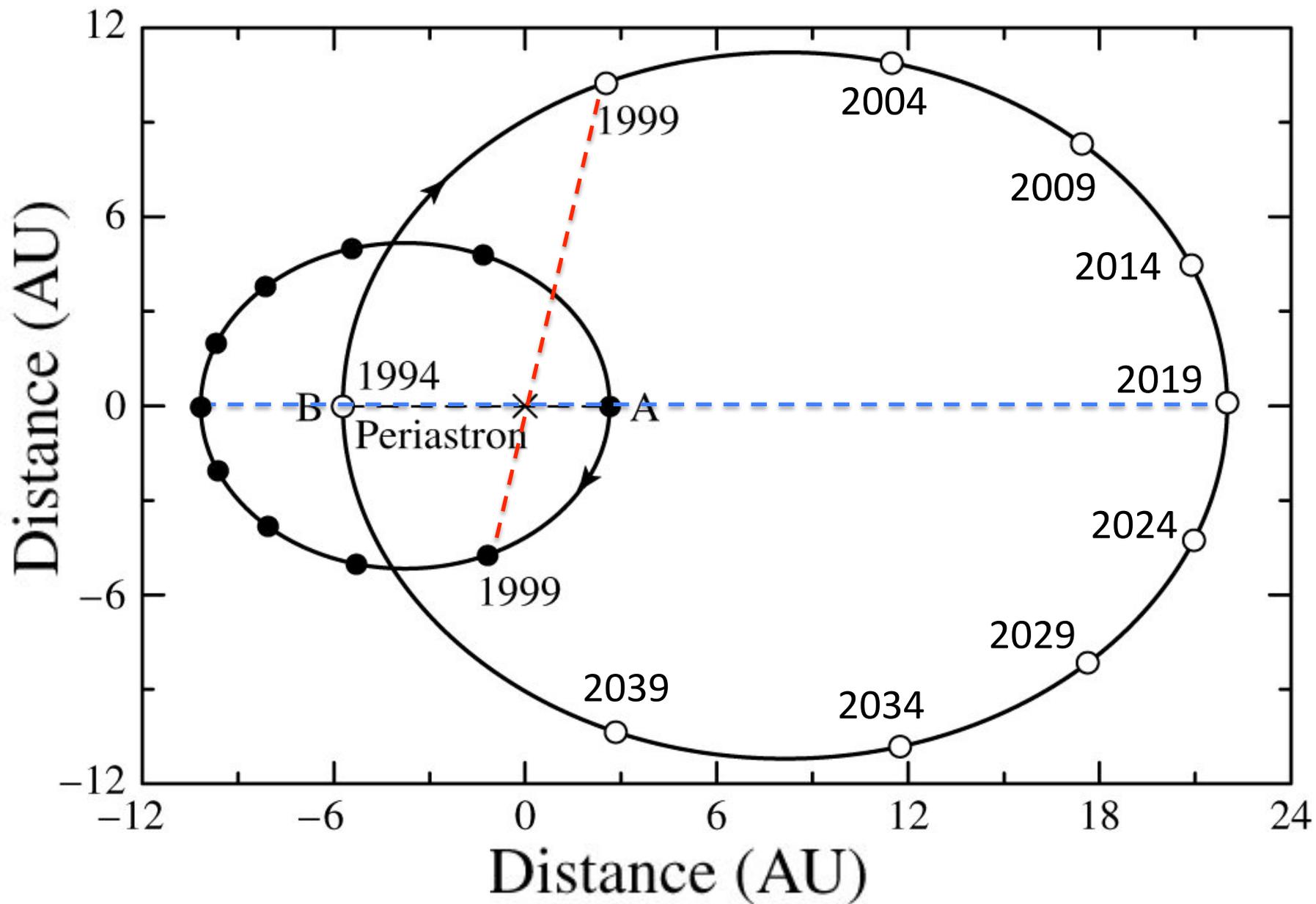
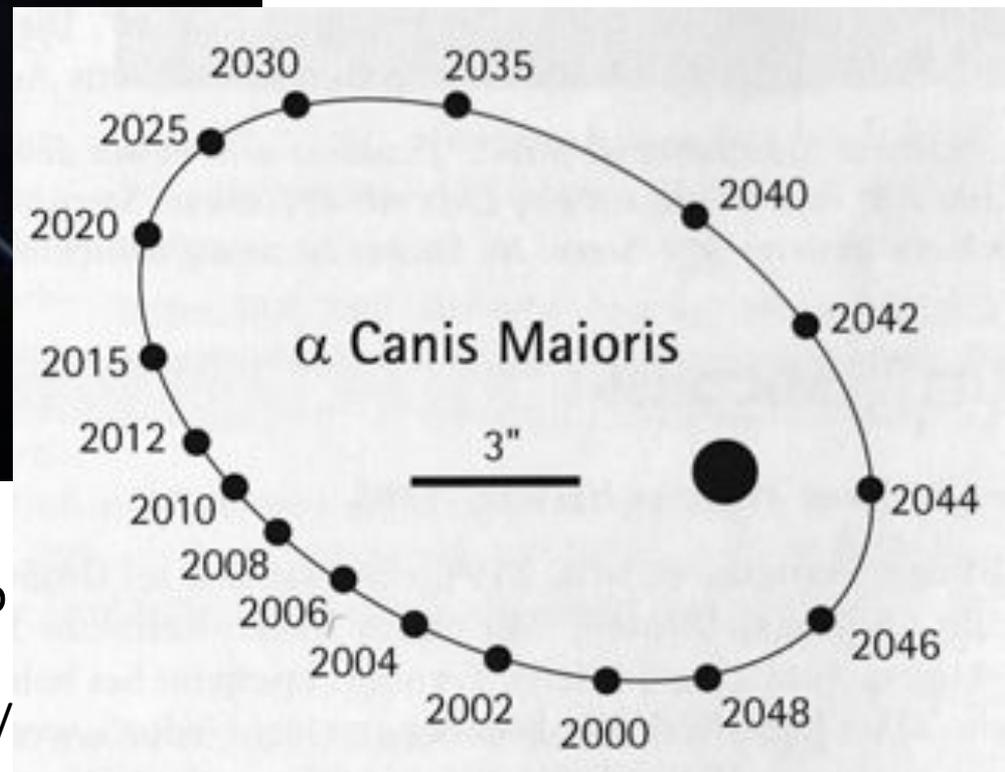
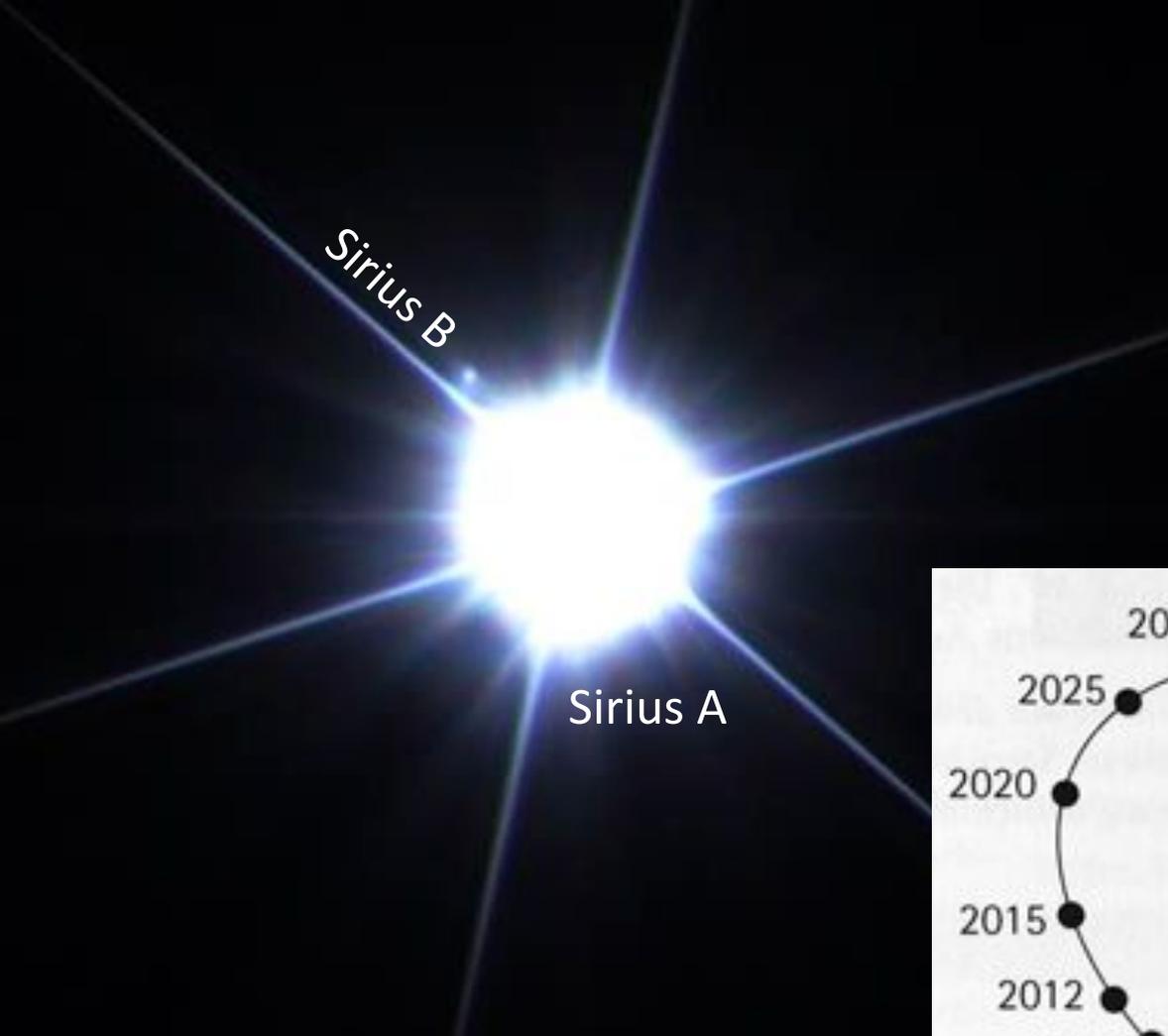


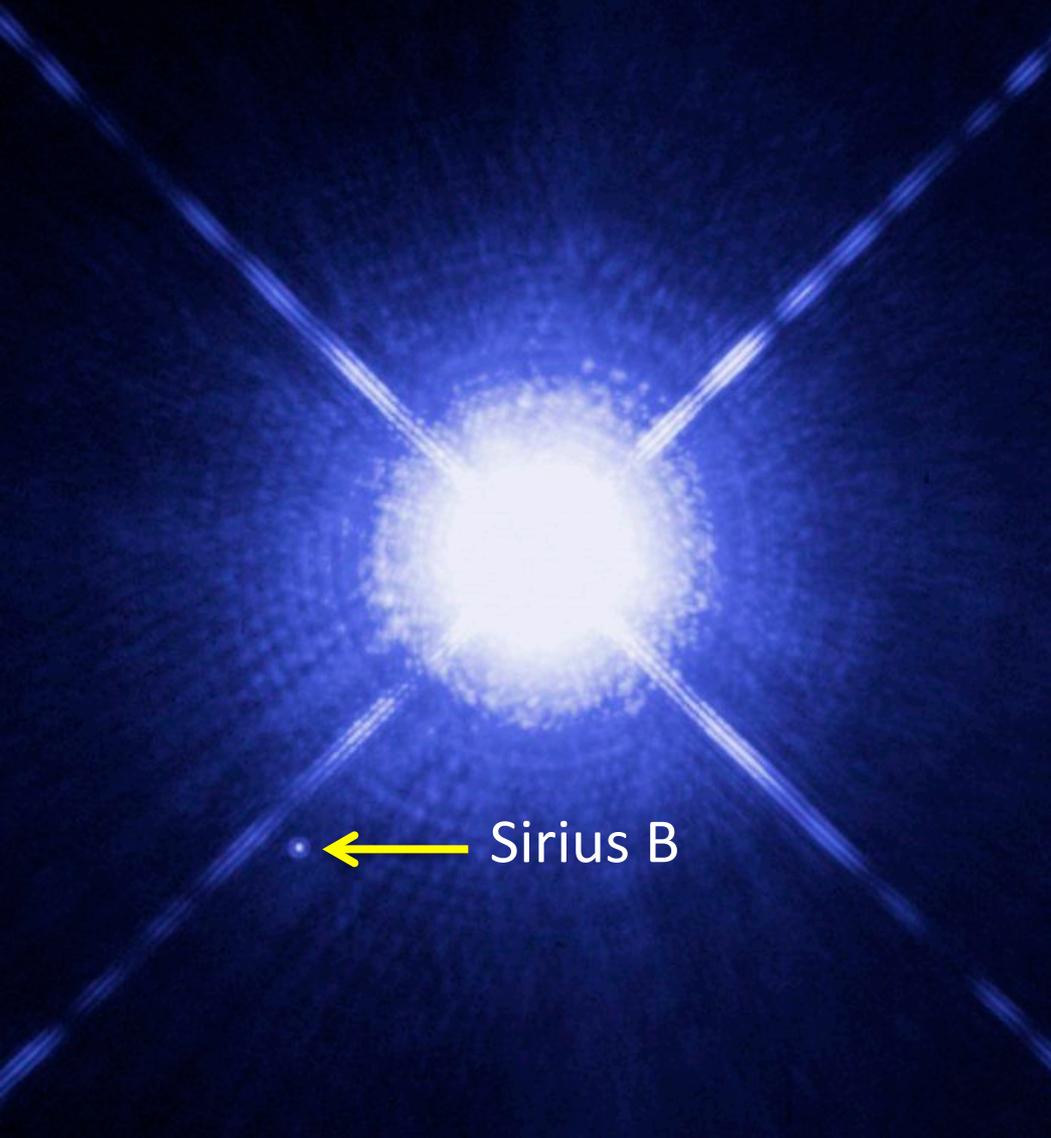
FIGURE 16.2 The orbits of Sirius A and Sirius B. The center of mass of the system is marked with an “x.”



11/3/2017

Gabriela e Fábio Carvalho, Observatório OTUS, interior de São Paulo.

<https://www.facebook.com/observatoriootus/>



Hubble in the optical

<https://www.spacetelescope.org/images/heic0516a/>

Chandra X-rays

<https://apod.nasa.gov/apod/ap001006.html>

Massas

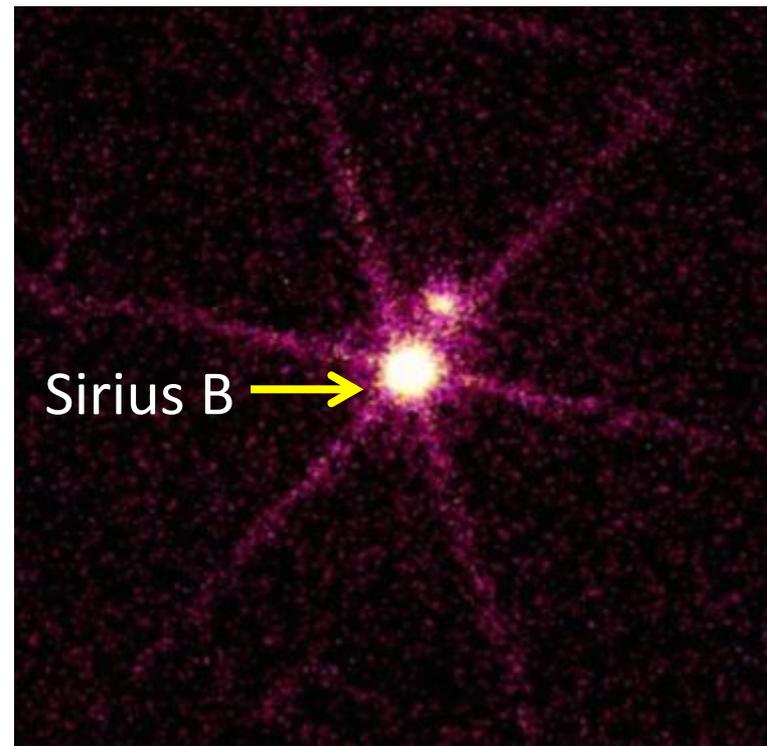
$$M (\text{Sirius A}) = 2,0 M_{\text{Sol}}$$

$$M (\text{Sirius B}) = 1,0 M_{\text{Sol}}$$

Luminosidade

$$L (\text{Sirius A}) = 23,5 L_{\text{Sol}}$$

$$L (\text{Sirius B}) = 0,03 L_{\text{Sol}}$$



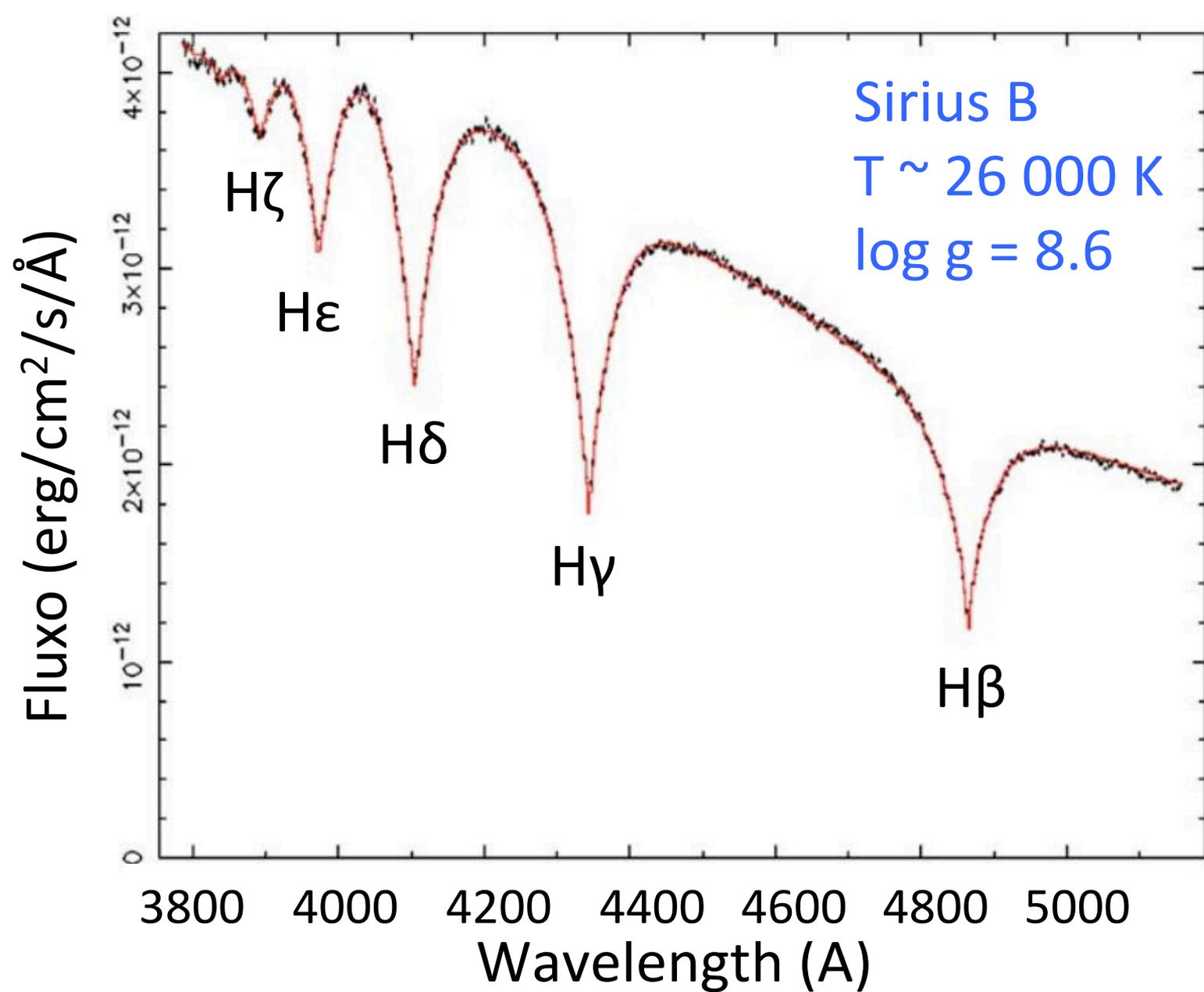


Figure 5. Section of the G430L Sirius B spectrum spanning the wavelength range 3800–5200 Å (small black crosses, size indicating the statistical errors) with the best-fitting synthetic spectrum (smooth curve – red on-line) corresponding to $T_{\text{eff}} = 25\,193$ K and $\log g = 8.556$.

	Sirius A	Sirius B
Massas	2,06 M_{Sol}	1,05 M_{Sol}
Luminosidade	23,5 L_{Sol}	0,03 L_{Sol}
Temperatura	9900 K	26 000 K
Raio	1,7 R_{Sol}	0,008 R_{Sol}

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

Radius: $6 \times 10^3 \text{ km}$

Density: $3,0 \times 10^9 \text{ kg m}^{-3}$

Surface gravity: $4,6 \times 10^6 \text{ m s}^{-2}$

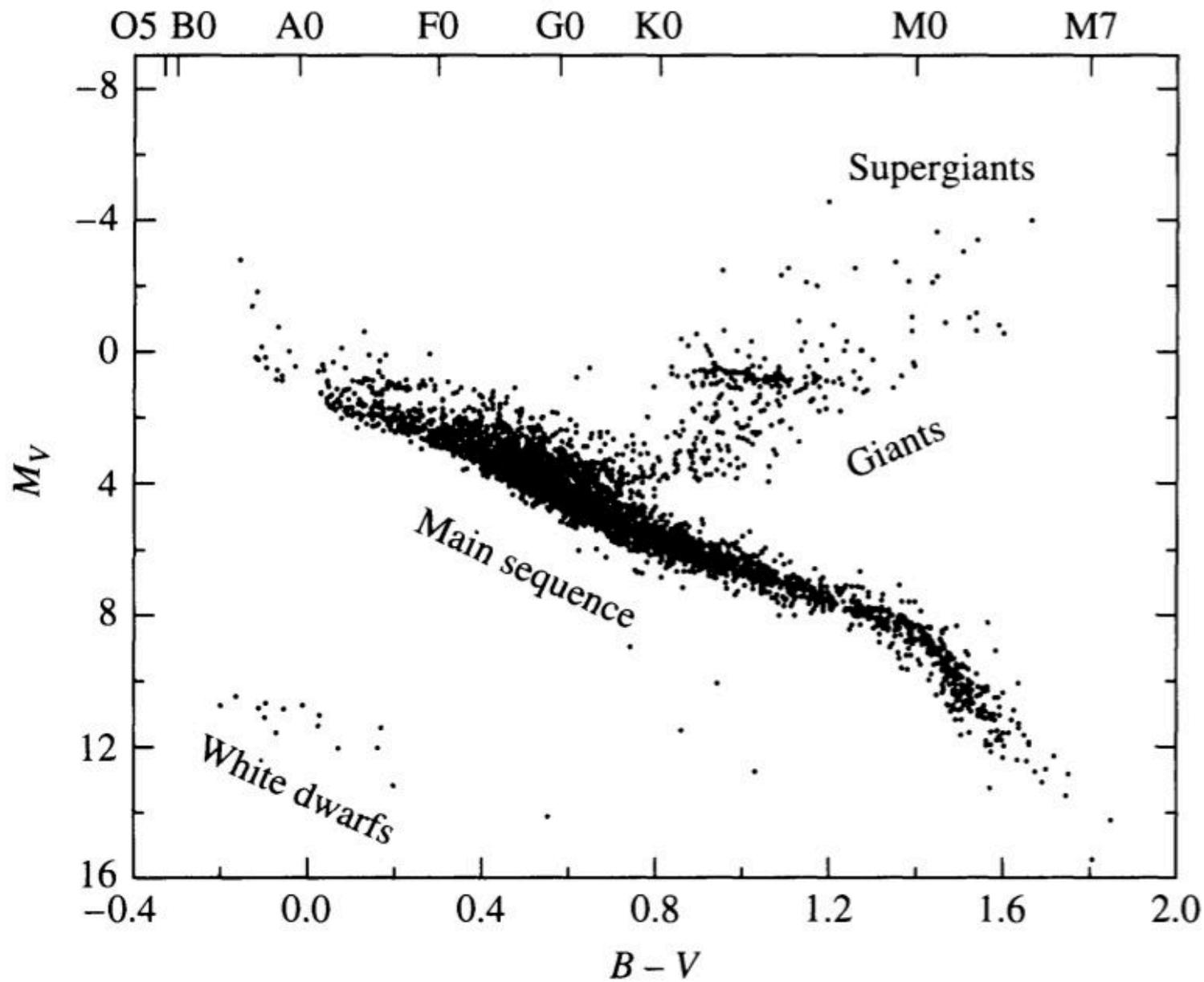
Massa inicial $< 9 M_{\text{Sol}}$: Nebulosa planetária e anã branca



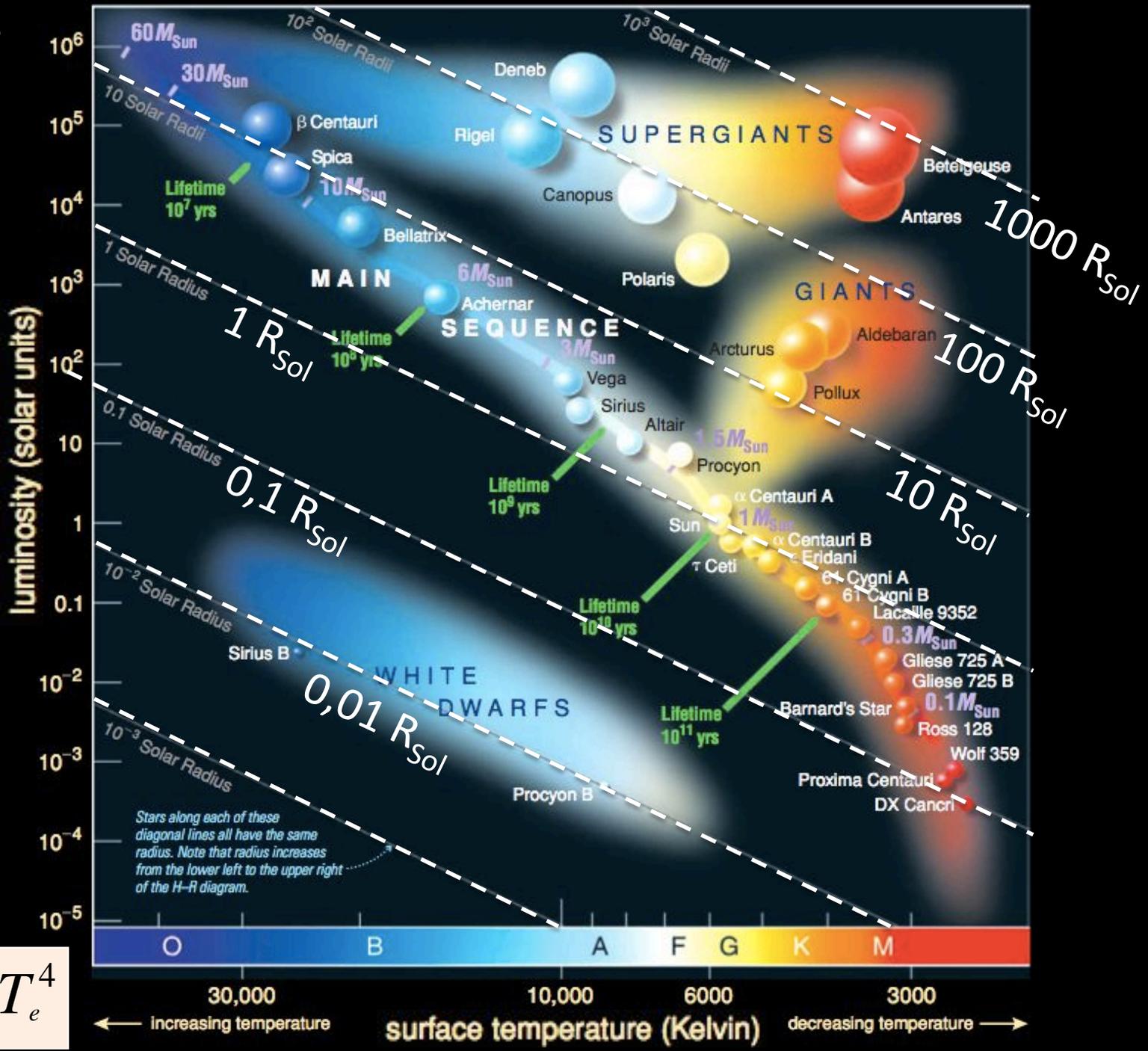
Planetary Nebula PK 164 +31.1

(c) Calar Alto Observatory. Vicent Peris, Jack Harvey

Anãs Brancas



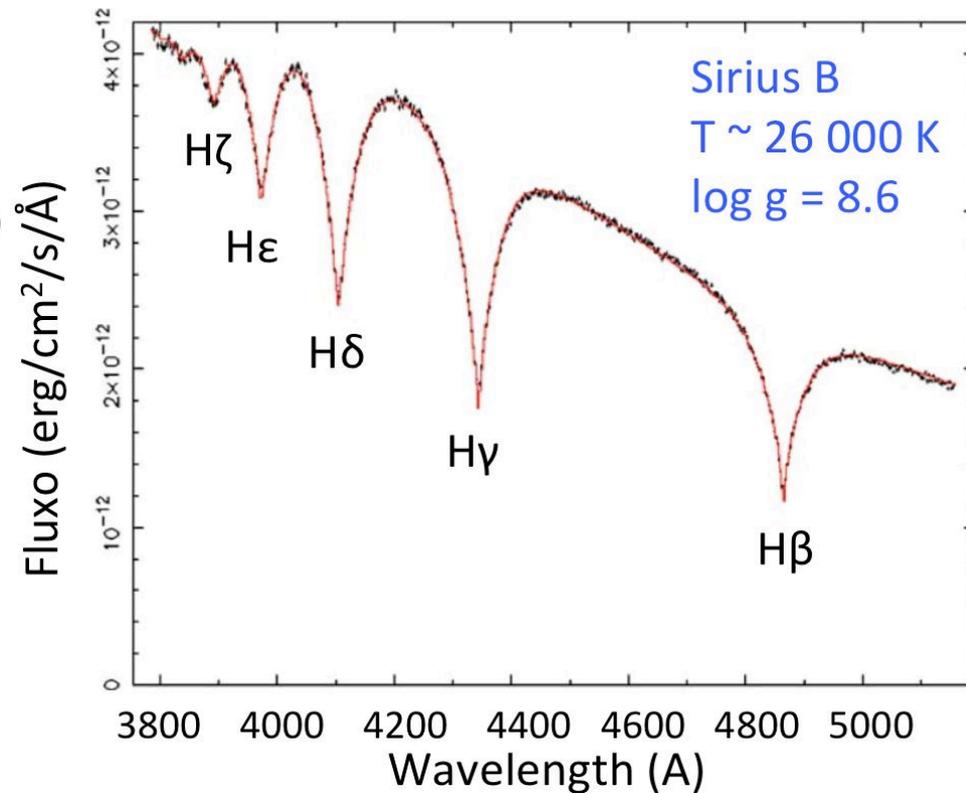
Anãs
brancas
vão
esfriando
aos
poucos →
diferentes
cores



$$L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

Anãs Brancas: tipo espectral D

- DA (~2/3 de todas as anãs brancas): linhas de H
- DB (~8%): apenas linhas de hélio
- DC (~14%): sem linhas ou muito fracas (<5 % do contínuo)
- DQ: linhas de carbono (atômicas ou moleculares)
- DZ: linhas de metais (podem ser engolido material rochoso)



Condições Centrais em Anãs Brancas

Da equação de equilíbrio hidrostático:

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r \rho}{r^2} = -\frac{G \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \rho \right) \rho}{r^2} = -\frac{4}{3} \pi G \rho^2 r.$$

Integrando e
supondo $P=0$ na
superfície ($r = R$):

$$P(r) = \frac{2}{3} \pi G \rho^2 (R^2 - r^2)$$

No centro, $r = 0 \rightarrow P_c \approx \frac{2}{3} \pi G \rho^2 R_{\text{wd}}^2$ R_{wd} : raio da
anã branca

$$\approx 3.8 \times 10^{22} \text{ N m}^{-2}$$

$\sim 1,5$ milhão de vezes $P_c(\text{Sol})$

Condições Centrais em Anãs Brancas

Podemos ter estimativa da T_c usando o gradiente de temperatura radiativo

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{3}{4ac} \frac{\bar{\kappa} \rho}{T^3} \frac{L_r}{4\pi r^2}$$

R_{WD} , T_{WD} , L_{WD} :
Raio, Temp. e Lum.
da anã branca

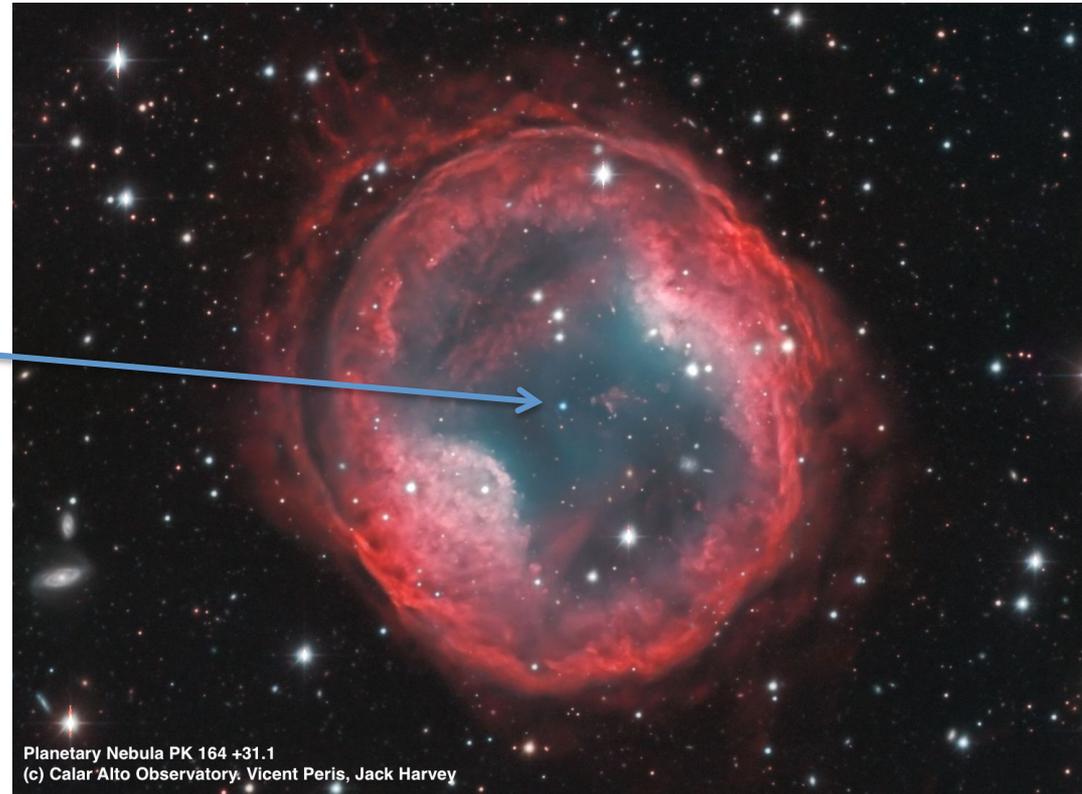
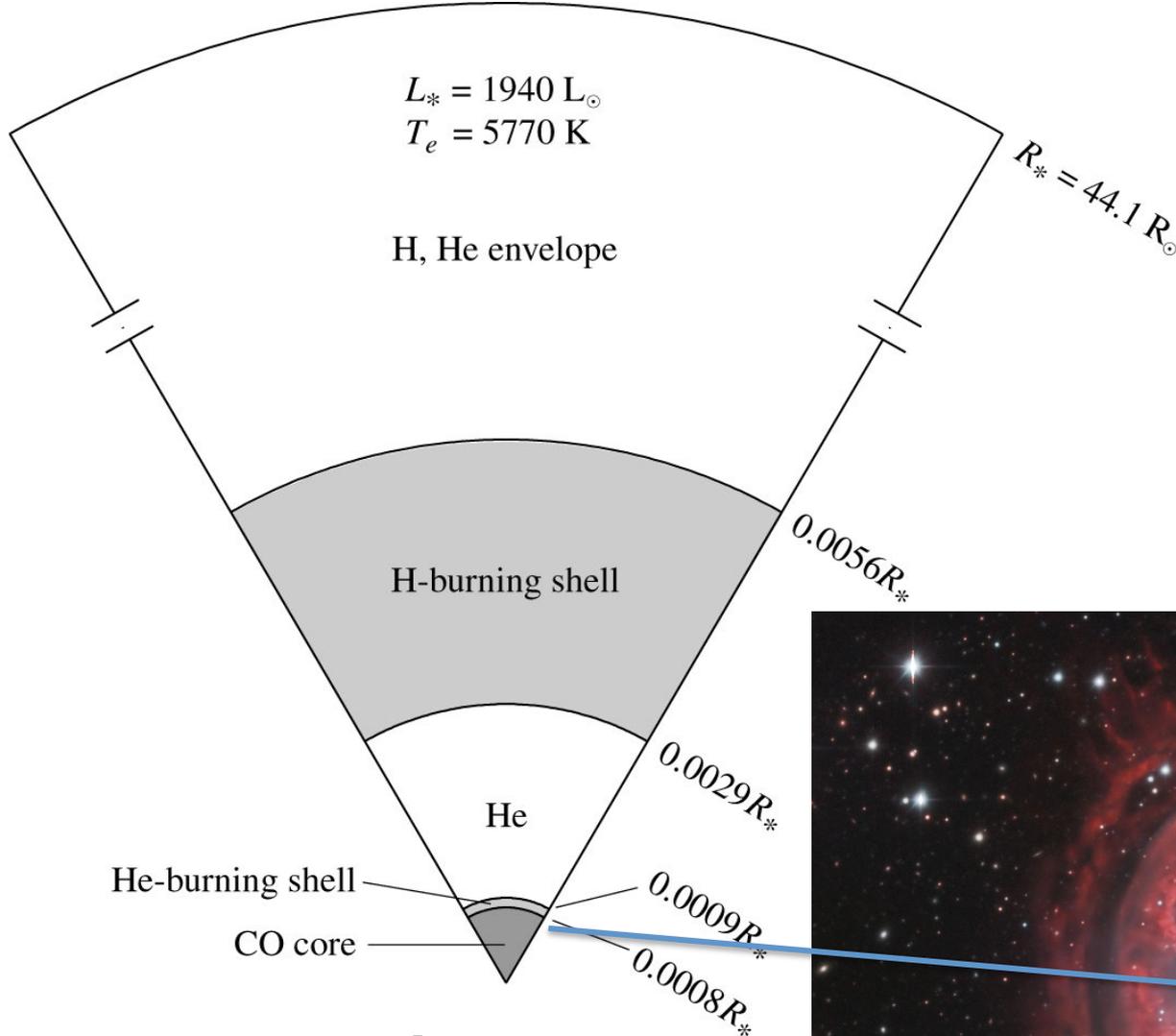
$$\frac{T_{wd} - T_c}{R_{wd} - 0} = -\frac{3}{4ac} \frac{\bar{\kappa} \rho}{T_c^3} \frac{L_{wd}}{4\pi R_{wd}^2}$$

$$T_c \approx \left[\frac{3\bar{\kappa} \rho}{4ac} \frac{L_{wd}}{4\pi R_{wd}} \right]^{1/4} \\ \approx 7.6 \times 10^7 \text{ K}$$

Adotando $\bar{\kappa} = 0.02 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$
(espalhamento e-):

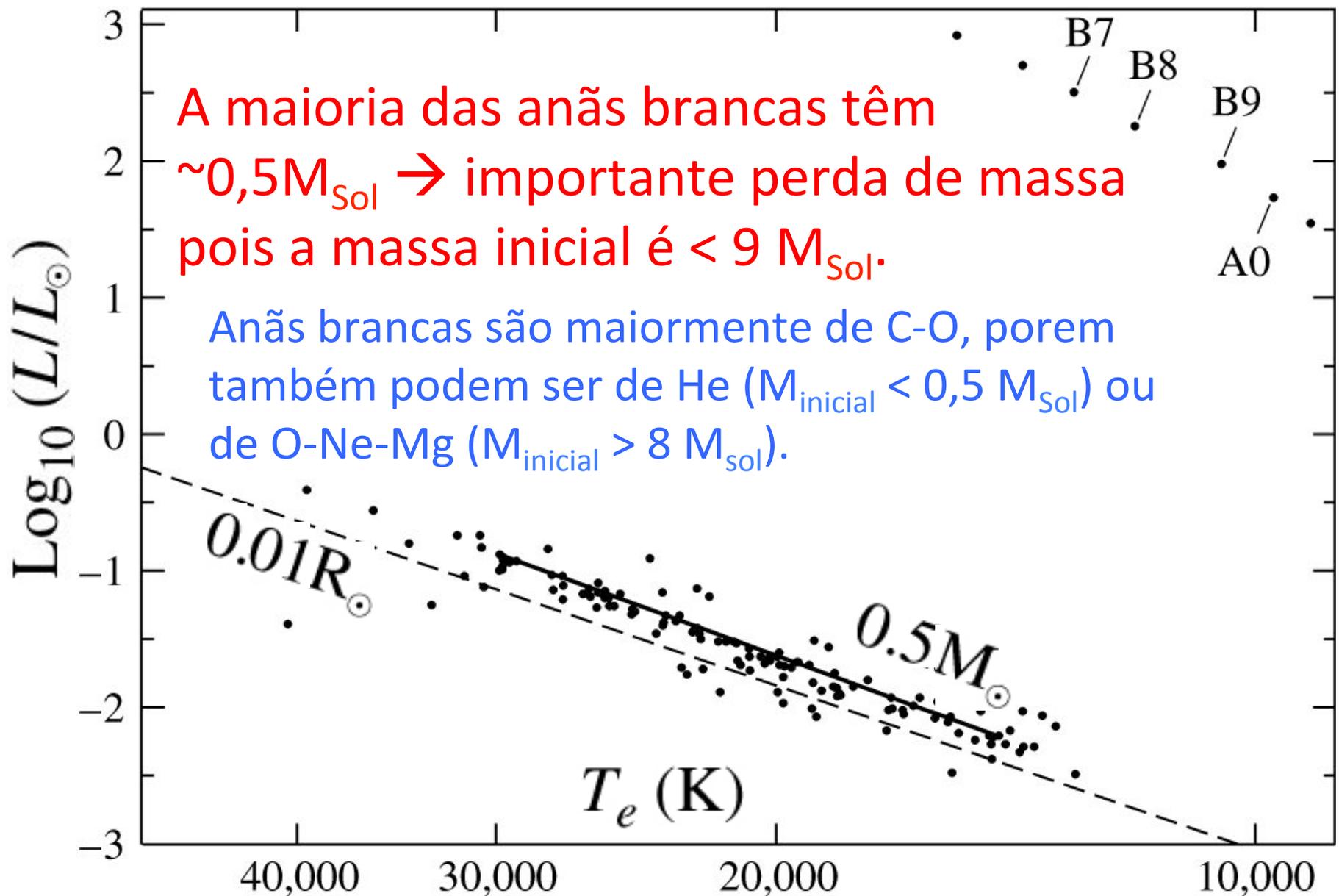
→ Quase sem hidrogênio, ou as anãs brancas seriam muito mais luminosas (queima de H)

Estrutura de estrela de massa inicial $M = 5 M_{\text{Sol}}$ no começo da fase AGB



Massa inicial \rightarrow anã branca
 $M < 0,5 M_{\text{Sol}} \rightarrow$ He
 $0,5 < M < 8 M_{\text{Sol}} \rightarrow$ C-O
 $8 < M < 10 M_{\text{Sol}} \rightarrow$ O-Ne-Mg

Planetary Nebula PK 164 +31.1
 (c) Calar Alto Observatory. Vicent Peris, Jack Harvey



A maioria das anãs brancas têm $\sim 0,5 M_{\text{Sol}}$ \rightarrow importante perda de massa pois a massa inicial é $< 9 M_{\text{Sol}}$.

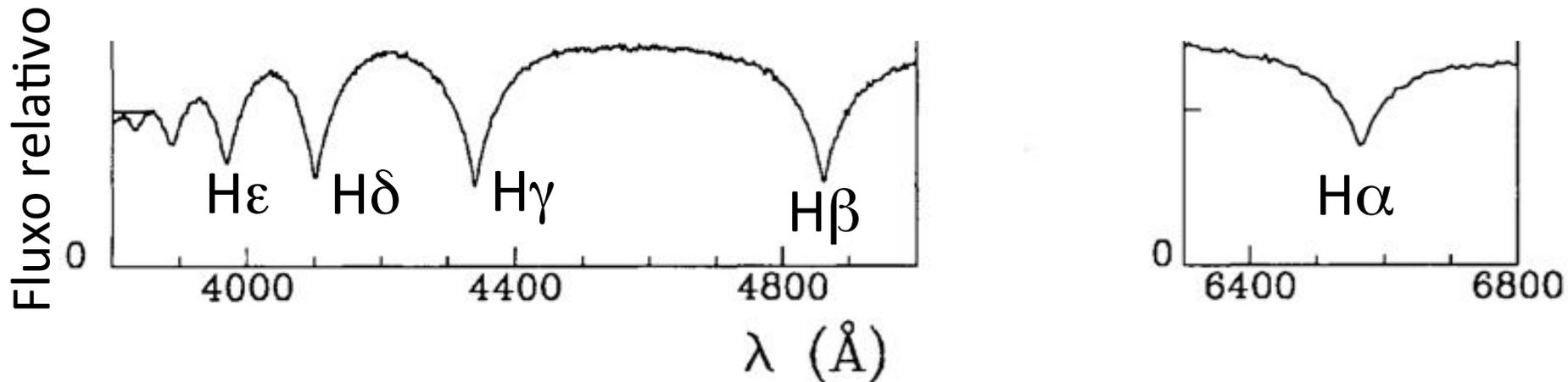
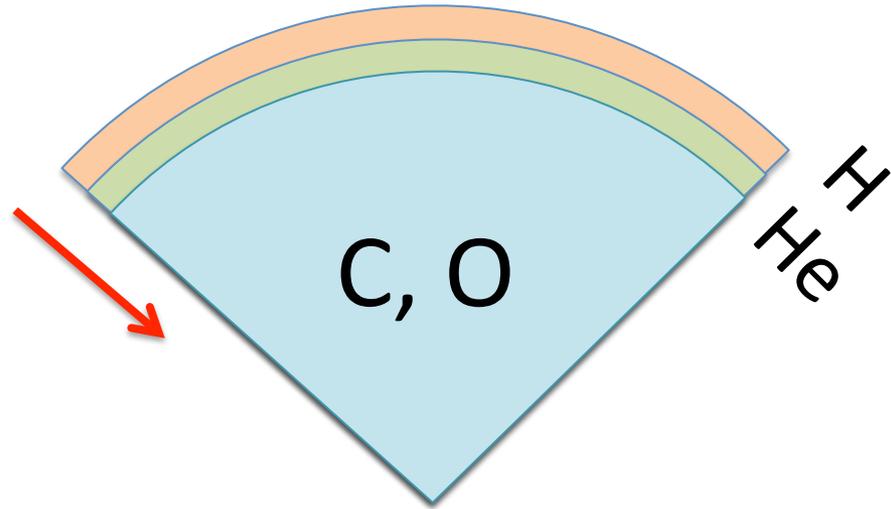
Anãs brancas são majormente de C-O, porem também podem ser de He ($M_{\text{inicial}} < 0,5 M_{\text{Sol}}$) ou de O-Ne-Mg ($M_{\text{inicial}} > 8 M_{\text{Sol}}$).

FIGURE 16.3 DA white dwarfs on an H-R diagram. A line marks the location of the $0.50 M_{\odot}$ white dwarfs, and a portion of the main sequence is at the upper right. (Data from Bergeron, Saffer, and Liebert, *Ap. J.*, 394, 228, 1992.)

Espectro e composição superficial de Anãs Brancas

Devido à altíssima gravidade → elementos mais pesados para o interior: fina atmosfera do pouco H restante.

Escala de tempo ~100 anos



G 207-9, anã branca de tipo DA4.5

TABLE 14.1 Pulsating Stars. (Adopted from Cox, *The Theory of Stellar Pulsation*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1980.)

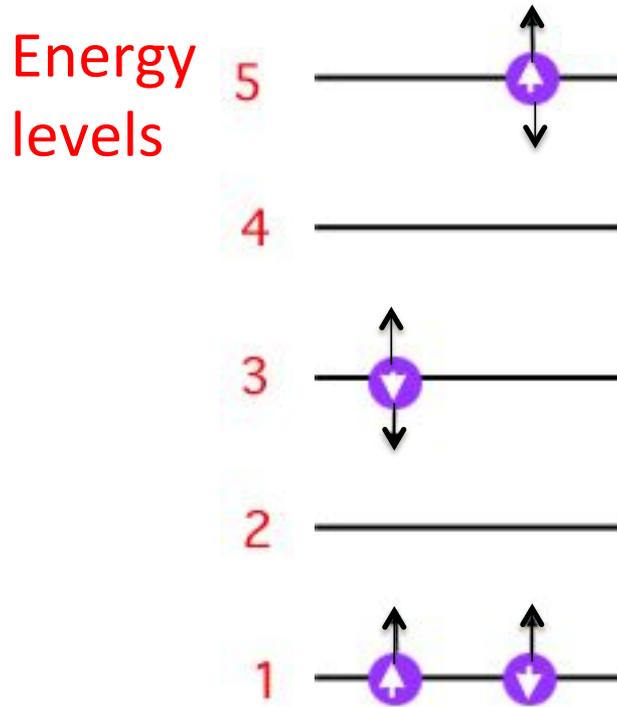
Type	Range of Periods	Population Type	Radial or Nonradial
Long-Period Variables	100–700 days	I,II	R
Classical Cepheids	1–50 days	I	R
W Virginis stars	2–45 days	II	R
RR Lyrae stars	1.5–24 hours	II	R
δ Scuti stars	1–3 hours	I	R,NR
β Cephei stars	3–7 hours	I	R,NR
→ ZZ Ceti stars	100–1000 seconds	I	NR

Estrelas ZZ Ceti: anãs brancas pulsantes com períodos entre 100 e 1000 segundos.

Anãs brancas variáveis: DAV, DBV

Matéria degenerada

Para $T \gg 0$, o gás pode ocupar diferentes níveis de energia



Porém se $T \rightarrow 0$, temos menor energia e a maioria dos elétrons ocupará os níveis mais baixos

Para $T = 0$, todos os elétrons ocupam os níveis mais baixos de energia: gás completamente degenerado

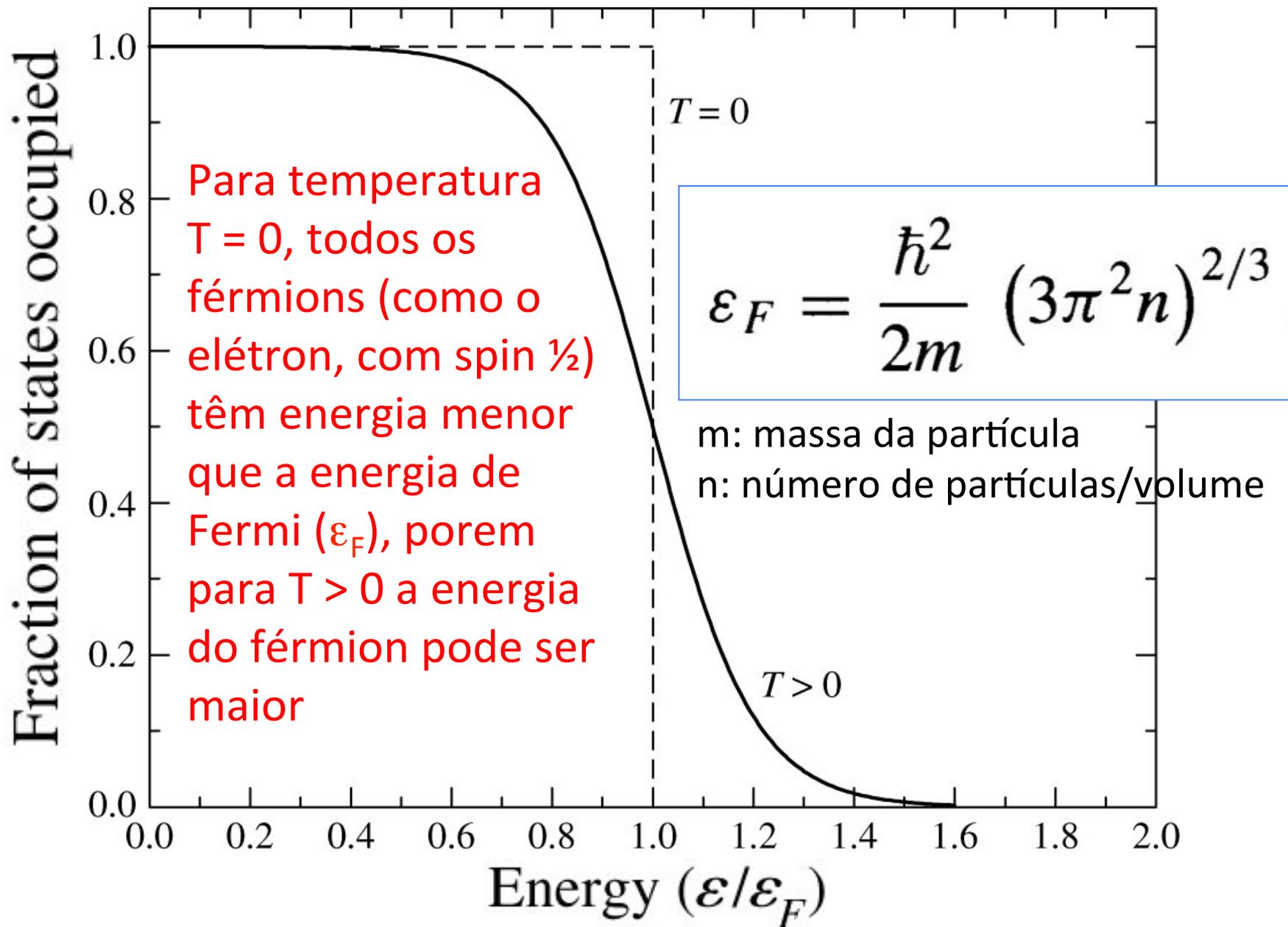
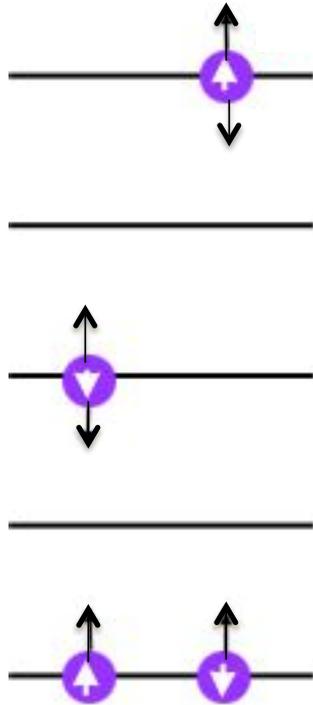


FIGURE 16.5 Fraction of states of energy ε occupied by fermions. For $T = 0$, all fermions have $\varepsilon \leq \varepsilon_F$, but for $T > 0$, some fermions have energies in excess of the Fermi energy.

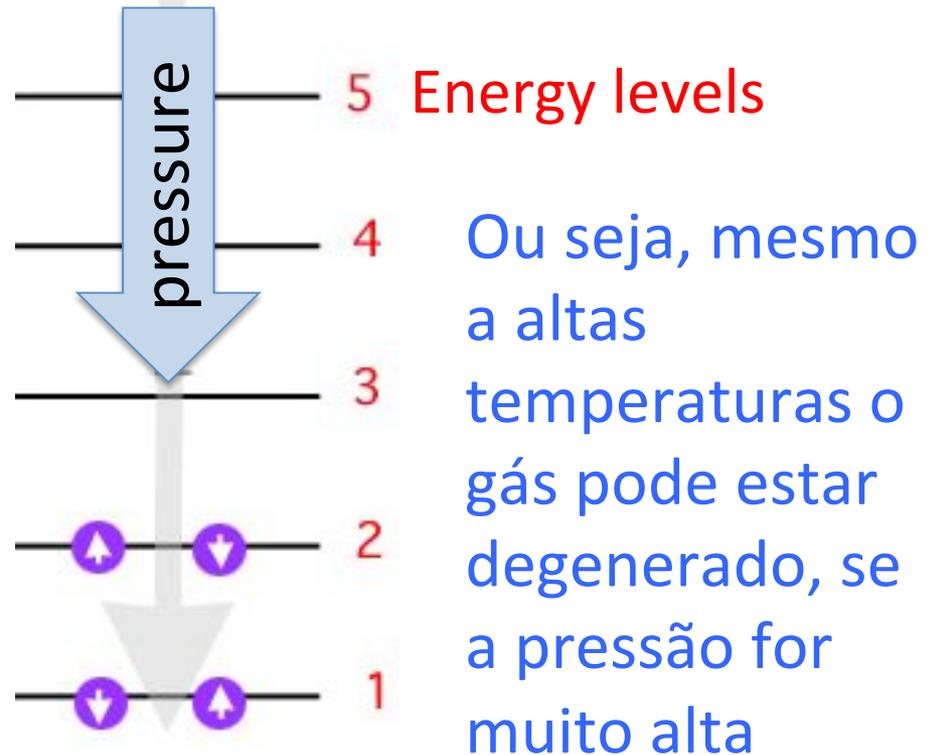
Gás normal

Em um gás normal, os elétrons podem ocupar diversos níveis de energia



Gás degenerado

Alta pressão também pode resultar em um gás degenerado: e- são forçados a ocupar o nível base



Condição para degenerescência

Primeiro, vamos reescrever a energia de Fermi. Para altas temperaturas, a densidade de elétrons:

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3}$$

$$n_e = \left(\frac{\# \text{ electrons}}{\text{nucleon}} \right) \left(\frac{\# \text{ nucleons}}{\text{volume}} \right) = \left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H}$$

$$\rightarrow \varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left[3\pi^2 \left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{2/3}$$

Se a energia térmica ($3/2 kT$) for menor que a energia de Fermi \rightarrow gás degenerado

$$\frac{3}{2} kT < \frac{\hbar^2}{2m_e} \left[3\pi^2 \left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{2/3}$$

Ou, rearranjando em função da T e ρ : $\frac{T}{\rho^{2/3}} < \frac{\hbar^2}{3m_e k} \left[\frac{3\pi^2}{m_H} \left(\frac{Z}{A} \right) \right]^{2/3}$

Definindo: $\mathcal{D} \equiv 1261 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3} = 1261 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3}$

para $(Z/A) = 0,5$

Condição para degenerescência: $\frac{T}{\rho^{2/3}} < \mathcal{D}$

Condição para
degenerescência:

$$\frac{T}{\rho^{2/3}} < \mathcal{D}$$

$$\mathcal{D} \equiv 1261 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3}$$

Exemplo 16.3.1. Quão importante é a degenerescência no centro do Sol?

No centro do Sol: $T = 1,6 \times 10^7 \text{ K}$ e $\rho = 1,5 \times 10^5 \text{ kg/m}^3$

$$\frac{T_c}{\rho_c^{2/3}} = 5500 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3} > \mathcal{D}$$

→ no Sol, a pressão de degenerescência de elétrons é pequena

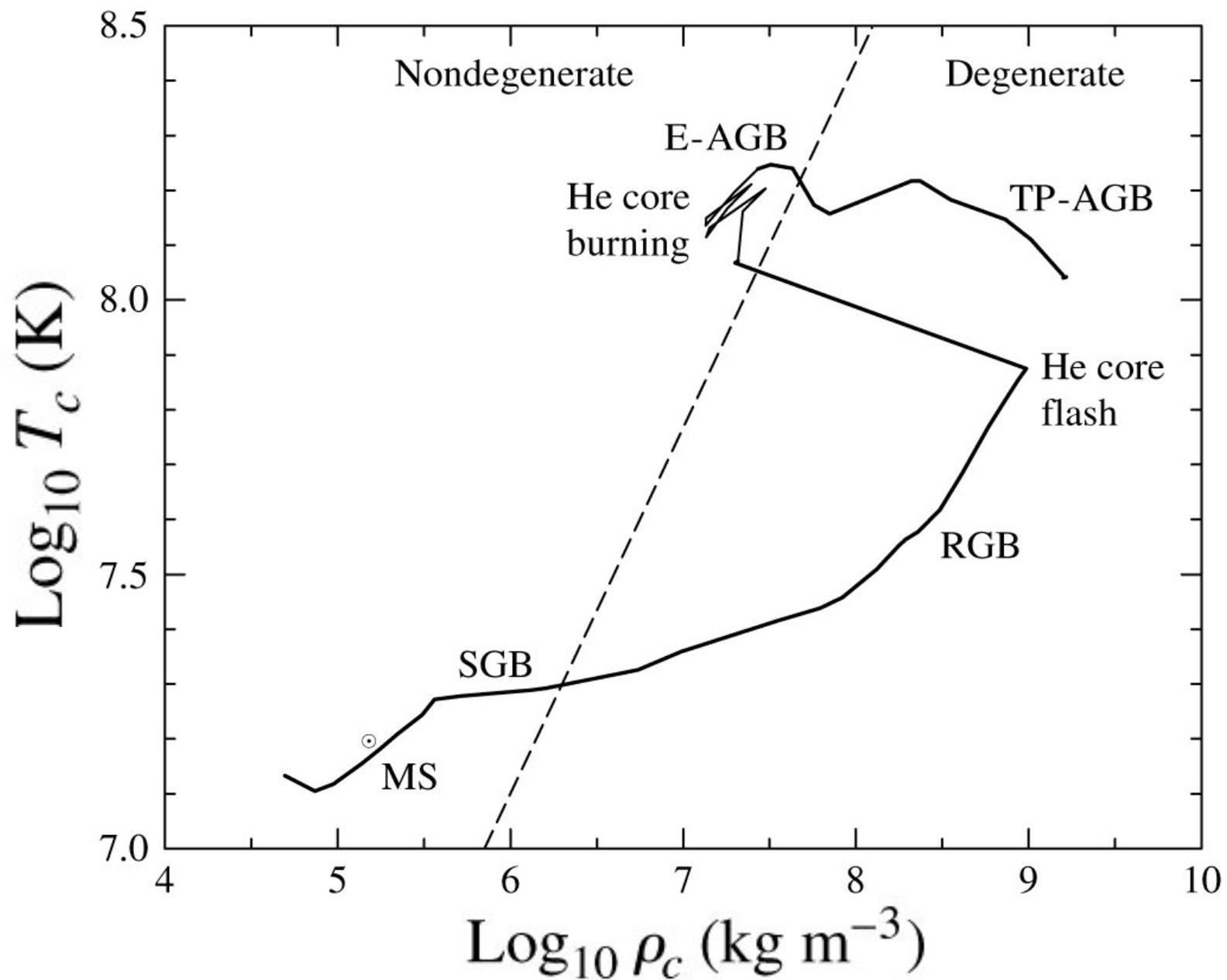


FIGURE 16.6 Degeneracy in the Sun's center as it evolves. (Data from Mazzitelli and D'Antona, *Ap. J.*, 311, 762, 1986.)

Condição para
degenerescência:

$$\frac{T}{\rho^{2/3}} < \mathcal{D}$$

$$\mathcal{D} \equiv 1261 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3}$$

Exemplo 16.3.1. Quão importante é a degenerescência no centro de Sirius B?

Para Sirius B: $T_c \sim 7.6 \times 10^7 \text{ K}$ e $P_c \approx 3.8 \times 10^{22} \text{ N m}^{-2}$

$$\frac{T_c}{\rho_c^{2/3}} = 37 \text{ K m}^2 \text{ kg}^{-2/3} \ll \mathcal{D}$$

→ Anã branca é completamente degenerada

Pressão de degenerescência de e^-

Os elétrons são forçados a ocupar os níveis mais baixos de energia (sem violar o Princípio de Exclusão)

Porem os elétrons também têm que respeitar o Princípio de Incerteza:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{1}{2} \hbar.$$


$$P = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{5} \frac{\hbar^2}{m_e} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{5/3}$$

Usando $(Z/A) = 0,5 \rightarrow$ para Sirius B temos $P = 2 \times 10^{22} \text{ N/m}^2$
 \rightarrow pressão de degenerescência de e^- suporta a anã branca

$Z/A = 0,5$ por exemplo se considerarmos anã branca de C-O (para C: $Z = 6$ e $A = 12$)

Relação Massa – Volume em anãs brancas

Pressão do equilíbrio
hidrostático:

Pressão de degenerescência:

$$\frac{2}{3} \pi G \rho^2 R_{\text{wd}}^2 = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{5} \frac{\hbar^2}{m_e} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{5/3}$$

Supondo densidade constante: $\rho = M_{\text{wd}} / \frac{4}{3} \pi R_{\text{wd}}^3$

$$R_{\text{wd}} \approx \frac{(18\pi)^{2/3}}{10} \frac{\hbar^2}{G m_e M_{\text{wd}}^{1/3}} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{1}{m_H} \right]^{5/3}$$

Para $M = 1 M_{\text{sol}}$ e $(Z/A) = 0,5 \rightarrow$ raio $R_{\text{WD}} = 3 \times 10^6$ m, muito pequeno por um fator de 2, mas ordem de grandeza OK

$$R_{\text{wd}} \approx \frac{(18\pi)^{2/3}}{10} \frac{\hbar^2}{Gm_e M_{\text{wd}}^{1/3}} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{1}{m_H} \right]^{5/3}$$

→ $M_{\text{wd}} R_{\text{wd}}^3 = \text{constante}$

ou $M_{\text{wd}} V_{\text{wd}} = \text{constante}$

Anãs brancas mais massivas têm raio R_{wd} menor!

É possível termos anãs brancas com $R \sim 0$?

Exemplo, velocidade de e^- em Sirius B (sem considerar a relatividade, usando eq. 16.10):

$$v \approx \frac{\hbar}{m_e} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{1/3} = 1.1 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$v > 1/3 c !$

Anãs brancas não podem ter $R \rightarrow 0$. Efeitos da relatividade: velocidade e^- não pode exceder c .

Limite de estabilidade:
$$P = \frac{(3\pi^2)^{1/3}}{4} \hbar c \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{4/3}$$

Limite de Chandrasekhar

(descoberto quando tinha 21 anos)

Para ter uma ideia da massa limite de Chandrasekhar:

Pressão do equilíbrio
hidrostático:

Limite de pressão para
estabilidade da anã branca:

$$\frac{2}{3} \pi G \rho^2 R_{\text{wd}}^2 = \frac{(3\pi^2)^{1/3}}{4} \hbar c \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{4/3}$$

Usando:

$$\rho = M_{\text{wd}} / \frac{4}{3} \pi R_{\text{wd}}^3$$

$$\rightarrow M_{\text{Ch}} \sim \frac{3\sqrt{2\pi}}{8} \left(\frac{\hbar c}{G} \right)^{3/2} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \frac{1}{m_H} \right]^2$$

$$\text{Para } (Z/A) = 0,5 \rightarrow M_{\text{Ch}} = 0,44 M_{\text{Sol}}$$

Um procedimento rigoroso resulta em $M_{\text{Ch}} = 1,44 M_{\text{Sol}}$

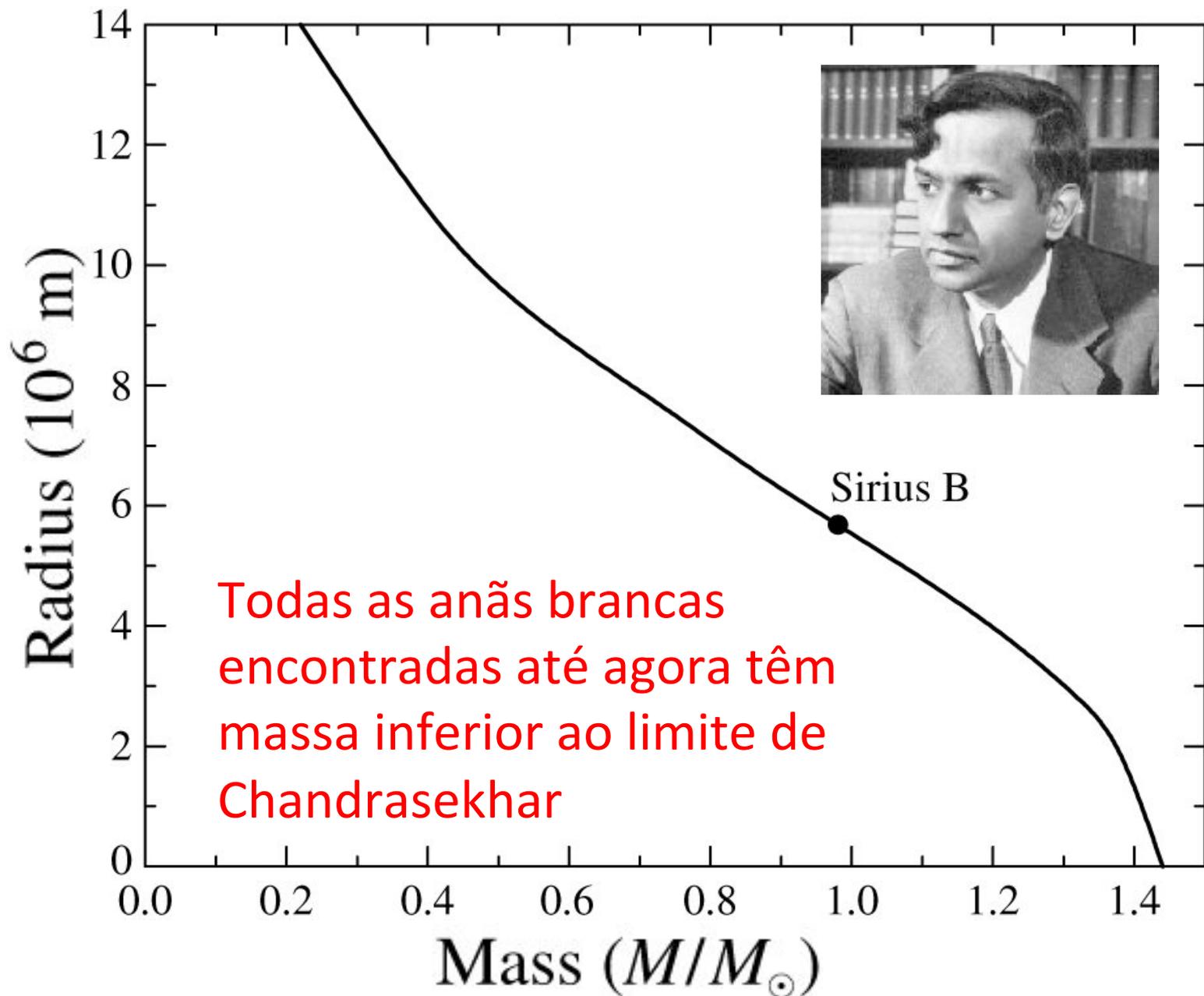


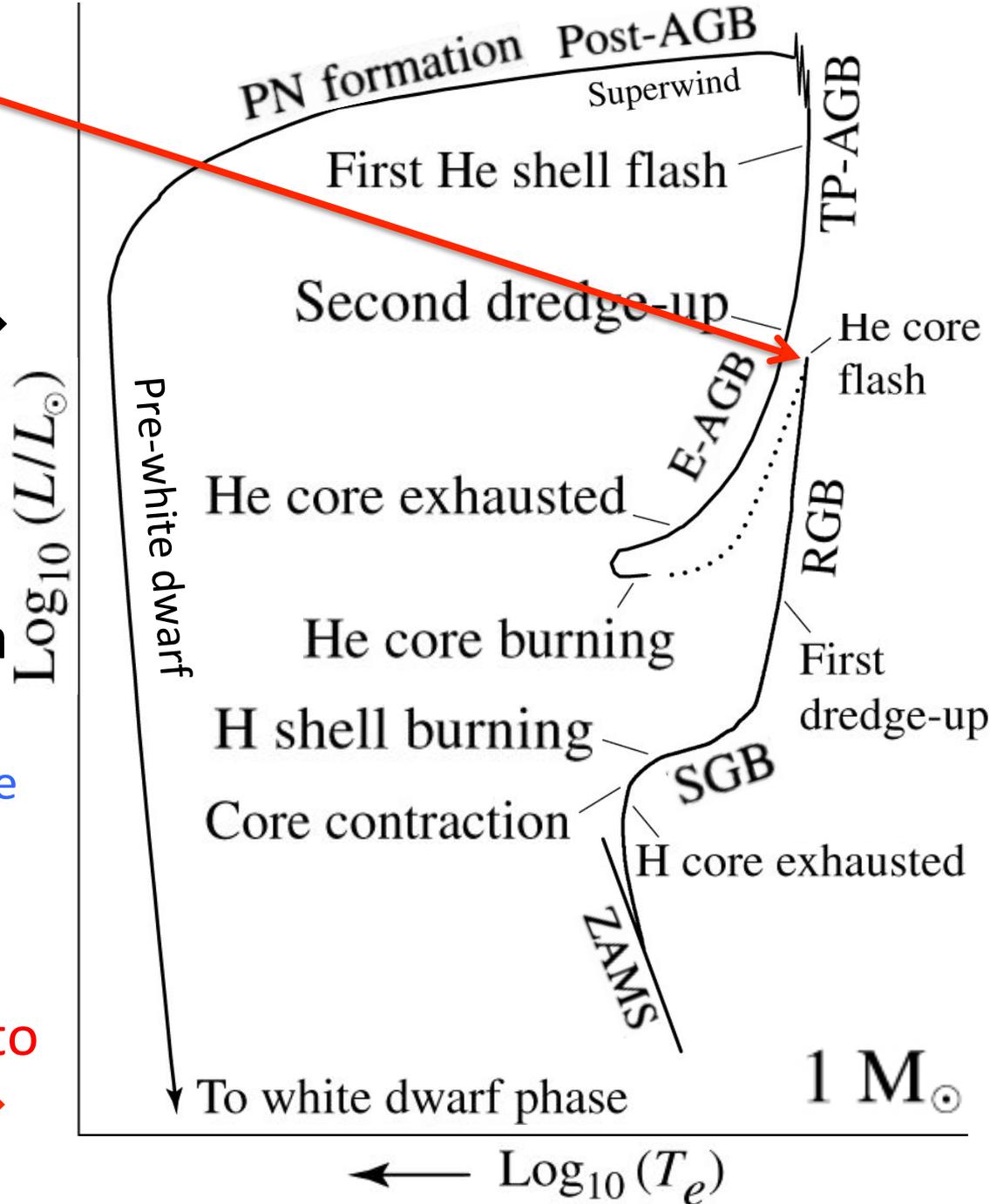
FIGURE 16.7 Radii of white dwarfs of $M_{\text{wd}} \leq M_{\text{Ch}}$ at $T = 0$ K.

O Flash do núcleo de He: *He Core Flash*

$M < 1,8 M_{\text{sol}}$: núcleo de He muito degenerado \rightarrow pressão não depende muito do aumento da T. A temperatura aumenta tanto que temos queima explosiva: **Flash de He**.

Não é observado pois boa parte da E é usada para remover a degenerescência e o resto é absorvida pelo envelope

Se a massa inicial for muito pequena ($M < 0,5 M_{\text{sol}}$) \rightarrow sem combustão do He



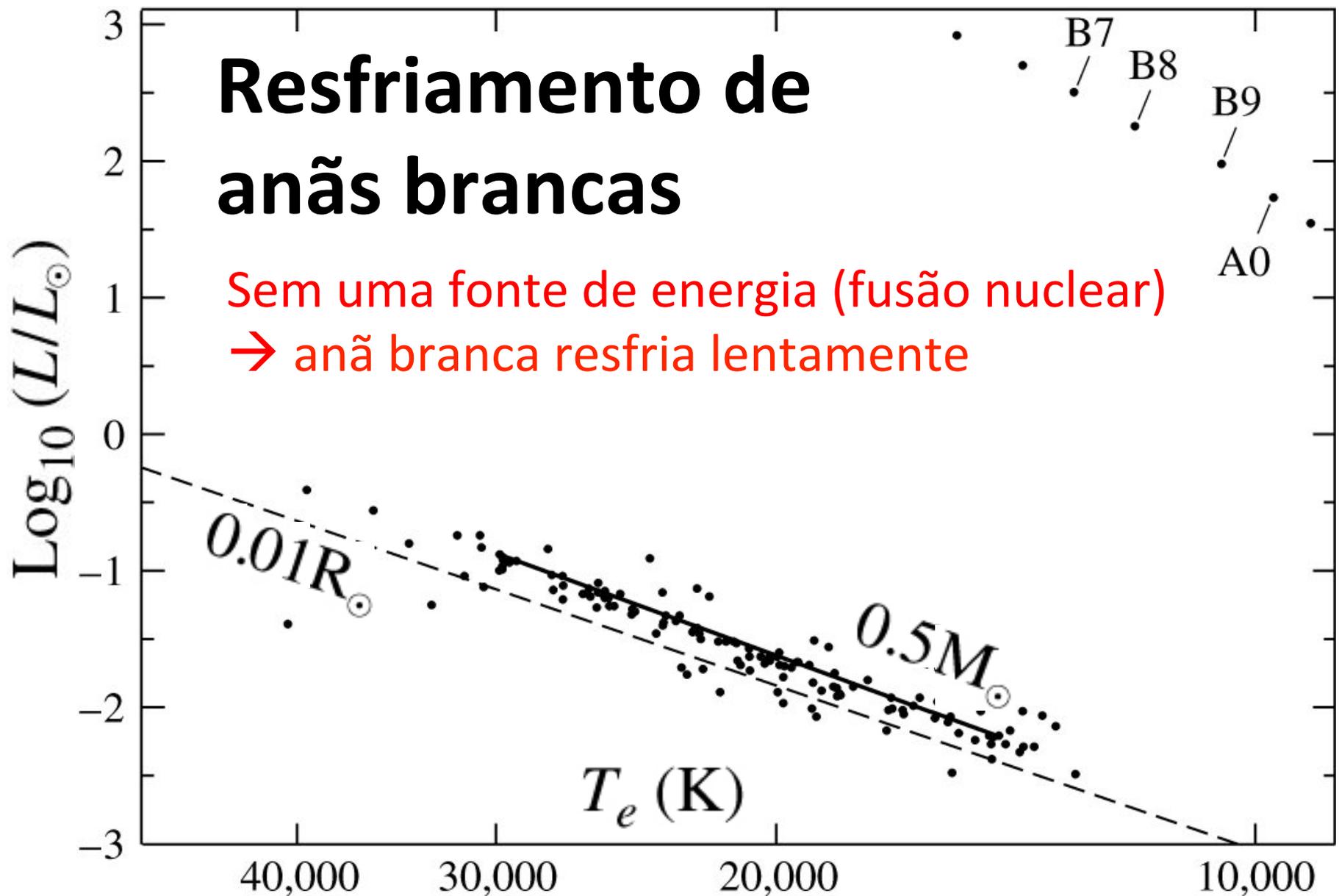


FIGURE 16.3 DA white dwarfs on an H–R diagram. A line marks the location of the $0.50 M_{\odot}$ white dwarfs, and a portion of the main sequence is at the upper right. (Data from Bergeron, Saffer, and Liebert, *Ap. J.*, 394, 228, 1992.)

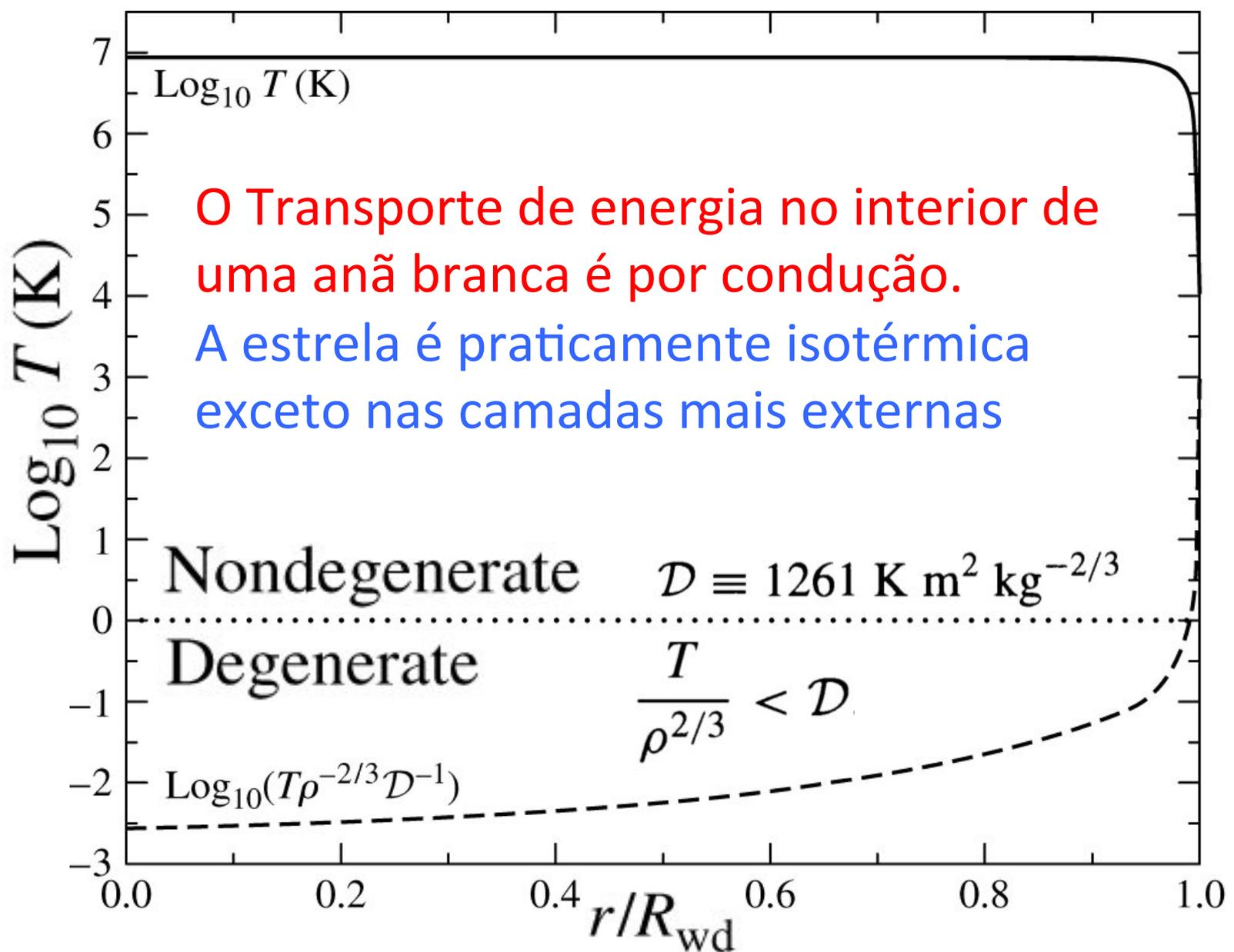


FIGURE 16.8 Temperature and degree of degeneracy in the interior of a white dwarf model. The horizontal dotted line marks the boundary between degeneracy and nondegeneracy as described by Eq. (16.6).

Estrutura das camadas não degeneradas da anã branca

$$P = \left(\frac{4}{17} \frac{16\pi a c}{3} \frac{GM_{\text{wd}}}{L_{\text{wd}}} \frac{k}{\kappa_0 \mu m_H} \right)^{1/2} T^{17/4}$$

$a = 4 \sigma/c$

bound-free Kramers opacity law

$$\kappa_0 = 4.34 \times 10^{21} Z(1 + X) \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

X, Z : fração de H e metais
 $X + Y + Z = 1$

Usando a lei do gás ideal:

$$\rho = \left(\frac{4}{17} \frac{16\pi a c}{3} \frac{GM_{\text{wd}}}{L_{\text{wd}}} \frac{\mu m_H}{\kappa_0 k} \right)^{1/2} T^{13/4}$$

O limite entre o interior degenerado e a superfície é quando a energia térmica ($3/2 kT$) for igual à energia de Fermi:

$$\frac{3}{2} kT = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left[3\pi^2 \left(\frac{Z}{A} \right) \frac{\rho}{m_H} \right]^{2/3}$$

Usando: $\rho = \left(\frac{4}{17} \frac{16\pi a c}{3} \frac{GM_{\text{wd}}}{L_{\text{wd}}} \frac{\mu m_H}{\kappa_0 k} \right)^{1/2} T^{13/4}$

$$L_{\text{wd}} = \frac{4\mathcal{D}^3}{17} \frac{16\pi a c}{3} \frac{Gm_H}{\kappa_0 k} \mu M_{\text{wd}} T_c^{7/2} = C T_c^{7/2}$$

onde $C \equiv 6.65 \times 10^{-3} \left(\frac{M_{\text{wd}}}{M_\odot} \right) \frac{\mu}{Z(1+X)}$

Example 16.5.1. Equation (16.19) can be used to estimate the interior temperature of a $1 M_{\odot}$ white dwarf with $L_{\text{wd}} = 0.03 L_{\odot}$. Arbitrarily assuming values of $X = 0$, $Y = 0.9$, $Z = 0.1$ for the nondegenerate envelope (so $\mu \simeq 1.4$) results in¹⁶

$$T_c = \left[\frac{L_{\text{wd}}}{6.65 \times 10^{-3}} \left(\frac{M_{\odot}}{M_{\text{wd}}} \right) \frac{Z(1+X)}{\mu} \right]^{2/7} = 2.8 \times 10^7 \text{ K.}$$

Densidade na
base do
envelope:

$$\rho = \left(\frac{T_c}{D} \right)^{3/2} = 3.4 \times 10^6 \text{ kg m}^{-3}$$

Muito menor que a densidade média da Sirius B
($3 \times 10^9 \text{ kg m}^{-3}$) \rightarrow Envelope muito fino

Resfriamento das anãs brancas

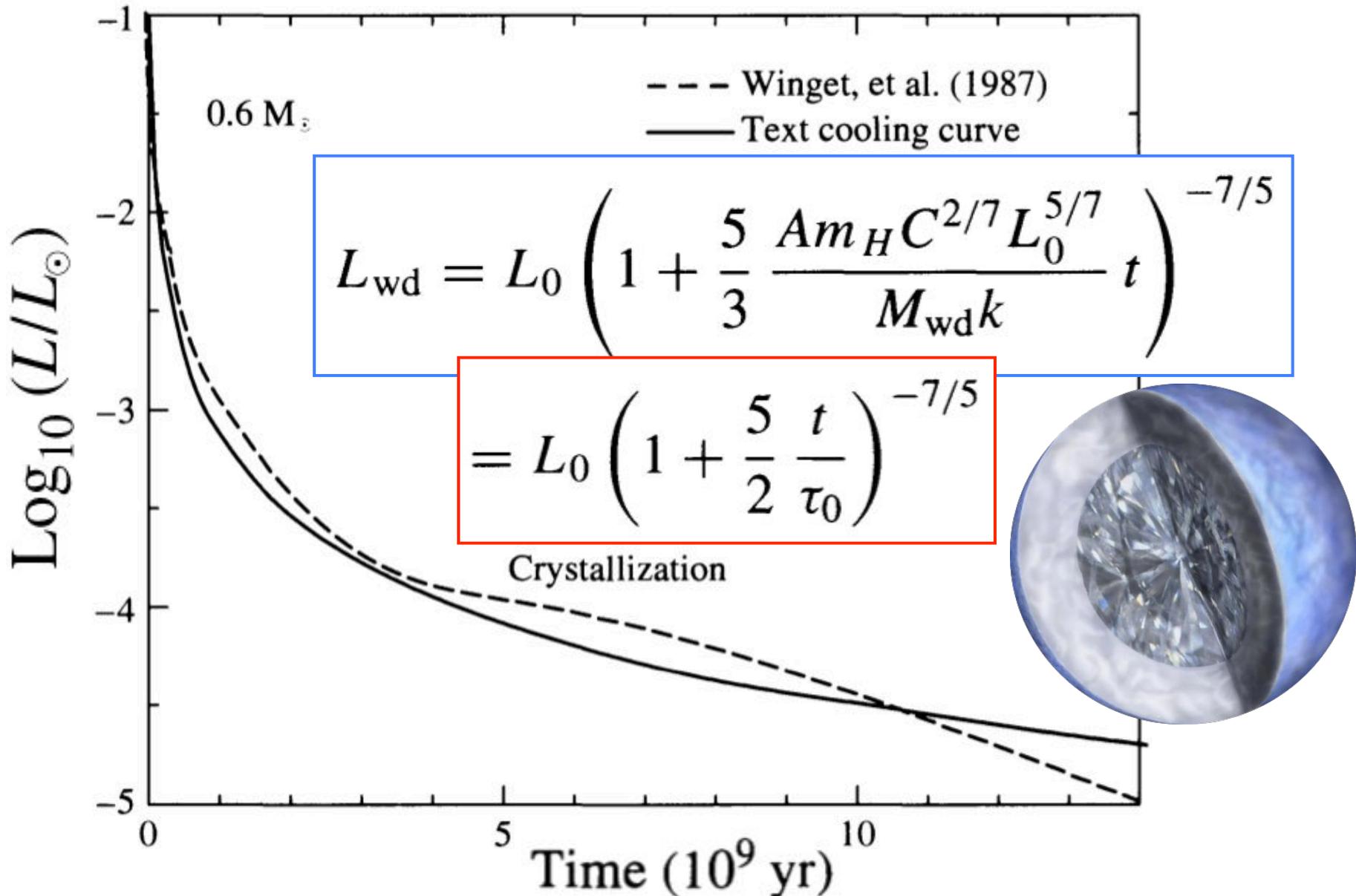


FIGURE 16.9 Theoretical cooling curves for $0.6 M_{\odot}$ white-dwarf models. [The solid line is from Eq. (16.23), and the dashed line is from Winget et al., *Ap. J. Lett.*, 315, L77, 1987.]

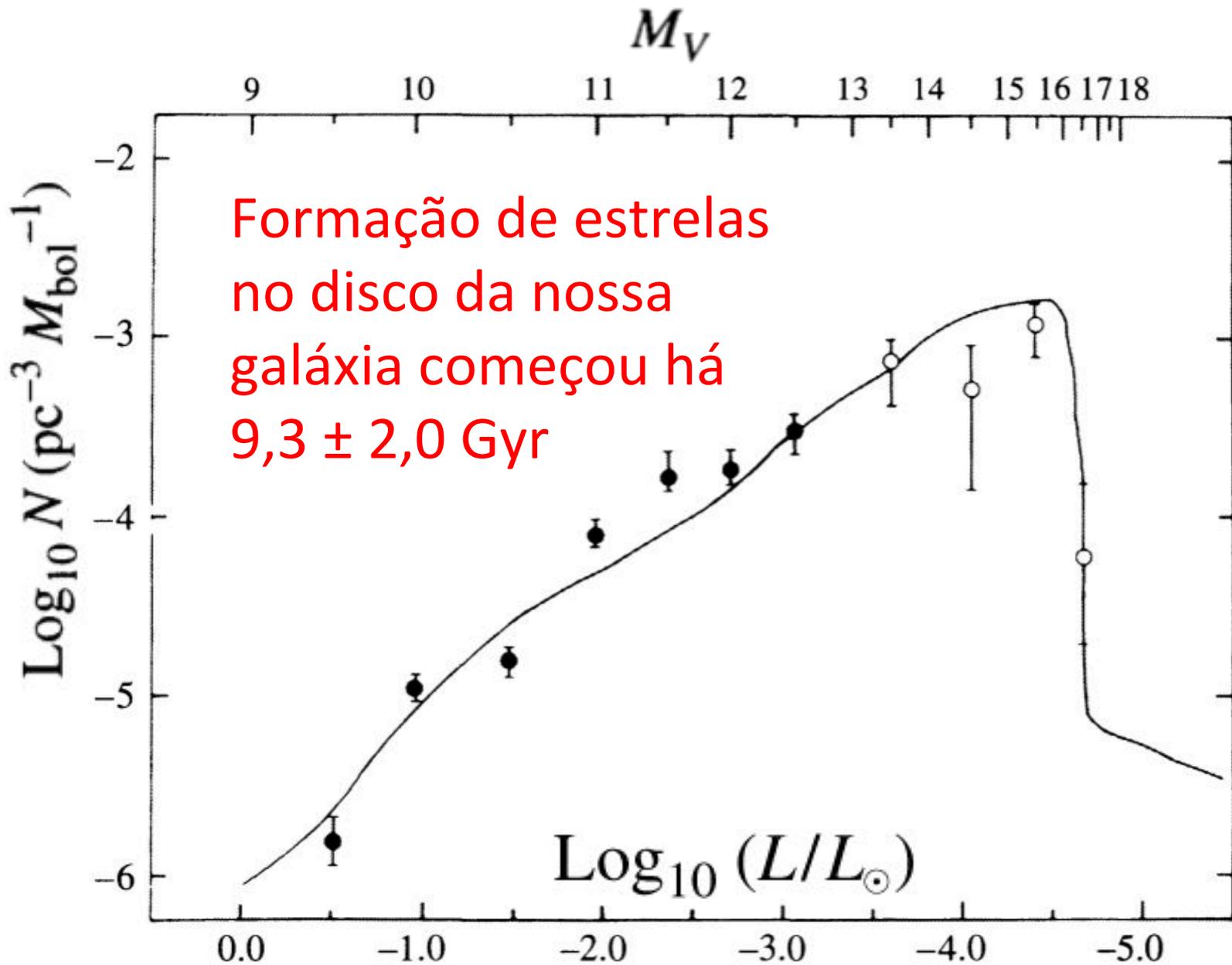
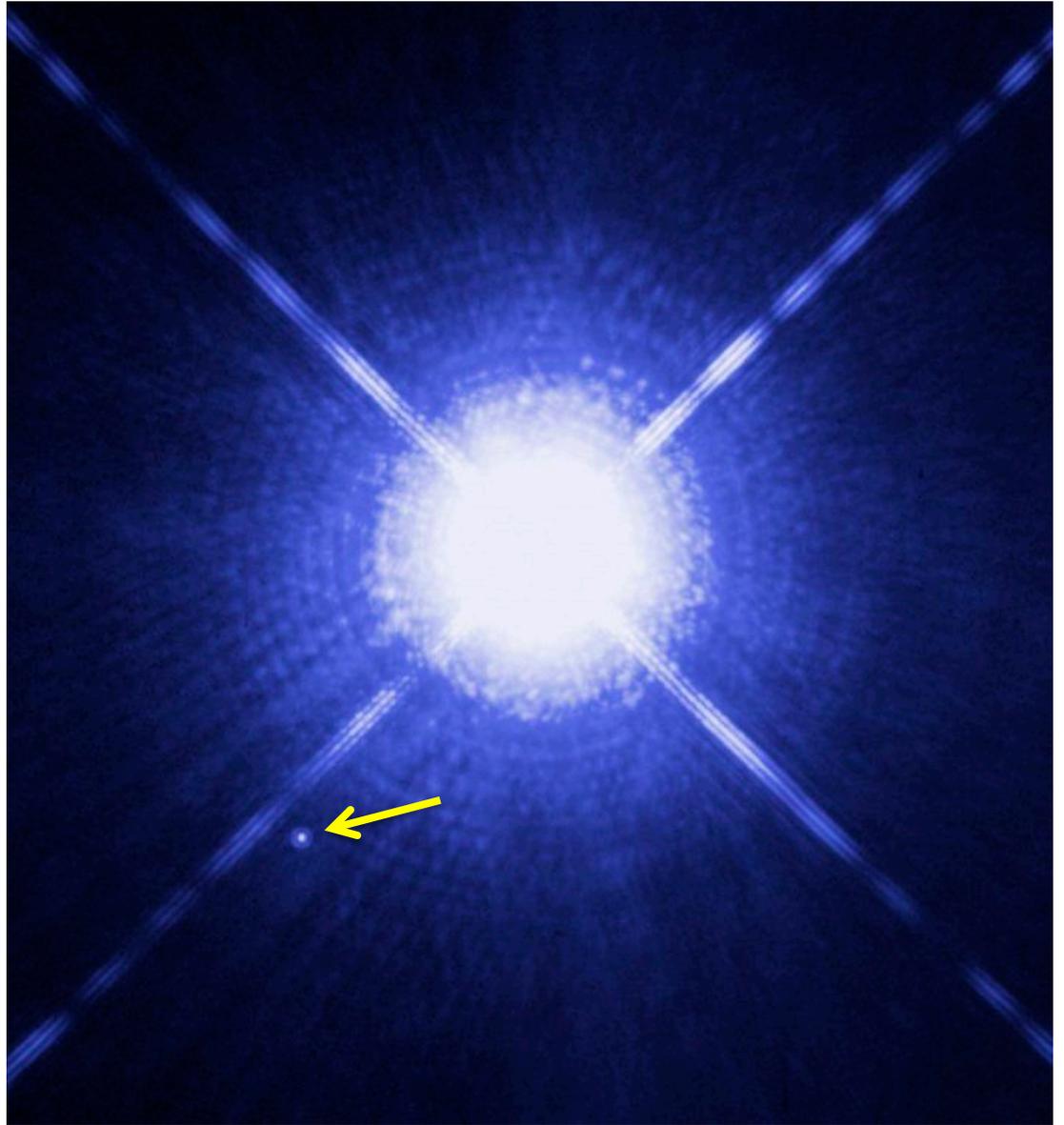


FIGURE 16.10 Observed and theoretical distribution of white-dwarf luminosities. (Figure adapted from Winget et al., *Ap. J. Lett.*, 315, L77, 1987.)

Idade em sistemas binários

(incluindo uma componente anã branca)

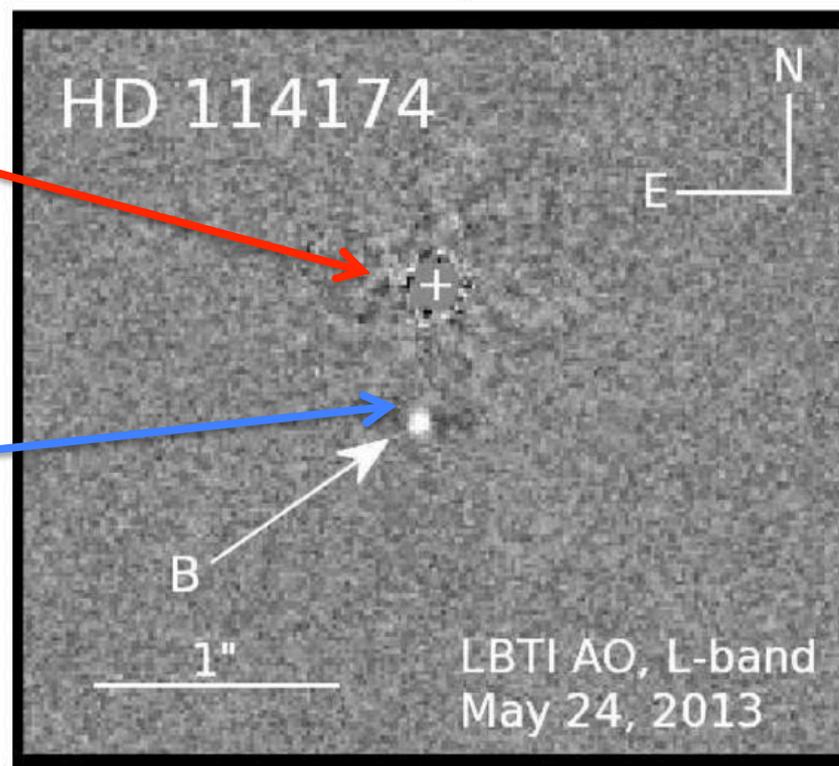


Sirius A e B

MID-INFRARED HIGH-CONTRAST IMAGING OF HD 114174 B: AN APPARENT AGE DISCREPANCY IN A “SIRIUS-LIKE” BINARY SYSTEM

CHRISTOPHER T. MATTHEWS¹, JUSTIN R. CREPP¹, ANDREW SKEMER², PHILIP M. HINZ²,
ALEXANDROS GIANNINAS³, MUKREMIN KILIC³, MICHAEL SKRUTSKIE⁴, VANESSA P. BAILEY²,
DENIS DEFRERE², JARRON LEISENRING², SIMONE ESPOSITO⁵, AND ALFIO PUGLISI⁵

Gêmea solar
(HD114174 A)
foi ocultada
para poder
observar a fraca
anã branca
(HD114174 B)



Sistema binário de
gêmea solar e anã
branca

Figure 1. L' -band recovery image of HD 114174 B after point-spread-function subtraction. The WD companion, HD 114174 B, is detected at an angular separation of $0''.68$ with a measured contrast ratio of $\Delta L' = 10.15 \pm 0.15$ at 10σ . This image represents the deepest high-contrast detection within $1''$ in the L' -band to date.

Table 1

Properties of HD 114174 A from Crepp et al. (2013)

Right ascension (J2000)	13 08 51.02
Declination (J2000)	+05 12 26.06
<i>B</i>	7.47 ± 0.01
<i>V</i>	6.8 ± 0.001
<i>R</i>	6.3 ± 0.02
<i>I</i>	6.0 ± 0.01
<i>Y</i> ^a	5.71 ± 0.01
<i>J</i>	5.613 ± 0.026
<i>H</i>	5.312 ± 0.027
<i>K_s</i>	5.202 ± 0.023
Distance (pc)	26.14 ± 0.37
Mass (<i>M</i> _⊙)	1.05 ± 0.05
Radius (<i>R</i> _⊙)	1.06
Luminosity (<i>L</i> _⊙)	1.13
Age (isochonal) (Gyr)	4.7 ^{+2.3} _{-2.6}
Age (gyrochronological) (Gyr)	4.0 ^{+0.96} _{-1.09}
(Fe/H)	0.07 ± 0.03
log(<i>g</i>) (cm s ⁻²)	4.51 ± 0.06
<i>T</i> _{eff} (K)	5781 ± 44
Spectral type	G5 IV-V
<i>v</i> sin(<i>i</i>) (km/s)	1.8 ± 0.5

Note. ^a We estimate the *Y*-band magnitude of HD 114174 A by fitting a blackbody function to *BVRIJHK_s* photometric measurements (Section 3.2).

Gêmea solar (primária)

Segundo o artigo: 4,7±2.6 Gyr

Nosso grupo: 6,4± 0,7 Gyr

Table 2

Photometry and Best Fit Hydrogen Model for HD 114174 B

ΔY	>8.2 ± 0.7 mag
ΔJ	10.48 ± 0.11 mag
ΔK	10.75 ± 0.12 mag
$\Delta L'$	10.15 ± 0.15 mag
<i>Y</i>	>14.0 ± 0.7
<i>J</i>	16.06 ± 0.11
<i>K_s</i>	15.94 ± 0.12
<i>L'</i>	15.30 ± 0.16
<i>M_Y</i>	>11.85 ± 0.7
<i>M_J</i>	13.98 ± 0.11
<i>M_{K_s}</i>	13.85 ± 0.12
<i>M_L</i>	13.21 ± 0.16
Mass (<i>M</i> _⊙)	0.54 ± 0.01
Radius (<i>R</i> _⊙)	0.01301 ± 0.00019
log <i>L/L</i> _⊙	-4.30 ± 0.02
Age (Gyr)	7.77 ± 0.24
log <i>g</i>	7.94 ± 0.03
<i>T</i> _{eff} (K)	4260 ± 360
<i>M_v</i>	7.90 ± 0.03
<i>M</i> _{bol}	15.49 ± 0.03

Anã branca: 7,7 Gyr.

Porem, se a atmosfera for de He → idade 6,2 Gyr (em excelente acordo com nossa idade da gêmea solar)

HD114174 (= HIP 64150)

A luz da gêmea solar HD114174 (no centro) foi ocultada com o instrumento SPHERE do ESO, permitindo observar a fraca companheira, uma anã branca

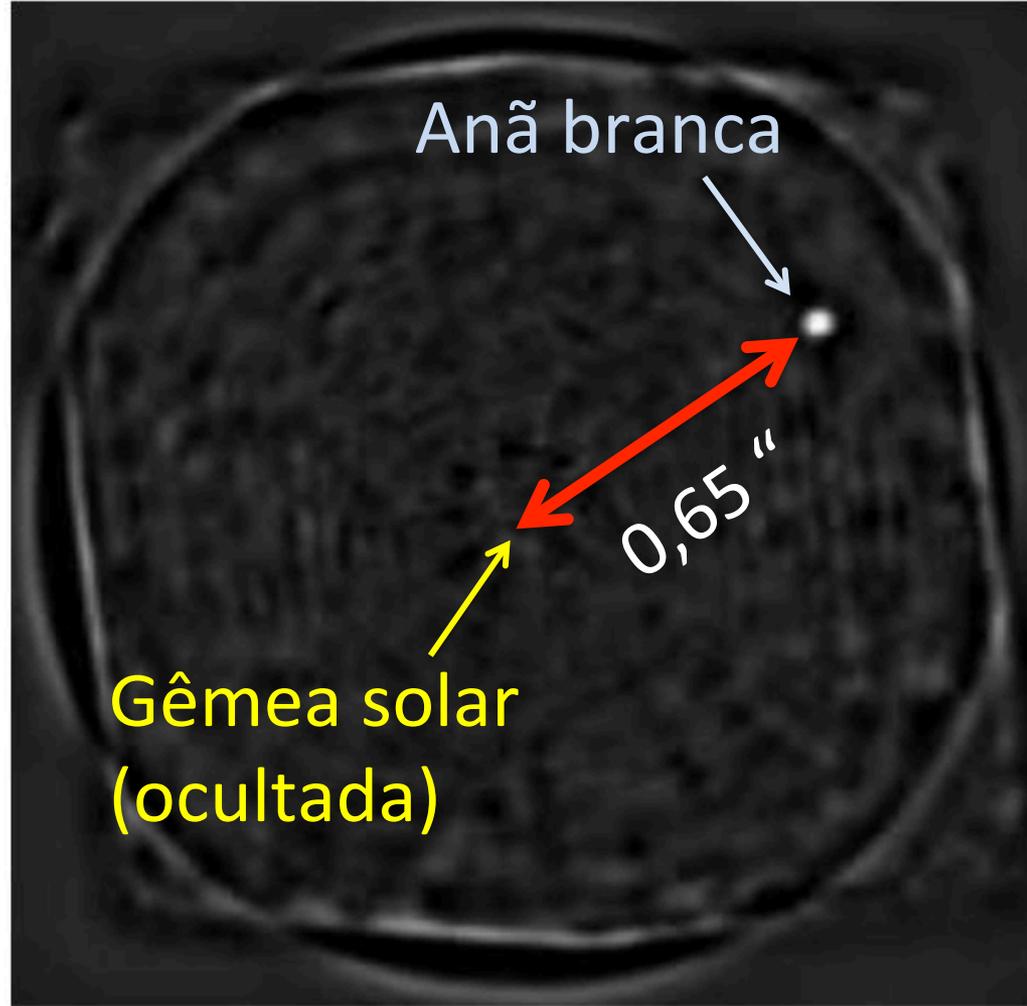
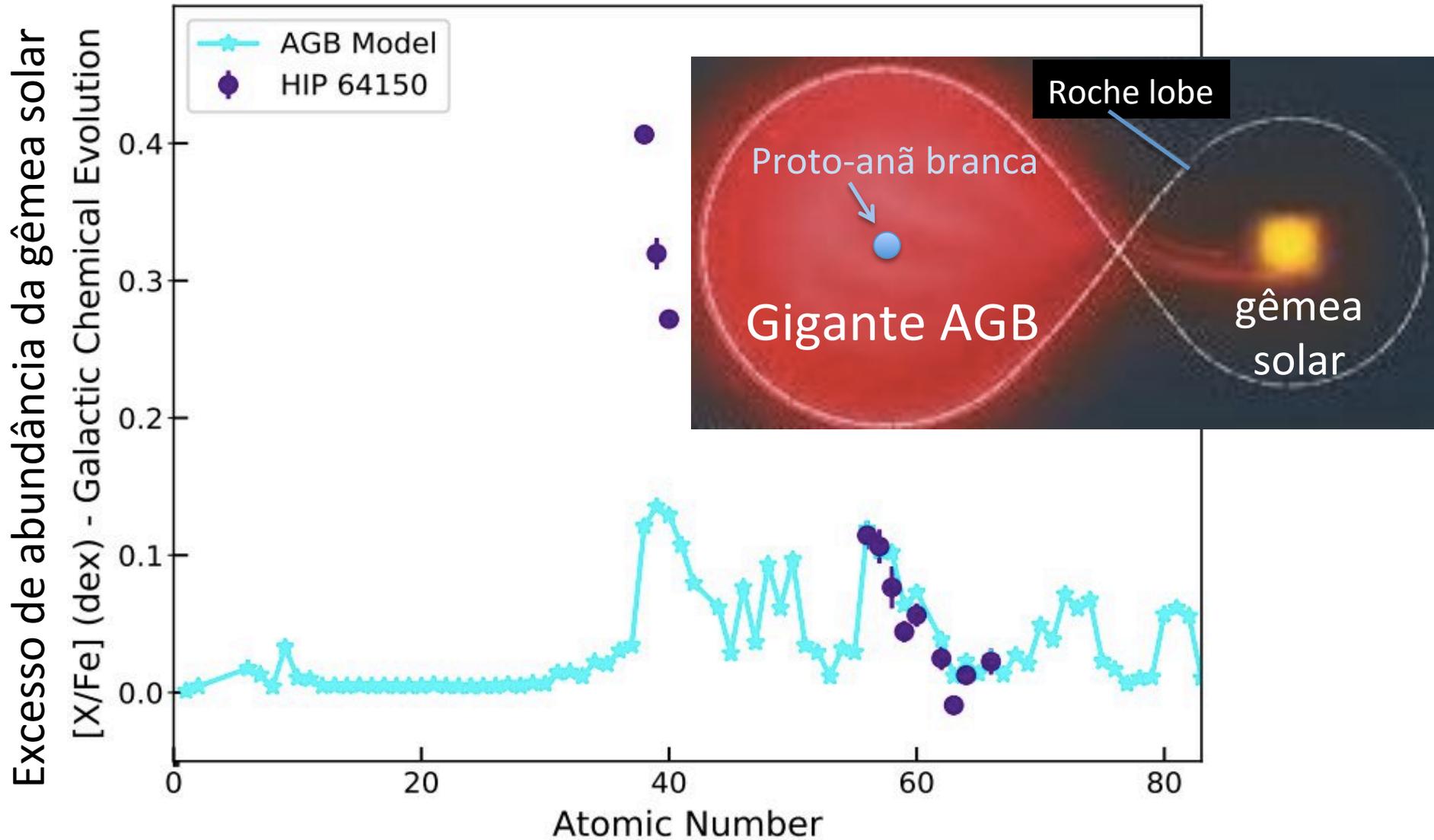


Fig. 2. Final image obtained for the star HD114174. The know WD companion is clearly visible on the top right corner while the central star, more than 10^4 times brighter, has been well cancelled using ADI and SD implemented in the SPHERE subtraction procedures. Claudi et al. 2016

Poluição de elementos de captura de nêutrons por antiga companheira AGB (agora anã branca)



Estudo de anãs brancas no Brasil

- Kepler Oliveira (UFRGS)



- Alejandra Romero (UFRGS)



Grupo da UFRGS: observações e teoria de anãs brancas.

Provinha

- Qual tipo de anã branca é mais numerosa? (DA, DB, DC, DQ, DZ)
- Como a anã branca se mantém em equilíbrio?
- Qual o valor da massa limite de Chandrasekhar (em massas solares)?
- Se a massa de uma anã branca for M e o volume $= V$, qual o volume de uma anã branca com massa $= 1,5 M$?
- Qual o motivo do resfriamento das anãs frias?