

BUDOWA I EWOLUCJA GWIAZD

Jadwiga Daszyńska-Daszkiewicz

Semestr letni, 2018/2019

Zależność masa-jasność

**Można wyprowadzić bez odniesienia do źródła energii.
Jasność zależy od nieprzezroczystości i składu chemicznego.**

Zależność masa-jasność

Transport promienisty

$$T \simeq \frac{GMm_{\text{u}}\mu}{k_{\text{B}}R} \quad \rho \simeq \frac{M}{R^3}$$

$$L = -\frac{4\pi r^2 a \tilde{c}}{3\kappa\rho} \frac{dT^4}{dr}$$

$$\kappa \simeq \kappa_0 \rho^\lambda T^{-\nu}$$

$$L_{\text{s}} \simeq \frac{a \tilde{c} R T^{4+\nu}}{\kappa_0 \rho^{\lambda+1}} \simeq \frac{a \tilde{c}}{\kappa_0} \left(\frac{G m_{\text{u}} \mu}{k_{\text{B}}} \right)^{4+\nu} R^{3\lambda-\nu} M^{3+\nu-\lambda}$$

Zależność masa-jasność

Transport promienisty

dolny ciąg główny

$$\lambda = 1, \nu = 3.5$$

$$\kappa_0 \equiv \kappa_0^{(\text{bf})} \simeq 4 \times 10^{25} Z(1 + X)$$

$$\begin{aligned} L_s \simeq L_{\text{bf}} &= \frac{a\tilde{c}}{\kappa_0^{(\text{bf})}} \left(\frac{Gm_u\mu}{k_B} \right)^{7.5} R^{-0.5} M^{5.5} \\ &\simeq 1.4 \times 10^{35} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{5.5} \frac{1.7}{1+X} \frac{0.02}{Z} \left(\frac{\mu}{0.62} \right)^{7.5} \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^{-0.5} \text{ erg sec}^{-1} \end{aligned}$$

Zależność masa-jasność

Transport promienisty

górny ciąg główny

$$\lambda = \nu = 0, \kappa_0 = \kappa_0^{(e)} = 0.2(1 + X)$$

$$L_s \simeq L_e = \frac{a\tilde{c}}{\kappa_0^{(e)}} \left(\frac{Gm_u\mu}{k_B} \right)^4 M^3 \simeq 3 \times 10^{35} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^3 \left(\frac{\mu}{0.62} \right)^4 \frac{1.7}{1 + X} \text{ erg sec}^{-1}$$

Zależność masa-jasność

Transport zdominowany przez konwekcję

- Otoczki konwekcyjne

$$T_{\text{eff}} = f(K) \quad K = P_{\text{ph}} / \rho_{\text{ph}}^{(1+1/n)}$$

$$\kappa = \kappa_0^{(\text{ph})} \rho^a T^b$$

$$P_{\text{ph}} = \left[\frac{GM(a+1)}{R^2 \kappa_0^{(\text{ph})}} \right]^{1/(a+1)} \left(\frac{k_B}{\mu m_u} \right)^{a/(a+1)} T_{\text{eff}}^{(a-b)/(a+1)}$$

$$\rho_{\text{ph}} = \left[\frac{GM(a+1)}{R^2 \kappa_0^{(\text{ph})}} \right]^{1/(a+1)} \left(\frac{k_B}{\mu m_u} \right)^{-1/(a+1)} T_{\text{eff}}^{-(b+1)/(a+1)}$$

$$K = \left[\frac{GM(a+1)}{R^2 \kappa_0^{(\text{ph})}} \right]^{-\eta} \left(\frac{k_B}{\mu m_u} \right)^{1+\eta} T_{\text{eff}}^{1+\eta(b+1)}$$

$$L_s = 4\pi\sigma R^2 T_{\text{eff}}^4$$

Zależność masa-jasność

Transport zdominowany przez konwekcję

- Gwiazdy całkowicie konwekcyjne

$n=3/2$ dla całej gwiazdy

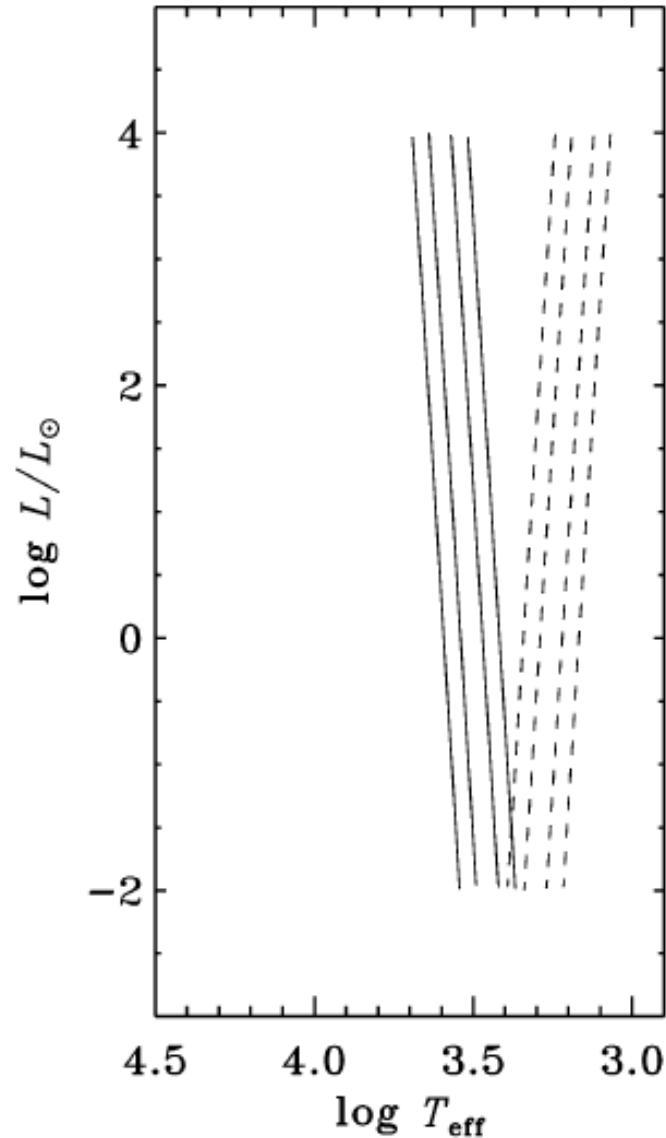
Nieprzezroczystość jest zdominowana przez H^-

$$T_{\text{eff}} = 2 \cdot 10^3 (M/M_{\odot})^{0.15} (L/L_{\odot})^{0.01} (Z/0.02)^{-0.04}$$

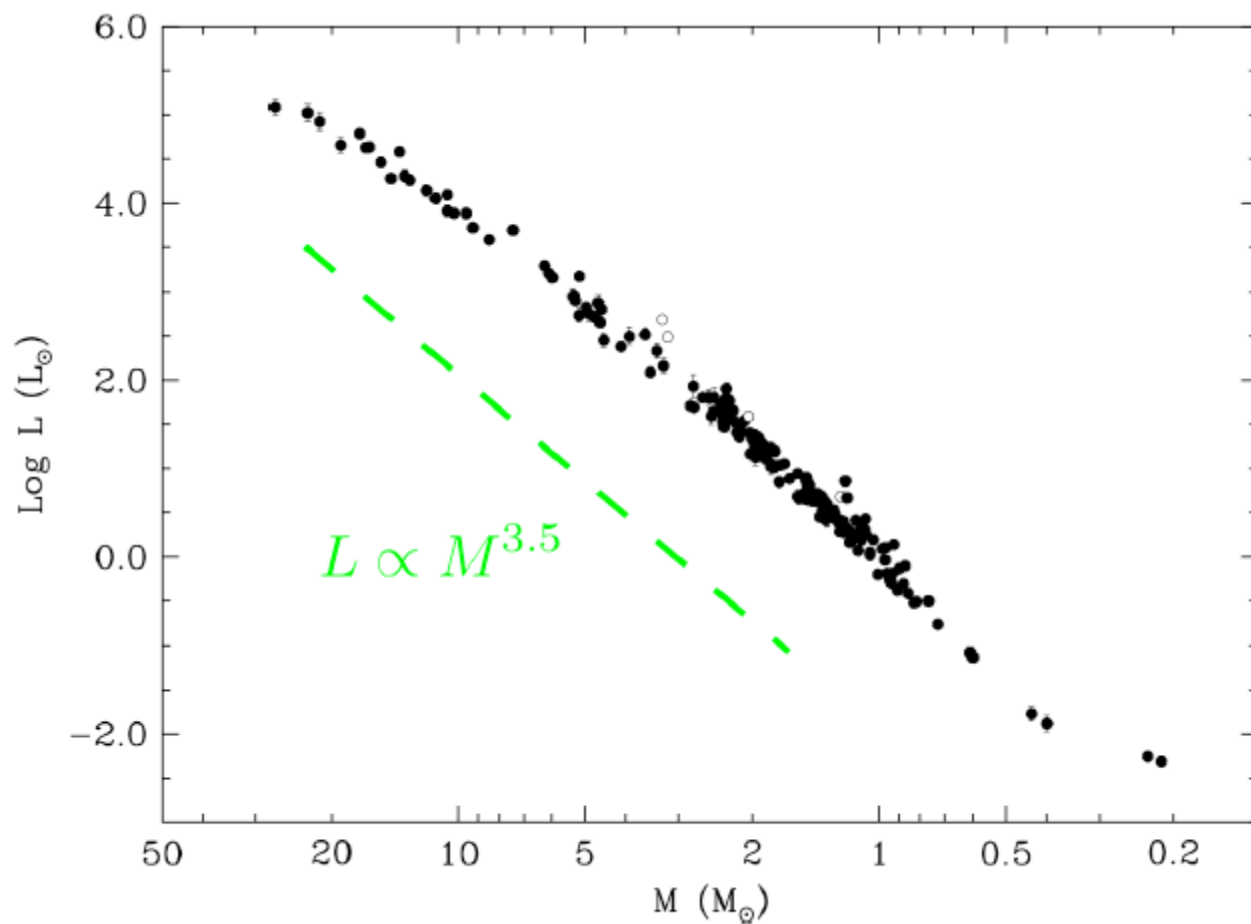
Ścieżki Hayashiego dla mas 1, 2, 5, 10 $M_{\odot}$

Linie ciągłe – z prostych zależności

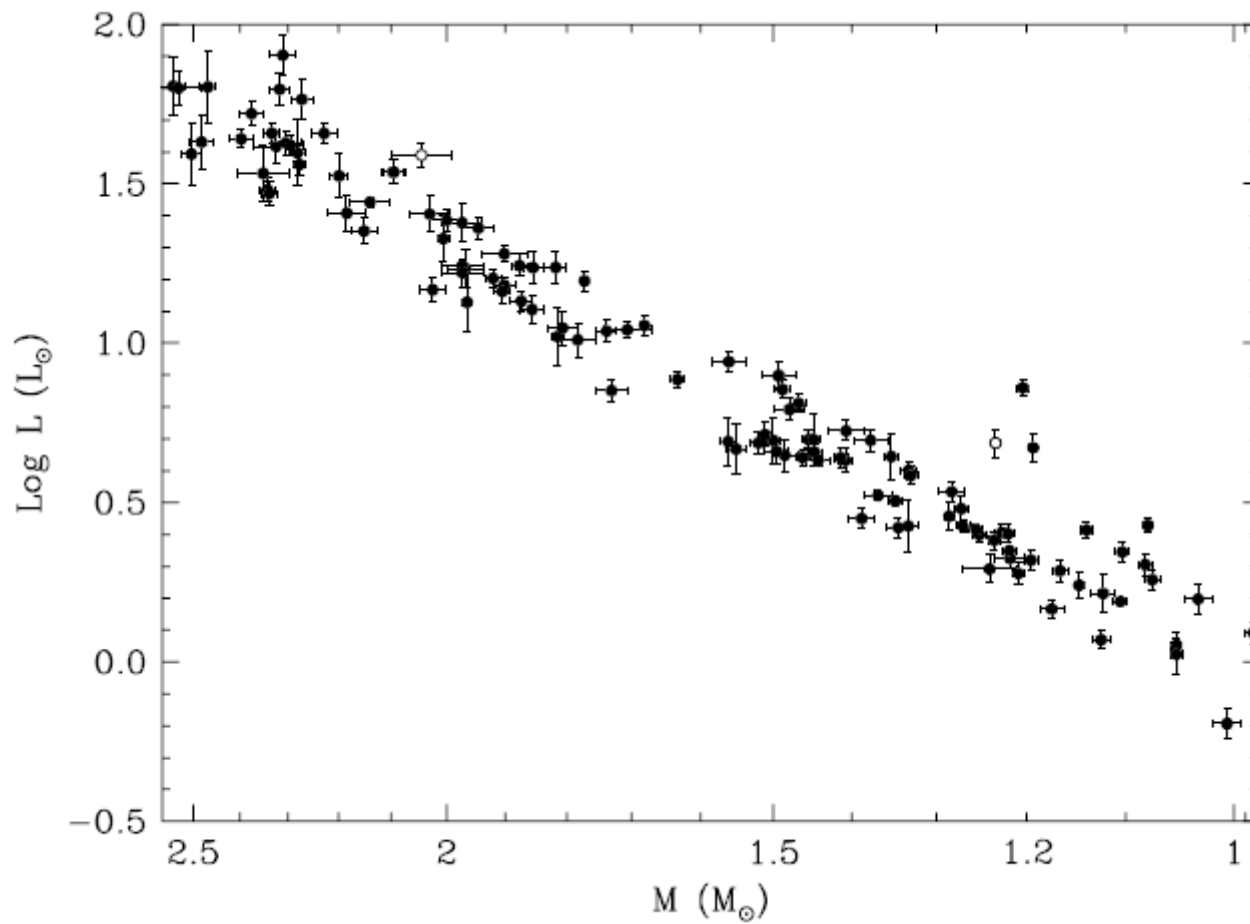
Linie przerywane – numeryczne obliczenia

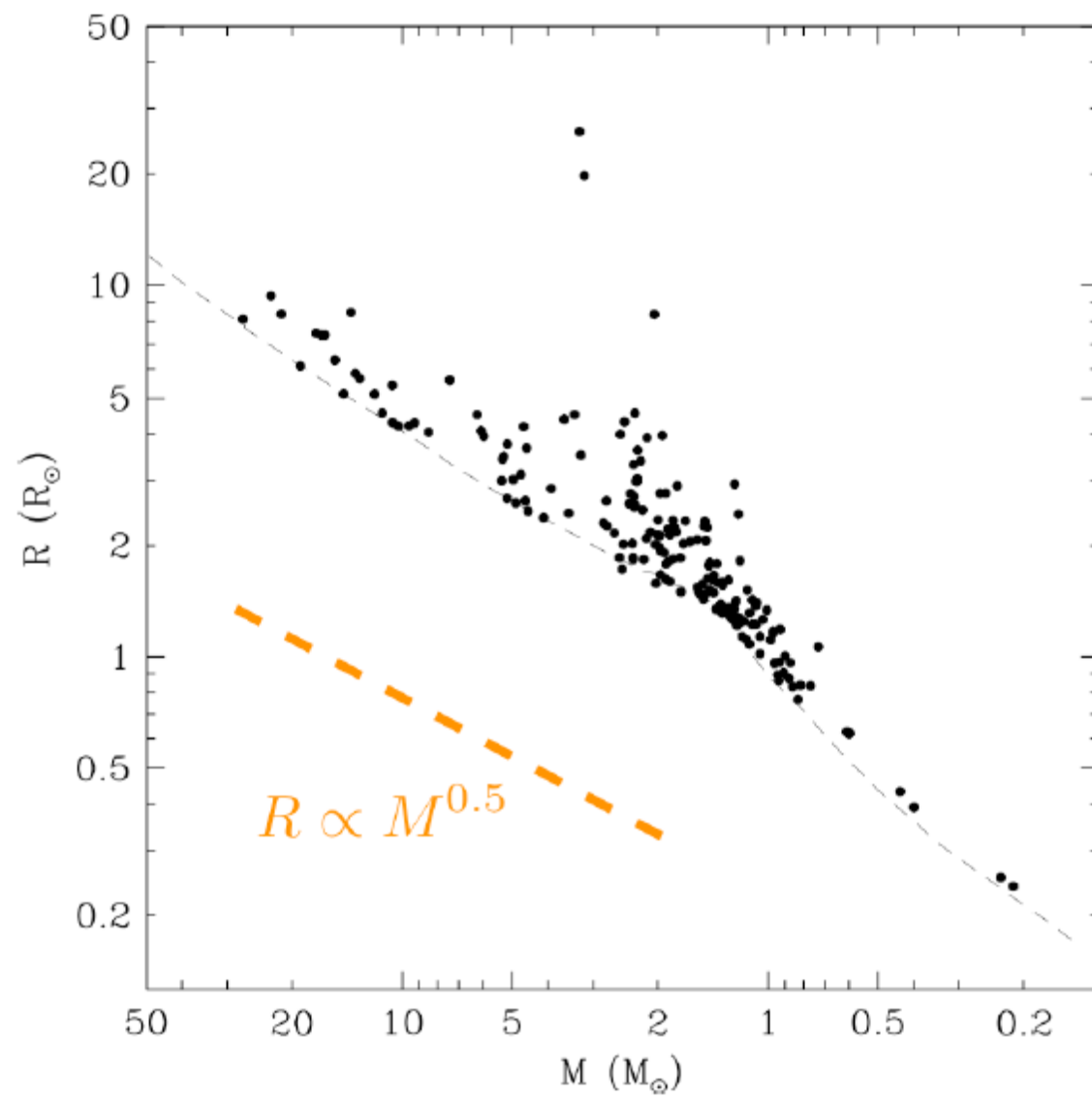


Empiryczna zależność masa-jasność dla 190 gwiazd
z układów podwójnych (dokładność R, L, M – 3%)



$M=1-2.5 M_{\odot}$





EWOLUCJA PRZED CIĄGIEM GŁÓWNYM

Masa Jeansa

$$E_{\text{tot}} \simeq k_{\text{B}}T - \frac{GMm_{\text{u}}}{R}$$

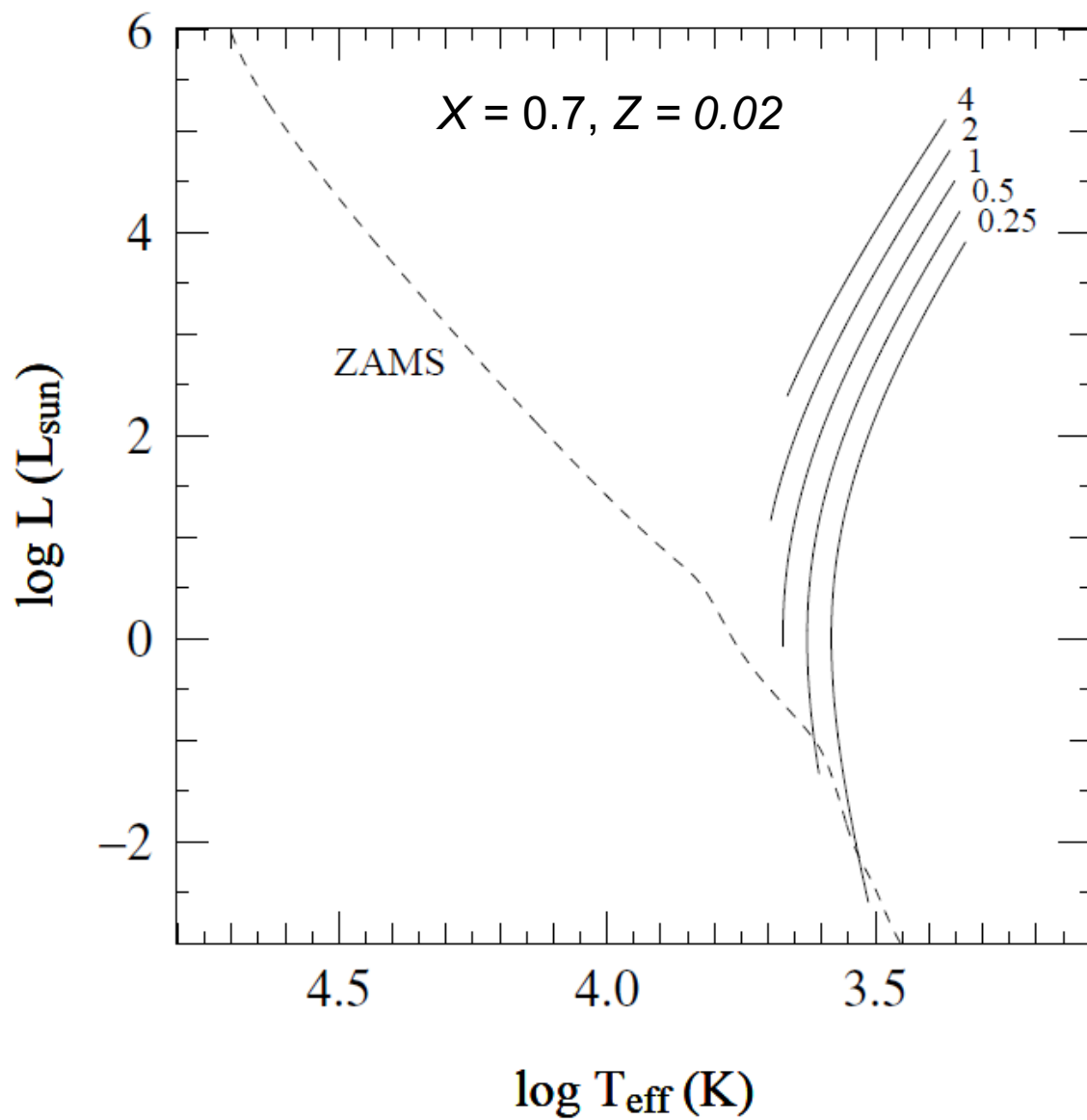
$$E_{\text{tot}} < 0,$$

$$M > M_{\text{J}} = \frac{4}{3}\pi\rho R_{\text{J}}^3 \simeq 5 \times 10^{-10} \left(\frac{T^3}{\rho} \right)^{1/2} M_{\odot}$$

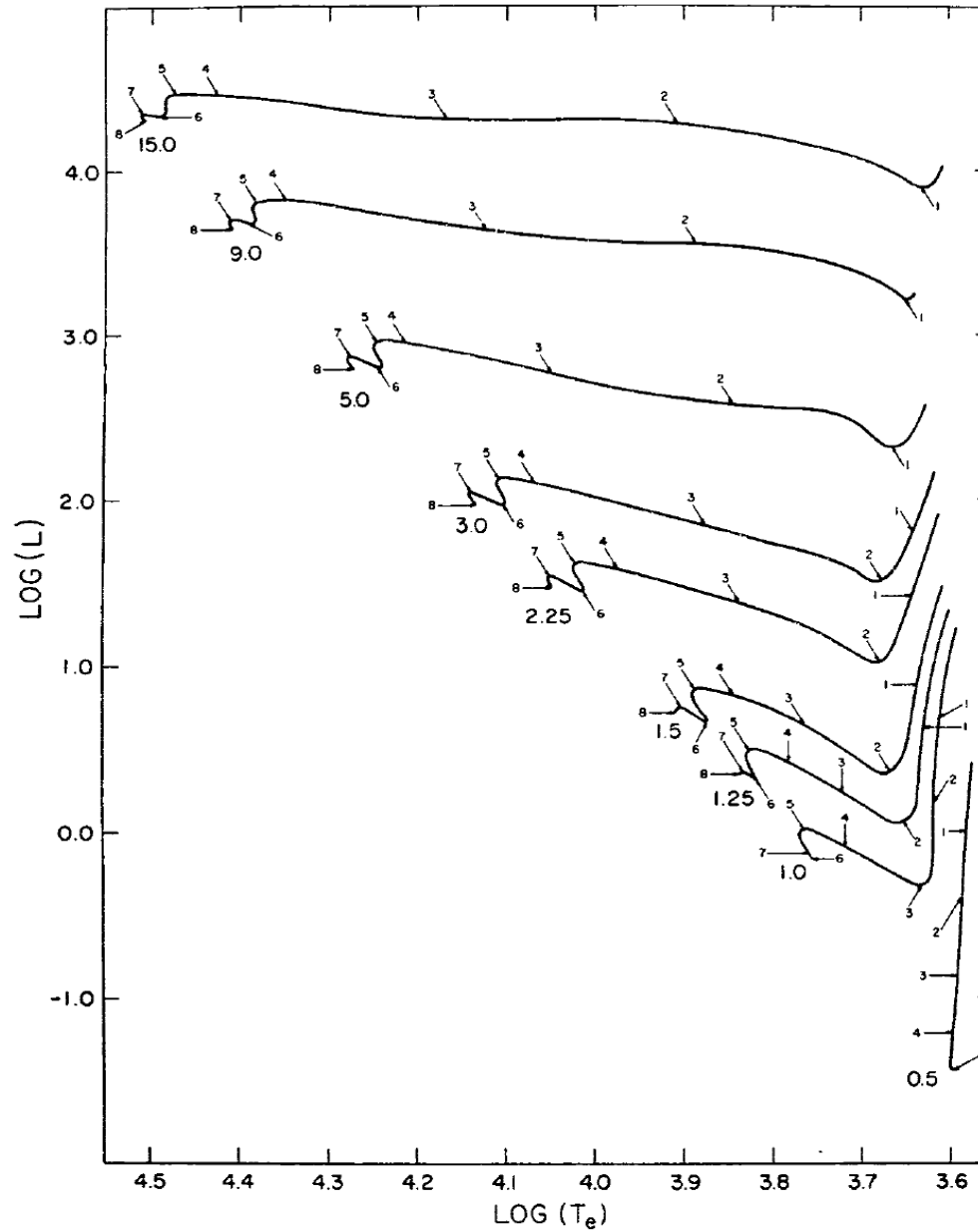
$\rho \text{ [g/cm}^3\text{]}$

$$T = 100 \text{ K}, \rho = 10^{-22} \text{ g cm}^{-3} \quad \Rightarrow \quad M_{\text{J}} \simeq 5 \times 10^4 M_{\odot}$$

Scieżki Hayashiego



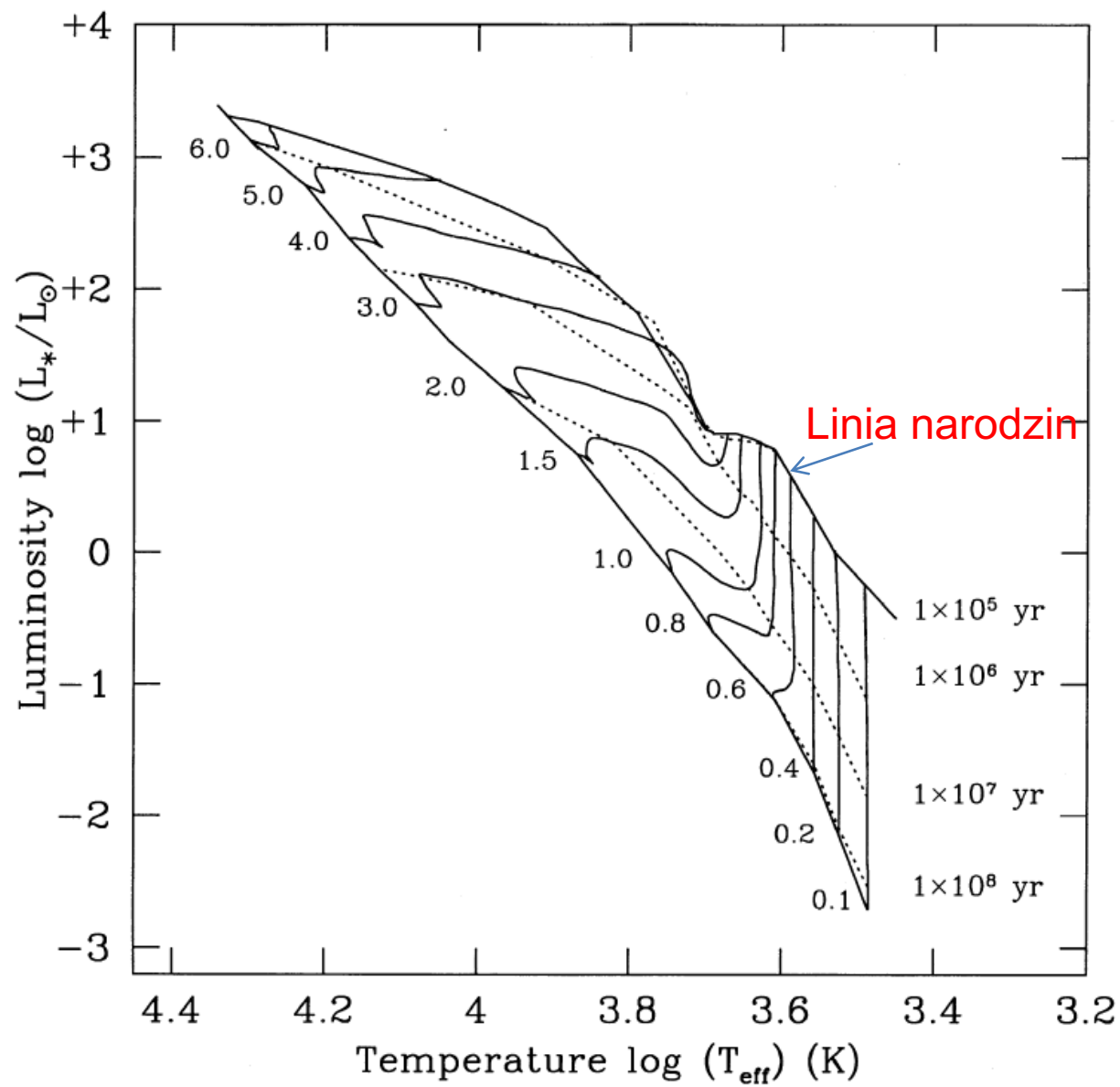
Ewolucja przed MS



POINT	$(M/M_{\odot})$								
	15.0	9.0	5.0	3.0	2.25	1.5	1.25	1.0	0.5
1.....	6.740×10^2	1.443×10^3	2.936×10^4	3.420×10^4	7.862×10^4	2.347×10^5	4.508×10^5	1.189×10^5	3.195×10^5
2.....	3.766×10^3	1.473×10^4	1.069×10^5	2.078×10^5	5.940×10^5	2.363×10^6	3.957×10^6	1.058×10^6	1.786×10^6
3.....	9.350×10^3	3.645×10^4	2.001×10^5	7.633×10^5	1.883×10^6	5.801×10^6	8.800×10^6	8.910×10^6	8.711×10^6
4.....	2.203×10^4	6.987×10^4	2.860×10^5	1.135×10^6	2.505×10^6	7.584×10^6	1.155×10^7	1.821×10^7	3.092×10^7
5.....	2.657×10^4	7.922×10^4	3.137×10^4	1.250×10^6	2.818×10^6	8.620×10^6	1.404×10^7	2.529×10^7	1.550×10^8
6.....	3.984×10^4	1.019×10^5	3.880×10^5	1.465×10^6	3.319×10^6	1.043×10^7	1.755×10^7	3.418×10^7	
7.....	4.585×10^4	1.195×10^5	4.559×10^5	1.741×10^6	3.993×10^6	1.339×10^7	2.796×10^7	5.016×10^7	
8.....	6.170×10^4	1.505×10^5	5.759×10^5	2.514×10^6	5.855×10^6	1.821×10^7	2.954×10^7		

Przybliżony czas „schodzenia” na ciąg główny

1.0 M – 50 mln lat
 1.5 M – 18 mln lat
 3.0 M – 2.5 mln lat
 5.0 M – 600 000 lat
 15.0 M – 61 000 lat



Minimalna masa gwiazdy

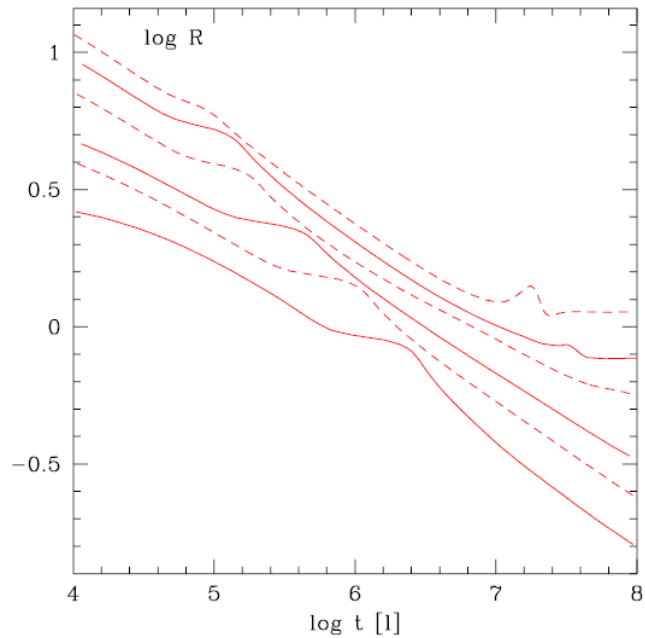
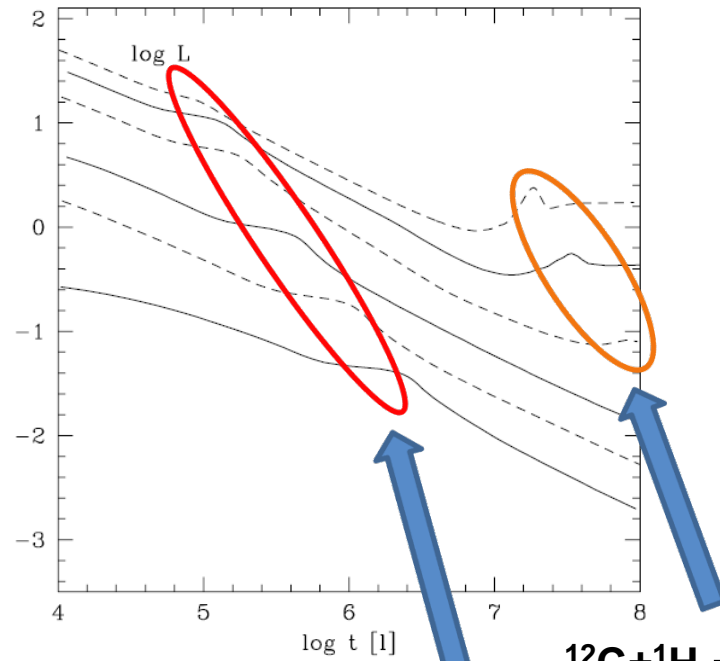
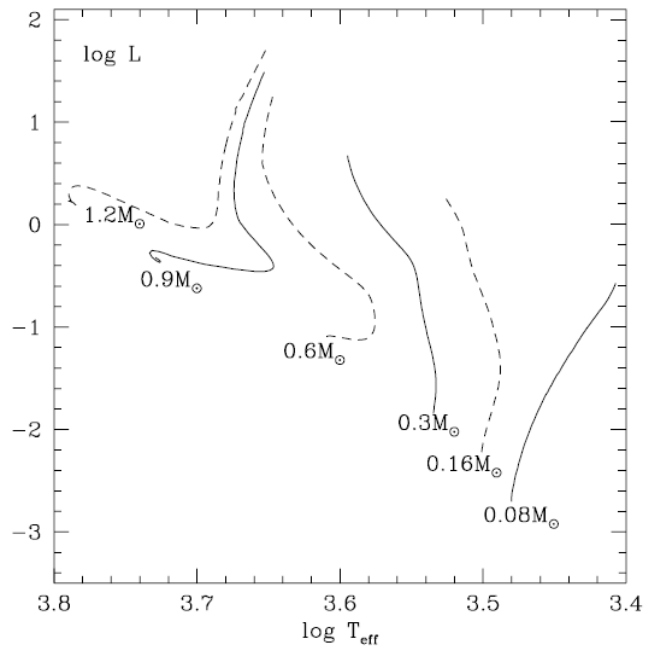
$$P_{\text{deg}} < P_{\text{gas}}$$

$$M/M_{\odot} \geq 0.039 T_c^{3/4} \mu_e^{-5/4} \mu^{-3/4}$$

$$X=0.7 \quad Z=0.02 \quad T_c=2 \cdot 10^6$$

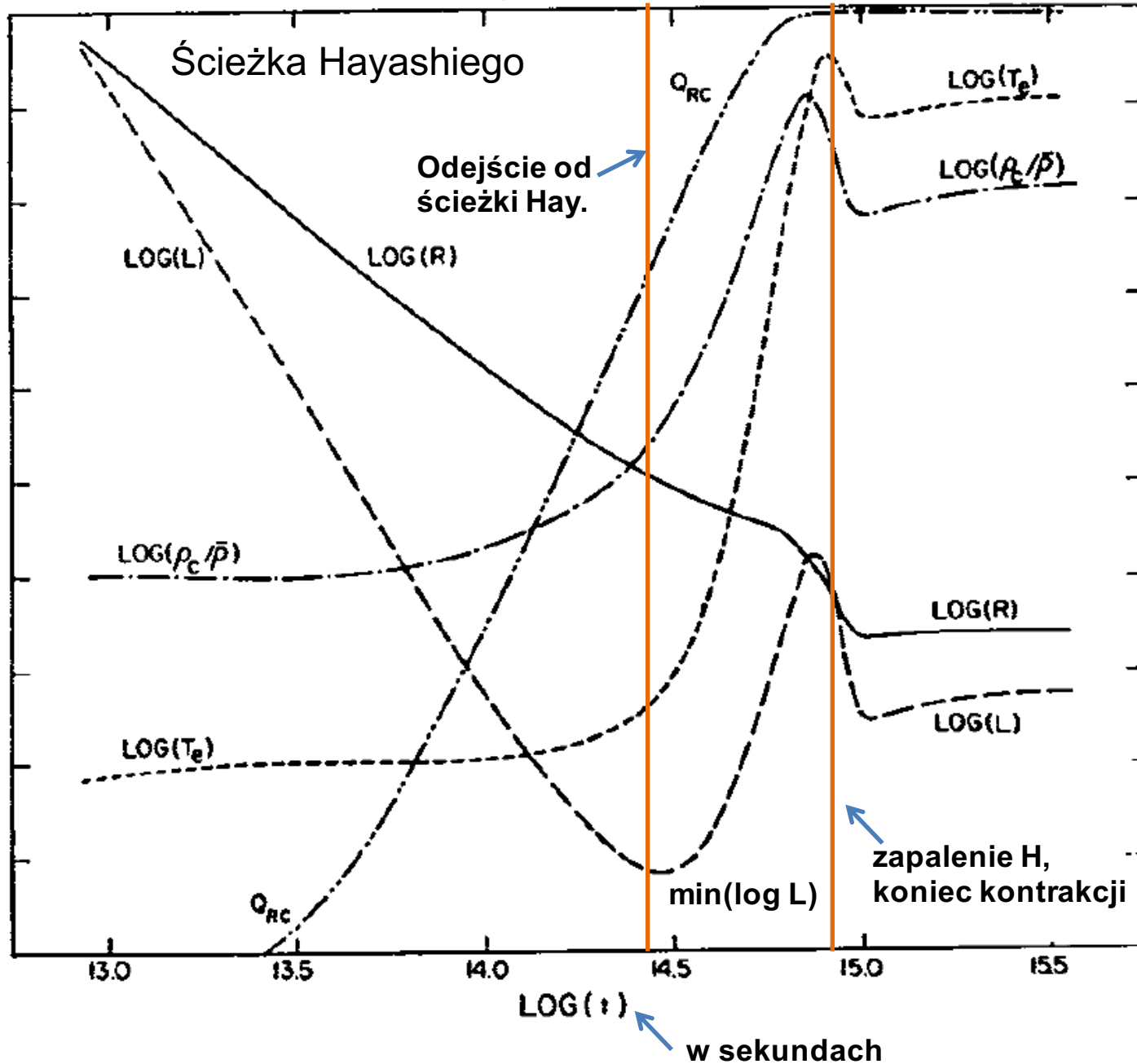
$$M/M_{\odot} \geq 0.08$$

Warunkiem, aby zostały zapoczątkowane reakcje jądrowe jest osiągnięcie dostatecznej temperatury przed degeneracją



D'Antona & Mazzitelli 1998
 Dziembowski 2009

Diagram Iben dla $M=1M_{\odot}$



Iben 1965