

თეთრი ჯუჯები

ჯუჯა ვარსკვლავების ნომენკლატურა

თეთრი ჯუჯა

მასა: $1.4 - 0.17$ მზე
ენერგია: X (გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევა)
სტრუქტურა: კომპაქტური ობიექტი
ზედაპირული ტემპერატურა: $< 150\,000\text{ K}$

შავი ჯუჯა (ჰიპოთეტური ობიექტი)

გაცივებული თეთრი ჯუჯა

წითელი ჯუჯა

მასა: $0.4 - 0.075$ მზე
ენერგია: P-P chain; (თერმოზირთვული წნევა)
სტრუქტურა: კონვექცია
ზედაპირული ტემპერატურა: $< 3\,500\text{ K}$

ყავისფერი ჯუჯა (1995)

მასა: $0.075 - 0.013$ მზე ($75-13$ იუპიტერი)
ენერგია: X (თერმოდინამიკური წნევა)
სტრუქტურა: კონვექცია
ზედაპირული ტემპერატურა: $< 1\,000\text{ K}$

იზოლირებული თეთრი ჯუჯა

ვარსკვლავების 97% ევოლუციის შედეგი
მზის ახლო ობიექტების 6%

შემადგენლობა: ნახშირბადი, ჟანგბადი

მზის მასა – დედამიწის რადიუსი;

ზედაპირული ფენა: რადიუსის 1%

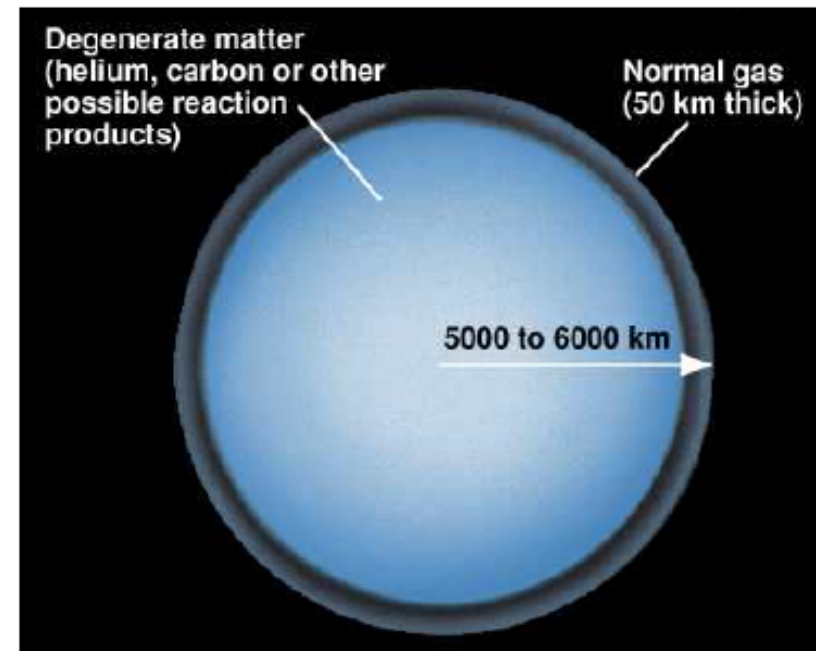
გამოსხივების ენერგიის წყარო:
თერმული გაციება

ევოლუციის შედეგი: შავი ჯუჯა;

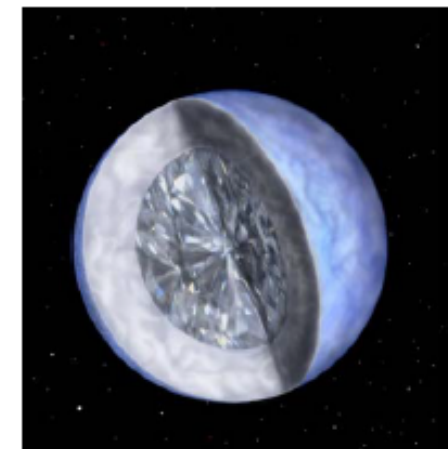
შეფასებული სიცოცხლის ხანგრძლივობა: $>10^{19}$ წ.
სამყაროს ასაკი: $\sim 10^{10}$ წ.

მასები: 1.4–0.17 მზე

ყველაზე მცირე მასის თეთრი ჯუჯა:
SDSS J091709.55+463821.8 (2007)



„ბრილიანტი“
BPM 37093



თეთრი ჯუჯის მასა–რადიუსი

გრავიტაციული წნევა ჰიდროსტატიკურ წონასწორობაში: $P_e \approx \frac{GM^2}{R^4} \propto \frac{M^2}{R^4}.$

სიმკვრივე: M/R^3

გადაგვარებული აირის არარელატივისტური წნევა: $P_e \propto (n_e)^{5/3} \propto (\rho/\mu_e)^{5/3} \propto \rho^{5/3}.$

თეთრი ჯუჯის რადიუსი: $\frac{R}{R_\odot} \approx 0.01 \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-1/3}$

მასის ზრდა იწვევს რადიუსის შემცირებას.

აკრეცია თეთრ ჯუჯაზე

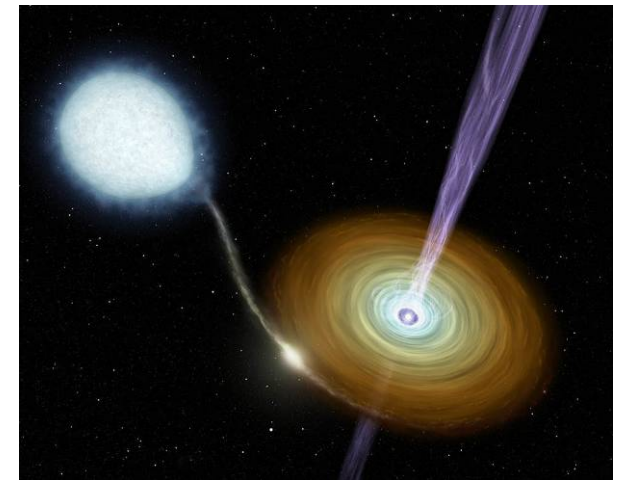
მასის ზრდა: $\rightarrow$ რადიუსის შემცირება $\rightarrow$
 ელექტრონების სიჩქარეების მიახლოება რელატივისტურ ზღვართან

$$\rho^{(5/3)} \rightarrow \rho^{(4/3)}$$

სიმკვრივის ზრდა:

- გრავიტაციული წნევის მატება;
- გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევის კლება;

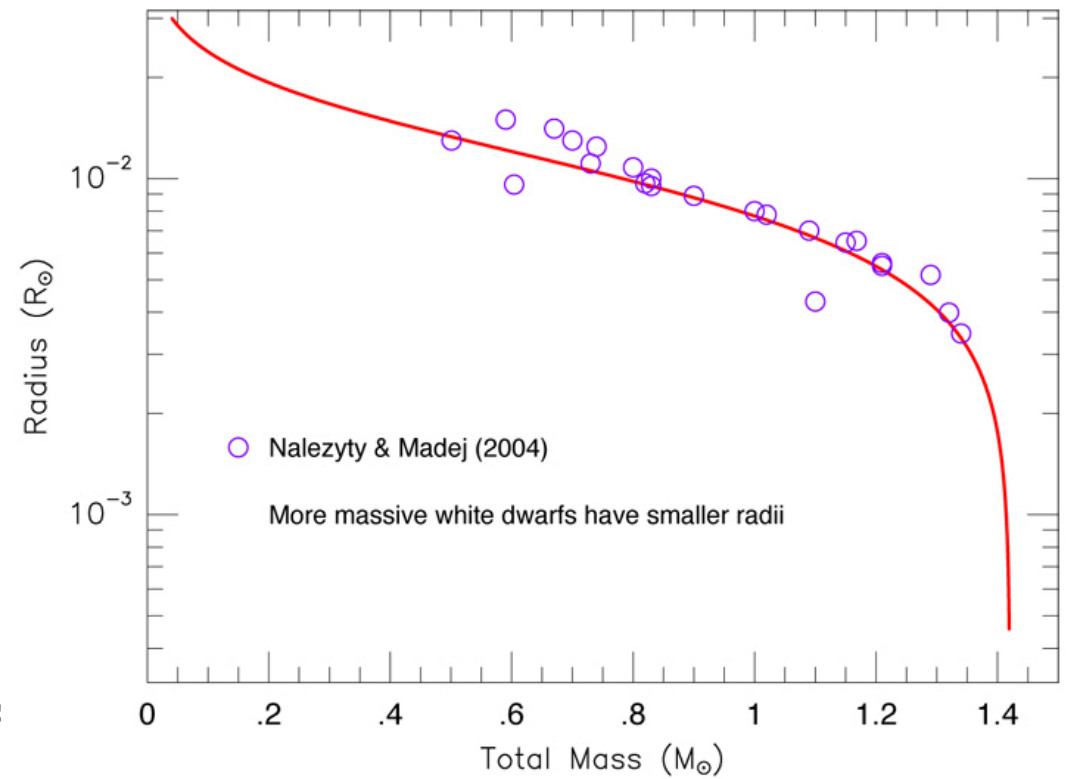
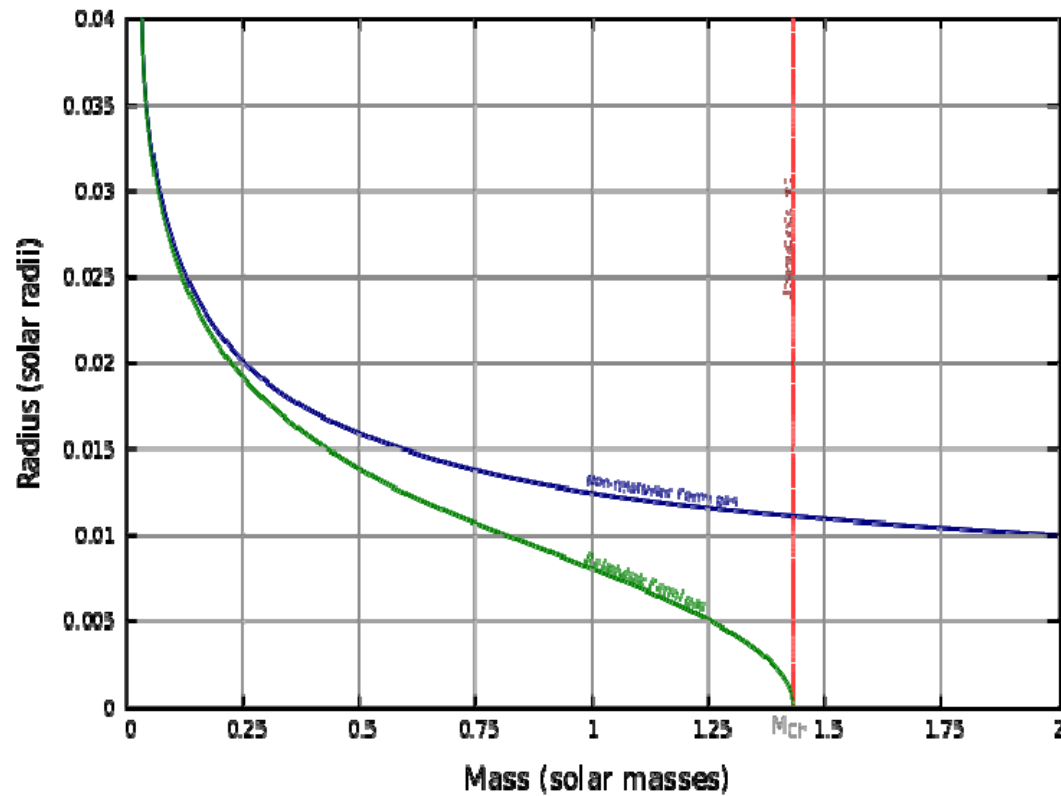
გრავიტაციული კოლაფსი;



$$M_{\text{Ch}} = 1.46 \left(\frac{2}{\mu_e} \right)^2 M_{\odot} \xrightarrow{\mu_e=2} 1.46 M_{\odot},$$

ჩანდრასეკარის ზღვარი:

მასა-რადიუსი



თეთრი ჯუჯის ფერი და გაციება

$$\frac{L}{0.03L_{Sun}} \approx \left(\frac{M}{M_{Sun}} \right) \left(\frac{T_c}{2.8 \times 10^7} \right)^{7/2}$$

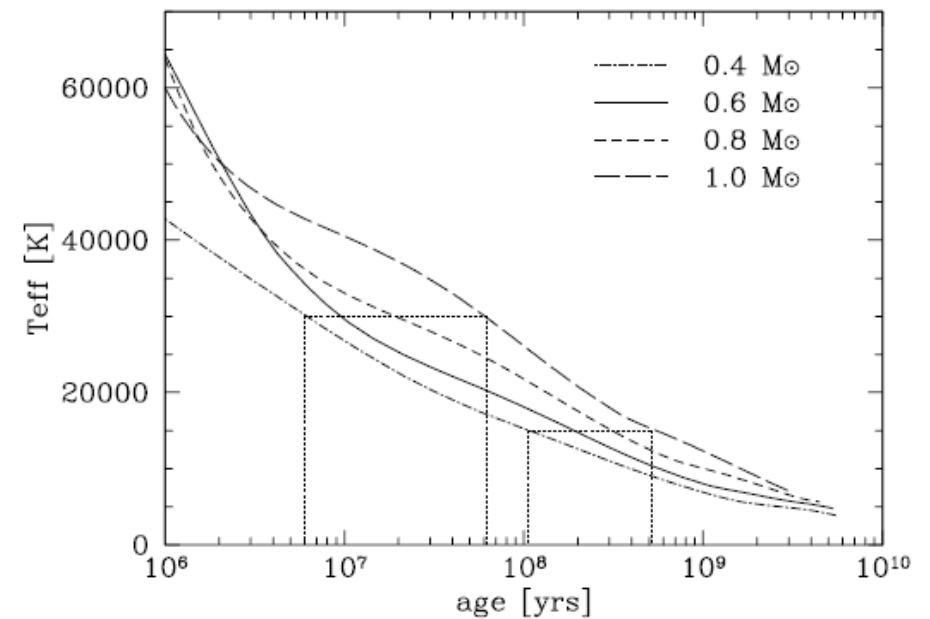
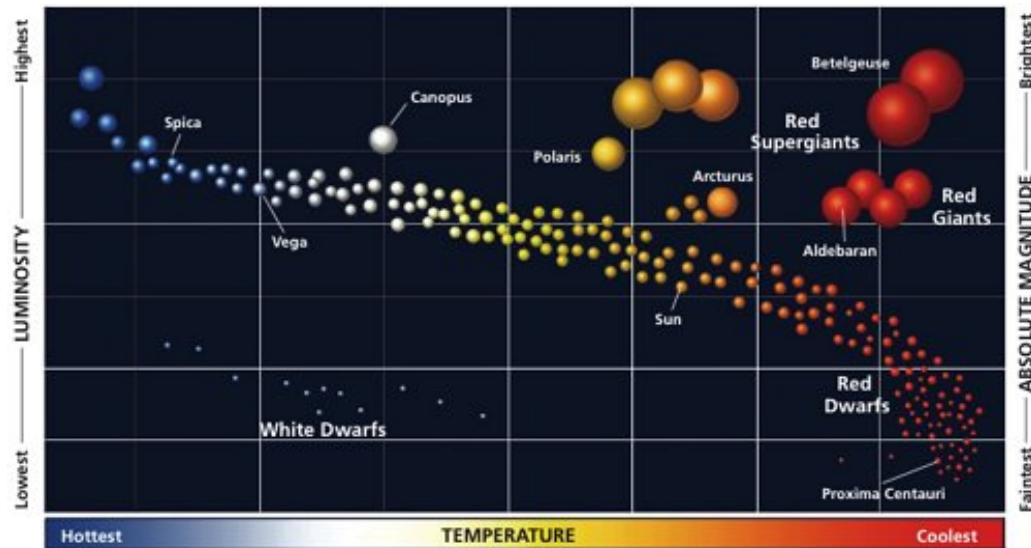


Figure 2.2: Cooling tracks for single (non-accreting) white dwarfs after Wood (1995). The cooling timescale depends on the mass of the white dwarf. Tracks for four different masses are plotted. Two typical temperatures for (accreting) white dwarfs in cataclysmic variables are indicated: 30 000 K as e.g. in the dwarf nova U Gem and 15 000 K as in the polar V834 Cen.

თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავის წონასწორობა

გრავიტაციული პოტენციალი: $\Delta\Phi = 4\pi G\rho$

მოძრაობის განტოლება:
$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (\mathbf{V}\nabla) \right] V = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nabla\Phi$$

მდგომარეობის განტოლება: გადაგვარებული ფერმი გაზის წნევა (არარელატივისტური)

დავალება 1: იპოვეთ სიმკვრივის განაწილება ვარსკვლავის წონასწორობაში;
(სტაციონალური მდგომარეობა $V=0$, გამოიყენეთ სფერული კოორდინატები)

დავალება 2: იპოვეთ სიმკვრივის განაწილება მზრუნავი ვარსკვლავის წონასწორობაში;
ამოხსენით განტოლება რიცხვითად.
(სტაციონალური მდგომარეობა $V=0$, გამოიყენეთ ცილინდრული კოორდინატები)

ვარსკვლავის სრული ენერგია

$$E_T = E_G + E_k = -\frac{GM^2}{R_c} + UV.$$

$$V \propto R_c^3 \quad \rho \propto R_c^{-3} \quad U \propto \rho^\Gamma \propto R_c^{-3\Gamma}.$$

$$E_T = -\frac{E_{g0}}{R_c} + \frac{E_{k0}}{R_c^{3(\Gamma-1)}}.$$

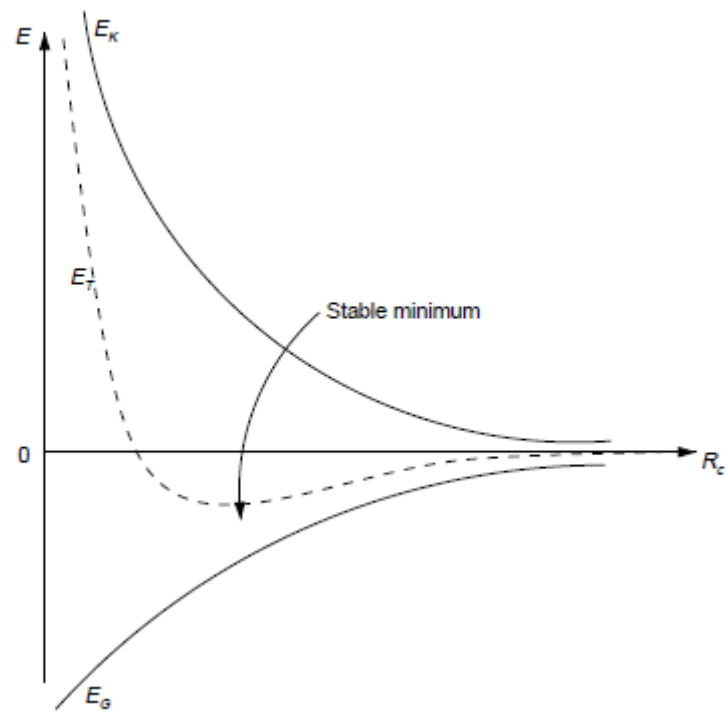
არარელატივისტური:

$$E_T = -\frac{E_{G0}}{R_c} + \frac{E_{k0}}{R_c^2}$$

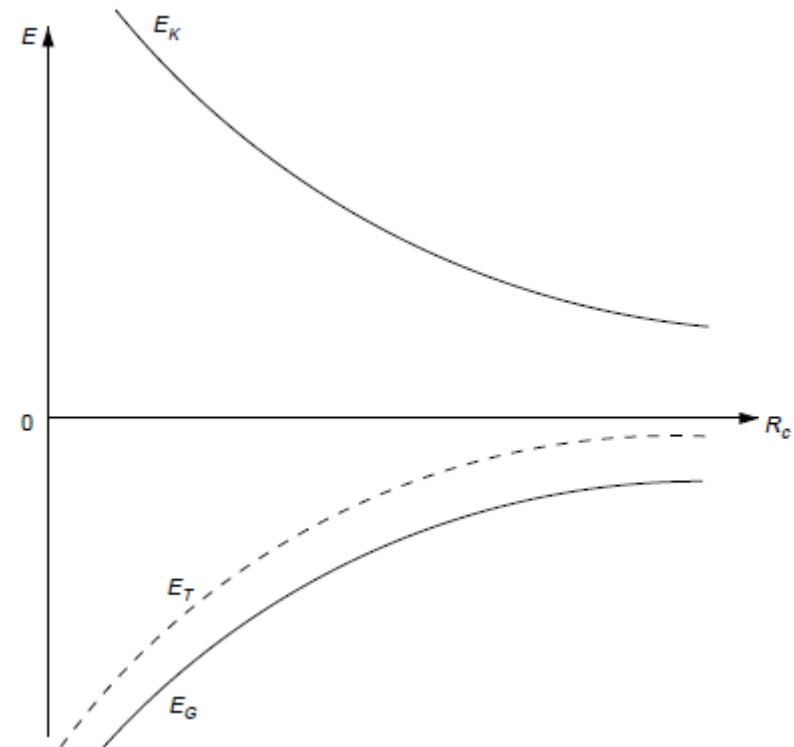
რელატივისტური:

$$E_T = -\frac{E_{G0}}{R_c} + \frac{E_{k0}}{R_c}$$

კლასიკური მდგომარეობის განტოლება



რელატივისტური მდგომარეობის განტოლება



მასა/რადიუსი

გადაგვარებული ფერმი აირის წნევა არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე:

$$P = \begin{cases} (1/8)(3c^3 h^3 / \pi)^{1/3} n^{4/3} & \text{(relativistic)} \\ (1/(10m))(3h^3 / 8\pi)^{2/3} n^{5/3} & \text{(non-relativistic).} \end{cases}$$

გრავიტაციული წნევა: $P = F/S$,

$$S = 2\pi r^2,$$

$$P = \int dF/S,$$

$$dF = GM dm/r^2$$

$$P_g = -\frac{2}{3}\pi G \rho^2 R^2.$$

$$\text{Rho} = M/V;$$

$$P_g = -\frac{3}{8\pi} G \frac{M^2}{R^4}.$$

$$\frac{1}{10m_e} \left(\frac{3h^3}{8\pi} \right)^{2/3} n^{5/3} = \frac{3GM^2}{8\pi R^4}$$

83.

$$M \approx 10^{60} R^{-3} \quad (\text{non-relativistic}).$$

სირიუს-ბ

Sirius-B

Hubble Space Telescope

ღამის ცის ყველაზე ნათელი ვარსკვლავი

მასა: 0.97 (1.05) მზე

რადიუსი: 0.0084 მზე

ნათებადობა: 0.026 მზე

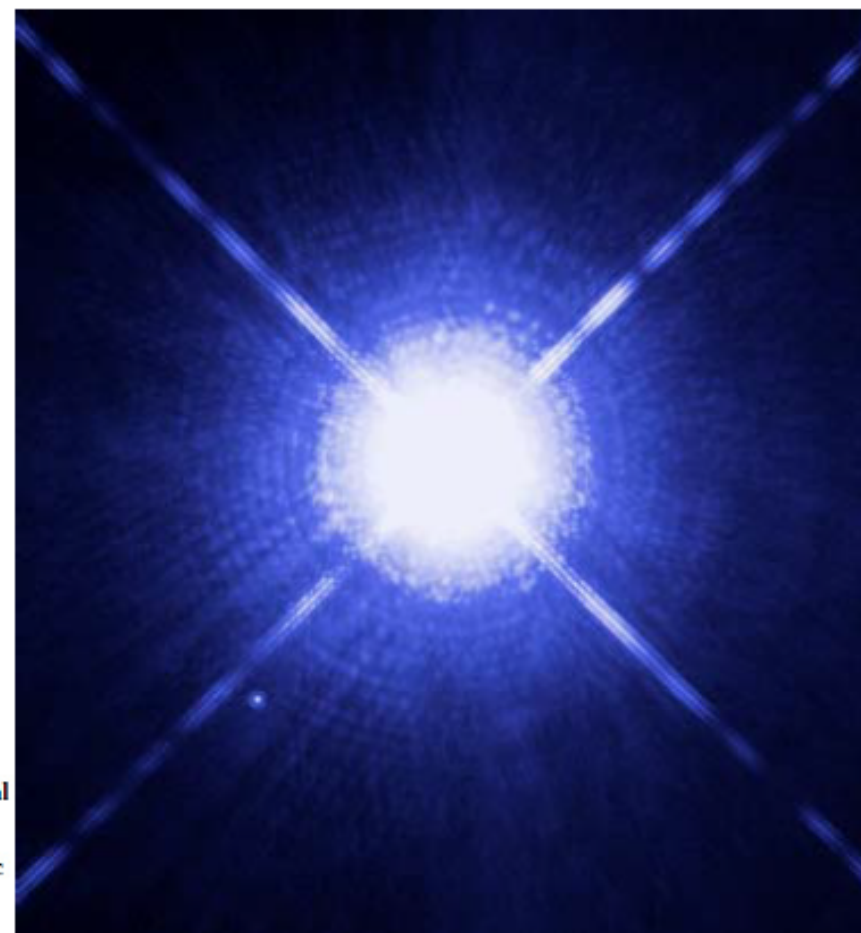
სიმკვრივე: $2.5 \cdot 10^9$ კგ/მ³

ორმაგი სისტემის ბრუნვის პერიოდი: 50 წელი

მანძილი დედამიწამდე: 8.6 ს.წ.

აღმოჩენის თარიღი: 1862

Common Name	Scientific Name	Distance (light years)	Apparent Magnitude	Absolute Magnitude	Spectral
Sun		-	-26.72	4.8	G2V
Proxima Centauri	V645 Cen	4.2	11.05 (var.)	15.5	M5.5Ve
Rigel Kentaurus	Alpha Cen A	4.3	-0.01	4.4	G2V
	Alpha Cen B	4.3	1.33	5.7	K1V
Barnard's Star		6.0	9.54	13.2	M3.8V
Wolf 359	CN Leo	7.7	13.53 (var.)	16.7	M5.8Ve
	BD +36 2147	8.2	7.50	10.5	M2.1Ve
Luyten 726-8A	UV Cet A	8.4	12.52 (var.)	15.5	M5.6Ve
Luyten 726-8B	UV Cet B	8.4	13.02 (var.)	16.0	M5.6Ve
Sirius A	Alpha CMa A	8.6	-1.46	1.4	A1Vm
Sirius B	Alpha CMa B	8.6	8.3	11.2	DA



თეთრი ჯუჯების ტიპები

ბირთვის შემადგენლობა

საწყისი ვარსკვლავის მასა:

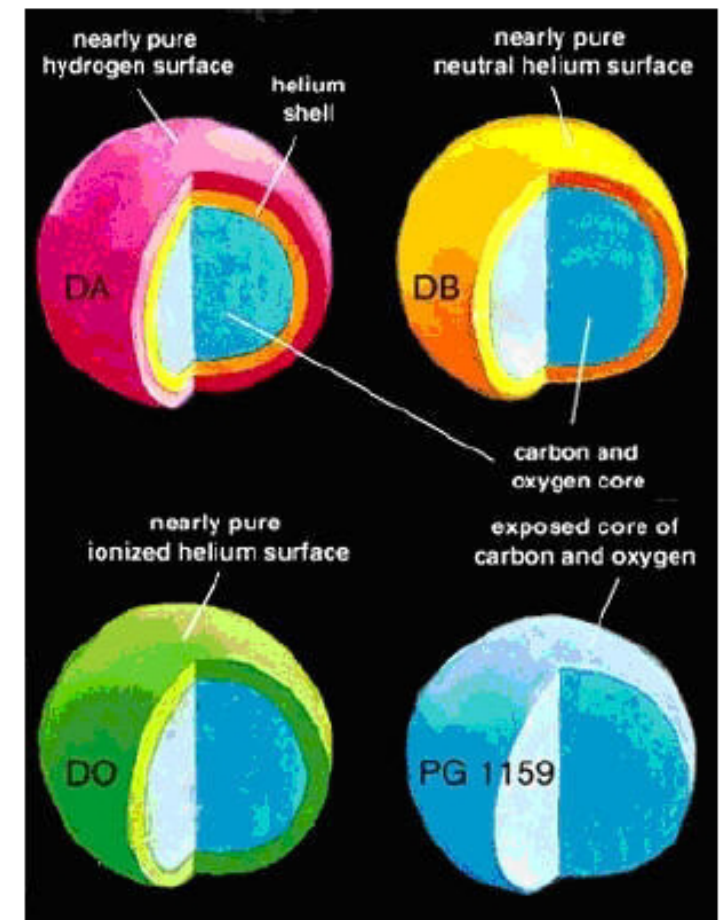
< 4 მზე: PP ჯაჭვი; თეთრი ჯუჯა: ნახშირბადი + ჟანგბადი
 < 8 მზე: CNO ჯაჭვი; თეთრი ჯუჯა: ჟანგბადი + ნეონი

ზედაპირული შემადგენლობა

გამოსხივების სპექტრი

სპექტრალური კლასიფიკაცია

Spectral classification of white dwarfs	
type	characteristics
dA	Only Balmer lines: no Hel or metals present
dB	Hel lines: no H or metals present
dC	Continuous spectrum, few or no lines visible
dO	Hel strong: Hel or H present
dZ	Metal lines only: no H or He lines
dQ	Carbon features, either atomic or molecular in any part of the spectrum



მასა-რადიუსი

Madej et al. 2004
SDSS

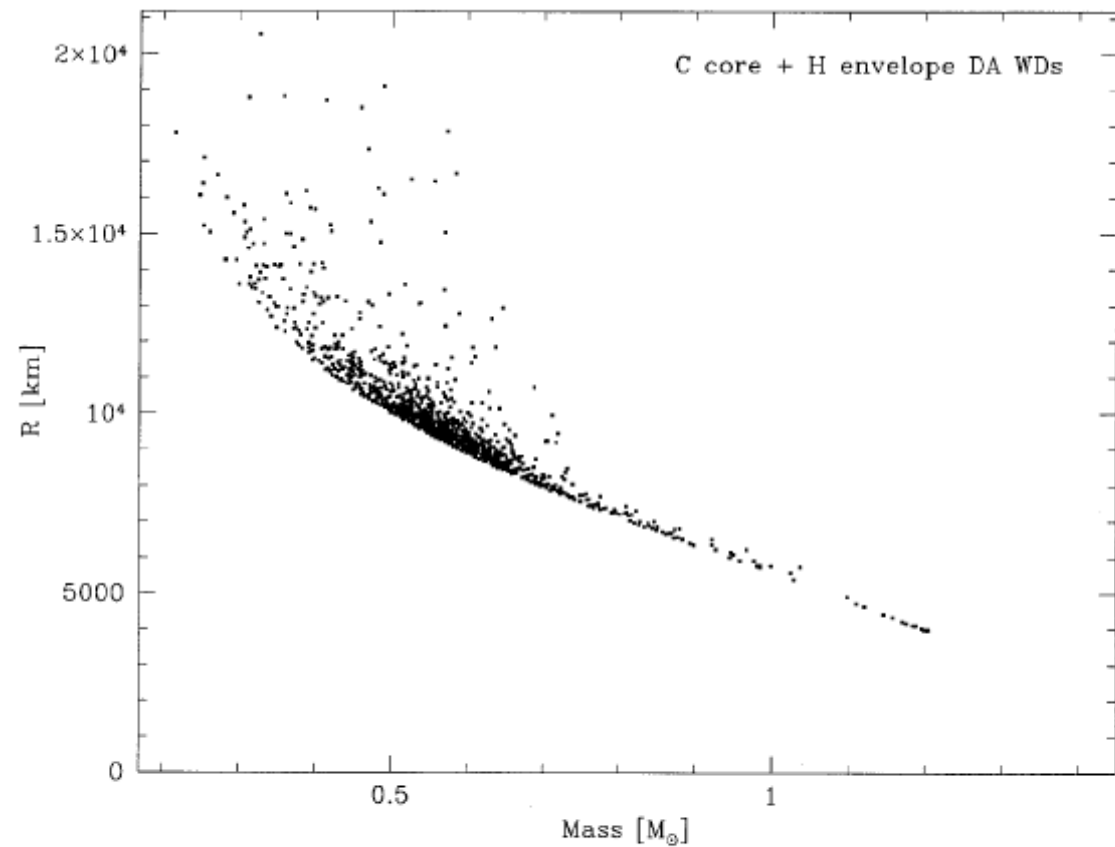


Fig. 2. Mass-radius relation for 1175 hot white dwarfs of the same sample. The relation does not extend to masses M higher than $1.2 M_\odot$, or rather to the highest surface gravities $\log g > 9.0$.

ბირთვის შემადგენლობა – მასა

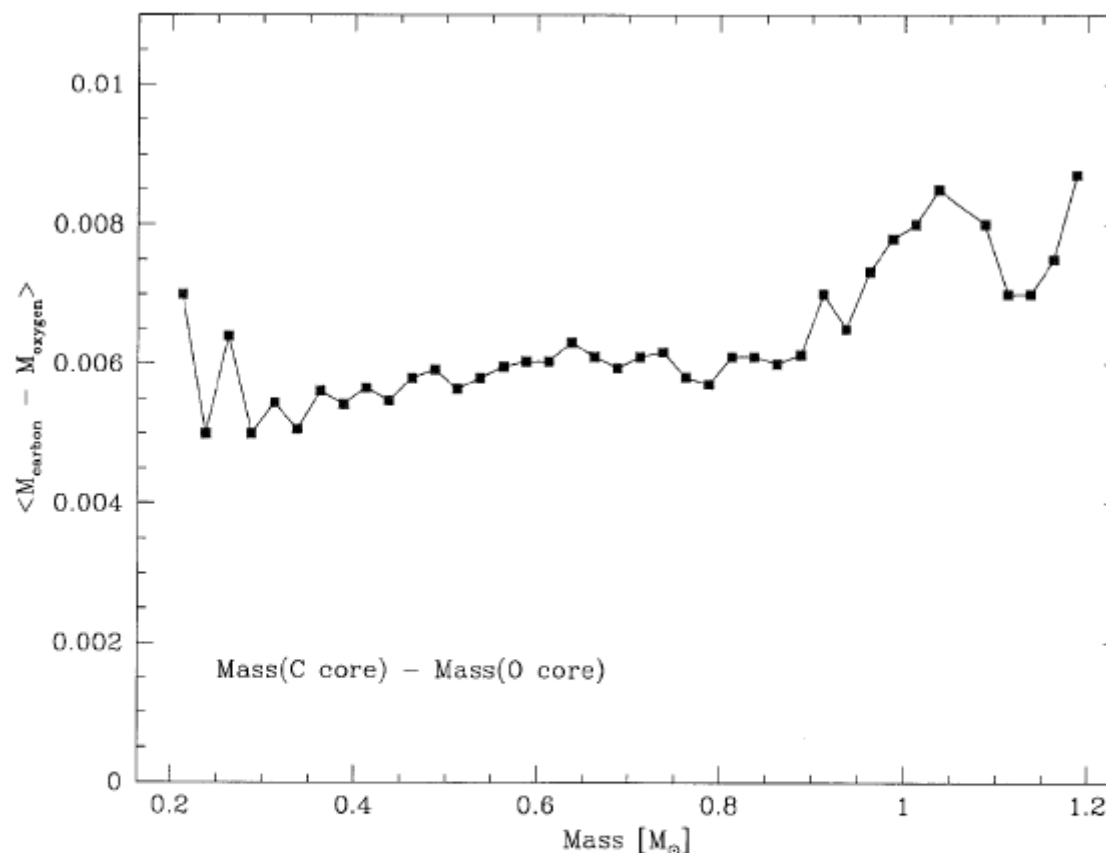


Fig. 3. The difference between DA white dwarf masses obtained from $M - R$ relations corresponding either to pure carbon, or pure oxygen cores. All the 1175 stars were grouped in bins of the width $0.025 M_{\odot}$. Dots correspond to the average difference $M(\text{C core}) - M(\text{O core})$ in each group.

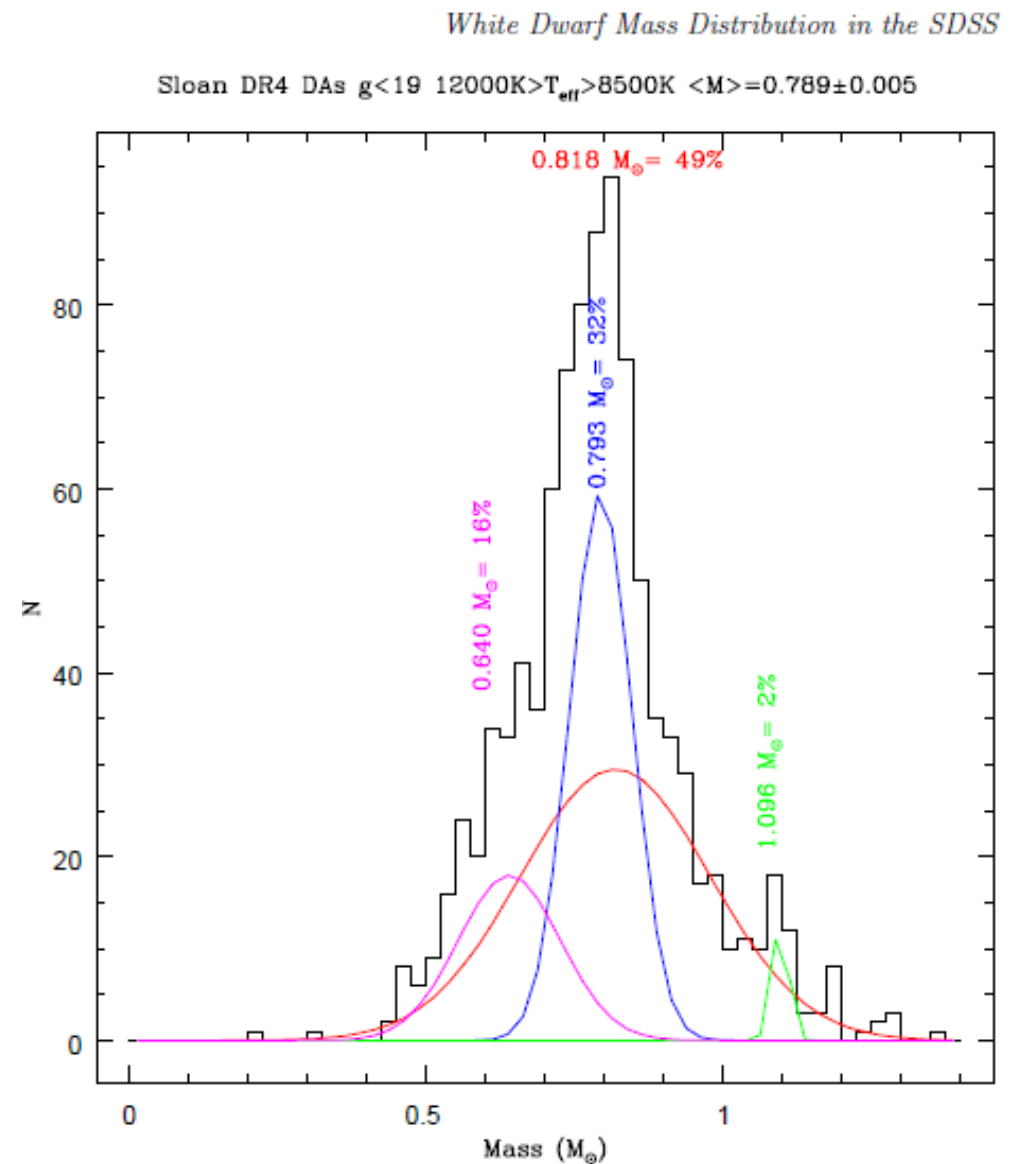
თეთრი ჯუჯების მასები

თეთრი ჯუჯების მასების განაწილების სტატისტიკა

Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

Kepler et al. 2008,

“White Dwarf Mass Distribution in the SDSS”



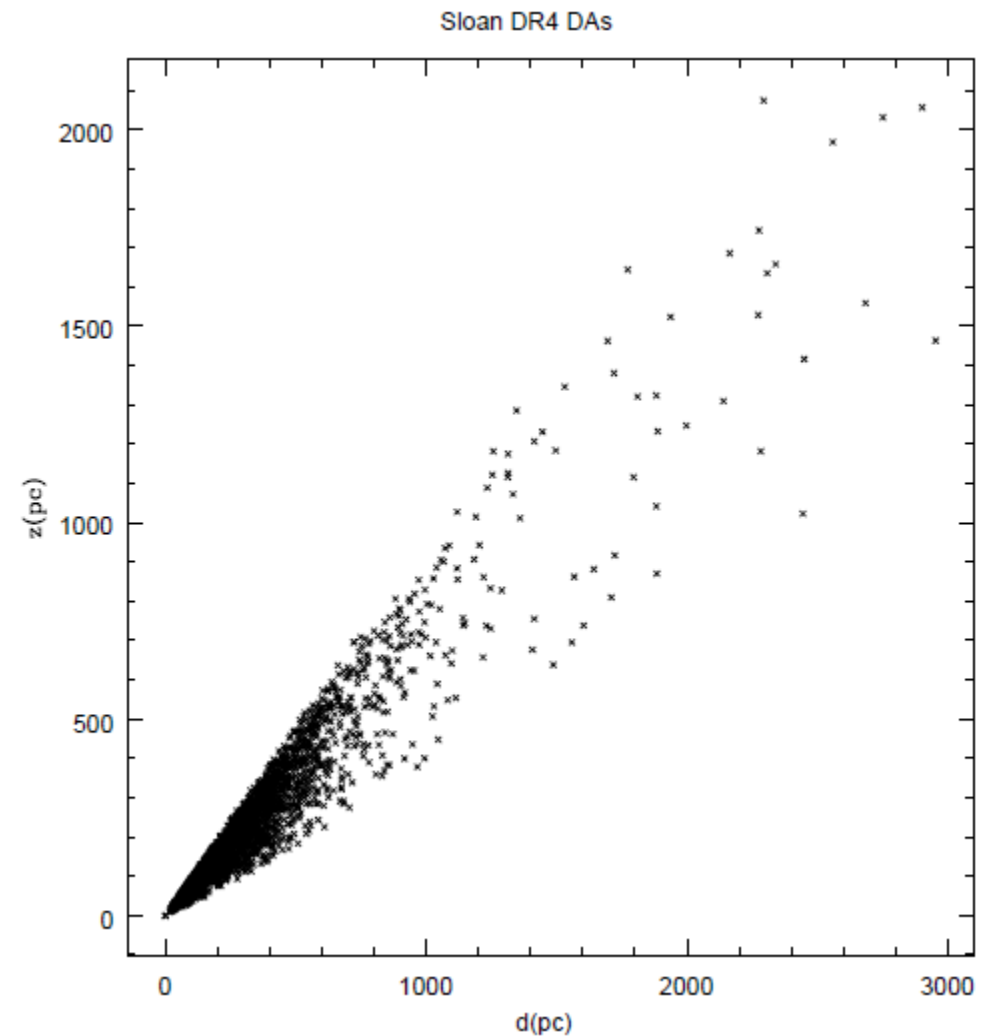
განაწილება ჩვენს გალაქტიკაში

მანძილი გალაქტიკური სიბრტყიდან: z (პს.)

დამორება დედამიწიდან: d (პს.)

Kepler et al. 2008,

“White Dwarf Mass Distribution in the SDSS”

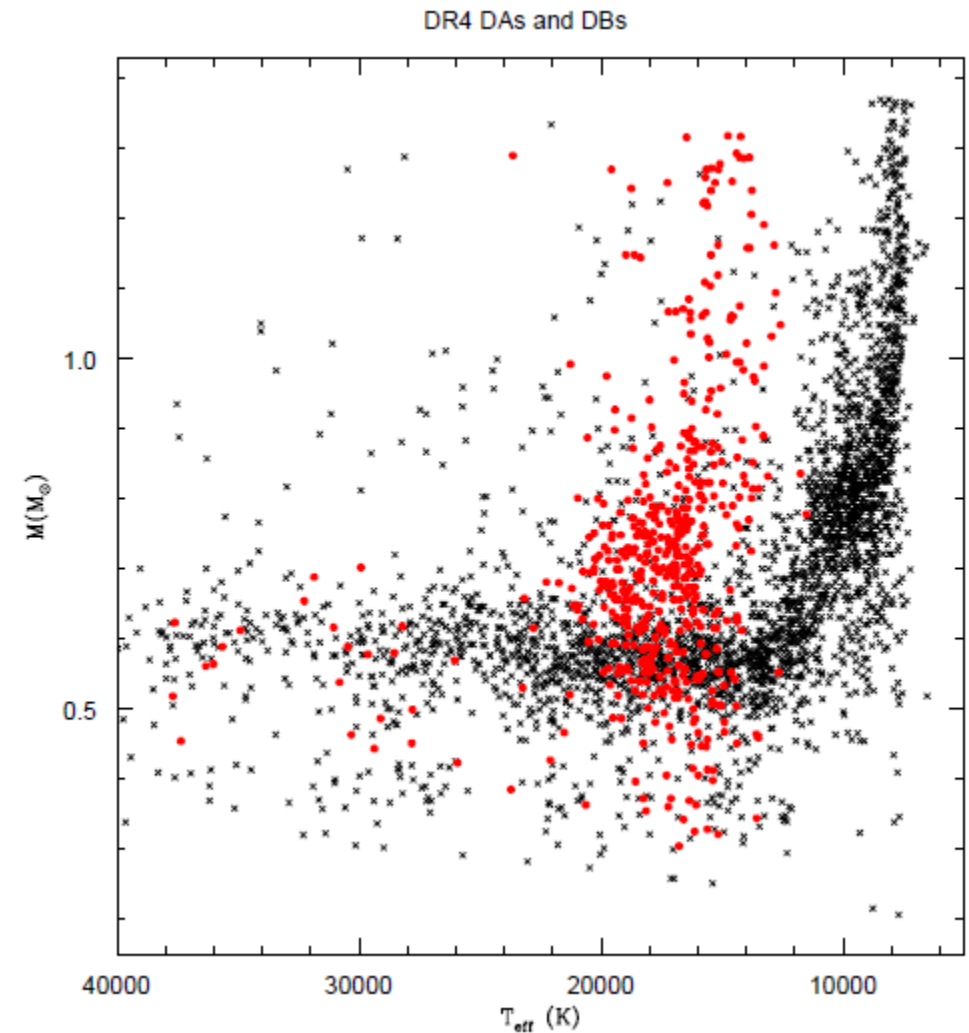


მასა-ტემპერატურა

Figure 5. Masses for all 5718 DAs (crosses) cooler than 40 000 K and 507 DBs (filled circles) showing the continuous increase in average mass at lower T_{eff} .

Kepler et al. 2008.

მასიური თეთრი ჯუჯები უფრო ცივია ...



<http://www.tevza.org/home/course/PC02012/>

H. Bradt, “Astrophysics Processes” (Cambridge University Press, 2008)
(*subsections 4.4*)

A. C. Phillips, “The Physics of Stars” (Wiley 1994)
(*subsections 6.1*)

Duric N. “Advanced astrophysics” (Cambridge University Press, 2004)
(*Section 6.3.3-6, 6.4*)