

თეთრი ჯუჯები

თეთრი ჯუჯები: დაკვირვებები

Sirius-B

Hubble Space Telescope

ღამის ცის ყველაზე ნათელი ვარსკვლავი

მასა: 0.97 (1.05) მზე

რადიუსი: 0.0084 მზე

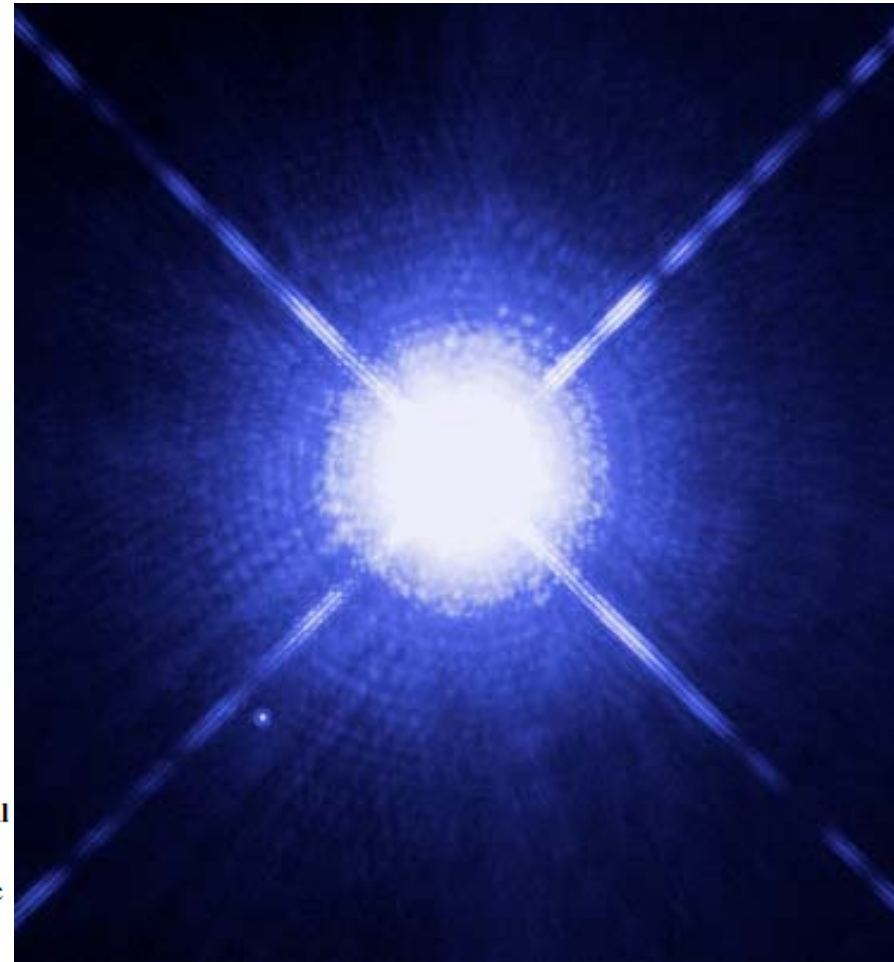
ნათებადობა: 0.026 მზე

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	M5.5Vc
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	M5.8Vc
	BD +36 2147	8.2	7.50	10.5	M2.1Vc
Luyten 726-8A	UV Cet A	8.4	12.52 (var.)	15.5	M5.6Vc
Luyten 726-8B	UV Cet B	8.4	13.02 (var.)	16.0	M5.6Vc
Sirius A	Alpha CMa A	8.6	-1.46	1.4	A1Vm
Sirius B	Alpha CMa B	8.6	8.3	11.2	DA

ჯუჯა ვარსკვლავების ნომენკლატურა

თეთრი ჯუჯა

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

შავი ჯუჯა (ჰიპოთეტური ობიექტი)

გაციებული თეთრი ჯუჯა

წითელი ჯუჯა

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

ყავისფერი ჯუჯა (1995)

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

იზოლირებული თეთრი ჯუჯა

ვარსკვლავების 97% ევოლუციის შედეგი
მზის ახლო ობიექტების 6%

შემადგენლობა: ნახშირბადი, ჟანგბადი

მზის მასა – დედამიწის რადიუსი;

ზედაპირული ფენა: რადიუსის 1%

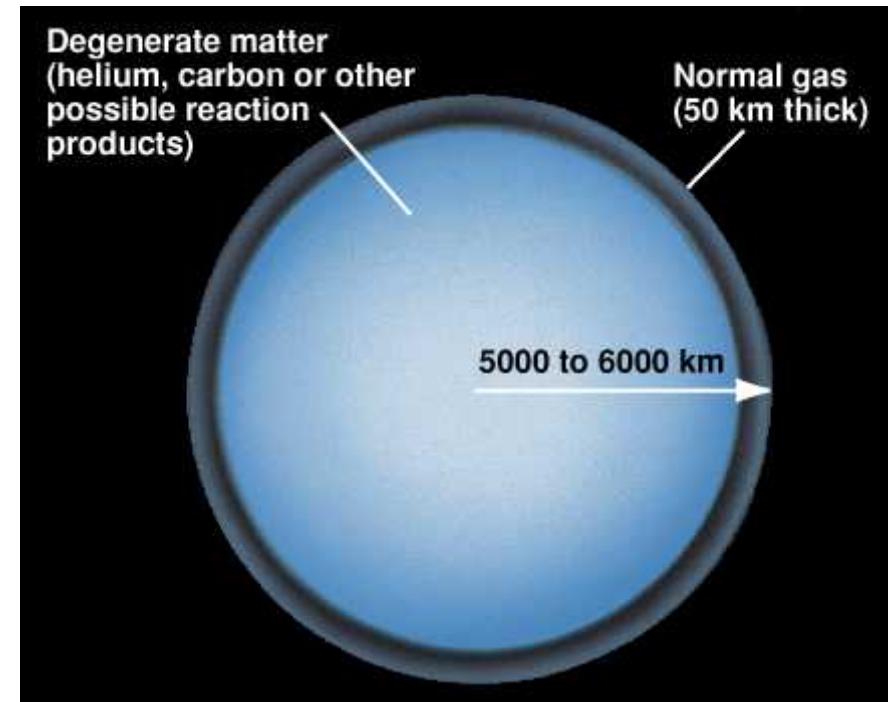
გამოსხივების ენერგიის წყარო:
თერმული გაციება

ევოლუციის შედეგი: შავი ჯუჯა;

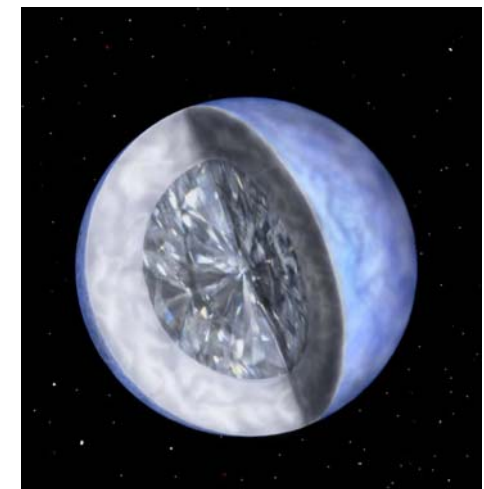
შეფასებული სიცოცხლის ხანგრძლივობა: $>10^{19}$ წ.
სამყაროს ასაკი: $\sim 10^{10}$ წ.

მასები: 1.4–0.17 მზე

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



„ბრილიანტი“
BPM 37093



თეთრი ჯუჯის ტიპები

ბირთვის შემადგენლობა

საწყისი ვარსკვლავის მასა:

< 4 მზე: PP ჯაჭვი;

თეთრი ჯუჯა:

ნახშირბადი + ჟანგბადი

< 8 მზე: CNO ჯაჭვი;

თეთრი ჯუჯა:

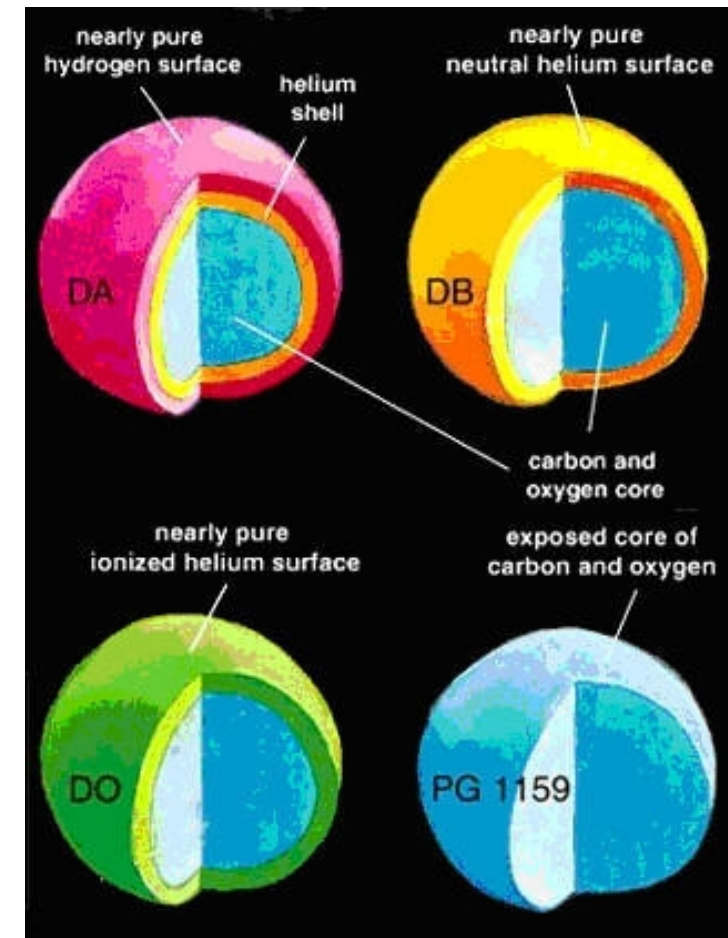
ჟანგბადი + ნეონი

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



მდგომარეობის განტოლებები

იდეალური გაზი:

$$P = nkT$$

m- ნაწილაკთა საშუალო მასა:

$$P = \frac{\rho}{m_{\text{av}}} kT.$$

მაკროსკოპული ფორმა:

$$PV = \mu RT,$$

ფოტონური გაზი

$$P = \frac{aT^4}{3},$$

წნევა:

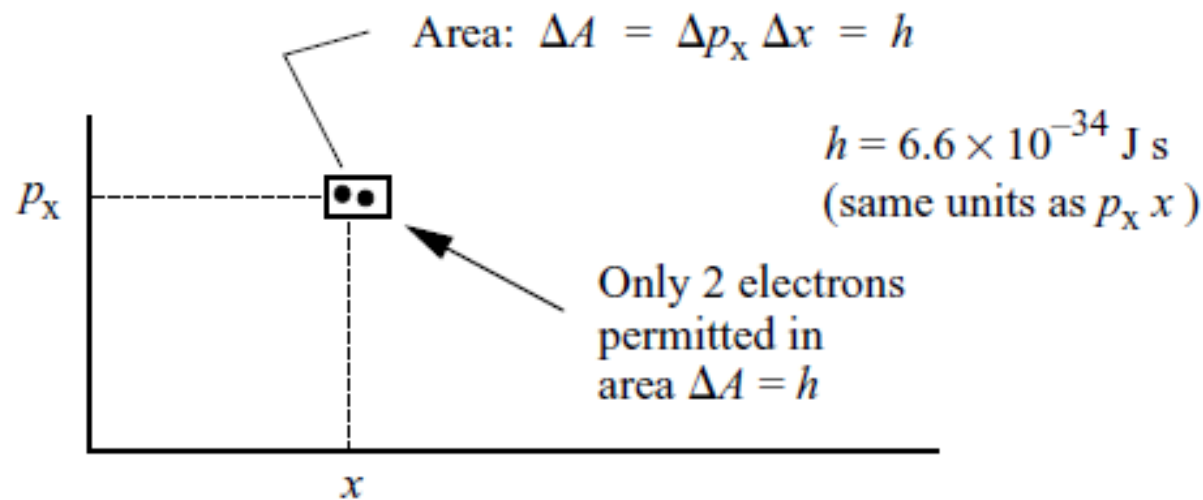
ფოტონური გაზის წნევა არ არის დამოკიდებული ფოტონების სიმკვრივეზე;

ფოტონები კედლებთან თერმალურ წონასწორობაში;

გადაგვარებული ელექტრონული გაზი

ფაზური სივრცის დაქვანტვა: $\Delta x \Delta p_x = h$,

პაულის პრინციპი ფერმიონებისათვის



3-განზომილებიანი სივრცე: $\Delta x \Delta y \Delta z \Delta p_x \Delta p_y \Delta p_z = h^3$

გადაგვარებული ელექტრონული გაზი

ფერმიონების (ელექტრონების) განაწილება: ფერმი–დირაკის სტატისტიკა;

$$f(\epsilon) = \frac{1}{\exp\left[\frac{\epsilon - \mu}{kT}\right] + 1}.$$

ელექტრონული წნევა:

$$P = \frac{4\pi}{3h^3} \int_{p=0}^{\infty} \frac{p^3}{\exp\left[\frac{\epsilon(p) - \mu}{kT}\right] + 1} v(p) dp.$$

$v(p)$ - ელექტრონების სიჩქარეების განაწილება;

რეალური განაწილებისათვის – რიცხვითი მოდელირება;

სრული გადაგვარება

ყველაზე მაღალი ენერგეტიკული დონე: ფერმი ენერგია: ϵ_f .

განაწილების ფუნქცია:

$$f(\epsilon) = \begin{cases} 1 & : \epsilon \leq \epsilon_f \\ 0 & : \epsilon > \epsilon_f \end{cases}$$

გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევა:

$$P = \frac{4\pi}{3h^3} \int_{p=0}^{p_f} p^3 v(p) dp.$$

სითბური და მექანიკური თვისებების გაყოფა

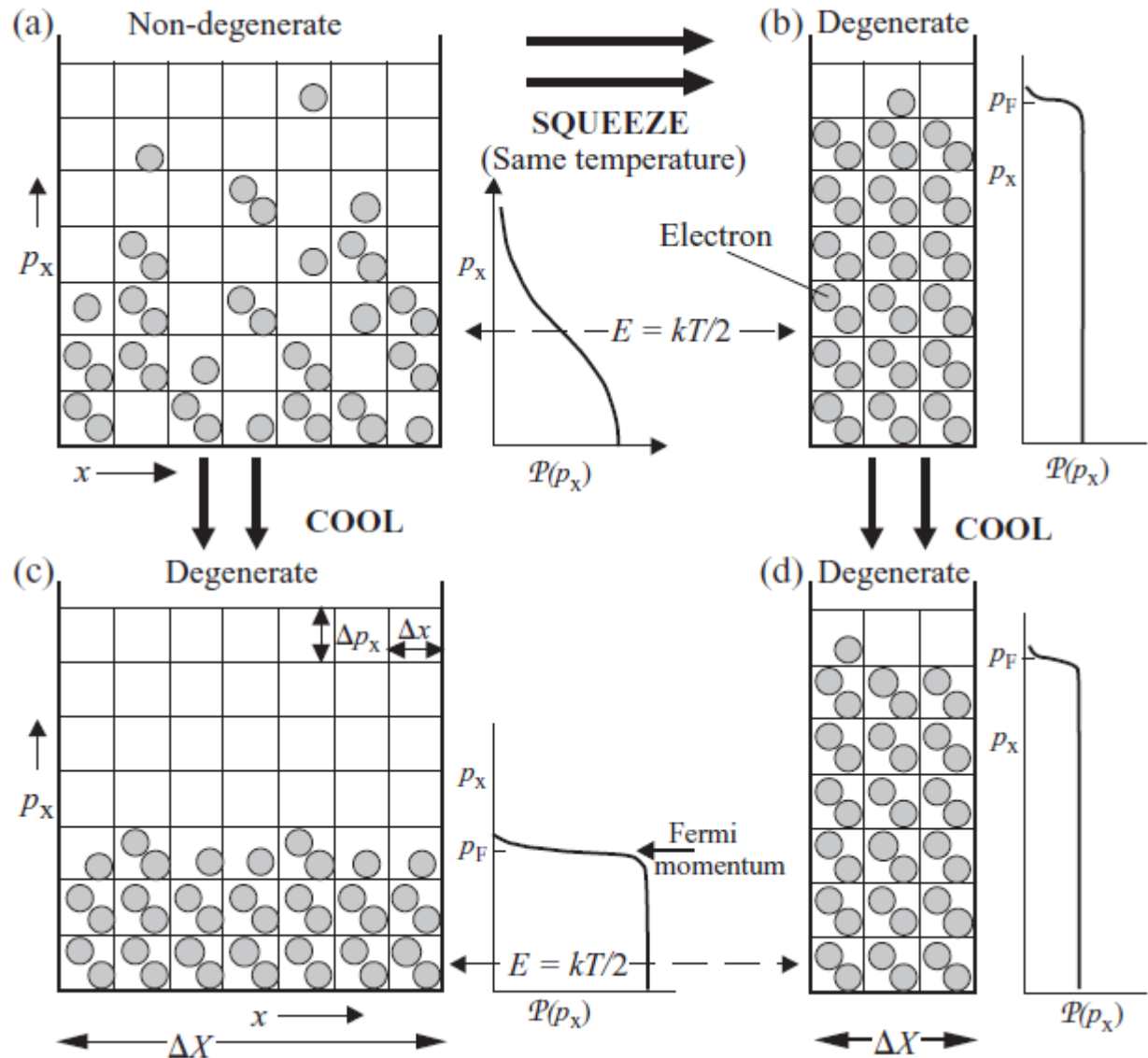
გადაგვარებული ელექტრონული გაზის თვისებები

გაუსის განაწილება: $\rightarrow$
მართკუთხა განაწილება
(ფერმი იმპულსი);

გადაგვარებული გაზის გაციება:
პროტონების გაციება;

თერმომეტრი:
ელექტრონები

სითბო:
პროტონები



გადაგვარებული გაზის მდგომარეობის განტოლება

იდელური გაზის წნევა + ფოტონური წნევა:

$$P = \frac{\rho}{m_{\text{av}}} kT + \frac{aT^4}{3}.$$

სრულიად გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევა:

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{1}{20} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{2/3} \frac{h^2}{m_e} \left(\frac{\rho}{\mu_e m_p} \right)^{5/3} \\ &= 9.92 \times 10^6 \left(\frac{\rho}{\mu_e} \right)^{5/3} \quad (\text{Pa; nonrelativistic; completely degenerate}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{1}{8} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{1/3} ch \left(\frac{\rho}{\mu_e m_p} \right)^{4/3} && (\text{Pa; totally relativistic,} \\ &= 1.232 \times 10^{10} \left(\frac{\rho}{\mu_e} \right)^{4/3} && \text{complete degeneracy}) \end{aligned}$$

თეთრი ჯუჯის მასა–რადიუსი

გრავიტაციული წნევა ჰიდროსტატიკურ წონასწორობაში

$$P_c \approx \frac{GM^2}{R^4} \propto \frac{M^2}{R^4}.$$

სიმკვრივის შეფასება: M/R^3

ქიმიური შემადგენლობა: $\mu_e = 2$

გადაგვარებული გაზის და გრავიტაციული წნევის ბალანსი;

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:

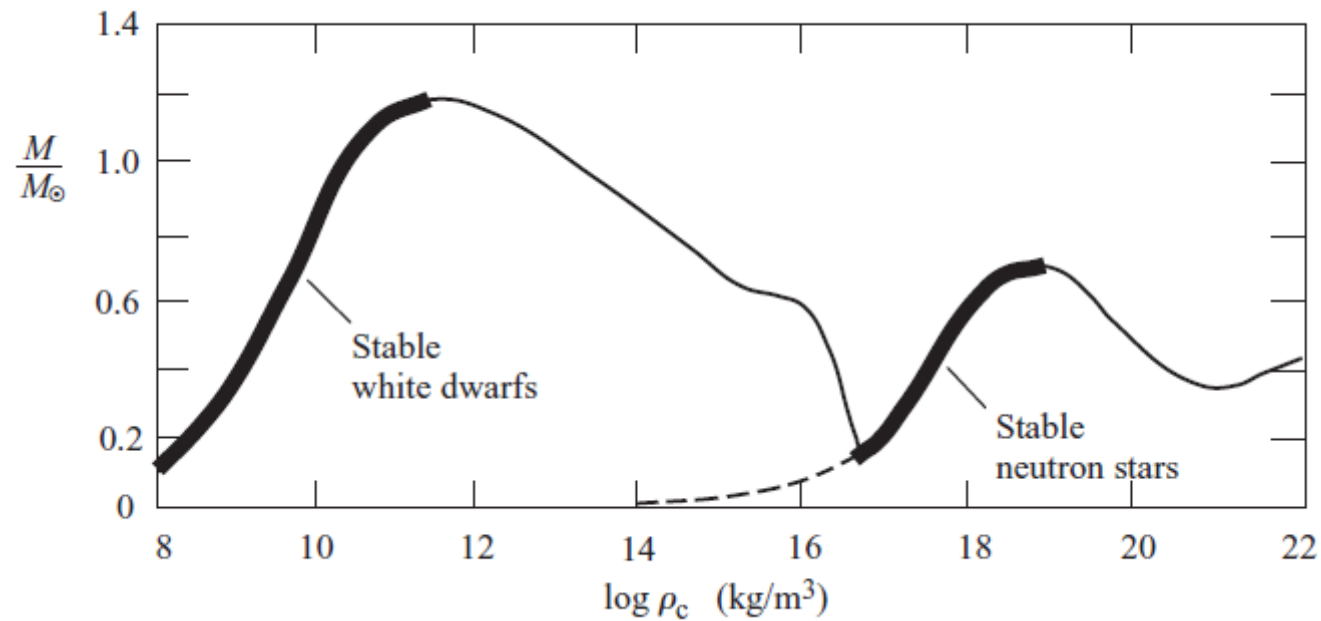
- გრავიტაციული წნევის მატება;
- გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევის კლება;

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:

აკრეცია თეთრ ჯუჯაზე



მხოლოდ გადაგვარებული ელექტრონული გაზის წნევა;

ბირთვული ურთიერთქმედება კრიტიკულ მასას – უმატებს;

თეთრი ჯუჯა $\rightarrow$ ნეიტრონული ვარსკვლავი;

ამოცანა