

ვარსკვლავების ევოლუცია და კომპაქტური ობიექტების ტიპები

ვირიალის თეორემა

განზოგადოებული სისტემის მდგრადობის პირობა:

$$2\Sigma E_k + \Sigma E_p = 0.$$

მდგრადი მბული სისტემის სრული ენერგია განისაზღვრება კინეტიკურ ენერგიით:

$$E_{\text{tot}} = \Sigma E_k + \Sigma E_p = (1/2)\Sigma E_p = -\Sigma E_k.$$

ვარსკვლავის კოლაფსი: E_p მცირდება, E_k იზრდება, $dQ = CdT$,

$$C < 0$$

უარყოფითი სითბოტევადობა

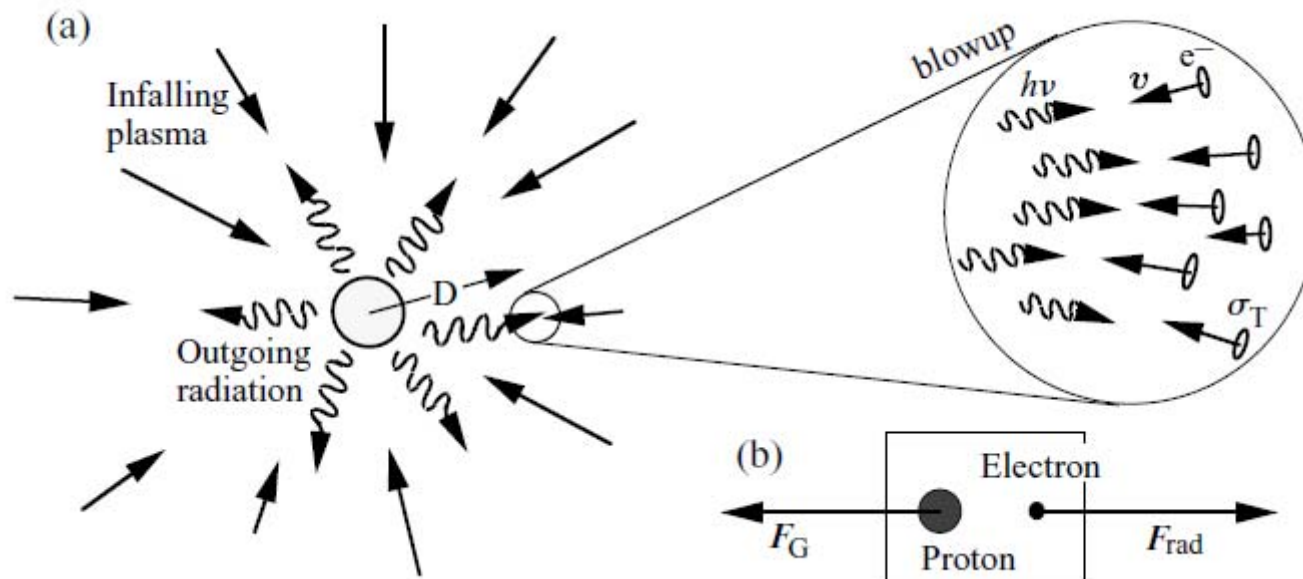
გალაქტიკური კლასტერები: E_k - დაკვირვებები; E_p - ვირიალის თეორემა;

ფარული მასა (ხილულ მასაზე 10–50 ჯერ მეტი)

ედინგტონის ზღვარი

ვარსკვლავის მაქსიმალური ნათებადობა (ედინგტონის ზღვარი):

$$L_{\text{EDD}} \sim M$$



პროტონი (ბირთვი): გრავიტაციული მიზიდულობა;
 ელექტრონი: კომპტონის გაბნევა;

ედინგტონის ზღვარი

ვარსკვლავის ზედაპირზე ელექტრონზე მოქმედი გამოსხივების ძალა (კომპტონის გაბნევა):

$$F_{\text{rad,e}} = + \frac{L \sigma_T}{4\pi D^2 c}.$$

გრავიტაციული მიზიდულობა:

$$F_G = - \frac{GM \mu_e m_p}{D^2}.$$

ერთ ელექტრონზე მოსული მასა: μ_e

სრულად იონიზირებული წყალბადი: $\mu_e \approx 1$

მძიმე ქიმიური ელემენტები: $\mu_e \approx 2$

ედინგტონის ზღვარში: $F_G + F_{\text{rad,e}} = 0.$

ედინგტონის ზღვარი

ედინგტონის ნათებადობა:

$$L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi G M_{\odot} \mu_e m_p c}{\sigma_T} \frac{M}{M_{\odot}}$$

სფერული სიმეტრია:

$$L_{\text{Edd}} = 1.26 \times 10^{31} \mu_e M / M_{\odot}$$

მზის რადიაციული მდგრადობა:

$$L_{\text{Edd}} / L_{\odot} = 3.27 \times 10^4 \mu_e M / M_{\odot}.$$

თერმობირთვული რეაქციები

1. პროტონ–პროტონ ჯაჭვი;
2. CNO ჯაჭვი;

ენერჯის გენერაციის ფუნქცია:
$$\epsilon_{pp} = \epsilon_0 X^2 \left(\frac{\rho}{10^5 \text{ kg/m}^3} \right) \left(\frac{T}{10^7 \text{ K}} \right)^\beta, \quad (\text{W/kg; hydrogen burning})$$

Chain/ cycle	Temperature where dominant (K)	Power per unit mass (W/kg) ^a	Stars where reaction dominates
pp	5 to $\sim 15 \times 10^6$	$\epsilon \propto \rho T^4$	Sun and less massive
CNO	$\geq 20 \times 10^6$	$\epsilon \propto \rho T^{15}$	Type A and more massive

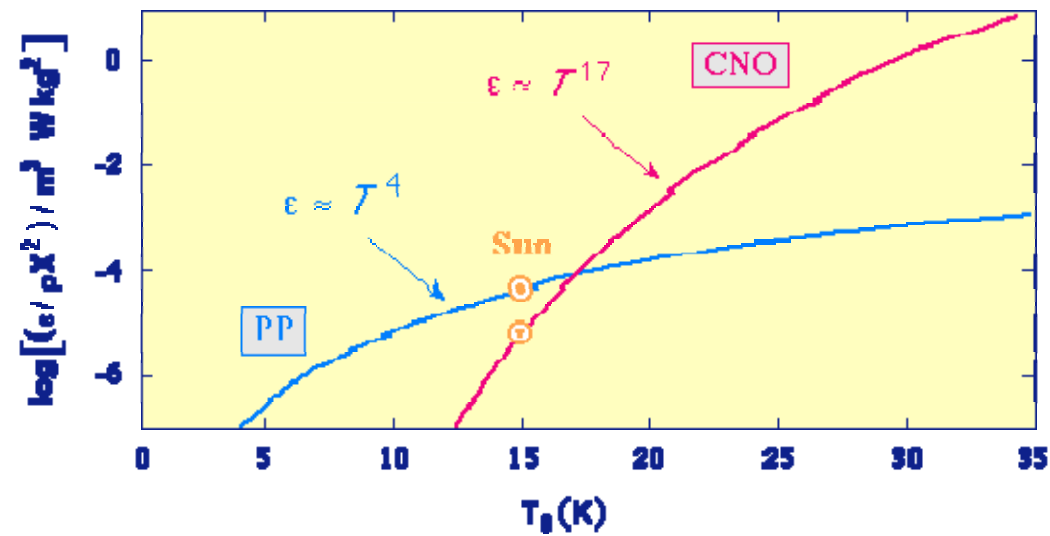
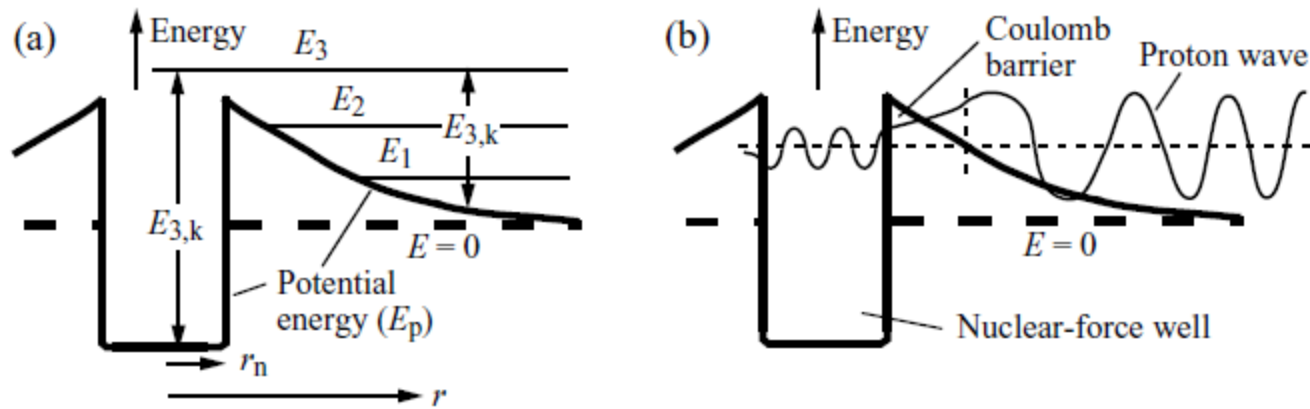
ენერგეტიკული ბალანსი

Table 4.3: *Scaling laws for stars*

Scaling ^a	pp chain ($\beta = 4$)	CNO cycle ($\beta = 15$)
$L \propto M^{(\beta+2)}/R^{(\beta+3)} \rightarrow L \propto M^{(2\beta+8)/(\beta+1)}$	$L \propto M^{16/5}$	$L \propto M^{19/8}$
$R \propto M^{(\beta-2)/(\beta+1)}$	$R \propto M^{2/5}$	$R \propto M^{13/16}$
$\rho \propto M/R^3 \propto M^{(7-2\beta)/(\beta+1)}$	$\rho \propto M^{-1/5}$	$\rho \propto M^{-23/16}$
$P \propto M^2/R^4 \propto M^{(10-2\beta)/(\beta+1)}$	$P \propto M^{2/5}$	$P \propto M^{-5/4}$
$T \propto M/R \propto M^{3/(\beta+1)}$	$T \propto M^{3/5}$	$T \propto M^{3/16}$
$L \propto T_{\text{eff}}^{(2\beta+8)/3}$	$L \propto T_{\text{eff}}^{16/3}$	$L \propto T_{\text{eff}}^{38/3}$

სტაბილური თერმოობირთვული რეაქციები

ქვანტური ტუნელირება



მაქსიმალური მასის ვარსკვლავი

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავის ნათებადობა:

$$L \sim M^\alpha$$

ედინგტონის ვარსკვლავის მაქსიმალური ნათებადობა:

$$L \sim M$$

სტაბილური ვარსკვლავის მაქსიმალური მასა

ვარსკვლავური თერმობირთვული ნათებადობის მოდელები:

P-P ჯაჭვი: $L_{\text{star}}/L_\odot = (M/M_\odot)^{16/5}$

მაქსიმალური ნათების ვარსკვლავი: $L_{\text{star}} = L_{\text{Edd}}$

წყალბადის სფერული ობიექტი:

$$(M/M_\odot)_{\text{max}} = 115$$

ნათება:

$$(L_{\text{star}}/L_\odot)_{\text{max}} = 3.9 \times 10^6$$

($\mu=2$: 157 მზე)

მაქსიმალური მასის დაკვირვებული ერთმაგი ვარსკვლავი: 130 მზე

აკრეცია კომპაქტურ ობიექტებზე

მატერიის აკრეციის სიჩქარე: dm/dt

გამოთავისუფლებული ენერგია \rightarrow გამოსხივება $L \approx \frac{GM \frac{dm}{dt}}{R}$

მაქსიმალური აკრეციის ტემპი: $L = L_{\text{EDD}}$ $\frac{GM\dot{m}_{\text{Edd}}}{R} \approx 1.26 \times 10^{31} \frac{M}{M_{\odot}}$

წყალბადის აკრეციის მაქსიმალური ტემპი:

$$\dot{m}_{\text{Edd}} \approx 1.26 \times 10^{31} \frac{R}{GM_{\odot}}$$

აკრეციის სიჩქარე დამოკიდებულია **მოხლოდ** კომპაქტური ობიექტის რადიუსზე.

აკრეცია კომპაქტურ ობიექტებზე

ნეიტრონულ ვარსკვლავზე აკრეციის მაქსიმალური:

$$R = 10\text{km}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{Edd}} &\approx 9.5 \times 10^{14} \text{ kg/s} \\ &\rightarrow 1.5 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yr.}\end{aligned}$$

მასიური შავი ხვრელი:

შვარცშილდის რადიუსი: $R_S = 2GM/c^2$

გალაქტიკის ცენტრალური შავი ხვრელი: $R_S = 2\text{AU}, \quad M = 10^8 M_{\odot}$.

აკრეციის ტემპი: წელიწადში ნახევარი მზე;

ვარსკვლავების ევოლუცია: მზე

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები:

1. ღრუბლის კოლაფსი და ვარსკვლავის დაბადება

2. პროტოვარსკვლავის ევოლუცია

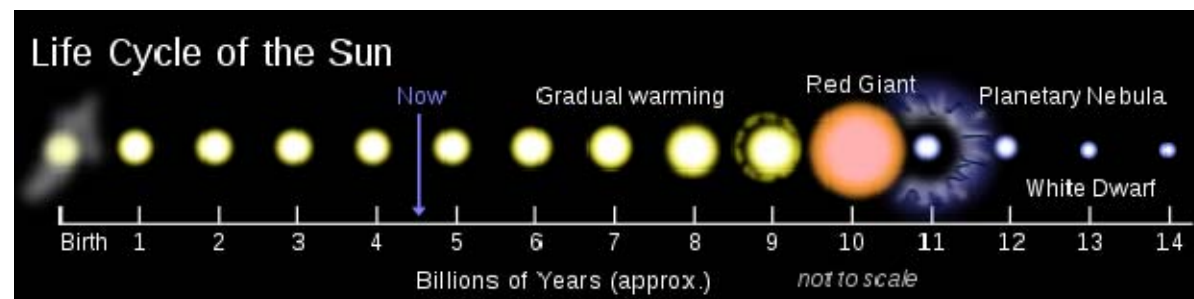
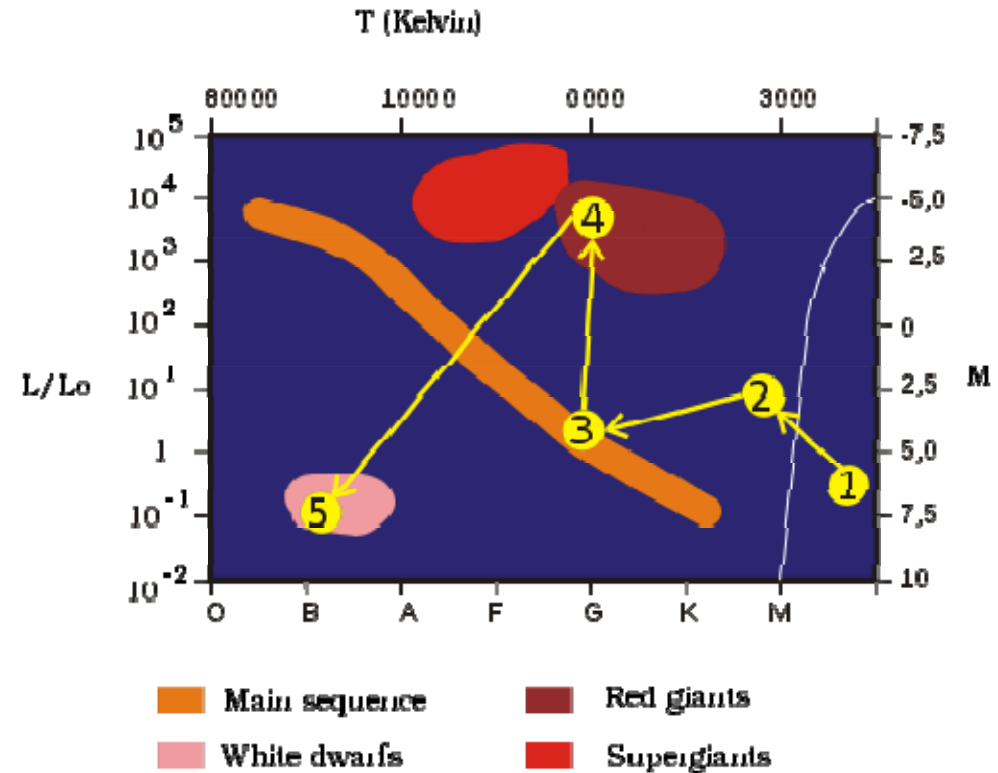
ევოლუციის მდგრადი ეტაპი

თერმობირთვული საწვავის გამოლევა:

- წყალბადის გამოლევა;
- ჰელიუმის ანთება;

3. წითელ გიგანტად გაფართოება

4. გარე ფენის მოშორება და კოლაფსი: თეთრი ჯუჯა;



კომპაქტური ობიექტები

გრავიტაციის დამაბალანსებელი ძალა: მატერიის მდგომარეობის განტოლება

თერმოდინამიკური მდგომარეობის განტოლება: (მაგ. იდეალური გაზი)
ვარსკვლავები;

გრავიტაციული კოლაფსი: სიმკვრივის ზრდა \rightarrow კომპაქტური ობიექტები

გადაგვარებული მატერია

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი:

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

პაულის პრინციპი: გადაგვარებული მატერიის წნევა;

- ელექტრონული გადაგვარება
- პროტონული გადაგვარება
- ნეიტრონული გადაგვარება
- კვარკული გადაგვარება
- აბსოლუტური კოლაფსი (გრავიტაციული სინგულარობა);

კომპაქტური ობიექტები

სტაბილური ვარსკვლავური მდგომარეობები:

მდგომარეობის განტოლება

- ელექტრონების ფერმი წნევა;
გადაგვარებული ელექტრონული გაზი;
თეთრი ჯუჯები
- გადაგვარებული პროტონული მატერია
ბირთვული გარდაქმნები → ნეიტრონები
- გადაგვარებული ნეიტრონული გაზის წნევა;
ნეიტრონული ვარსკვლავები
(პულსარები)
- კვარკული გადაგვარების წნევა
კვარკული პროცესები... (ცუდათ შესწავლილი)
- აბსოლუტური გრავიტაციული კოლაფსი
შავი ხვრელები

<http://www.tevza.org/home/course/PCO2012/>