

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

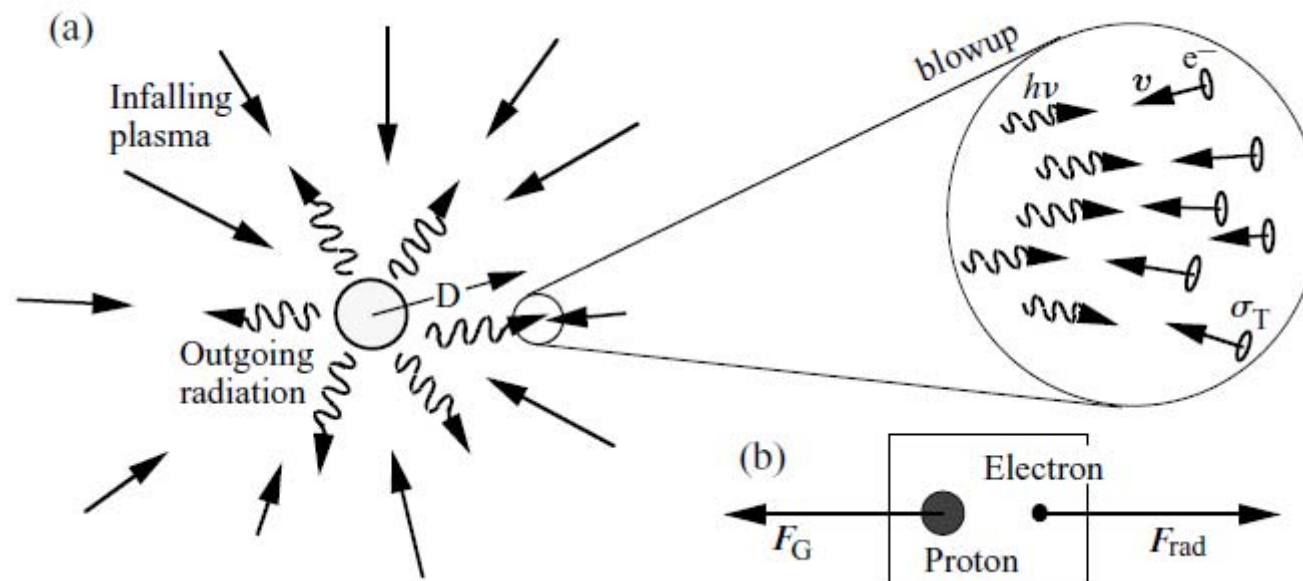
გალაქტიკური კლასტერები: E_k - დაკვირვებები; E_p - ვირიალის თეორემა;

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;

ენერგიის გენერაციის ფუნქცია: $\epsilon_{pp} = \epsilon_0 X^2 \left(\frac{\rho}{10^5 \text{ kg/m}^3} \right) \left(\frac{T}{10^7 \text{ K}} \right)^\beta$, (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	$\gtrsim 20 \times 10^6$	$\epsilon \propto \rho T^{15}$	Type A and more massive

ენერგეტიკული ბალანსი

Table 4.3: *Scaling laws for stars*

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

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

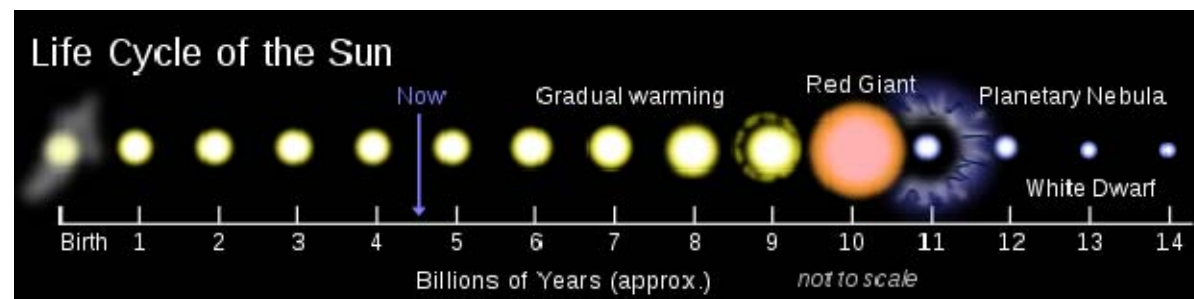
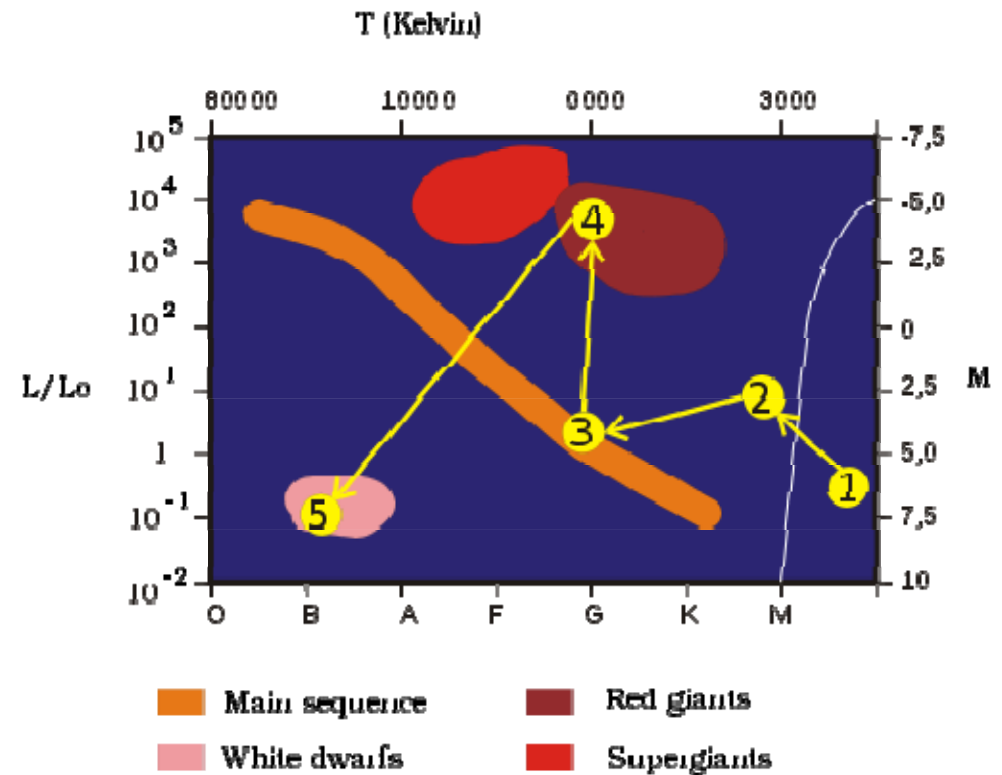
ევოლუციის მდგრადი ეტაპი

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

ამოცანა

- 1) რა არის 1კგ მატერიის ედინგტონის გამოსხივების სიმძლავრე?
- 2) გაიფანტება თუ არა 1 ლიტრი ედინგტონის სიმძლავრით მანათობელი წყალი გამოსხივების წნევის ხარჯზე? იმსჯელეთ რატომ.
- 3) ვთქვათ მოათავსეთ წყლის ეს ოდენობა ღია კოსმოსის ვაკუუმში დედამიწის გრავიტაციის მოცილებით. როგორ მოიქცევა წყალი? რა კრიტერიუმს გვაძლევს ჯინსის არამდგრადობა? რა ტემპერატურაზე დაჯახნის თვითგრავიტაცია სითბურ მოძრაობებს?

Problem 2.72. (a) What is the Eddington luminosity for 1 kg of material for $\mu_e = 1$? (b) Does this suggest that a liter of water in an open pan would start ejecting material if it were radiating at this luminosity? Discuss why or why not. (c) Suppose you took the water into the vacuum of space and released it so it would be free of earth's gravity. How might it behave? What does the Jeans criterion tell you (Section 2.2) about the temperature that would be required for self-gravity to dominate the thermal motions? State your assumptions.
[Ans. ~ 5 W; –;–]