



*აქვე ჭრებამუდის ხელოვნის
ბძღვის ხეღმწიგო აწივენსიქეი*

სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 6

ვარსკვლავების ევოლუცია,
ზეახალი ვარსკვლავები,
თეთრი ჯუჯები, ნეიტრონული ვარსკვლავები,
შავი ხვრელები

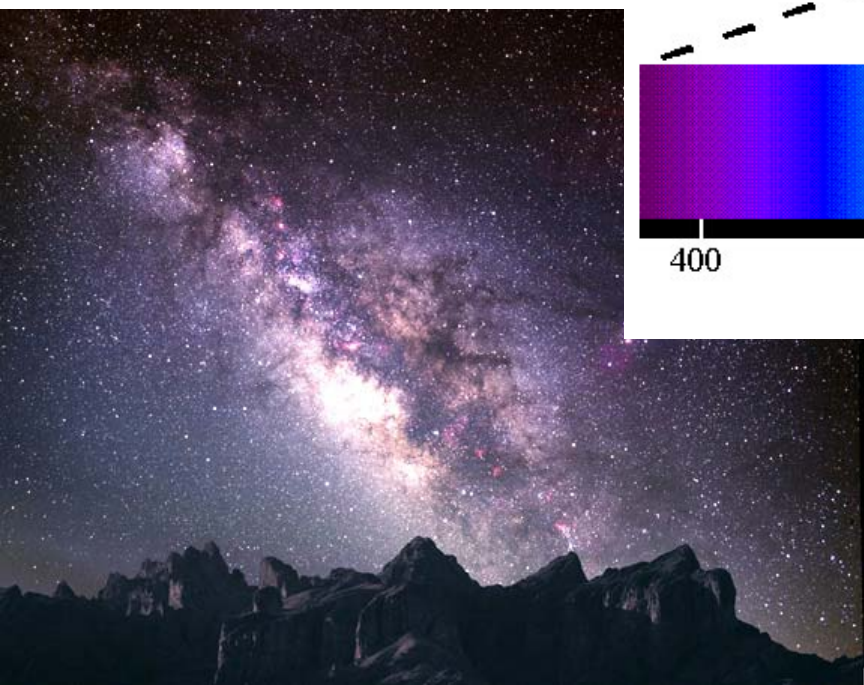
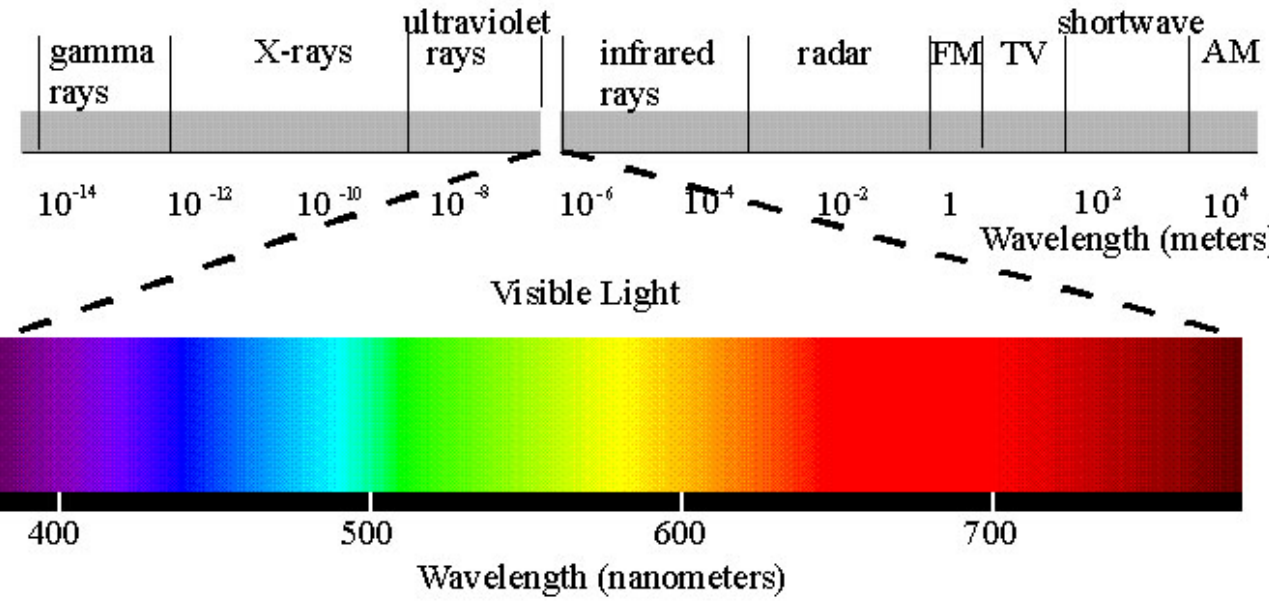
წინა ლექციაში

- ვარსკვლავების გამოსხივება
- გამოსხივების სპექტრი
- სპექტრული კლასიფიკაცია
- HR დიაგრამა
- ნუკლეოსინთეზი

ხილული სამყარო

ადამიანის თვალი ხედავს ელექტრომაგნიტური სპექტრის მხოლოდ მცირე უბანს:

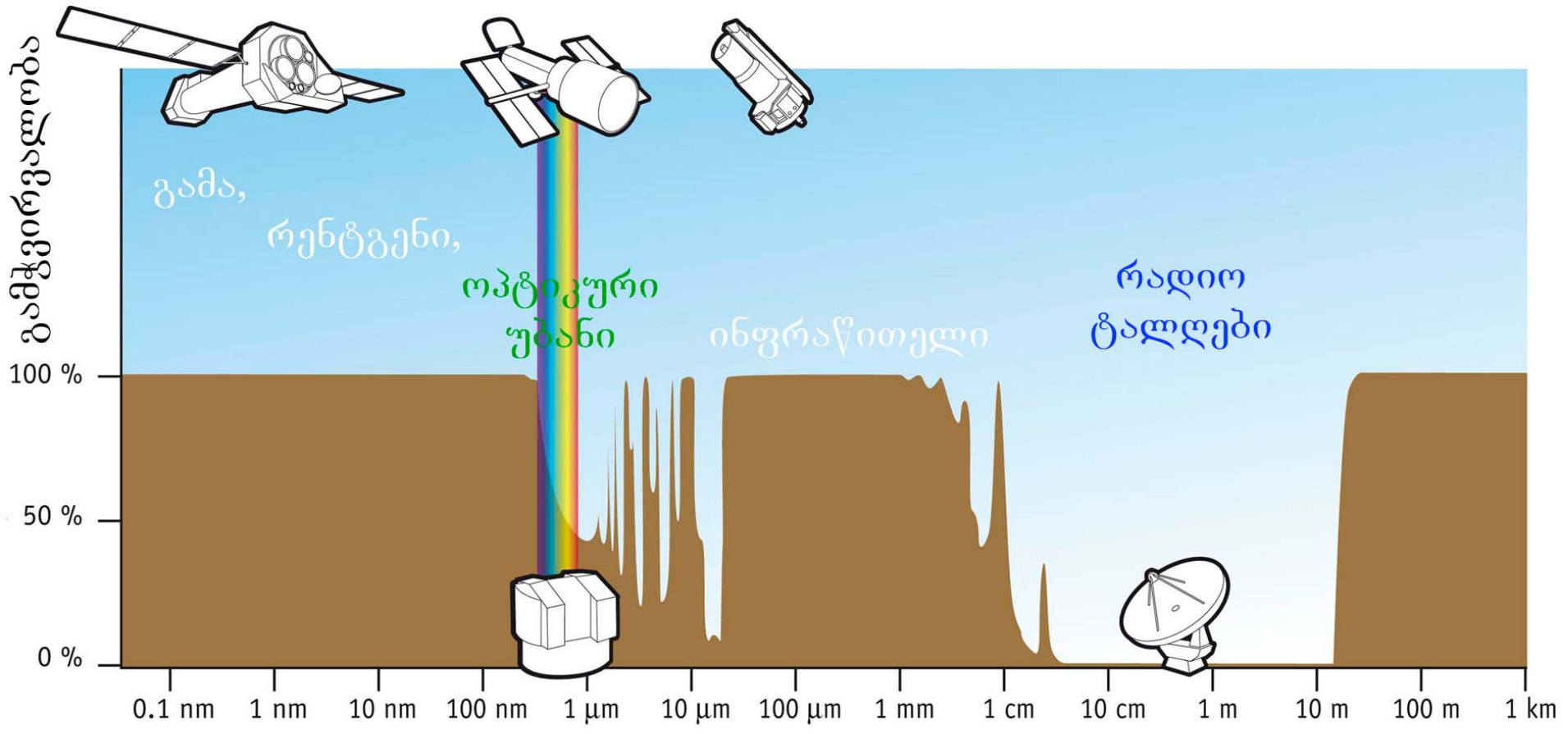
ოპტიკური უბანი



ცის ოპტიკური გამოსახულება ინფორმაციის მცირე ნაწილი

დაკვირვებები დედამიწიდან

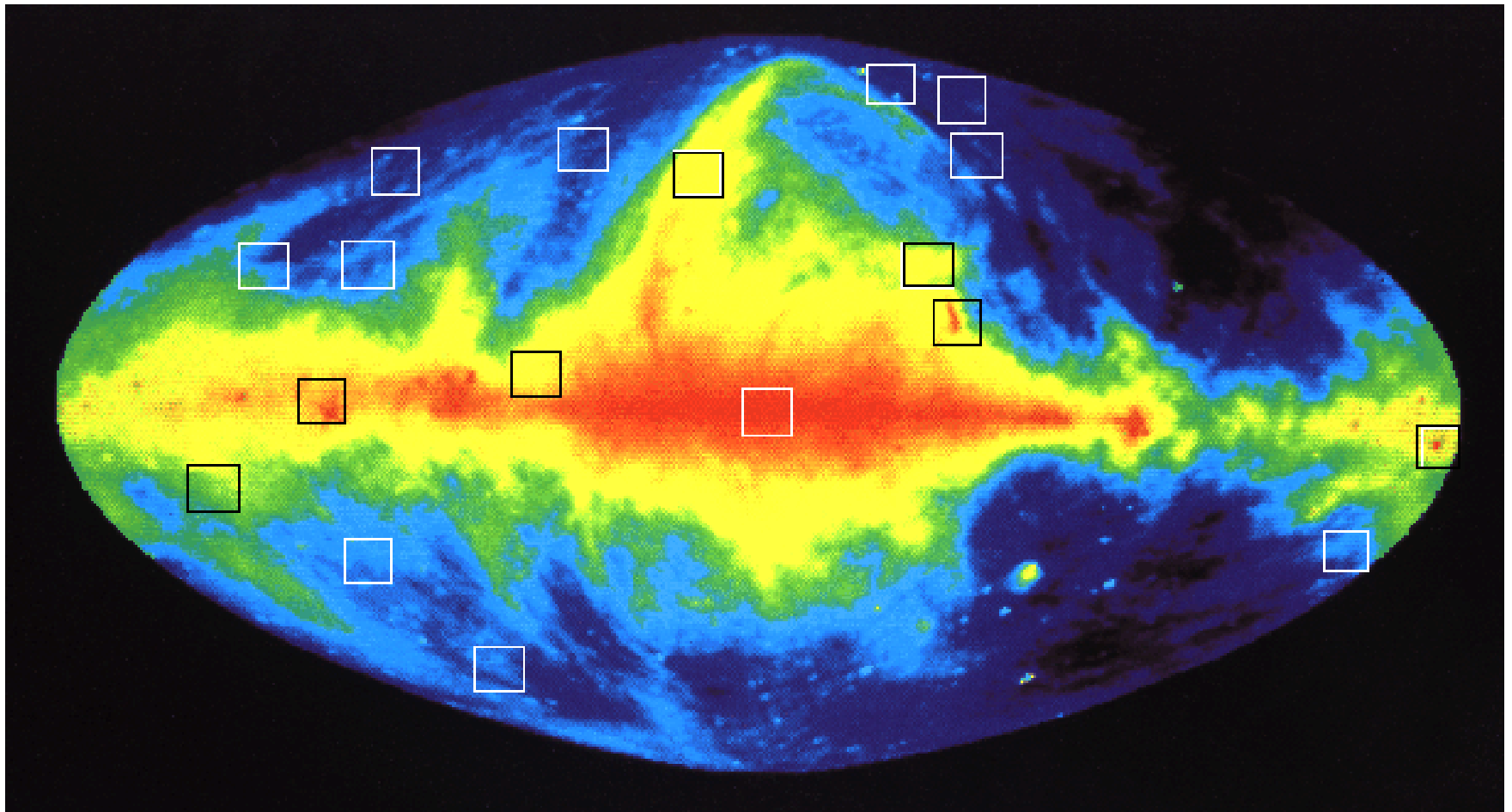
ატმოსფეროს გამჭვირვალობა ელექტრომაგნიტური ტალღების სხვადასხვა დიაპაზონში



ტალღის სიგრძე

რადიო დიაპაზონი

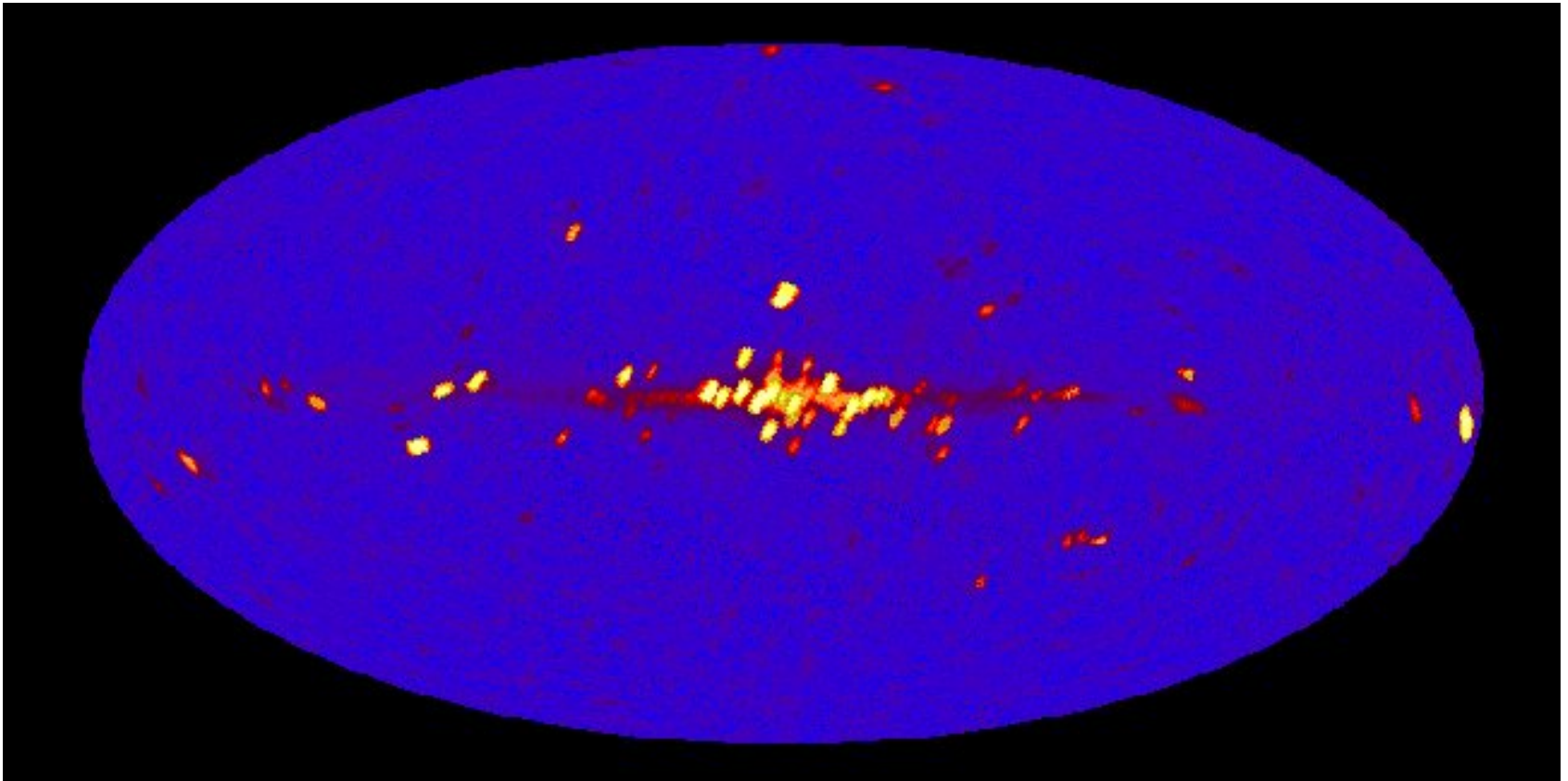
ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: $\sim 1\text{K}$



რენტგენული დიაპაზონი (X-ray)

ფოტონის ენერგია: 10^3-10^4 eV

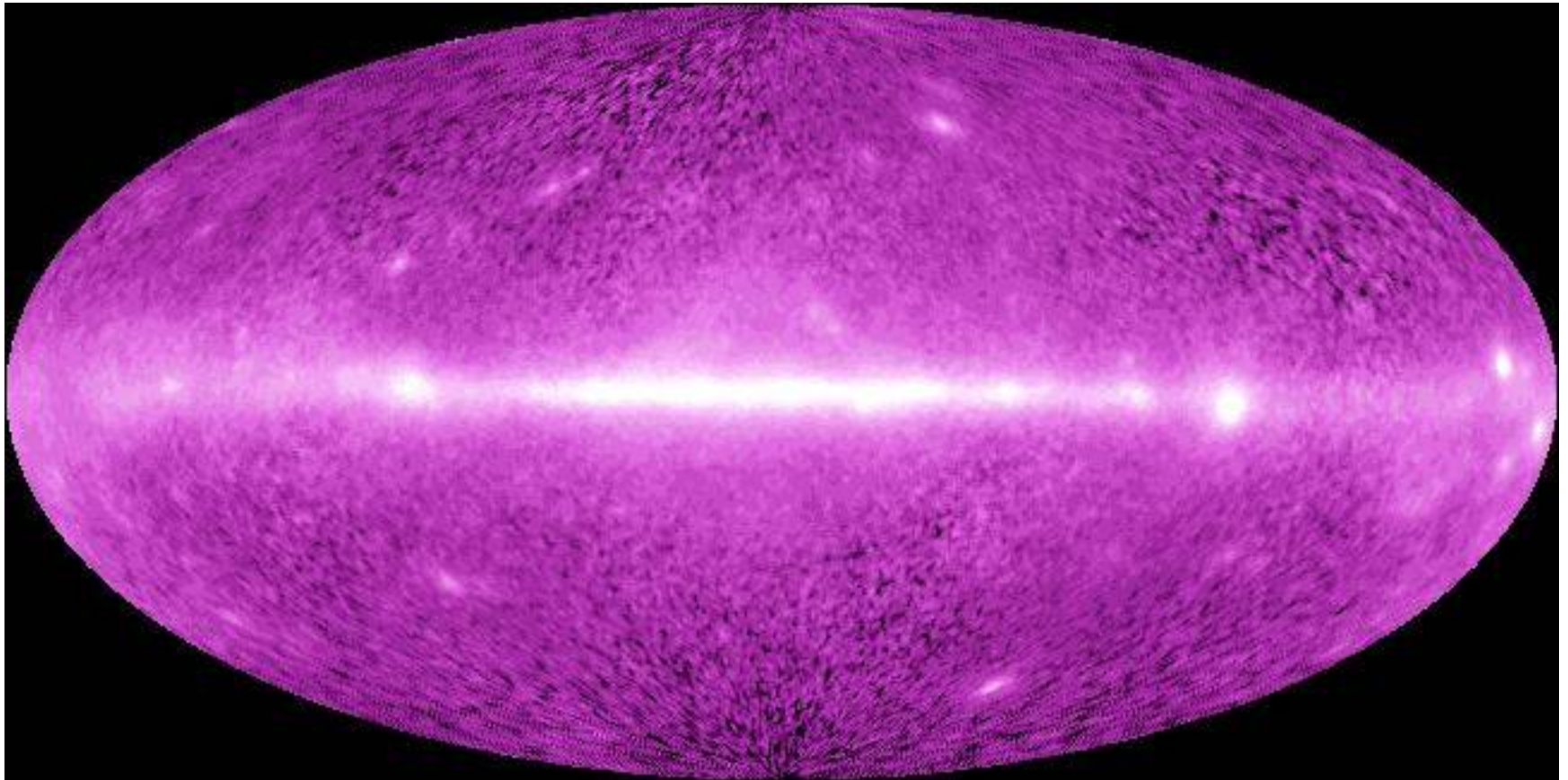
ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ($\sim 10^8$ K)



გამა დიაპაზონი

ფოტონის ენერგია: 10^6-10^9 eV

ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ($\sim 10^{13}$ K)



ინფრაწითელი და მიკროტალღვანი

www.google.com/sky

The screenshot displays the Google Sky interface. At the top, there are navigation links for 'Sky', 'Moon', and 'Mars', along with 'See sky in Google Earth', 'Help', and 'About Google Sky'. The Google logo is on the left, with a search bar and a 'Search' button. A language dropdown menu is set to 'English (US)'. Below the search bar, there is a 'Link to this page' option and a 'Print' button. The main area features a large, colorful astronomical image with a navigation panel on the left containing directional arrows and zoom controls. On the right side of the image, there are three tabs: 'Infrared', 'Microwave', and 'Historical'. A red dashed circle highlights these tabs, and a red arrow points from the top right towards the 'Infrared' and 'Microwave' tabs. At the bottom of the image, there is a 'Google' logo, a timestamp '13h 30m 10.0s', and coordinates '78° 2' 21.3"'. The footer contains several links to related content: 'Solar System', 'Constellations', 'Hubble Showcase', 'Backyard Astronomy', 'Chandra X-Ray Showcase', 'GALEX Ultraviolet Showcase', 'Spitzer Infrared Showcase', and 'Earth & Sky Podcasts'. The image credit is 'Image Credit: DSS Consortium, SDSS, NASA/ESA - Terms of Use'.

ვარსკვლავების ევოლუცია

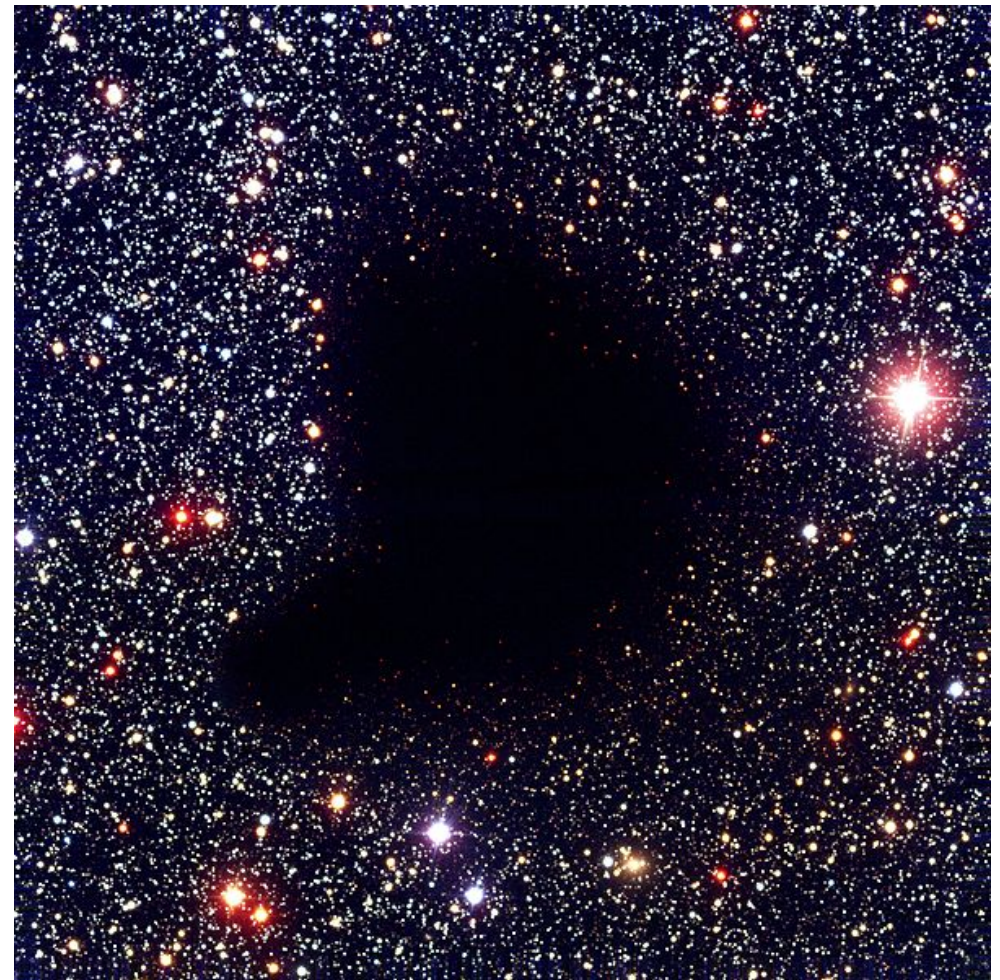
მოლეკულური ღრუბლები და ვარსკვლავთშორისი
გაზი: ვარსკვლავთწარმოშობის არეები

- ადრეული ვარსკვლავები: პროტოვარსკვლავები;
- ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები;
- გვიანი ტიპის ვარსკვლავები და გიგანტები;
- **ზეახალი ვარსკვლავი**
- კომპაქტური ნარჩენები

მოლეკულური ღრუბლები

ცივი დიფუზიური
ნივთიერება

შთანთქავს ფონური
ვარსკვლავების
გამოსხივებას

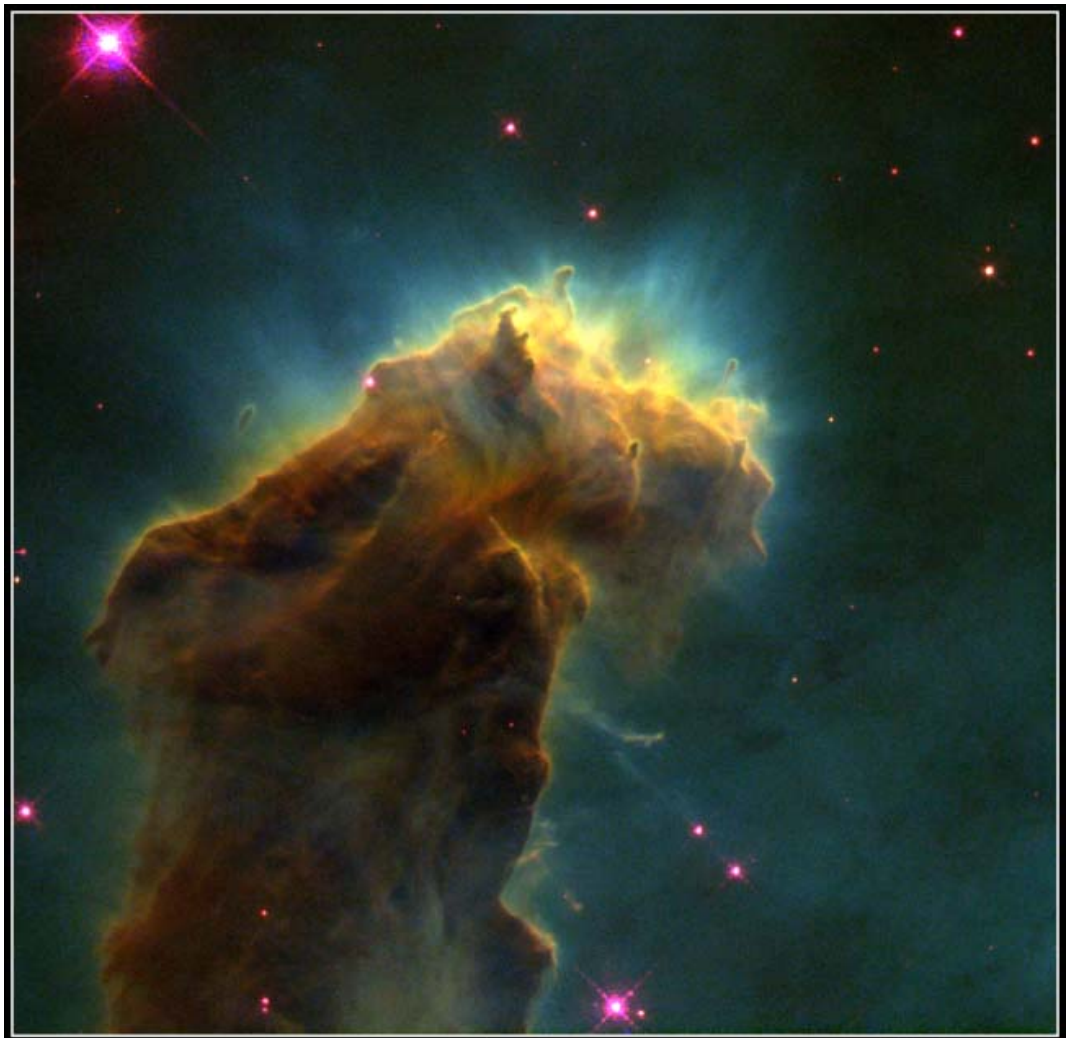


მოლეკულური ღრუბელი ბარნარდ-68 ($H_2+CO+CN,CH_4,NH_3\dots$)

ვარსკვლავთ წარმოშობა

თვითგრავიტაციის
ძალებით
გაზის
ვარსკვლავებში
კოდენსაცია

გრავიტაციული
ფრაგმენტაცია



Star-Birth Clouds · M16

HST · WFPC2

PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

პროტოვარსკვლავი

ვარსკვლავის დაბადების პირველი ეტაპი:

პროტოვარსკვლავი

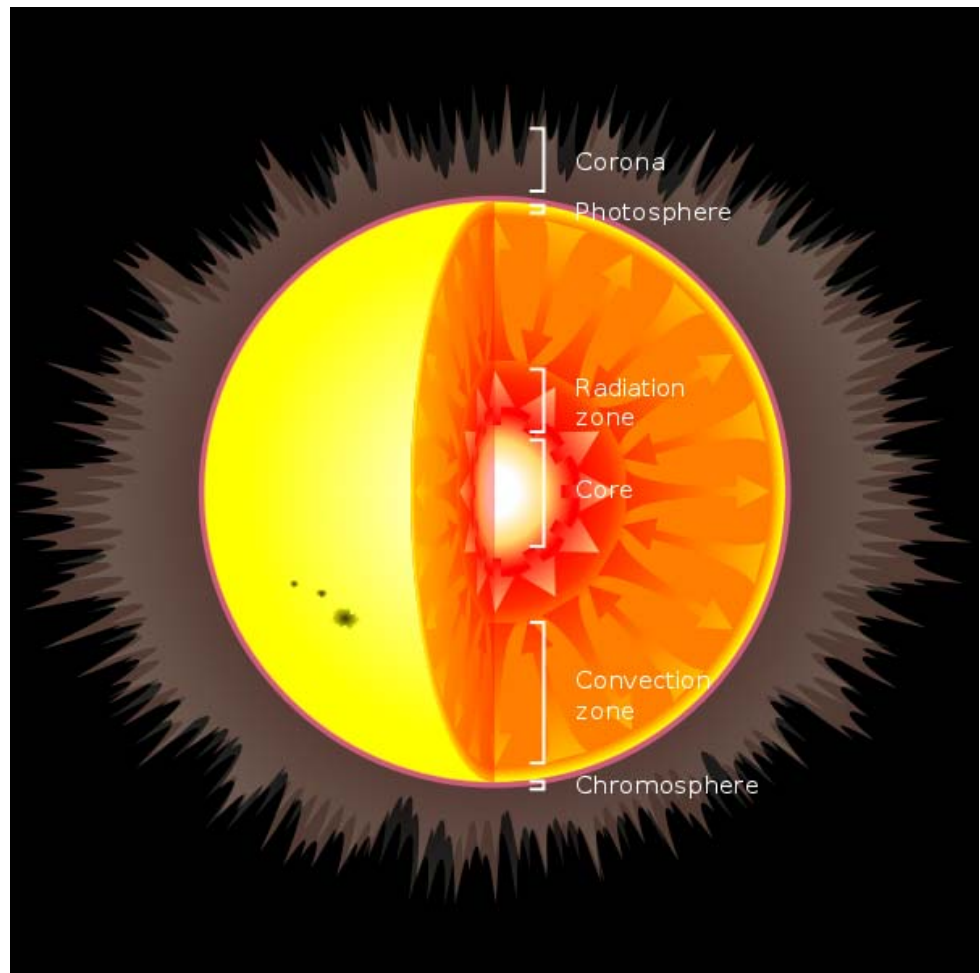
მნათობი + ნარჩენი გაზი



ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი

ევოლუციის
სტაბილური
ეტაპი

ენერჯის წყარო:
თერმოზირთვული
რეაქციები
(P+P, CNO)

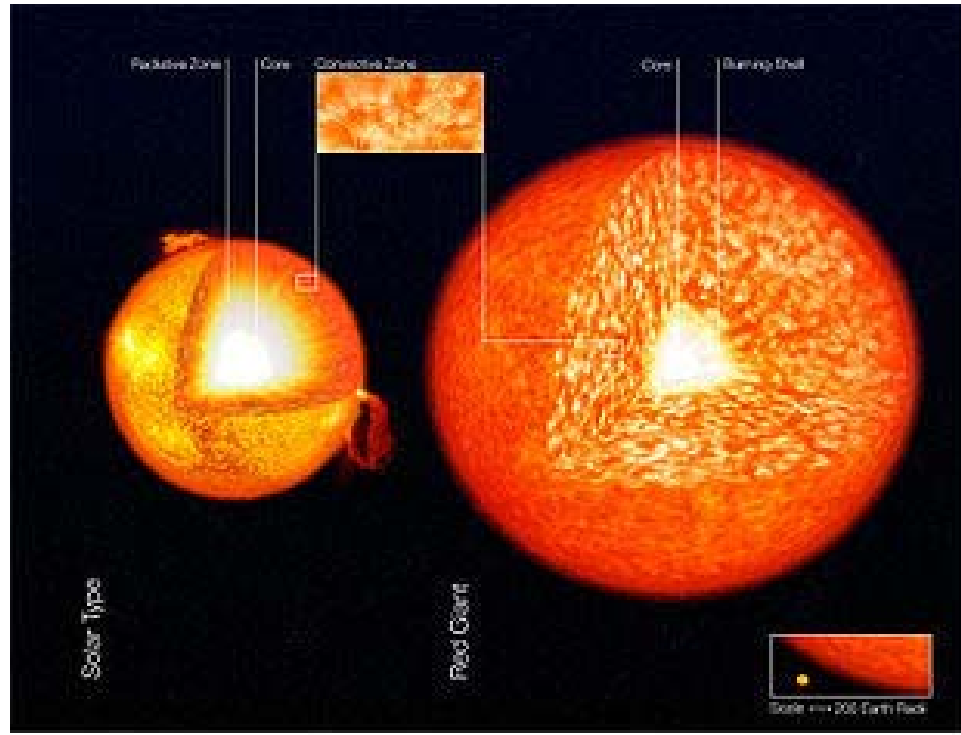


წითელი გიგანტი

ვარსკვლავის ბირთვის თერმობირთვული
“გამოწვის” პროცესი:

ტემპერატურისა და
რადიუსის ნელი მატება

უარყოფითი
სითბოტევადობა



მზის მომავალი: წითელი გიგანტი

მზის რადიუსის მატება:

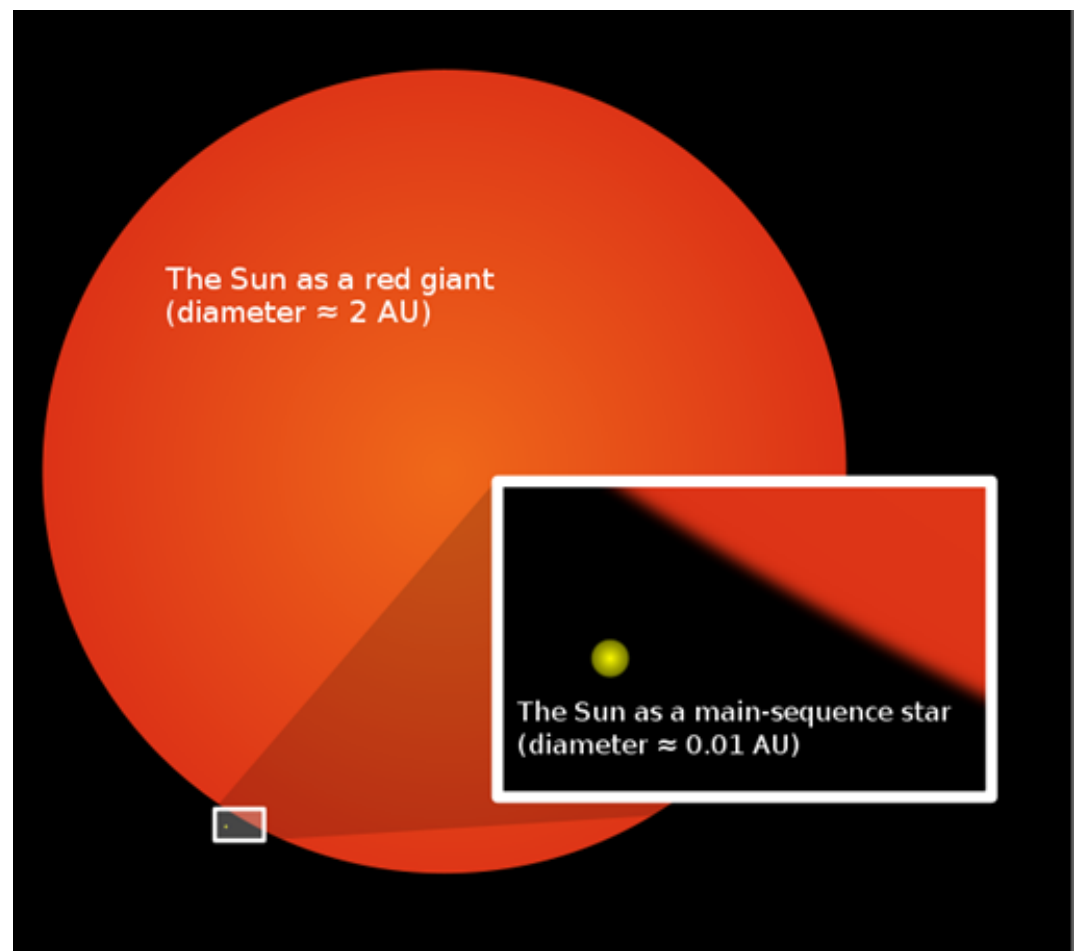
$> 200 R_{\text{მზე}}$

$> 2 \text{ ა.ე.}$

პლანეტების

შთანთქმა

(დედამიწა ☹)



ვარსკვლავის

ბირთვული საწვავის გამოლევა: 1) H-H, 2) CNO

ვარსკვლავის კატასტროფული შეკუმშვა:
საკუთარი სიმძიმის ქვეშ კოლაფსი

ტემპერატურის სწრაფი ზრდა:

ბირთვული რეაქციები: r-პროცესი

(მძიმე ქიმიური ელემენტ. თერმოზირთ. რეაქციები)

ფეთქებადი ნუკლეოსინთეზი

ვარსკვლავის აფეთქება

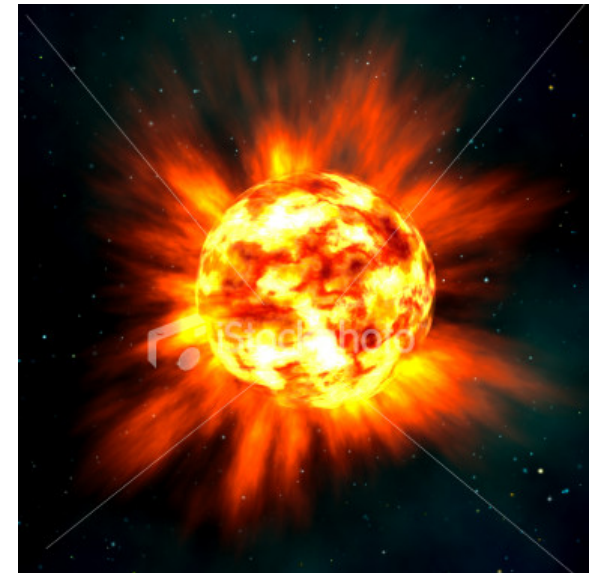
ზეახალი ვარსკვლავი

აფეთქების ნათების გაელვება (~1 კვირა)

ვარსკვლავის ცენტრში გამოიყოფა დიდი რაოდენობით ენერგია:

ნათობის რამოდენიმე რიგით ზრდა

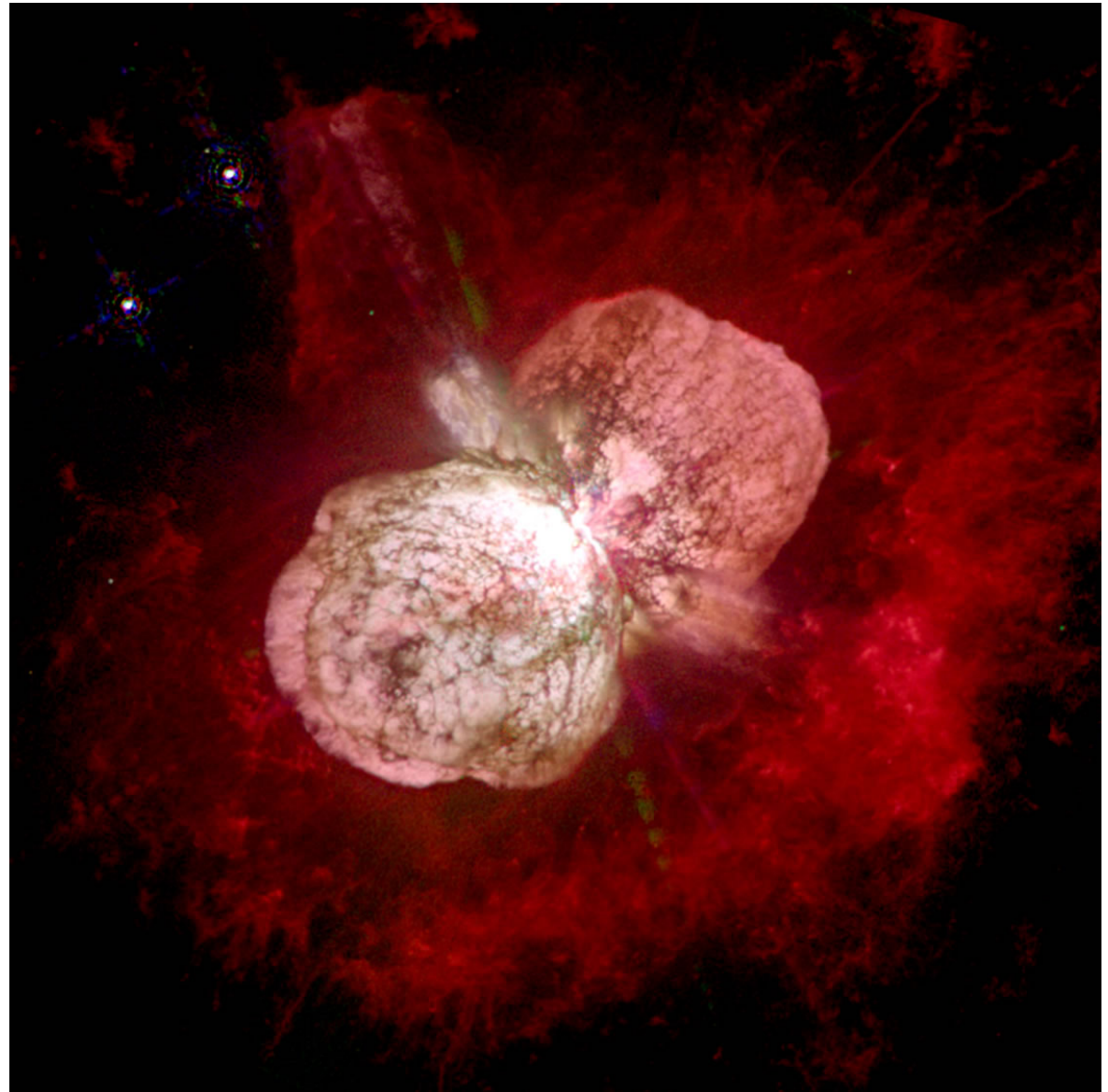
აფეთქების შედეგად
ვარსკვლავი კარგავს
გარე შრის მნიშვნელოვან
ნაწილს



ზეახალი: დაკვირვებები

ჰაბლის
კოსმოსური
ტელესკოპი:

eta carina supernova

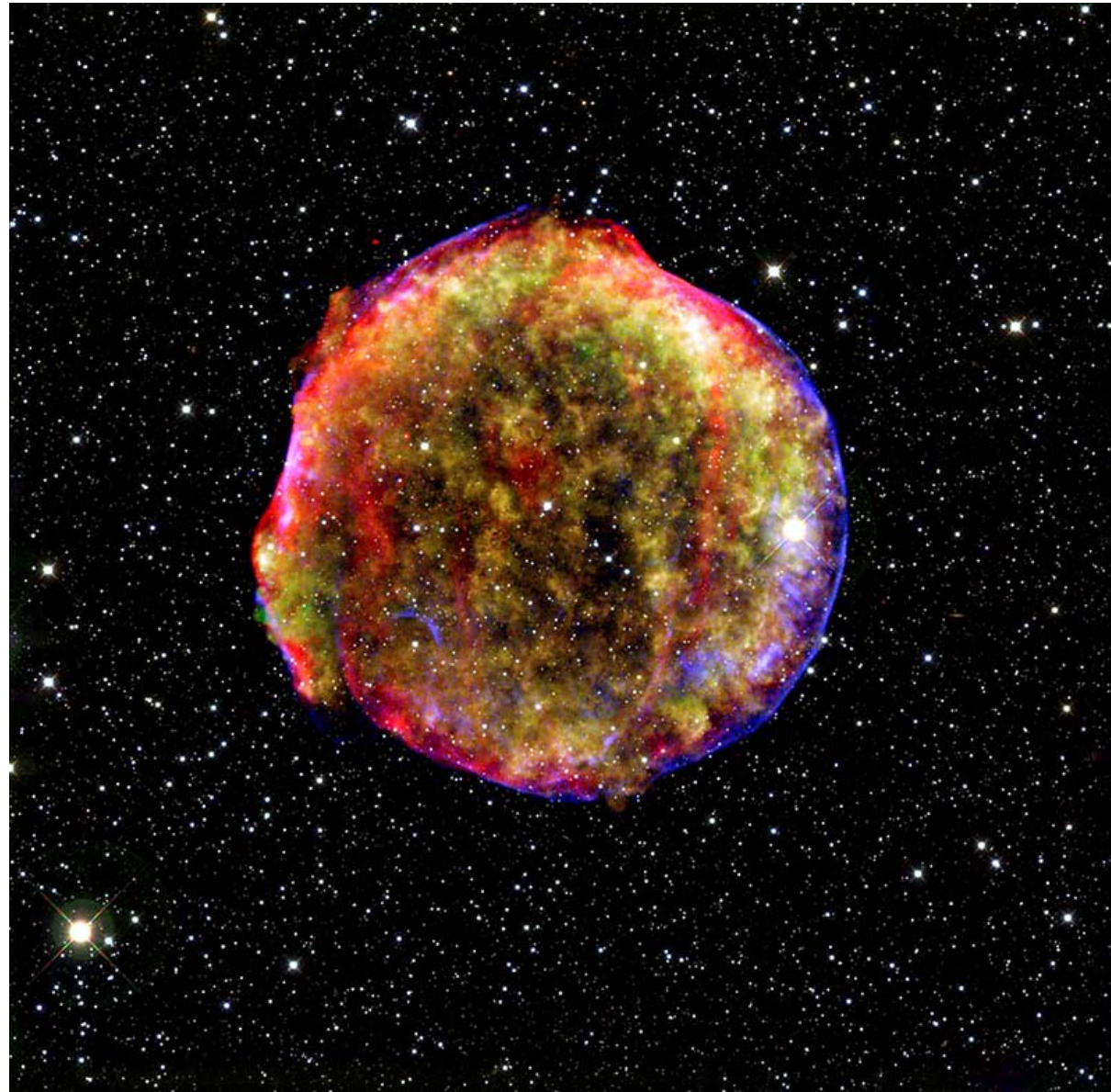


ზეახალი: დაკვირვებები

კასეოპია

G120.1+01.4,

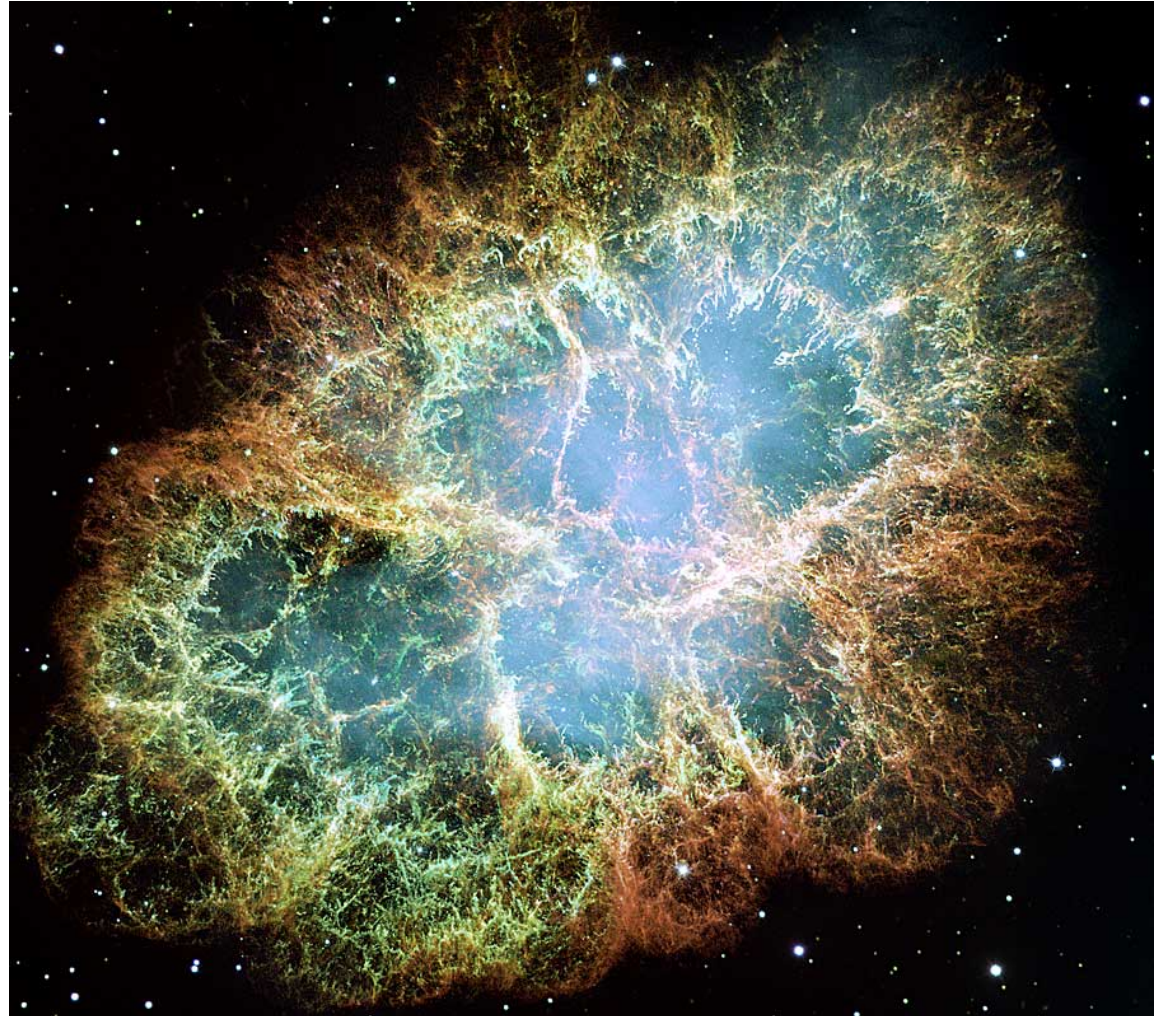
SN 1572



ზეახალის ნარჩენები კიბორჩხალას ნისლეული

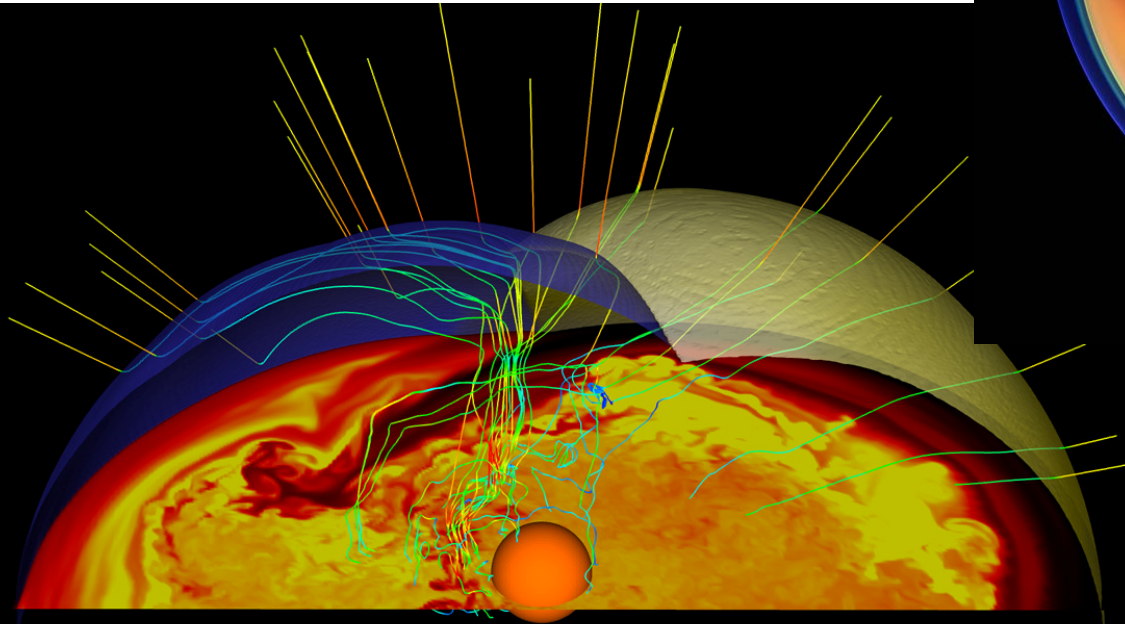
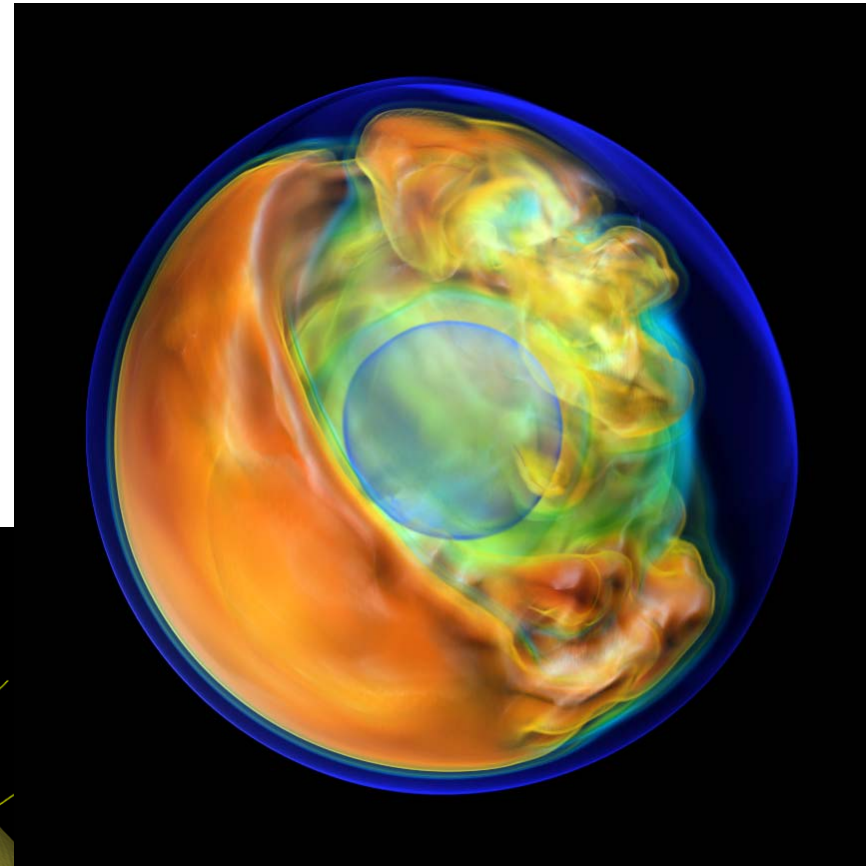
ჩინელი და არაბი
ასტრონომების
დაკვირვებები
ზეახალი 1054 ჩვ.წ.

დღეს:
ნარჩენი
ნისლეული



ზეახალი: რიცხვითი მოდელირება

აფეთქება გარეთ;
შეკუმშვა შიგნით:
ზეახალის ნარჩენი



კომპაქტური ნარჩენი

ზეახალის კომპაქტური ნარჩენები

ობიექტის წონასწორობა: თვითგრაფიტაციის კომპენსაცია გადაგვარებული მატერიის წნევით;
ანომალურად მკვრივი ნივთიერებების ქვანტური თვისებები

– თეთრი ჯუჯა

(გადაგვარებული ელექტონული გაზი)

– ნეიტრონული ვარსკვლავი

(გადაგვარებული ნეიტრონული ნივთიერება)

– შავი ხვრელი

(აბსოლუტური კოლაფსი)

თეთრი ჯუჯები

სირიუს-ბ

მასა: $0.97 (1.05) M_{\odot}$

რადიუსი: $0.0084 R_{\odot}$

ნათობა: $0.026 L_{\odot}$

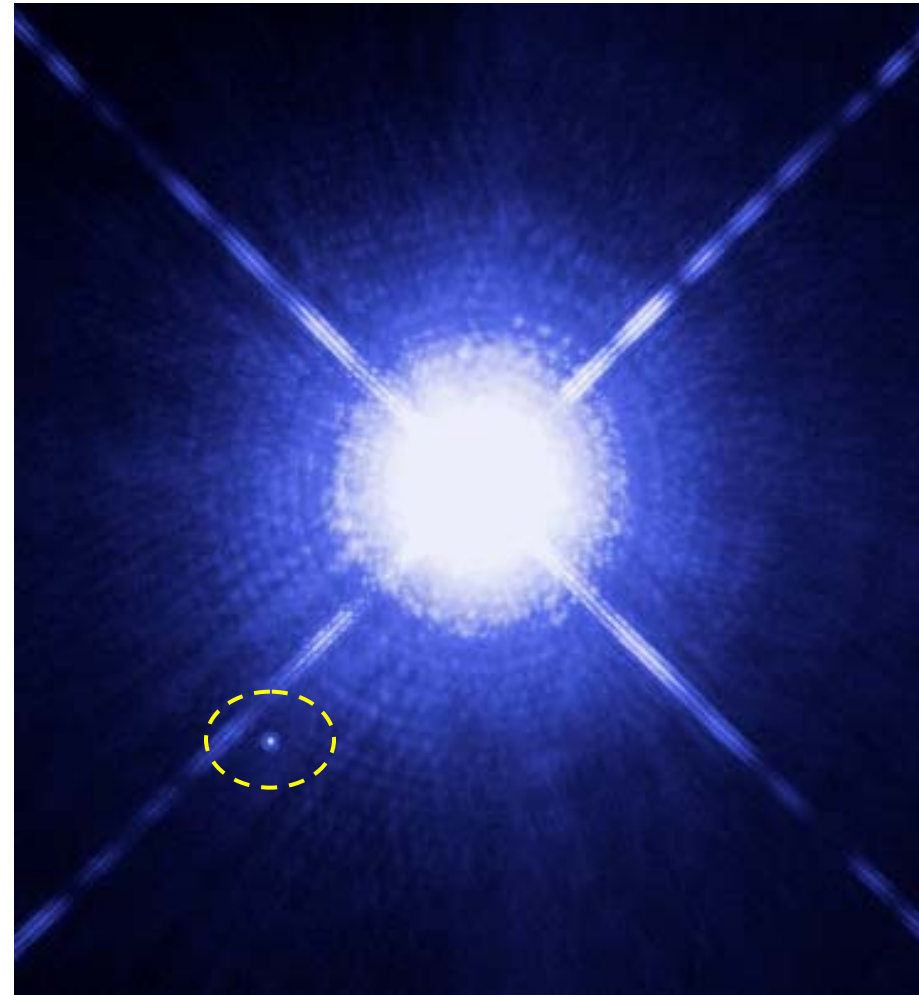
სიმკვრივე: $2.5 \cdot 10^9 \text{ კგ/მ}^3$

მანძილი დედამიწამდე:

8.6 ს.წ.

აღმოჩენის თარიღი:

1862



თეთრი ჯუჯები

ზეახალის ნარჩენი ობიექტის მასა: $< 1.4 M_{\text{მზე}}$

ენერგიის წყარო: სითბური (ნელი გაციება)

ზედაპირული ტემპერატურა $< 150\ 000\ \text{K}$

გაციებულ თეთრი ჯუჯა: შავი ჯუჯა

ჰიპოთეტური ობიექტი;

გაციების დრო \gg სამყაროს დღევანდელი ასაკი

მზის მომავალი

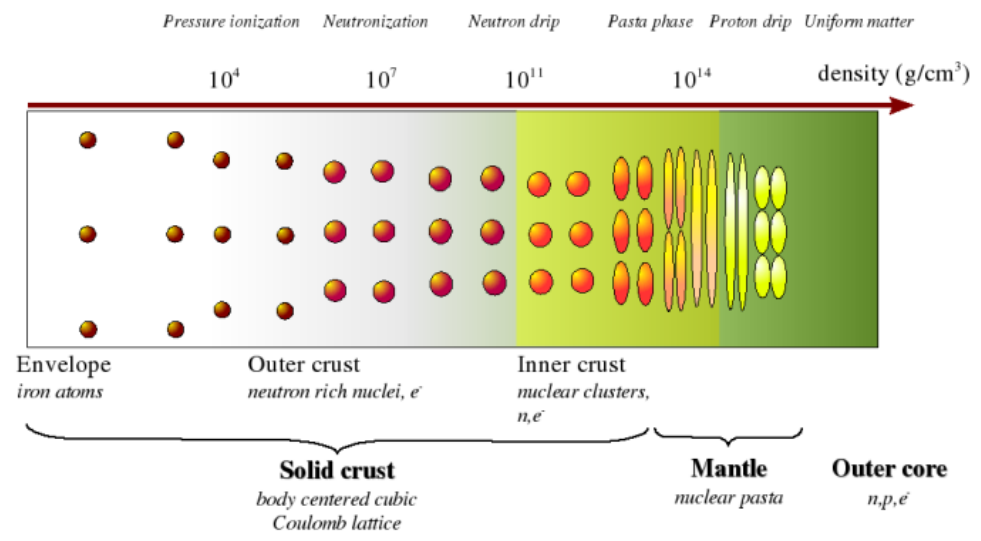


ნეიტრონული ვარსკვლავი

ზეახალის ნარჩენი ობიექტის მასა: $1.4 - 3 M_{\odot}$
გადაგვარებული ნეიტრონული სითხე
(ქვანტური ნივთიერება)

ატომის ბირთვის სიმკვრივის ვარსკვლავი

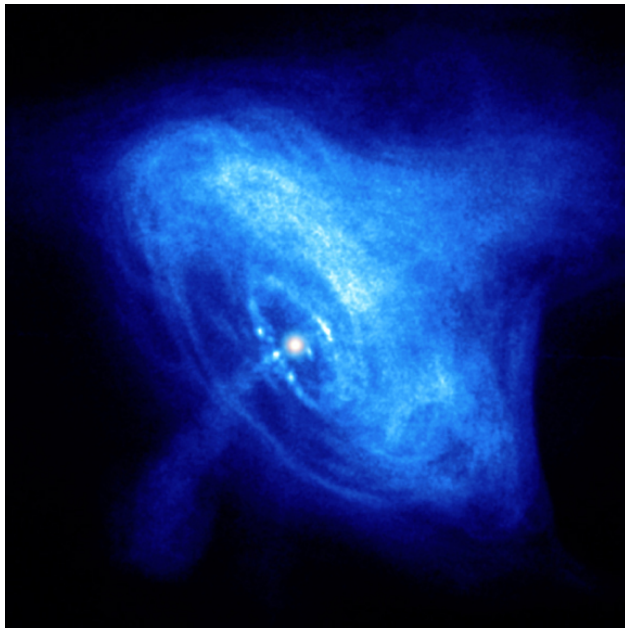
კვარკული
ნივთიერება



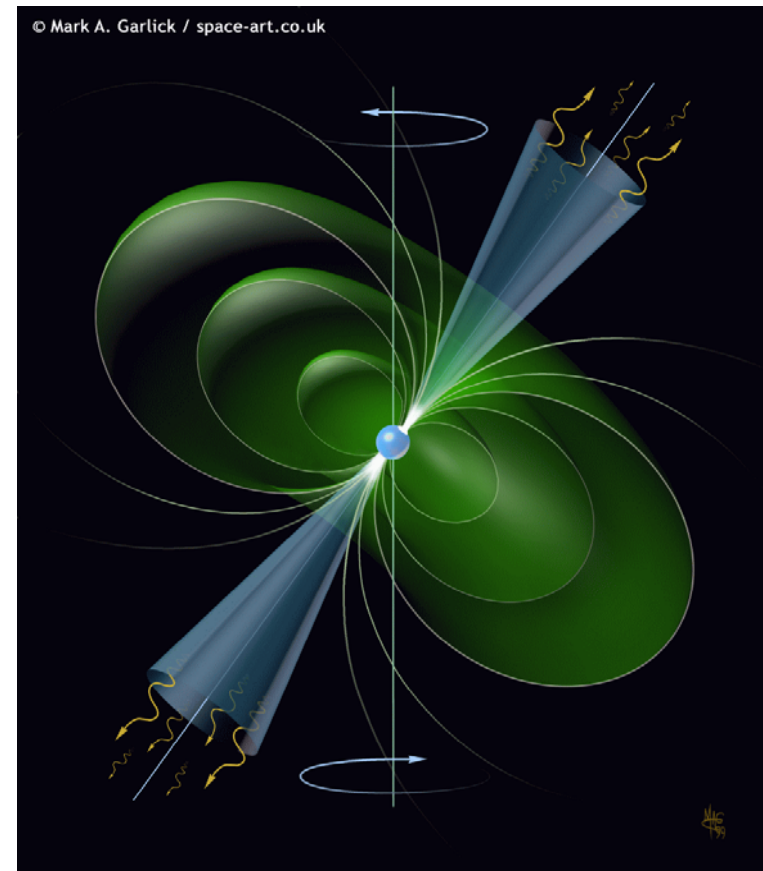
ნეიტრონული ვარსკვლავი

კიბირჩხალას ნისლეულის პულსარი:

ნეიტრონული ვარსკვლავის მიმართული გამოსხივება



რენტგენის სპექტრულ უბანში

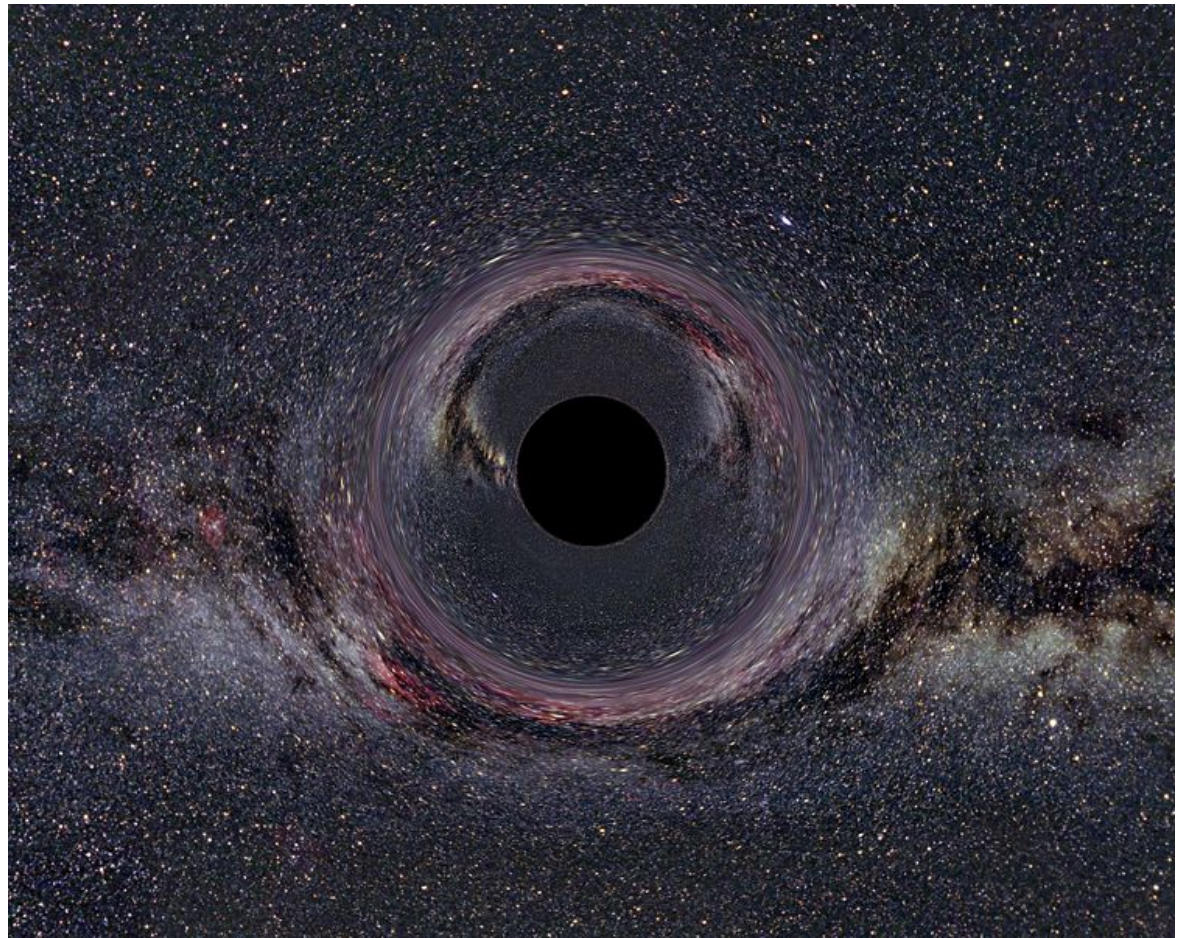


შავი ხვრელი

ცენტრალური ნარჩენი ობიექტის აბსოლუტური გრავიტაციული კოლაფსი

$$M > 3.6 M_{\text{მზე}}$$

ფოტონები
ჩაიჭირებიან
გრავიტაციულ
ორმოში



შავი ხვრელი

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ობიექტი
სივრცე/დროის გამრუდება

იზოლირებული შავი ხვრელები:

ფოტონების ტრაექტორიის გამრუდება;

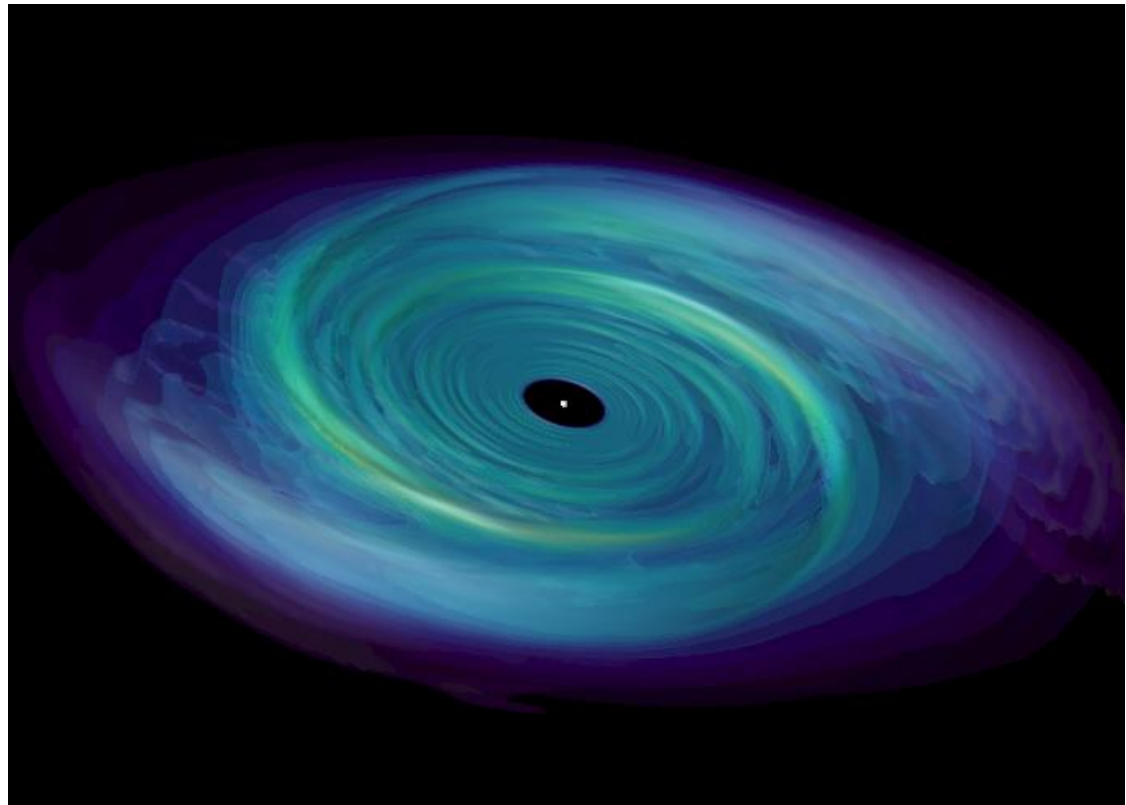
გრავიტაციული ლინზირება;

ორმაგ სისტემაში კინემატიკის დათვლა;

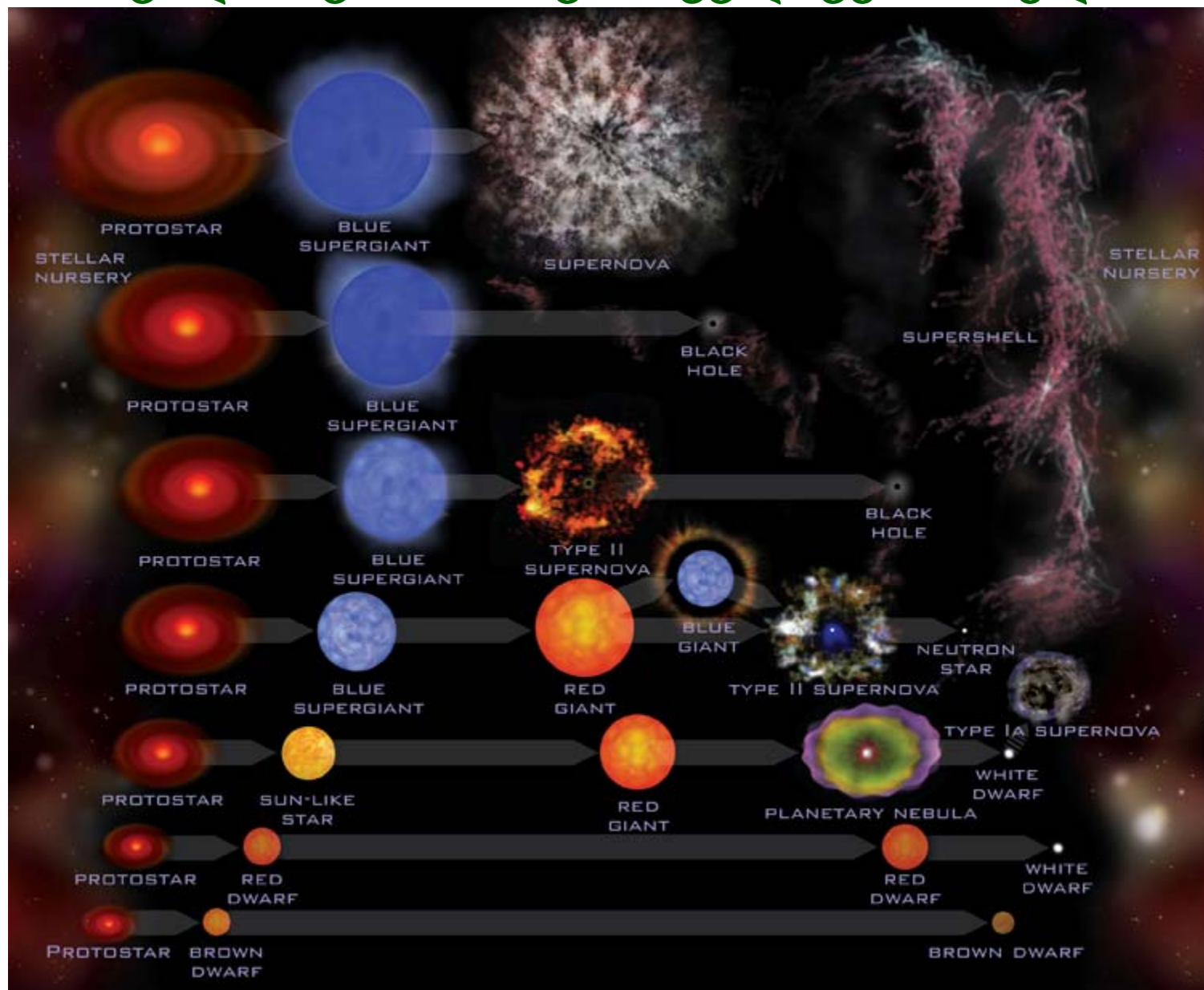
შავი ხვრელი

აკრეცია შავ ხვრელზე:
მატერიის ვარდნა შავ ხვრელზე;

ვარდნის პროცესში
ტემპერატურის
მატება და
გამოსხივება;

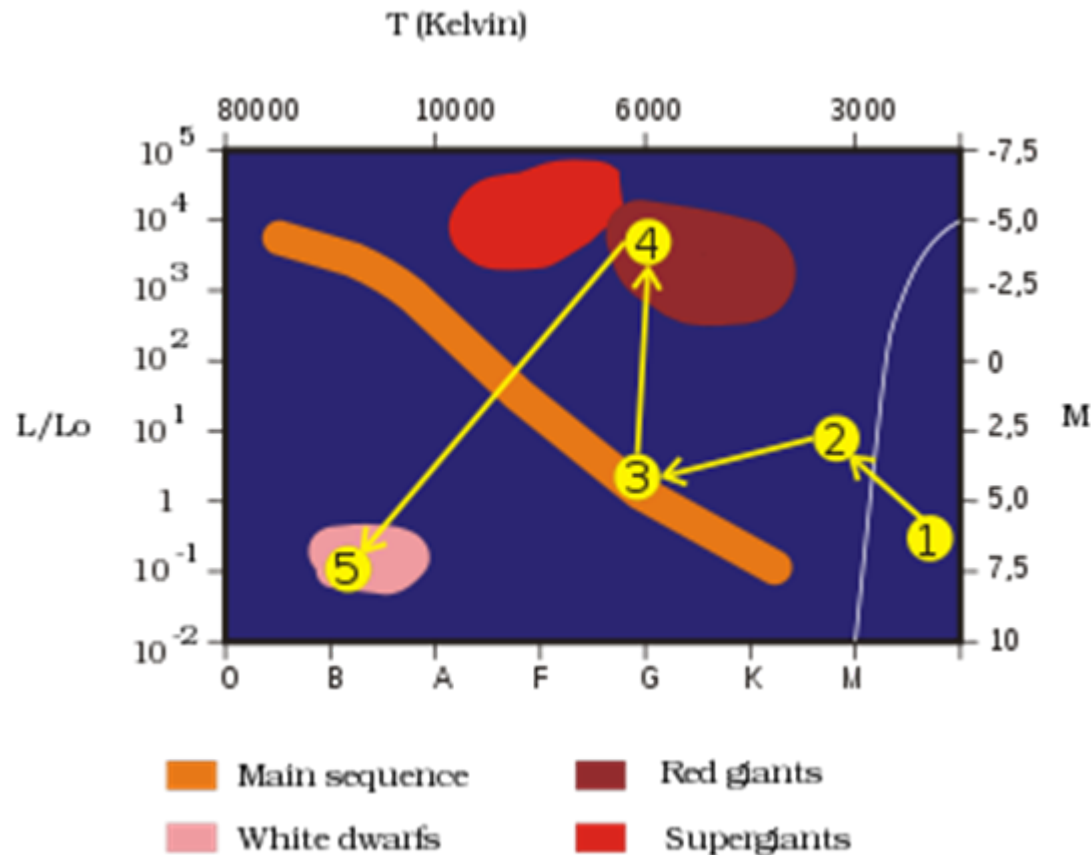


სხვადასხვა მასის ვარსკვლავების ბედი



ვარსკვლავების ევოლუცია

H-R დიაგრამა



www.tevza.org/home/course/universe2010

B. W. Carroll and D. A. Ostlie, *“An introduction to modern astrophysics”* (2007)

ქვეთავები