



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 6

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

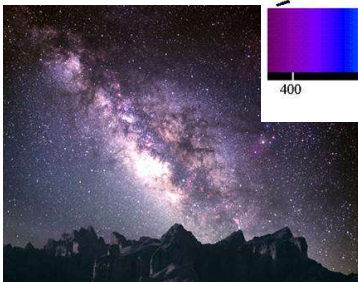
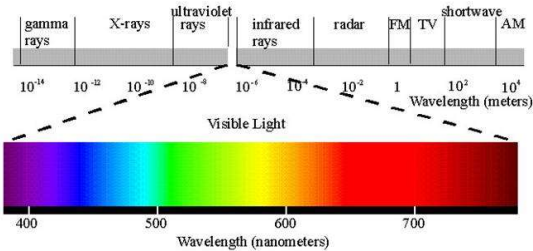
„სამყაროს ევოლუცია“ / ალ. თევზაძე / 2019

ლექცია: 6 გვერდი: 3

ხილული სამყარო

ადამიანის თვალი ხედავს ელექტრომაგნიტური
სპექტრის მხოლოდ მცირე უბანს:

ოპტიკური
უბანი



ცის ოპტიკური გამოსახულება
ინფორმაციის მცირე ნაწილი

„სამყაროს ევოლუცია“ / ალ. თევზაძე / 2019

ლექცია: 6 გვერდი: 2

წინა ლექციაში

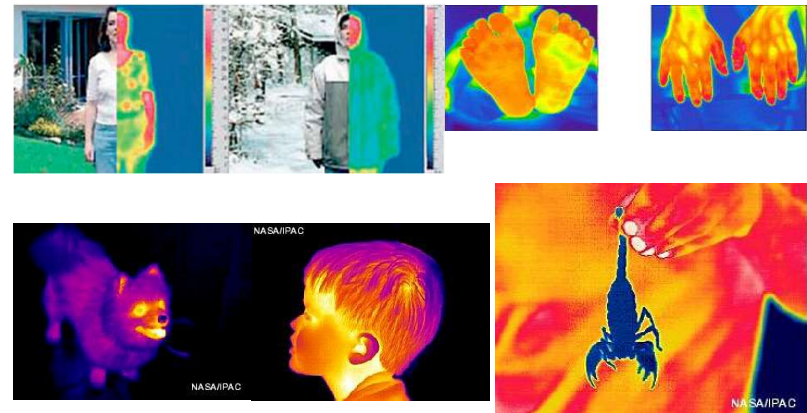
- ვარსკვლავების გამოსხივება
- გამოსხივების სპექტრი
- სპექტრული კლასიფიკაცია
- HR დიაგრამა

„სამყაროს ევოლუცია“ / ალ. თევზაძე / 2019

ლექცია: 6 გვერდი: 4

ინფრაწითელი სამყარო

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



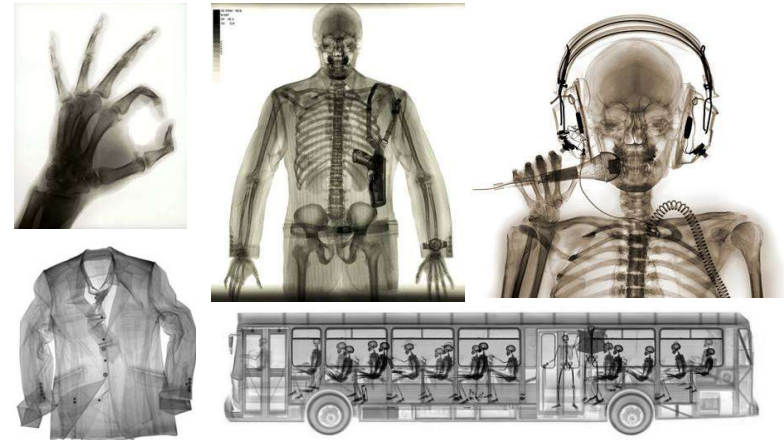
ოპტიკური გამოსახულებასამყარო

სამყარო ხილულ უბანში



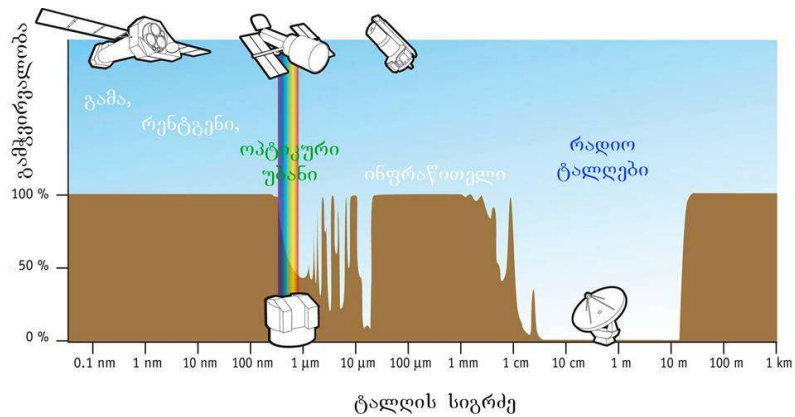
რენტგენული სამყარო (X-ray)

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



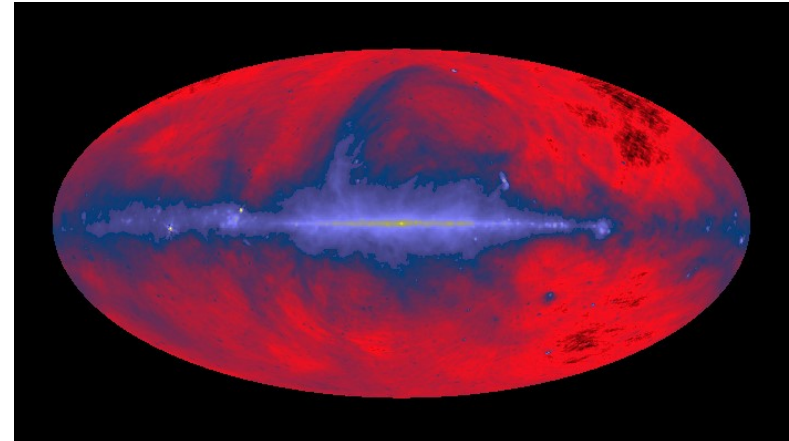
დაკვირვებები დედამიწიდან

ატმოსფეროს გამჭვირვალობა ელექტრომაგნიტური ტალღების სხვადასხვა დიაპაზონში



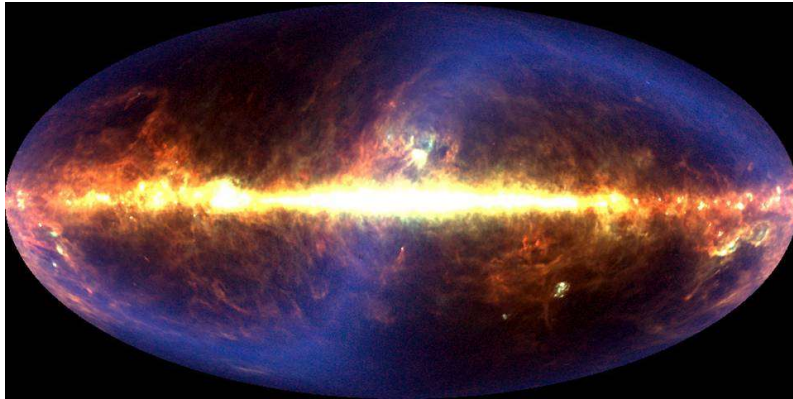
რადიო დიაპაზონი

ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: $\sim 1K$



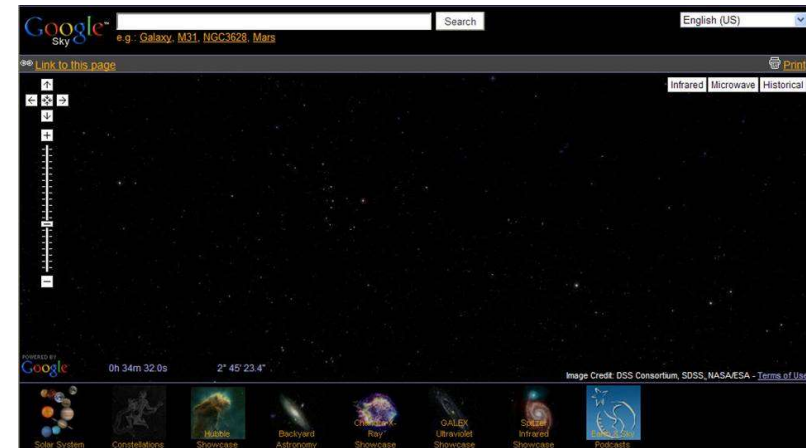
ინფრაწითელი დიაპაზონი

ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: $\sim 100\text{K}$



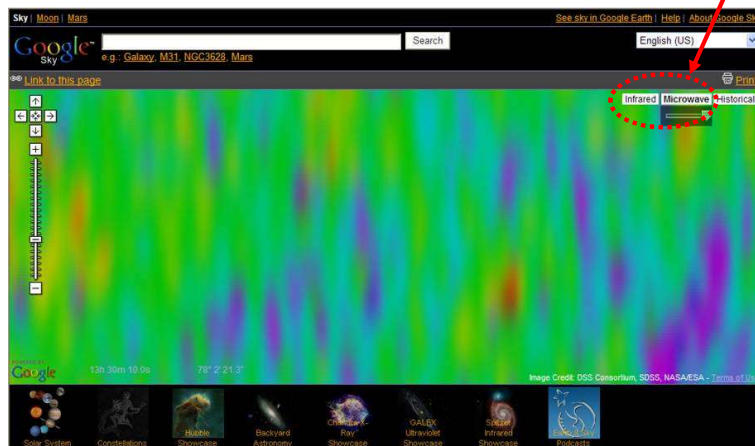
თვალთ ხილული (ოპტიკური) დიაპაზონი

www.google.com/sky



ინფრაწითელი და მიკროტალღოვანი

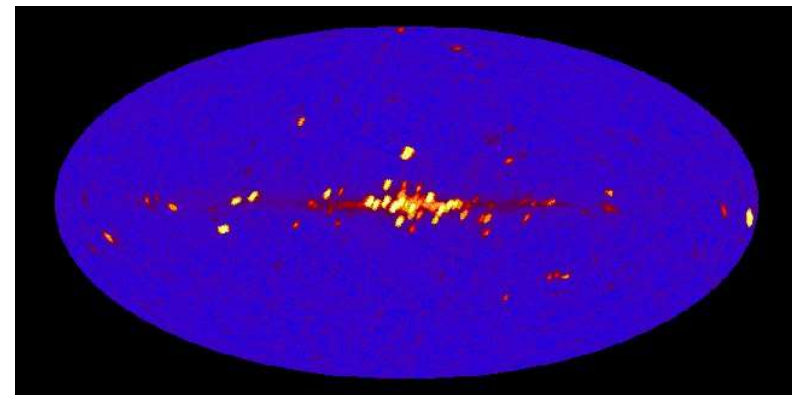
www.google.com/sky



რენტგენული დიაპაზონი (X-ray)

ფოტონის ენერგია: $10^3\text{--}10^4\text{ eV}$

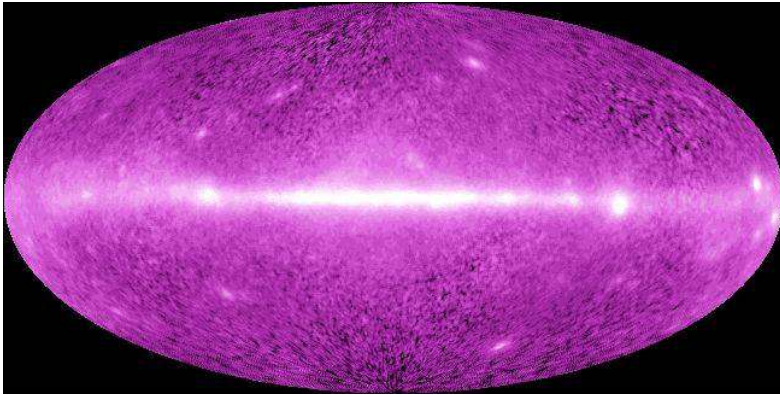
ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ($\sim 10^8\text{ K}$)



გამა დიაპაზონი

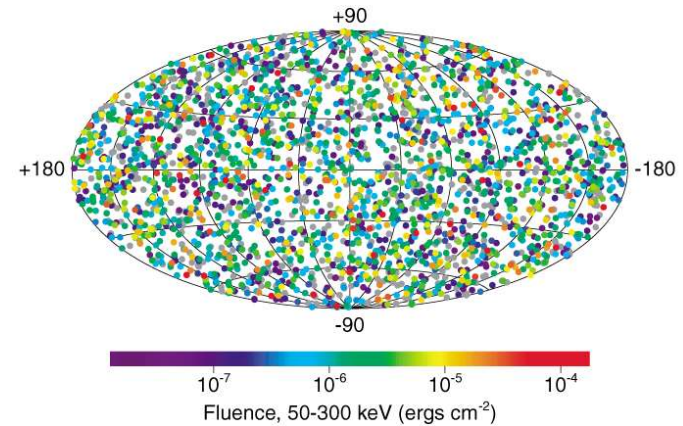
ფოტონის ენერგია: $10^6 - 10^9$ eV

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



გამა დიაპაზონი

გამა გამოსხივების გაელვებები (~ 0.2 წმ)
სამაროში ყველაზე მაღალენერგეტიკული წყაროები



ბოლომეტრული სიდიდე

m - ვარსკვლავიერი სიდიდე;

ხილული ოპტიკური ნათობის საზომი ერთეული;

M - ბოლომეტრული სიდიდე;

ელ.მაგ. ტალღების ყველა დიაპაზონში მოსული
ჯამური ენერგიის საზომი ერთეული;

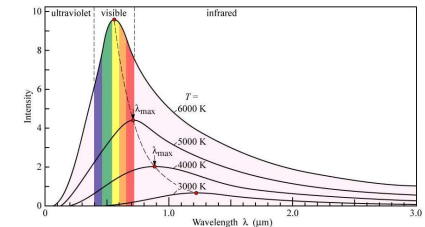
Δm - ბოლომეტრული შესწორება;

$$M = m + \Delta m$$

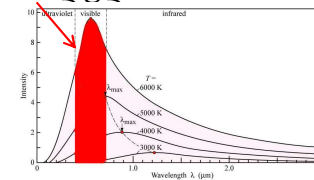
ბოლომეტრული შესწორება დამოკიდებულია
ვარსკვლავის ზედაპირის ტემპერატურაზე;

ვარსკვლავების გამოსხივება

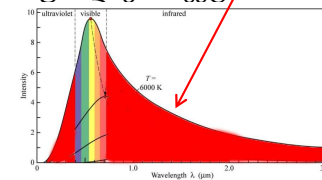
ვარსკვლავების გამოსხივება
მოიუცავს როგორც ხილულ,
ასევე ელ.მაგ. სპექტრის
სხვა უბნებს:



ხილული ნათობა;



უხილავი სპექტრი;



ბოლომეტრული შესწორებები

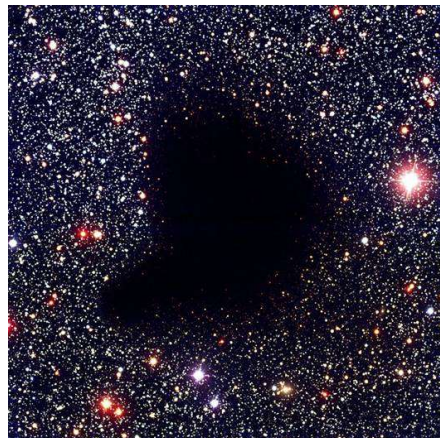
ბოლომეტრული შესწორებები სხვადასხვა სპექტრული კლასის ვარსკვლავებისათვის:

სპექტრული კლასი	ძირითადი თანმიმდევრობა	გიგანტები
O3	-4.3	-4.2
G0	-0.10	-0.13
G5	-0.14	-0.34
K0	-0.24	-0.42
K5	-0.66	-1.19
M0	-1.21	-1.28

მოლეკულური ღრუბლები

გრავიტაციულად
შეკავებული ცივი
მოლეკულური
აირი

შთანთქავს ფონური
ვარსკვლავების
გამოსხივებას



მოლეკულური ღრუბელი ბარნარდ-68 ($\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CN}, \text{CH}_4, \text{NH}_3 \dots$)

ვარსკვლავების ევოლუცია

მოლეკულური ღრუბლები და ვარსკვლავთშორისი
გაზი: ვარსკვლავთშორისი არეები

ევოლუციის მიმართულება:

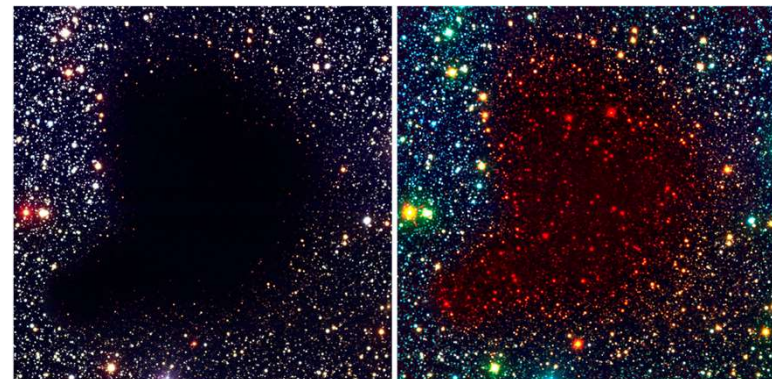
1. ადრეული ვარსკვლავები: პროტოვარსკვლავები;
2. ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები;
3. გვიანი ტიპის ვარსკვლავები და გიგანტები;
4. ზეახალი ვარსკვლავი
5. კომპაქტური ნარჩენები

მოლეკულური ღრუბლები

Barnard-68

ხილული

ინფრაწითელი



ვარსკვლავთ წარმოშობა

თვითგრავიტაციის
ძალებით
აირის
ვარსკვლავებში
კოდენსაცია

გრავიტაციული
ფრაგმენტაცია



პროტოვარსკვლავი

პროტოვარსკვლავი
შთანთქავს მის
ირგვლივ არსებულ
აირად მატერიას და
წარმოქმნის
ახალგაზრდა
ვარსკვლავს



პროტოვარსკვლავი

ვარსკვლავის დაბადების ადრეული ეტაპი:

პროტოვარსკვლავი

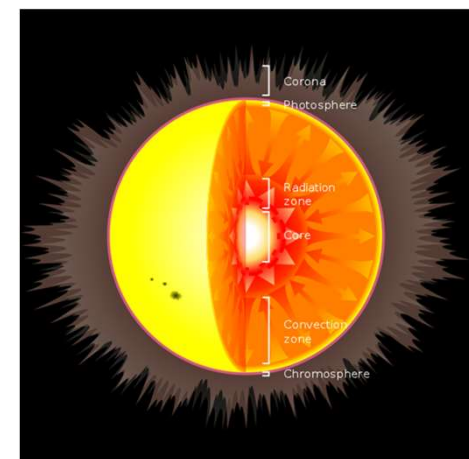
მნათობი + ნარჩენი აირი



ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი

ევოლუციის
სტაბილური
ეტაპი

ენერგიის წყარო:
თერმობირთვული
რეაქციები
(P+P, CNO)

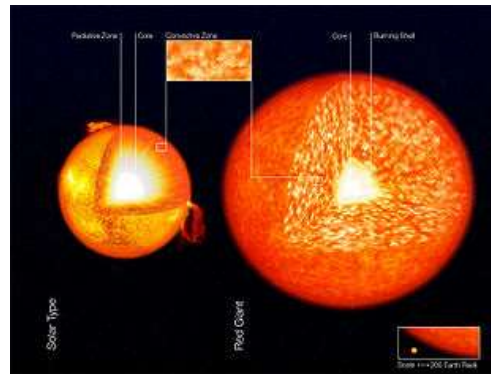


წითელი გიგანტი

ვარსკვლავის ბირთვის თერმობირთვული
“გამოწვის” პროცესი:

ტემპერატურისა
და რადიუსის
ნელი მატება

უარყოფითი
სითბოტევადობა



ვარსკვლავის სიკვდილი

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. თერმობირთ. რეაქციები)
ფეთქებადი ნუკლეოსინთეზი

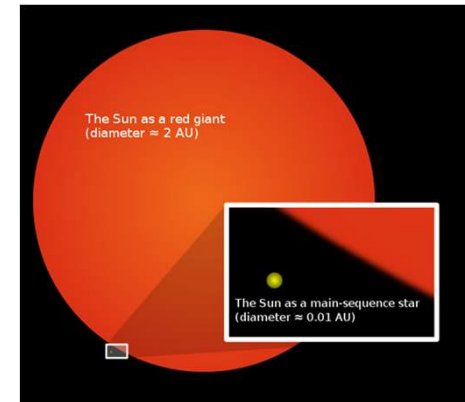
ვარსკვლავის აფეთქება

მზის მომავალი: წითელი გიგანტი

მზის რადიუსის მატება:

>200 R_{მზე}
> 2 ა.ე.

პლანეტების
შთანთქმა
(დედამიწა ☾)

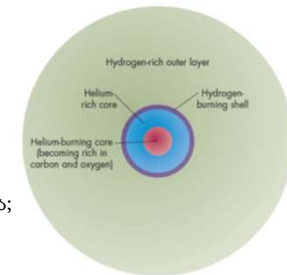


ზეახალი ვარსკვლავები

საშუალო და დაბალი მასის
ვარსკვლავები (<2.25M_{მზე})

- ჰელიუმის ანთება

ვარსკვლავის გულში ტემპერატურის მატება და
ჰელიუმის თერმობირთვული სინთეზის დაწყება;



მასიური ვარსკვლავები:

- ბირთვის კოლაფსი;

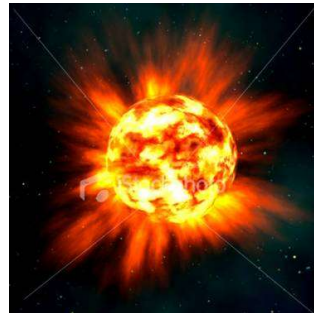
ვარსკვლავის ბირთვის კოლაფსი და ვარსკვლავის გარეთა ფენების
“ჩაქცევა” ცენტრზე. შეკუმშვისას ანომალურად მაღალი ტემპერატურის
მიღება და სწრაფი თერმობირთვული სინთეზის რეაქციების ჩართვა (r-
პროცესი); “ვარსკვლავის აფეთქება”

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



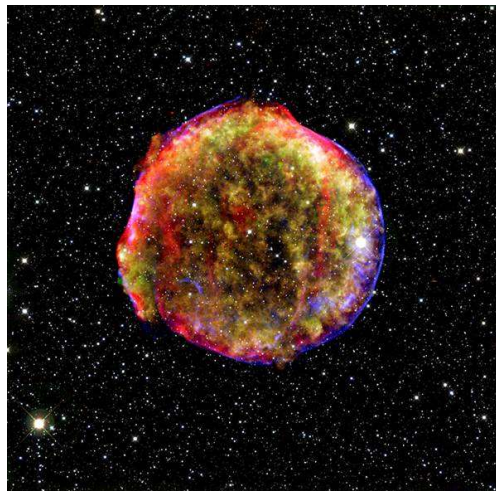
ზეახალი: დაკვირვებები

SN 1572

B Cassiopeiae

სურათი
დღეს

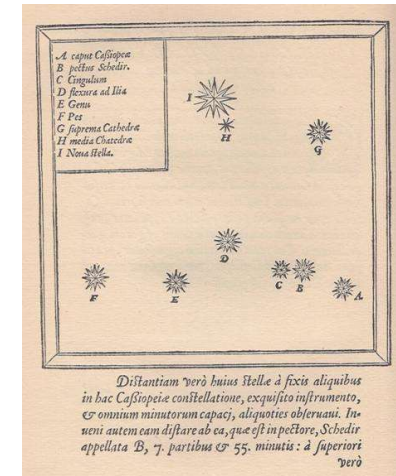
ზეახალის
აფეთქების
ნარჩენი



ზეახალი: დაკვირვებები

ტიხო ბრაგე 1572:

ახალი
მნათობის
აღმოჩენა
ცაზე

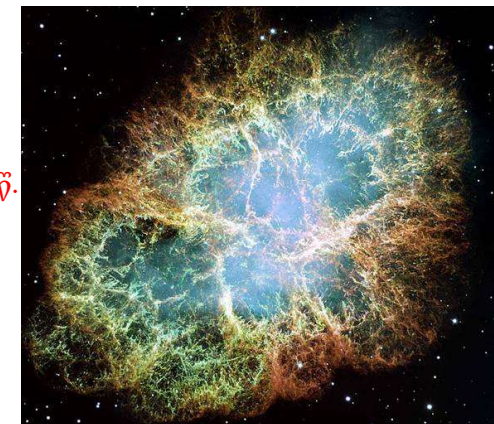


ზეახალის ნარჩენები

კიბორჩხალას ნისლეული

ჩინელი და არაბი
ასტრონომების
დაკვირვებები
ზეახალი 1054 ჩვ.წ.

დღეს:
ნარჩენი
ნისლეული



ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



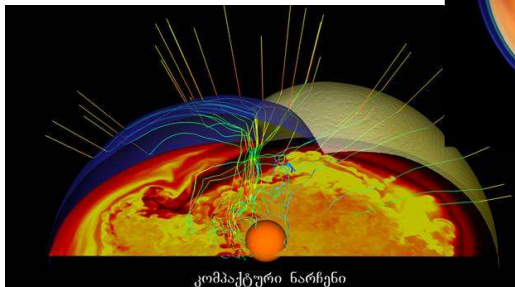
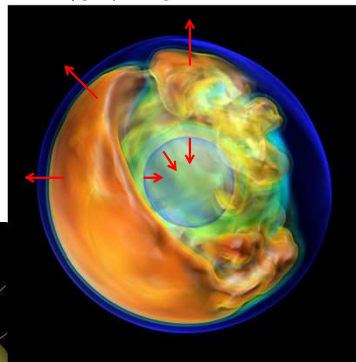
ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



ზეახალი: რიცხვითი მოდელირება

აფეთქება გარეთ;
შეკუმშვა შიგნით:
ზეახალის ნარჩენი



კომპაქტური ნარჩენი

ზეახალის კომპაქტური ნარჩენები

ობიექტის წონასწორობა:

სიმძიმის ძალა დაბალანსებულია “გადაგვარებული მატერიის” წნევით;

ანომალურად მკვრივი ნივთიერებების ქვანტური თვისებები

– თეთრი ჯუჯა

(გადაგვარებული ელექტონული გაზი)

– ნეიტრონული ვარსკვლავი

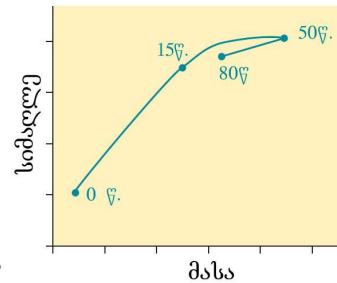
(გადაგვარებული ნეიტრონული ნივთიერება)

– შავი ხვრელი

(აბსოლუტური კოლაფსი)

ვარსკვლავების ევოლუცია

მაგ. ადამიანის ევოლუცია
მასა-სიმაღლის
დიაგრამაზე:

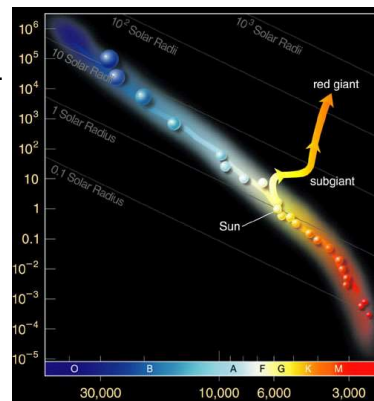


ანალოგიურად შესაძლებელია
ვარსკვლავების ევოლუციის აღწერა ჰერცშპრუნგ
რასელის დიაგრამაზე:
ნათობა-ფერი ან ნათობა-ტემპერატურა;

ვარსკვლავების ევოლუცია

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი სიცოცხლის
უდიდეს ნაწილს ატარებს
ჰ.-რ. დიაგრამაზე
თითქმის უცვლელ წერტილში.

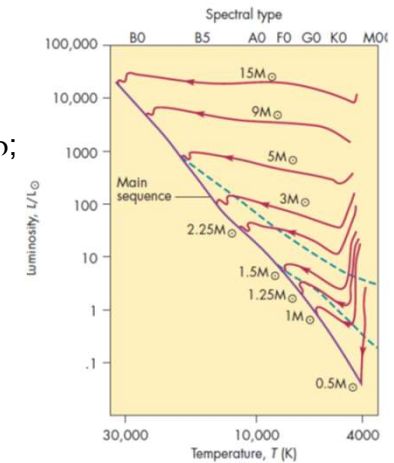
თერმობირთვული საწვავის
გამოლევისას მზის ტიპის
ვარსკვლავი გარდაიქმნება
წითელ გიგანტად



ვარსკვლავების ევოლუცია

ვარსკვლავების დაბადება:
პროტოვარსკვლავები და
ახალგაზრდა ვარსკვლავები;

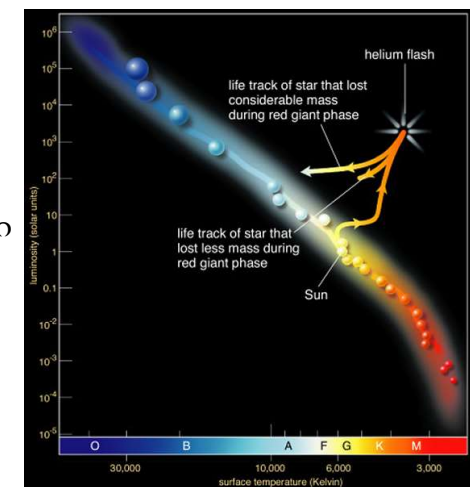
სხვადასხვა მასის
ვარსკვლავების
დაბადების
ტრაექტორია
ჰ.-რ დიაგრამაზე.



ვარსკვლავების ევოლუცია

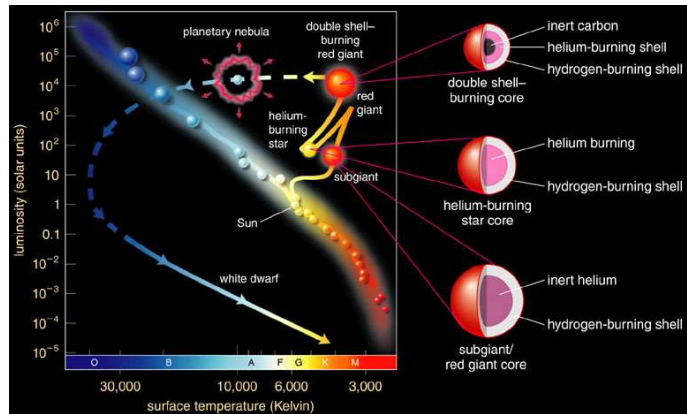
მზის ტიპის
ვარსკვლავის
დაღუპვა:

ვარსკვლავის გულში
ჰელიუმის ანთება
და ვარსკვლავის
გარეთა შრეების
გაფანტვა



ვარსკვლავების ევოლუცია

გარეთა ფენების გაფანტვა და ბირთვისაგან
თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავის ჩამოყალიბება

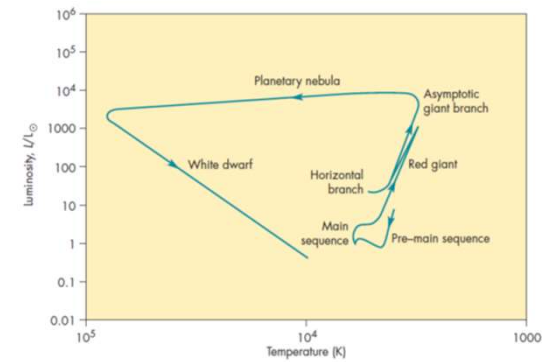


ზეახალი ვარსკვლავი (Ia)



ვარსკვლავების ევოლუცია

იზოლირებული ვარსკვლავის ევოლუცია სრულიად
განისაზღვრება მისი საწყისი მასით და ქიმიური
შემადგენლობით (ფოტ-რასელის თეორემა)



თეთრი ჯუჯები

სირიუს-ბ

(სირიუსის ორმაგი სისტემა)

მასა: $0.97 (1.05) M_{\odot}$

რადიუსი: $0.0084 R_{\odot}$

ნათობა: $0.026 L_{\odot}$

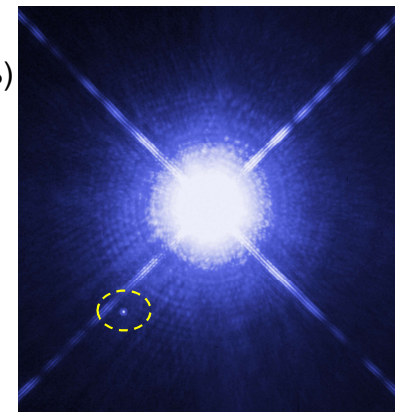
სიმკვრივე: $2.5 \cdot 10^9 \text{ კგ/მ}^3$

მანძილი დედამიწამდე:

8.6 ს.წ.

აღმოჩენის თარიღი:

1862



თეთრი ჯუჯები

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

ნათების ენერგიის წყარო: **სითბური** (ნელი გაციება)

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

გაციებული თეთრი ჯუჯა: *შავი ჯუჯა*

ჰიპოთეტური ობიექტი;

გაციების დრო მეტია სამყაროს დღევანდელ ასაკზე

ნეიტრონული ვარსკვლავი

ზეახალის ნარჩენი ობიექტის მასა: $1.4 - 3 M_{\odot}$

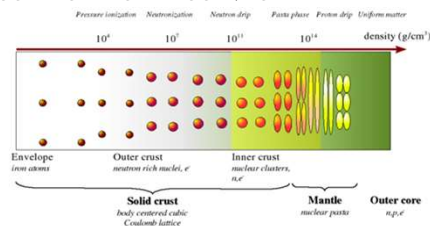
გადაგვარებული ნეიტრონული სითხე

(ქვანტური ნივთიერება)

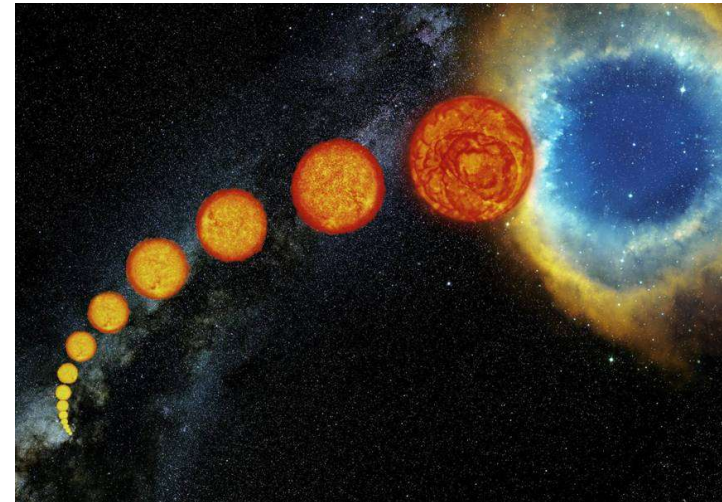
ატომის ბირთვის სიმკვრივის ვარსკვლავი

კვარკული

ნივთიერება



მზის მომავალი

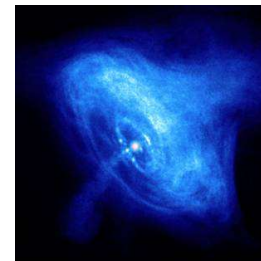


ნეიტრონული ვარსკვლავი

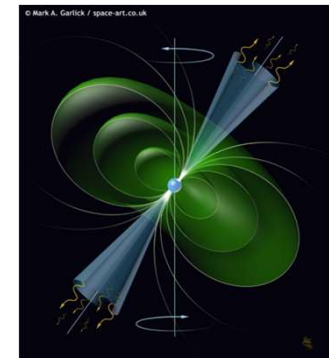
კიბირჩხალას ნისლეულის პულსარი:

ძლიერი მაგნიტური ველი და სწრაფი ბრუნვა:

ვარსკვლავის მიმართული გამოსხივება – პულსაცია



რენტგენის სპექტრულ უბანში

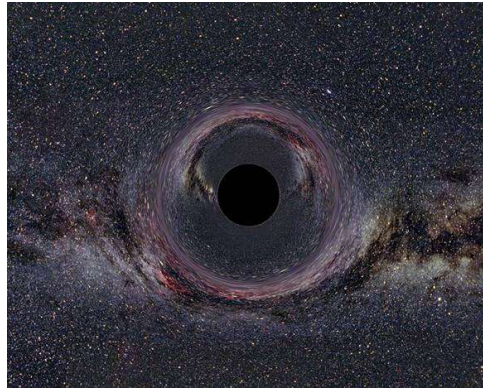


შავი ხვრელი

ცენტრალური ნარჩენი ობიექტის აბსოლუტური გრავიტაციული კოლაფსი

$$M > 3.6 \text{ (4) } M_{\text{ზე}}$$

ფოტონები
ჩაიჭირებიან
გრავიტაციულ
ორმოში

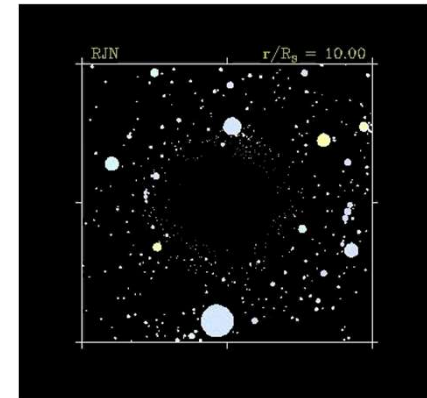


შავი ხვრელი

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ობიექტი
სივრცე/დროის გამრუდება

იზოლირებული
შავი ხვრელები:

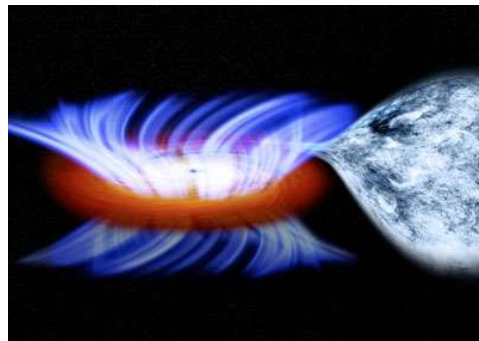
ვარსკვლავების
მოძრაობის
კინემატიკის
დათვლა;



შავი ხვრელი

აკრეცია შავ ხვრელზე:
შავი ხვრელის ირგვლივ ჩამდინარე მატერიის
მორევი

ვარდნის პროცესში
ტემპერატურის
მატება და
გამოსხივება;



შავი ხვრელი



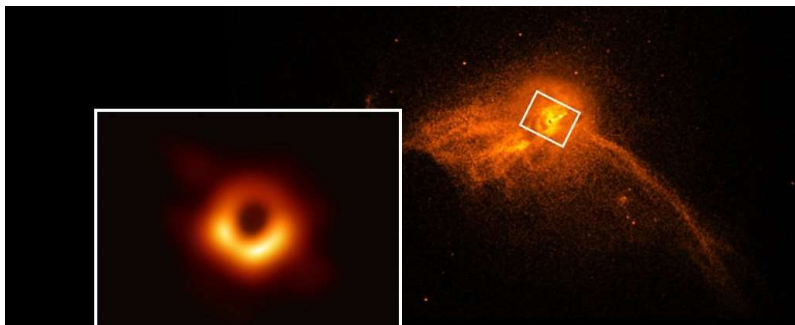
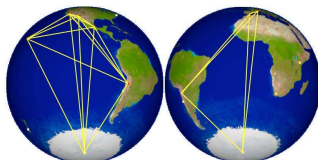
შავი ხვრელის მოვლენათა ჰორიზონტი

მანძილი: $55 \times 10^6 \text{ LY}$ (გალაქტიკა M87)

შავი ხვრელის მასა: $6.5 \times 10^9 M_{\odot}$

მოვლენათა ჰორიზონტის

კუთხური ზომა: 20×10^{-6} სეკუნდი



www.tevza.org/home/course/universe2019

J. Hester, B. Smith, G. Blumenthal, L. Kay, H. Voss, “21st Century Astronomy” (2010)

ქვეთავები 14.1, 14.2, 14.3,
15.1, 15.2, 15.3, 15.4,
17.2, 17.3, 17.4, 17.8

J. Fix “Astronomy Journey of the Cosmic Frontier”, (2008)

ქვეთავები 19.4, 20.1, 20.2