



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 6

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

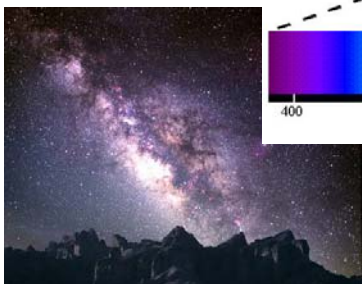
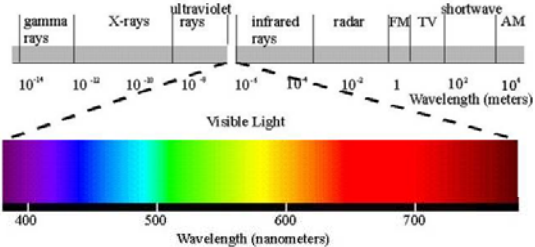
სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2015

ლექცია/გვერდი: 6/2

ხილული სამყარო

ადამიანის თვალი ხედავს ელექტრომაგნიტური
სპექტრის მხოლოდ მცირე უბანს:

ოპტიკური
უბანი



ცის ოპტიკური გამოსახულება
ინფორმაციის მცირე ნაწილი

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2015

ლექცია/გვერდი: 6/1

წინა ლექციაში

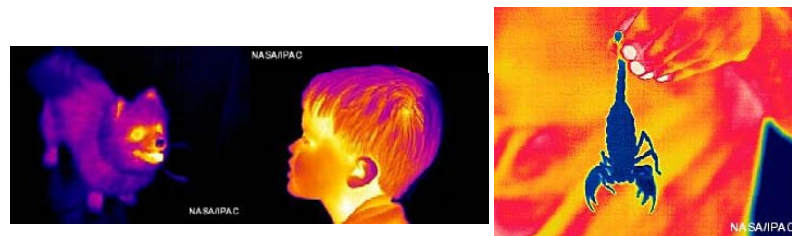
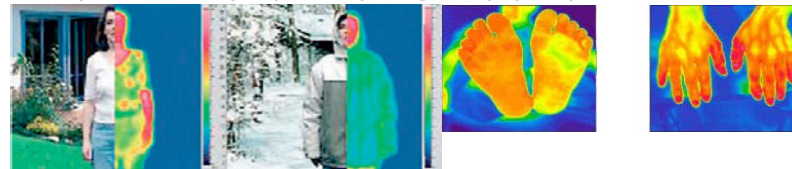
- ვარსკვლავების გამოსხივება
- გამოსხივების სპექტრი
- სპექტრული კლასიფიკაცია
- HR დიაგრამა

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2015

ლექცია/გვერდი: 6/3

ინფრაწითელი სამყარო

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



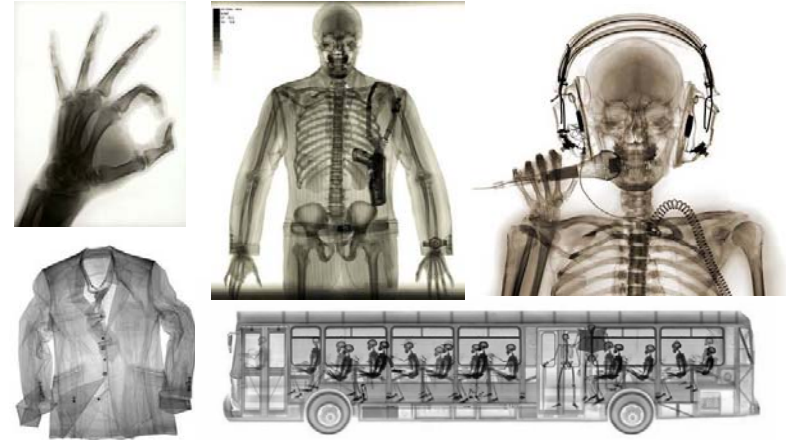
ოპტიკური გამოსახულებათმცოდნეობა

სამყარო ხილულ უბანში



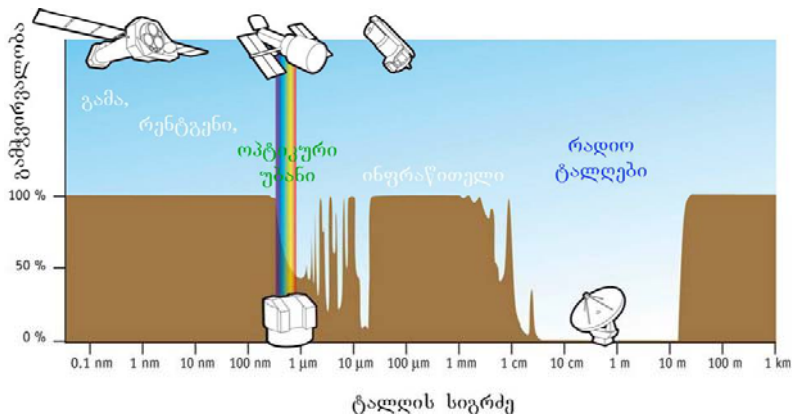
რენტგენული სამყარო (X-ray)

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



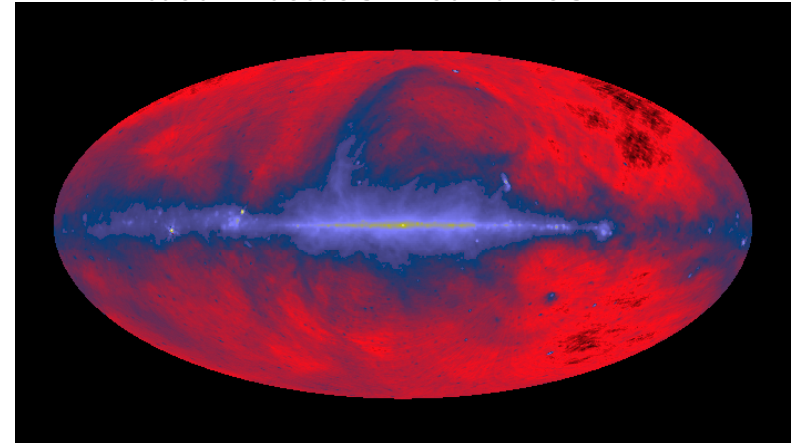
დაკვირვებები დედამიწიდან

ატმოსფეროს გამჭვირვალობა ელექტრომაგნიტური ტალღების სხვადასხვა დიაპაზონში

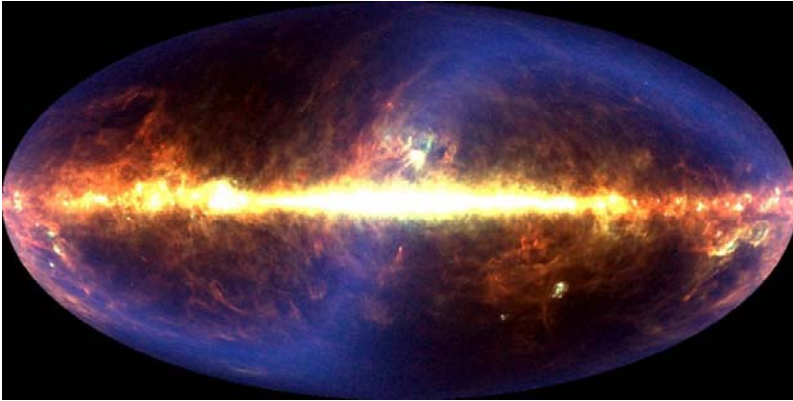


რადიო დიაპაზონი

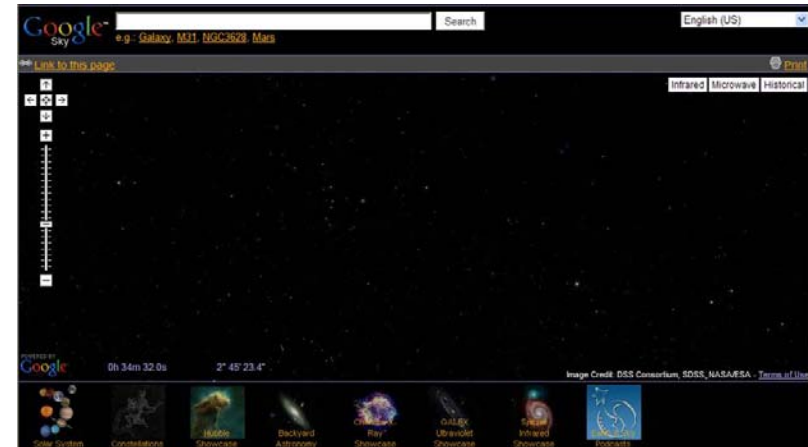
ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: $\sim 1\text{K}$



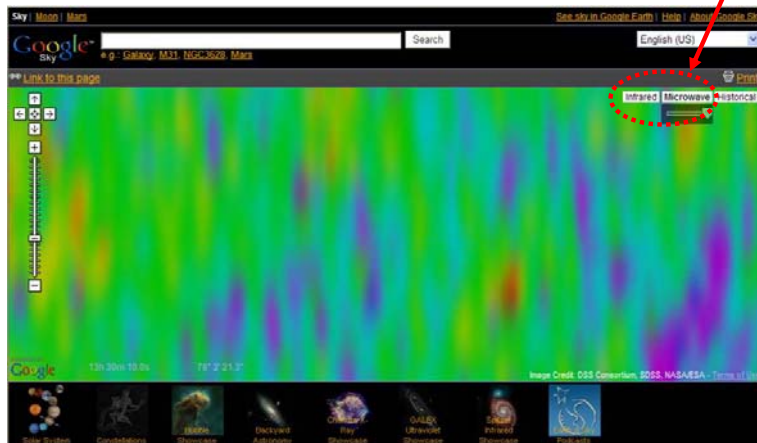
ინფრაწითელი დიაპაზონი

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

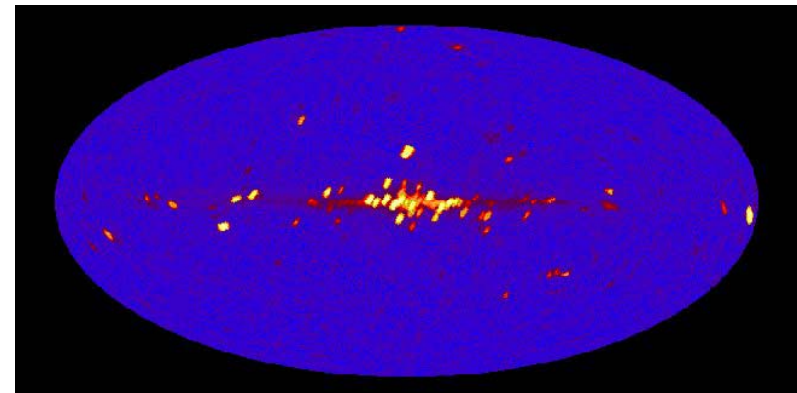
თვალთ ხილული (ოპტიკური) დიაპაზონი

www.google.com/sky

ინფრაწითელი და მიკროტალღოვანი

www.google.com/sky

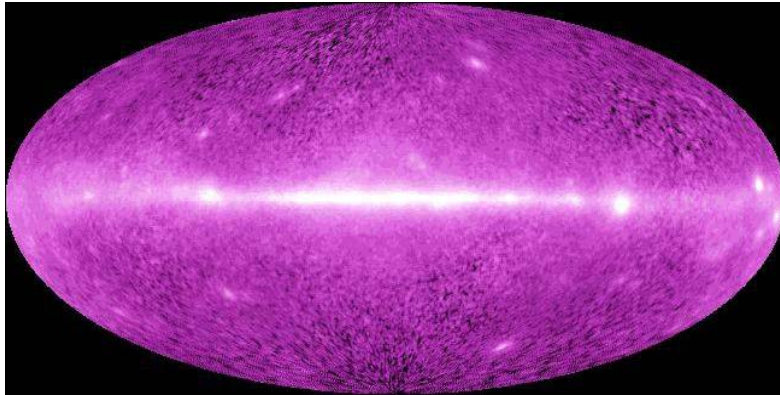
რენტგენული დიაპაზონი (X-ray)

ფოტონის ენერგია: $10^3\text{--}10^4\text{ eV}$ ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ($\sim 10^8\text{ K}$)

გამა დიაპაზონი

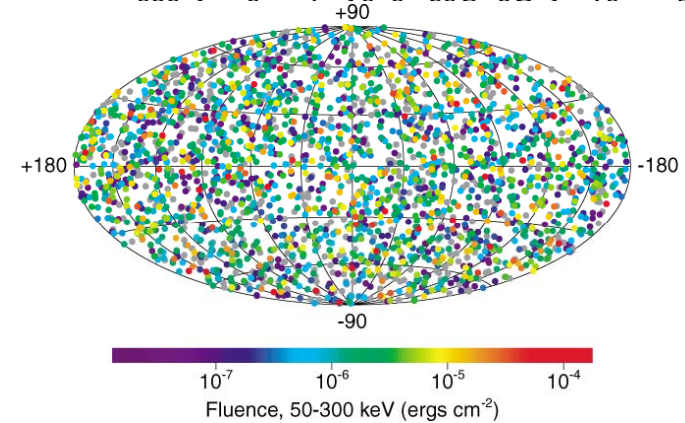
ფოტონის ენერგია: 10^6 – 10^9 eV

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



გამა დიაპაზონი

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



ვარსკვლავების ევოლუცია

მოლეკულური ღრუბლები და ვარსკვლავთშორისი
გაზი: ვარსკვლავთშობის 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

გრავიტაციულად
შეკავებული ცივი
მოლეკულური
აირი

შთანთქავს ფონური
ვარსკვლავების
გამოსხივებას



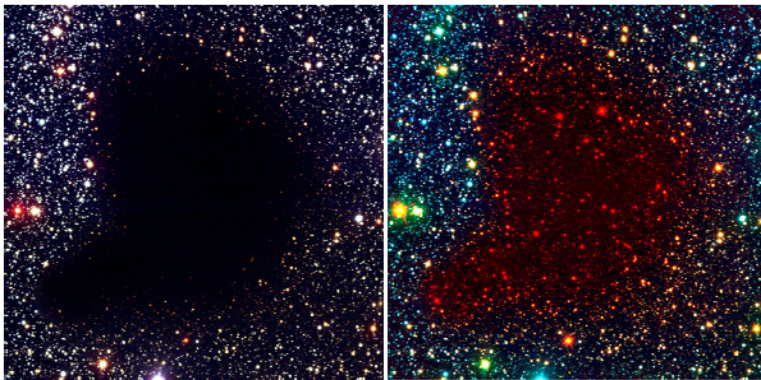
მოლეკულური ღრუბელი ბარნარდ-68 ($\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CN}, \text{CH}_4, \text{NH}_3 \dots$)

მოლეკულური ღრუბლები

Barnard-68

ხილული

ინფრაწითელი



პროტოვარსკვლავი

ვარსკვლავის დაბადების ადრეული ეტაპი:

პროტოვარსკვლავი

მნათობი + ნარჩენი აირი



ვარსკვლავთ წარმოშობა

თვითგრატიაციის
ძალებით
აირის
ვარსკვლავებში
კოდენსაცია

გრატიაციული
ფრაგმენტაცია



პროტოვარსკვლავი

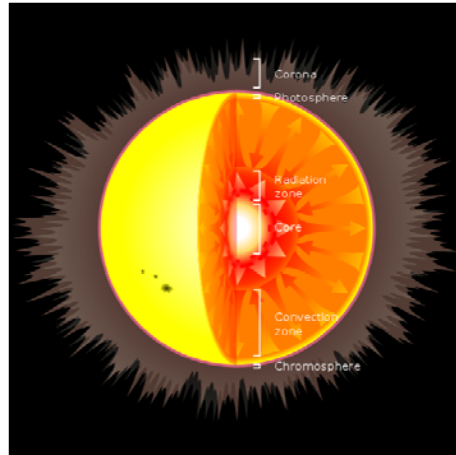
პროტოვარსკვლავი
შთანთქმავს მის
ირგვლივ არსებულ
აირად მატერიას და
წარმოქმნის
ახალგაზრდა
ვარსკვლავს



ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი

ევოლუციის
სტაბილური
ეტაპი

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

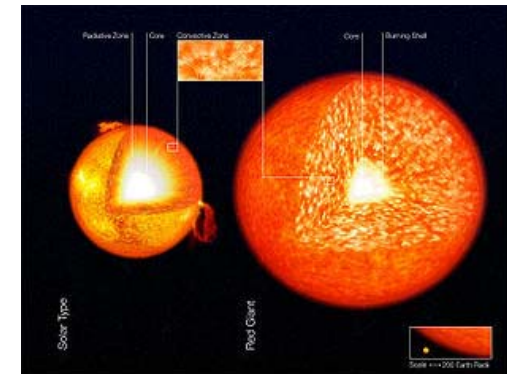


წითელი გიგანტი

ვარსკვლავის ბირთვის თერმობირთვული
“გამოწვის” პროცესი:

ტემპერატურისა
და რადიუსის
ნელი მატება

უარყოფითი
სითბოტევადობა

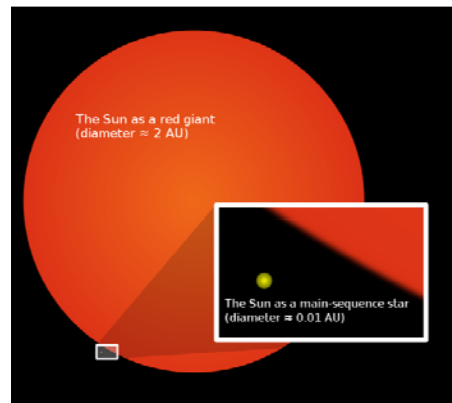


მზის მომავალი: წითელი გიგანტი

მზის რადიუსის მატება:

$>200 R_{\odot}$
 $> 2 \text{ ა.ე.}$

პლანეტების
შთანთქმა
(დედამიწა ☹)



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

ზეახალი ვარსკვლავები

საშუალო და დაბალი მასის
ვარსკვლავები (<2.25M_☉)

- ჰელიუმის ანთება

ვარსკვლავის გულში ტემპერატურის მატება და
ჰელიუმის თერმობირთვული სინთეზის დაწყება;



მასიური ვარსკვლავები:

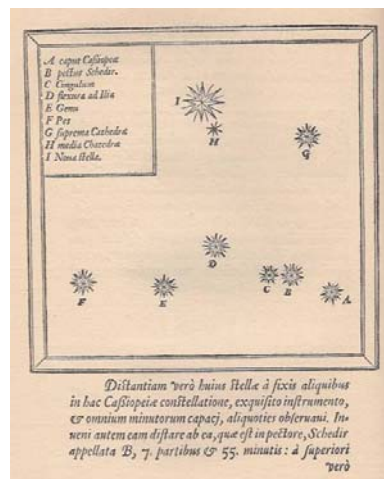
- ბირთვის კოლაფსი;

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: დაკვირვებები

ტიხო ბრაგე 1572:

ახალი
მნათობის
აღმოჩენა
ცაზე



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



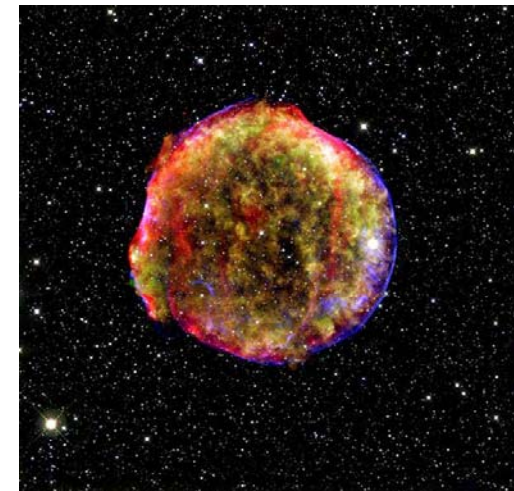
ზეახალი: დაკვირვებები

SN 1572

B Cassiopeiae

სურათი
დღეს

ზეახალის
აფეთქების
ნარჩენი



ზეახალის ნარჩენები კიბორჩხალას ნისლეული

ჩინელი და არაბი
ასტრონომების
დაკვირვებები
ზეახალი 1054 ჩვ.წ.

დღეს:
ნარჩენი
ნისლეული



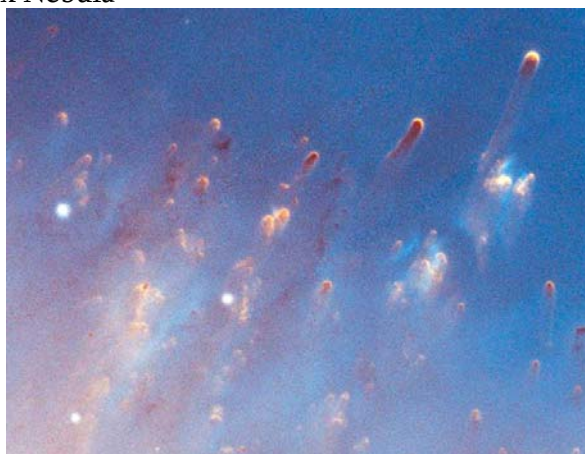
ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



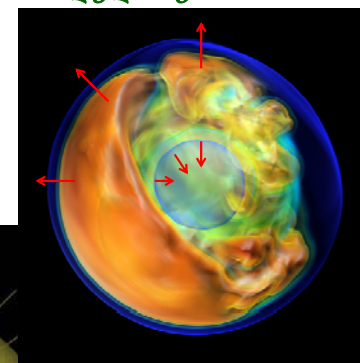
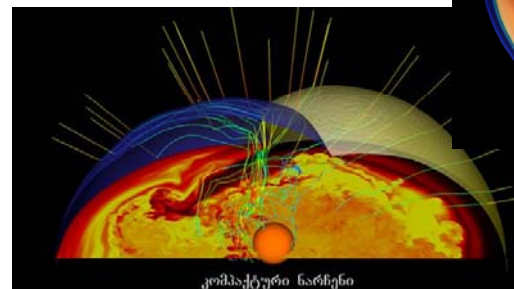
ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



ზეახალი: რიცხვითი მოდელირება

აფეთქება გარეთ;
შეკუმშვა შიგნით:
ზეახალის ნარჩენი



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)

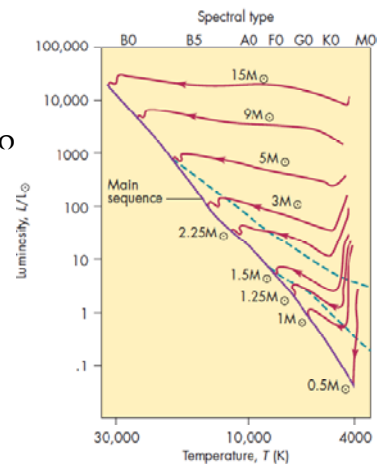
– შავი ხვრელი

(აბსოლუტური კოლაფსი)

ვარსკვლავების ევოლუცია

ვარსკვლავების დაბადება:
პროტოვარსკვლავები და
ახალგაზრდა ვარსკვლავები

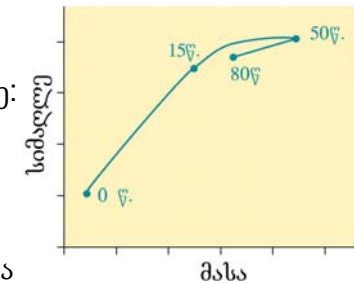
სხვადასხვა მასის
ვარსკვლავების
დაბადების
ტრაექტორია
ჰ-რ დიაგრამაზე.



ვარსკვლავების ევოლუცია

მაგ: ადამიანის ევოლუცია

მასა-სიმძლავის დიაგრამაზე:



ანალოგიურად შესაძლებელია

ვარსკვლავების ევოლუციის აღწერა ჰერცშპრუნგ-რასელის დიაგრამაზე:

ნათობა-ფერი ან ნათობა-ტემპერატურა;

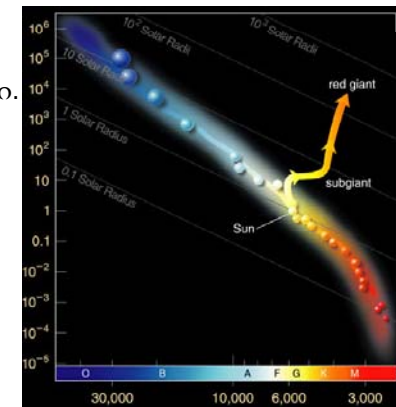
ვარსკვლავების ევოლუცია

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი სიცოცხლის
უდიდეს ნაწილს ატარებს

ჰ-რ. დიაგრამაზე

თითქმის უცვლელ წერტილში.

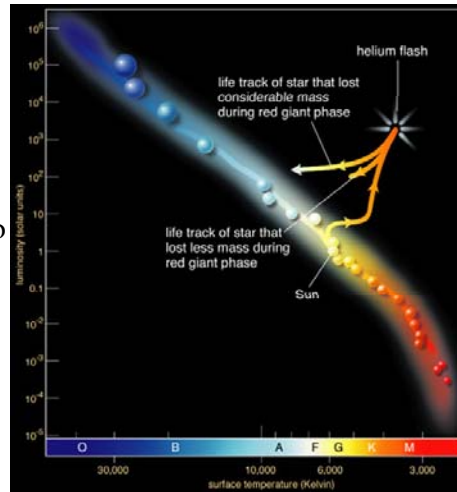
თერმობირთვული საწვავის
გამოლევისას მზის ტიპის
ვარსკვლავი გარდაიქმნება
წითელ გიგანტად



ვარსკვლავების ევოლუცია

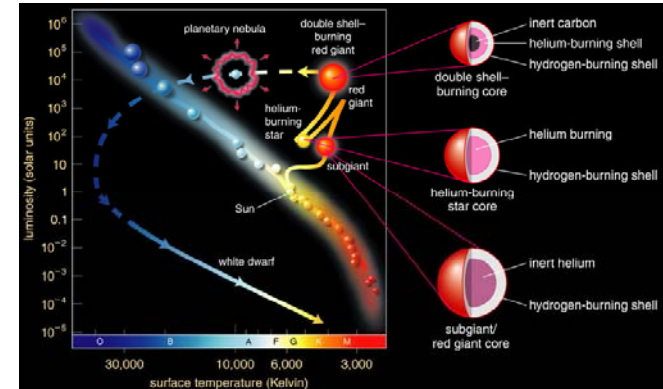
მზის ტიპის
ვარსკვლავის
დაღუპვა:

ვარსკვლავის გულში
ჰელიუმის ანთება
და ვარსკვლავის
გარეთა შრეების
გაფანტვა



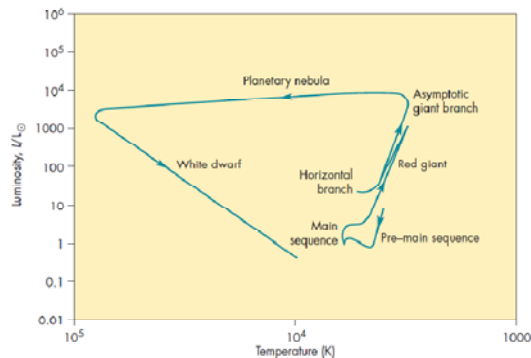
ვარსკვლავების ევოლუცია

გარეთა ფენების გაფანტვა და ბირთვისაგან
თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავის ჩამოყალიბება

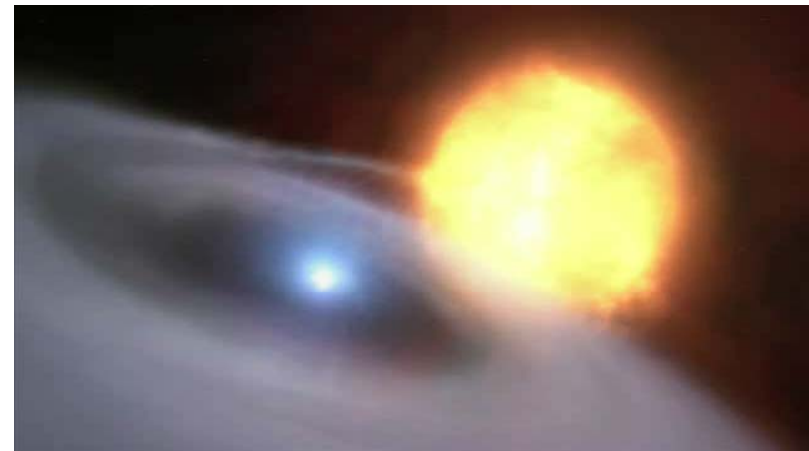


ვარსკვლავების ევოლუცია

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



ზეახალი ვარსკვლავი (Ia)



თეთრი ჯუჯები

სირიუს-ბ

(სირიუსის ორმაგი სისტემა)

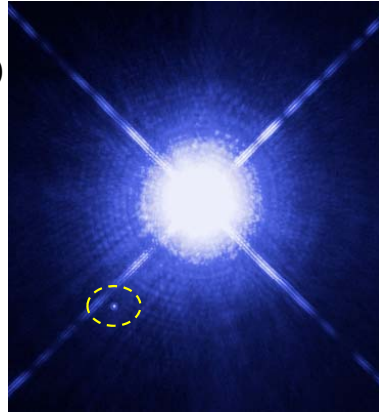
მასა: 0.97 (1.05) $M_{\odot}$ რადიუსი: 0.0084 $R_{\odot}$ ნათობა: 0.026 $L_{\odot}$ სიმკვრივე: $2.5 \cdot 10^9$ კგ/მ³

მანძილი დედამიწამდე:

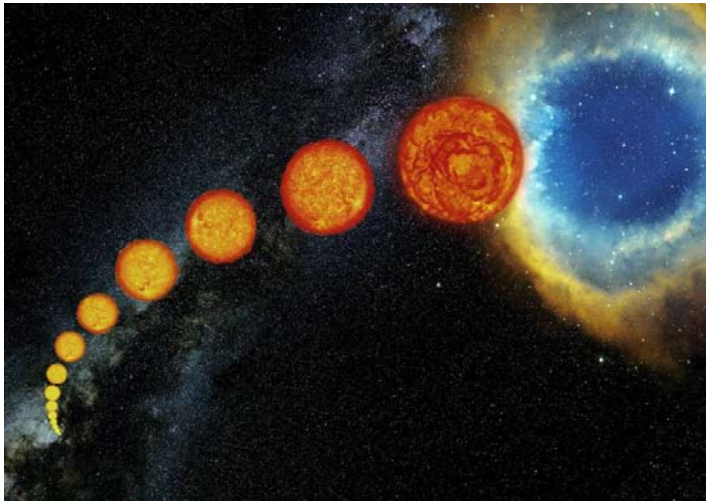
8.6 ს.წ.

აღმოჩენის თარიღი:

1862



მზის მომავალი



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

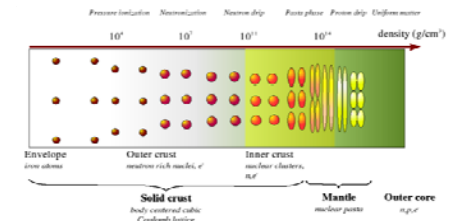
ნეიტრონული ვარსკვლავი

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

გადაგვარებული ნეიტრონული სითხე

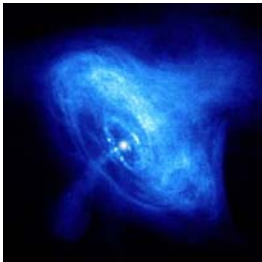
(ქვანტური ნივთიერება)

ატომის ბირთვის სიმკვრივის ვარსკვლავი

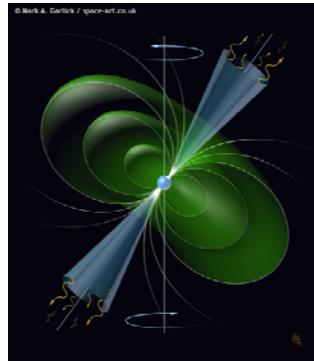
კვარკული
ნივთიერება

ნეიტრონული ვარსკვლავი

კიბირჩხალას ნისლეულის პულსარი:
ძლიერი მაგნიტური ველი და სწრაფი ბრუნვა:
ვარსკვლავის მიმართული გამოსხივება – პულსაცია



რენტგენის სპექტრულ უბანში

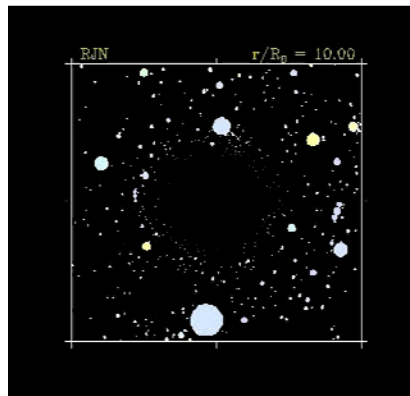


შავი ხვრელი

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ობიექტი
სივრცე/დროის გამრუდება

იზოლირებული
შავი ხვრელები:

ვარსკვლავების
მოძრაობის
კინემატიკის
დათვლა;

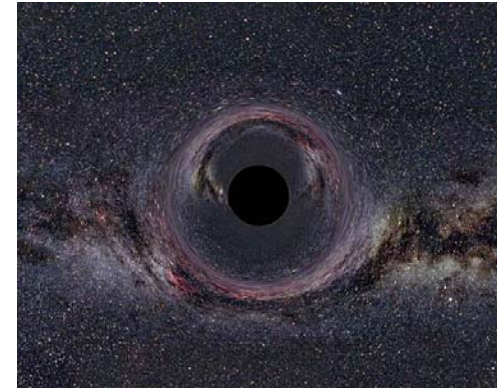


შავი ხვრელი

ცენტრალური ნარჩენი ობიექტის აბსოლუტური
გრავიტაციული კოლაფსი

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

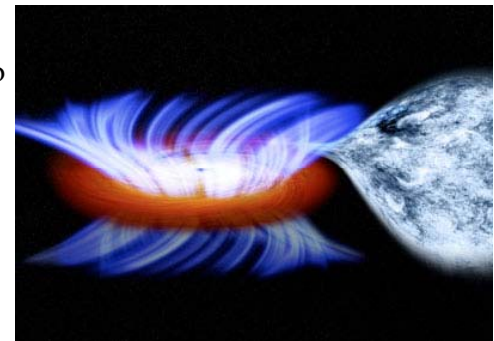
ფოტონები
ჩაიჭირებიან
გრავიტაციულ
ორმოში



შავი ხვრელი

აკრეცია შავ ხვრელზე:
შავი ხვრელის ირგვლივ ჩამდინარე მატერიის
მორევი

ვარდნის პროცესში
ტემპერატურის
მატება და
გამოსხივება;



შავი ხვრელი



www.tevza.org/home/course/universe2015

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