



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 1

ადრეული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ:
გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული
სისტემები

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2012

www.tevza.org/home/course/universe2012

Universe01.ppt ლექციის პრეზენტაცია
ანიმაციებით

Handout01.pdf ლექციის საბეჭდი ვერსია
...\Books წიგნები

+ კოლოქვიუმის საკითხები
+ საგამოცდო საკითხები

კონსულტაციები: 235, II კორპუსი (17:00)
alexander.tevzadze@tsu.ge

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2012

კურსის ფორმატი

ECTS: 5 კრედ. 2 სთ ლექცია + 1 სთ სემინარი

შეფასება:

კოლოქვიუმი:		20 ქულა
სემინარები:	(15+15)	30 ქულა
დასწრება:		10 ქულა
საბოლოო გამოცდა:	(20+20)	40 ქულა

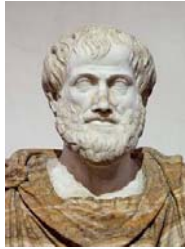
სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2012

სასწავლო კურსის შინაარსი

1. ადრეული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ, გეოცენტრული სისტემა, ჰელიოცენტრული სისტემა;
2. კეპლერის კანონები, გალილეის დაკვირვებები, ნიუტონის სამყარო;
3. მზის სისტემა, პლანეტები, მზის სისტემის მცირე სხეულები;
4. მზე, მზის მაგნიტური ველები, მზის ქარი;
5. ვარსკვლავები, ვარსკვლავის გამოსხივების სპექტრი, H-R დიაგრამა;
6. ვარსკვლავების წარმოშობა და ევოლუცია, ზეახალი ვარსკვლავები;
7. ზეახალის კომპაქტური ნარჩენები, თეთრი ჯუჯები, ნეიტრონული ვარსკვლავები, შავი ხვრელები;
8. ჩვენი გალაქტიკა, გალაქტიკის სპირალური სტრუქტურა, გალაქტიკების კლასიფიკაცია;
9. ზეგალაქტიკური მანძილის გაზომვის პრობლემები და არსებული მეთოდები, კოსმოლოგიური პრინციპი;
10. კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია, ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ეფექტები;
11. სამყაროს გაფართოება, კოსმოლოგიური ჰორიზონტი;
12. დიდი აფეთქების თეორია, რელიქტური ფონის გამოსხივება;
13. დიდი აფეთქების თეორიის პრობლემები, კოსმოლოგიური ინფლაცია;

ძველი ბერძნული ფილოსოფია

არისტოტელე (Aristoteles, 382–322BC)
(კლატონის მსოფლმხედველობა)



- 4 ელემენტი (მიწა, წყალი, ჰაერი, ცეცხლი)
- ღვთიური ეთერი

ზევა: იდეალური, უცვლელი და სამარადისო

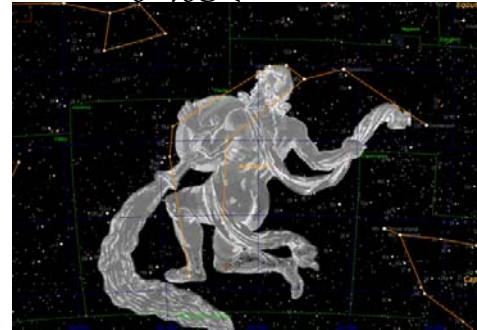
ღამის ცის ბრუნვა



არქაული დაკვირვებები ღამის ცაზე

გამორჩეულად კამკაშა ვარსკვლავებში ფიგურების ამოცნობა: **თანავარსკვლავედები**

მერწყული



ორიონი



ღამის ცის სადღეღამისო ბრუნვა

ბრუნვის ღერძის პროექცია ცაზე: ჩრდილოეთ პოლუსი

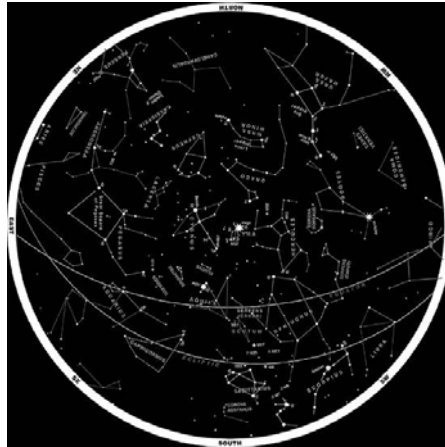
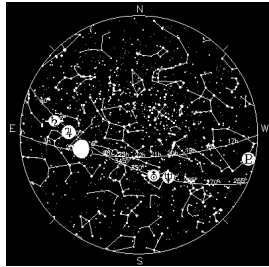
პერიოდი: 24სთ



ჩრდილოეთ პოლარული ვარსკვლავი

ღამის ცის სეზონური ბრუნვა

წლის განმავლობაში ცაზე თანაფარსკვლავედები გადაადგილდებიან



ასტრონომიული დაკვირვებები

ჰიპარქო
(Hipparchus of Rhodes 190-120BC)



დაკვირვებითი ასტრონომიის ფუძემდებელი: შეუიარაღებელი თვალით დაკვირვებადი ცის ყველაზე სისტემატიური არწერა

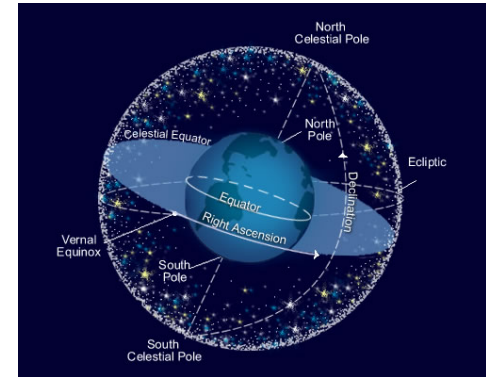
მეთოდები: გეომეტრია, ტრიგონომეტრია;

ცის თალი

ცის თალი ბრუნავს დედამიწის გარშემო ვარსკვლავები დამაგრებულნი არიან ცის თალზე

სამყაროს ცენტრი: დედამიწა

გეოცენტრული სისტემა



- ვარსკვლავების ხილული სიდიდეების კლასიფიკაცია;
- მზის და მთვარის მოძრაობა;
- პლანეტების მოძრაობა, ტრაექტორია და პერიოდულობა;

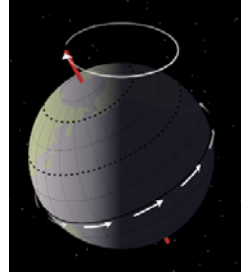
არისტოტელეს ფილოსოფია: გეოცენტრული სისტემა

134BC - ადრე უცნობი ვარსკვლავის აღმოჩენა (!?)
2000 ვარსკვლავის კატალოგი; ცის რუქა; (ურანი?)

დედამიწის ბრუნვის ღერძის პრეცესიის აღმოჩენა

პრეცესია

მზრუნავი სხეულის ბრუნვის ღერძის შედარებით
ნელი წრიული გადაადგილება
(*ბზრიალა, გიროსკოპი*)



დედამიწის ბრუნვის ღერძის
პრეცესია:

ბრუნვის პერიოდი: **24 საათი**

პრეცესიის პერიოდი: **26 000 წელი**

ჩრდილოეთ პოლარული ვარსკვლავი: $1^\circ \rightarrow 23.5^\circ$

ვილოსოფიური მოდელის პრობლემები

პლანეტა – (πλανήτης, მოხეტიალე)

არა-წრიული ტრანექტორიები: მოძრაობა
ვარსკვლავების ფონზე;

ცის თალიდან ამოვარდნილი ხეტიალი.

5 პრობლემა: მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი,
სატურნი;

– ხუთი დამატებითი ერთ მანათობელიანი თალი?

რეტროგრადული ტრანექტორიები უკუღმართი ბრუნვის ფაზები



მარსი
(2005)

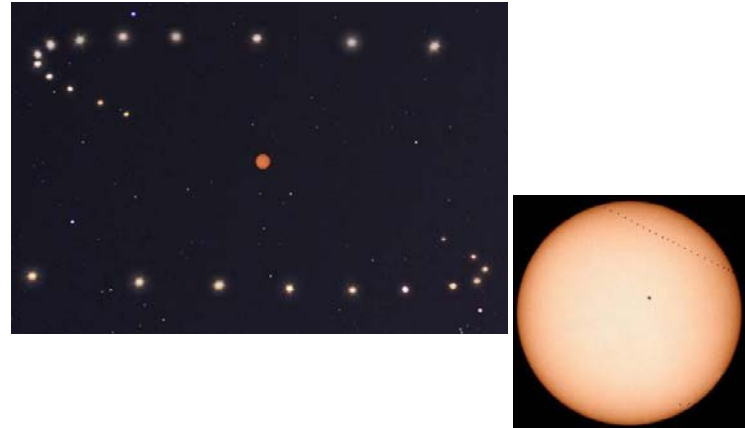
მარსი 2007/2008



მარსი 2003



ვენერა 2004



პთოლემეს კოსმოლოგიური მოდელი

პთოლემე

Claudius Ptolemaeus (90–168AD)

გეოცენტრული სამყარო



პლანეტების მოძრაობა უნდა აღიწეროს იდეალური ტრაექტორიებით: წრეწირებით.

თავისი დროისათვის ყველაზე ზუსტი თეორია

გეოცენტრული მოდელი

სამყაროს ცენტრი: ბრტყელი დედამიწა



გეოცენტრული მოდელი

- მთვარე (27 დღე)
- მერკური (88 დღე)
- ვენერა (225 დღე)
- მზე** (365 დღე)
- მარსი (687 დღე)
- იუპიტერი (4331 დღე)
- სატურნი (10759 დღე)

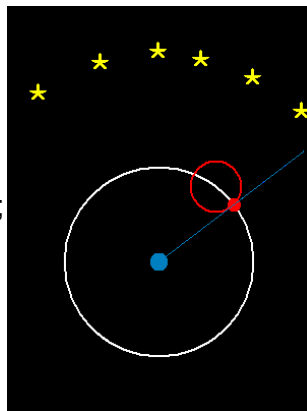


რეტროგრადული მოძრაობა

პტოლემეს ახსნა:

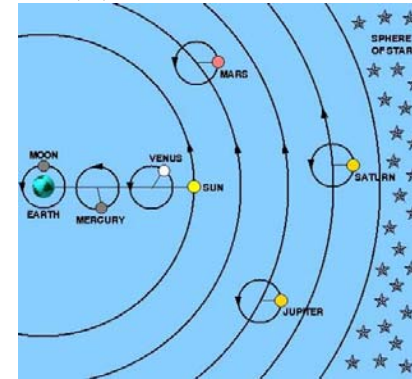
- ეპიციკლების ზედდება;
- დიდ რადიუსზე ნელი ბრუნვა;

ცის თაღზე მარსის მოძრაობის პროექციის რეტროგრადული ტრაექტორია



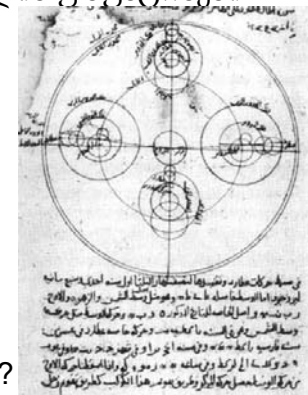
ეპიციკლები

ტრაექტორია: სხვადასხვა რადიუსისა და პერიოდის ბრუნვის ზედდება



პტოლემეს სამყაროს პრობლემები

შუა საუკუნეების არაბი ასტრონომების დაკვირვებებმა გამოავლინეს პტოლემეს მოდელის უზუსტობები.



გამოსავალი: ეპიციკლები, ეპიციკლებში და ეპიციკლებში?

ჰელიოცენტრული სისტემა: სათავეები

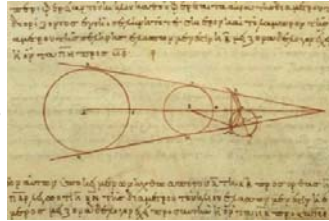
არისტარხე

(Aristarchus of Samos, 310–230BC)

მზის, დედამიწის და მთვარის ფარდობითი ზომების შეფასება

სამყაროს ცენტრში იმყოფება ყველაზე დიდი სხეული: მზე

მზე (ჰელიოს): ჰელიოცენტრული სისტემა



ჰელიოცენტრული სამყარო

ცენტრი: მზე

პლანეტები: წრიული ორბიტები

+ მოდელის სიმარტივე

“უცნაური თეორია”

ტრაექტორიების დათვლის მათემატიკური მოდელი



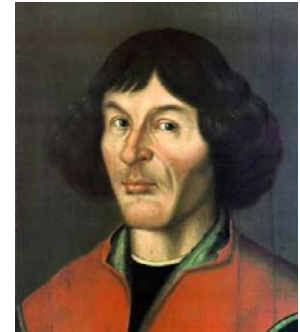
კოპერნიკის სამყაროს მოდელი

კოპერნიკი

Nicolaus Copernicus (1473–1543)

1543: *ციური სხეულების ბრუნვის შესახებ*

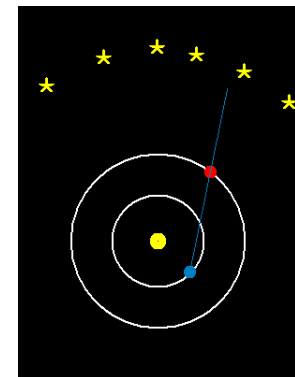
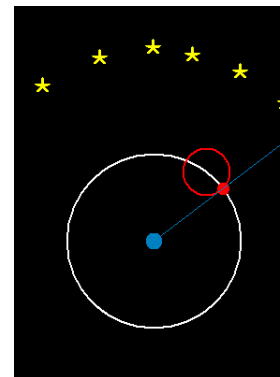
ჰელიოცენტრული სისტემა; მთვარე – დედამიწის თანამგზავრი;



რეტროგრადული მოძრაობა

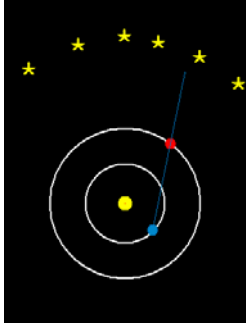
პტოლემეს მოდელი

კოპერნიკის მოდელი

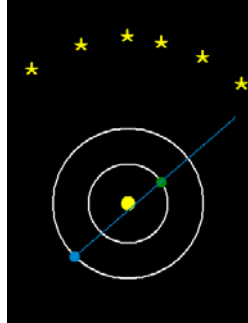


შიდა და გარე პლანეტები

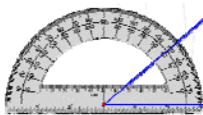
მარსი



ვენერა



დაკვირვებები



კუთხის საზომი ხელსაწყო: სექსტანტი

კოპერნიკის სისტემის პრობლემები

მის დროს არსებულ ფიზიკურ პრინციპებთან წინააღმდეგობა:

მძიმე → მსუბუქი

მიწა → წყალი → ჰაერი → ცეცხლი → ეთერი

შეუსაბამობა დაკვირვებებთან: პთოლემეს მოდელზე უარესი შედეგები

წინააღმდეგობა რელიგიასთან

აღნიშვნები

გრადუსი (°) 1 წრე / 360
 მინუტი (arcminute) (') 1 გრადუსი / 60
 სეკუნდი (arcsecond) (") 1 მინუტი / 60
 მილისეკუნდი (mili-arcsecond) 1 სეკუნდი / 1000

მილი mili 0.001 = 10⁻³
 მიკრო micro 0.000001 = 10⁻⁶
 ნანო nano 0.00000... = 10⁻⁹
 პიკო pico 0.00000... = 10⁻¹²

დაკვირვებები

ულულ ბეგი
(1394-1449)

ასტრონომია, ტრიგონომეტრია,
სფერული გეომეტრია, მათემატიკა
სამარყანდის ობსერვატორია



დაკვირვებები

ულულ ბეგის
ობსერვატორია

ქვის "სექსტანტი"

სიგრძე: 300
კუთხური გარჩევა: 3'

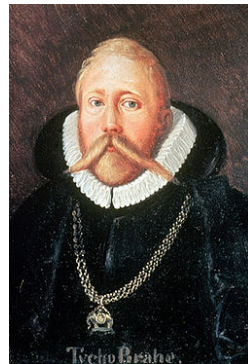


წელიწადი: ~365.257 დღე

დაკვირვებები

ტიხო ბრაგე
Tyge Ottesen Brahe
(1546 – 1601)

თავისი დროის უზუსტესი
დაკვირვებები



კოპერნიკის სისტემის გეომეტრიული სიმარტივე

+

პტოლემეს სისტემის ფილოსოფიური საფუძვლები

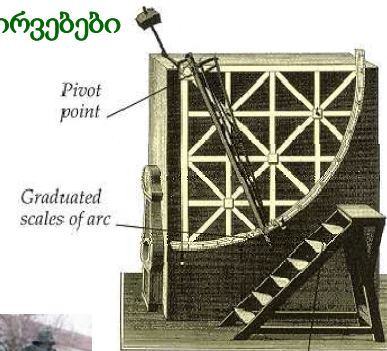
დაკვირვებები

ობსერვატორია

"ზუსტი ასტრონომია"

კუთხის გაზომვის
უპრეცედენტო სიზუსტე
(1.5')

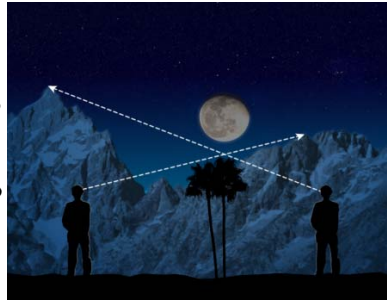
ტიხოს ასისტენტი:
კეპლერი



Ladder for an astronomer to reach the eyepiece

ოპტიკური პარალაქსი

Parallax - ბერძ. ცვლილება დამკვირვებლის მდგომარეობის ცვლილება იწვევს ახლომდებარე ობიექტის გადაადგილებას ფონურ ობიექტთან შედარებით



ექსპერიმენტი სარკესთან: დახუჭეთ ერთი თვალი. პირდაპირ გაშლილი ხელის ცერა თითი მიადეთ სარკეზე დახუჭული თვალის ანასახს. ხელის გაუნძრევლად გაახილეთ მეორე თვალი და დახუჭეთ პირველი ...

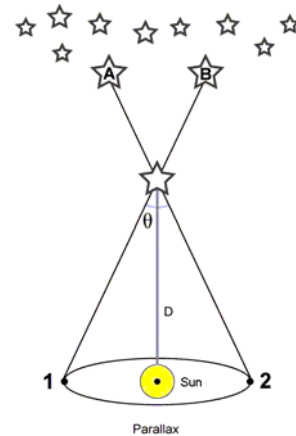
გეომეტრიული პარალაქსის მაგალითი



ასტრონომიული პარალაქსი

ახლომდებარე ვარსკვლავის გადაადგილება შორეულ ფონზე დედამიწის წლიური გადაადგილების შედეგად.

არიან ვარსკვლავები ერთ მანძილზე: “ცის თაღზე”?



პარალაქსის ზომა

ვარსკვლავის ხილილი გადაადგილება: პარალაქსის კუთხე

ბესელი

Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846)

1838: 61 Cygni parallax: 0.31სეკუნდი

მანძილი: 3 პარსევი

9.8 სინათლის წელი



ასტრონომიული სიგრძის ერთეულები

1AU (Astronomical Unit) ასტრონომიული ერთეული
 1.5×10^{11} მეტრი

1pc (parsec) პარსეკი

მანძილი ვარსკვლავამდე, რომლის წლიური პარალაქსია ერთი სეკუნდი:

3.1×10^{16} მეტრი

1LY (Light Year) სინათლის წელიწადი

9.5×10^{15} მეტრი

www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები 1.1 და 1.2 (გვ. 2-8)

უახლოესი ვარსკვლავები

#	Designation		Stellar class	Apparent magnitude (m _v)	Absolute magnitude (M _v)	Eff. temperature T _{eff} in K (eK)	Epoch J2000.0		Parallax ^[3] in arcseconds (asec)	Distance ^[4] in light-years (asec)	Additional references
	System	Star					Star #	Right ascension [2]			
	Solar System	Sun	G2V ^[2]	-26.74 ^[2]	4.85 ^[2]	5,778 ^[5]	variable: the Sun travels along the ecliptic		180"	0 0000158 (3) or 8.32 (16) light-minutes	has 8 planets, & 5 known dwarf planets
1	Alpha Centauri (Rigel Kentaurus; Toliman)	Proxima Centauri (V645 Centauri)	M5.5Ve	11.09 ^[2]	15.53 ^[2]	3,040 ^[6]	14 ^h 29 ^m 43.0 ^s	-62° 40' 46" [5]	0.768 87 [5]	4.2421 (16)	[9]
		α Centauri A (HD 128620)	G2V ^[2]	0.01 ^[2]	4.39 ^[2]	5,790 ^[6]	14 ^h 39 ^m 36.5 ^s	-60° 50' 02" [10]	0.747 23 [10]	4.3650 (68)	
		α Centauri B (HD 128621)	K1V ^[2]	1.34 ^[2]	5.71 ^[2]	5,260 ^[6]	14 ^h 39 ^m 35.1 ^s	-60° 50' 14" [10]			
2	Barnard's Star (BD+04°3561a)	M4.0Ve	9.53 ^[2]	13.22 ^[2]	3,134 (102) ^[11]	17 ^h 57 ^m 48.5 ^s	+04° 41' 36" [3]	0.546 98 (1 00) ^[11]	5.9630 (109)		
3	Wolf 359 (CN Leonis)	M6.0V ^[2]	13.44 ^[2]	16.55 ^[2]	2,800 (100) ^[12]	10 ^h 56 ^m 29.2 ^s	+07° 00' 53" [2 10] ^[11]	0.419 10 (2 10) ^[11]	7.7825 (390)		
4	Lalande 21185 (BD+36°2147)	M2.0V ^[2]	7.47 ^[2]	10.44 ^[2]	3,400 ^[13]	11 ^h 03 ^m 20.2 ^s	+35° 58' 13" [8]	0.393 42 (0.79) ^[13]	8.2905 (148)		



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 2

კეპლერი, გალილეი
ნიუტონის კოსმოლოგია

წინა ლექციაში

- ძველ-ბერძნული წარმოდგენები კოსმოლოგიაზე
- პთოლემეს გეოცენტრული მოდელი
- კოპერნიკის ჰელიოცენტრული მოდელი
- ტიხო ბრაგეს დაკვირვებები

კეპლერი

იოჰან კეპლერი
Johannes Kepler (1571–1630)

ტიხო ბრაგეს თანაშემწე:
ცაზე დაკვირვება შეუიარაღებელი
თვალით



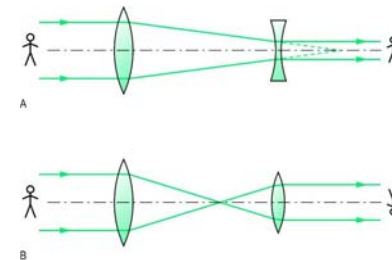
Johannes Kepler

ასტრონომიის ახალი ერა
ოპტიკური დაკვირვებები

ოპტიკური ტელესკოპები

ლიზნები და პირველი ოპტიკური ზელსაწყობები:
(1608, ნიდერლანდები)

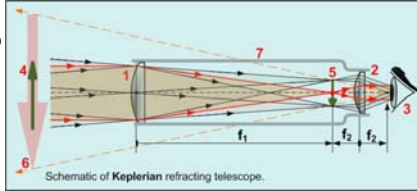
- გალილეის რეფრაქტორის ტიპის ტელესკოპი (1609)
- კეპლერის რეფრაქტორი (1611)



ოპტიკური ტელესკოპები

კეპლერის რეფრაქტორი

- დაკვირვების უფრო ფართო ველი
- შებრუნებული გამოსახულება



რეფრაქტორი აბასთუმნის ობსერვატორიაში (1937):



კეპლერის იდეები

ადრეული ნაშრომი:

Mysterium Cosmographicum

კოსმოგრაფიული საიდუმლოებები

ახალი იდეები:

მოდრაობა ელიფსურ ორბიტებზე

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე ცვალებადია

Astronomica Nova

ახალი ასტრონომია

Harmonica Mundi

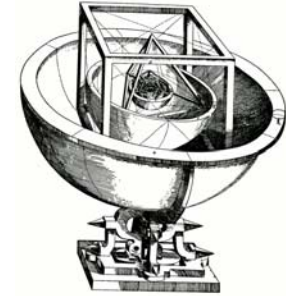
სამყაროს ჰარმონიები

პლანეტების მოძრაობის გეომეტრიული აღწერა

კეპლერის საწყისი იდეები

- იდეალური ფორმები;
- პლატონური სხეულები;

შეუსაბამობა დაკვირვებებთან

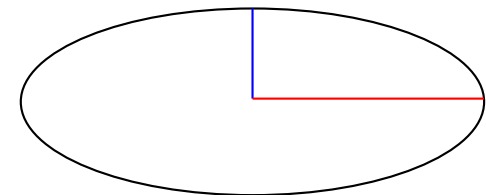
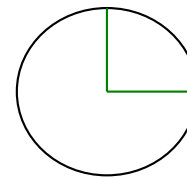


მოდრაობა არაწრიულ ორბიტებზე

ოვალური ტრაექტორიები

ოვალური ტრაექტორიები

წრეწირი: რადიუსი



ელიფსი: დიდი ნახევარღერძი
პატარა ნახევარღერძი

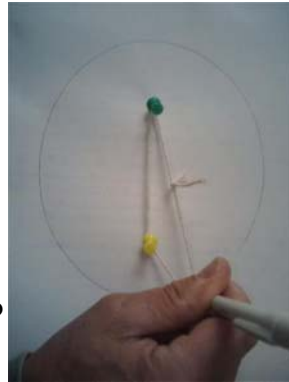
მათემატიკური ფორმა

მანძილების ჯამი მრუდიდან
ორ ფოკუსამდე მუდმივია

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

a, b - ნახევარღერძები
დიდი და პატარა ნახევარღერძი

წრეწირი: ცენტრი
ელიფსი: ორი ფოკუსი



ელიფსი

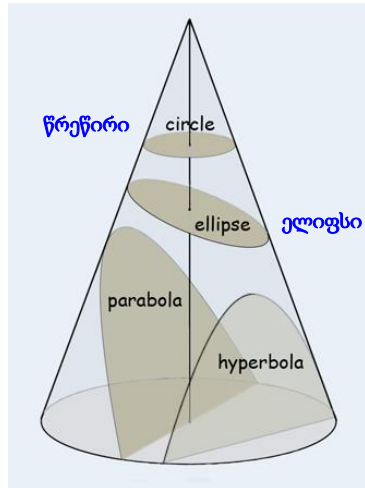


ელიფსი

ილუსტრაცია:

კონუსის კვეთის
გეომეტრიული ფორმები:

- წრეწირი;
- ელიფსი;
- პარაბოლა;
- ჰიპერბოლა;

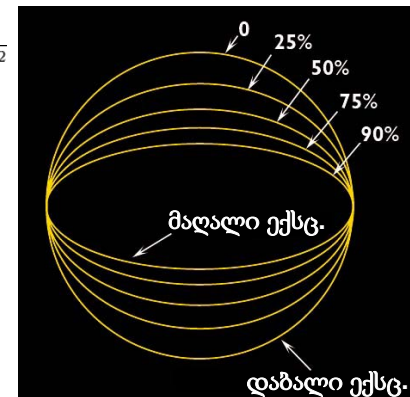


ელიფსი

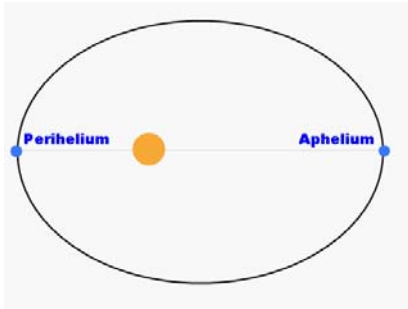
ელიფსის “გაწელილობის” ანუ “ოვალობის” ზომა:
ექსცენტრისიტეტი

$$e = \epsilon = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

სადაც *a* და *b* ელიფსის
დიდი და პატარა
ნახევარღერძებია



ორბიტები მზის ირგვლივ



მინიმალური დაშორება:

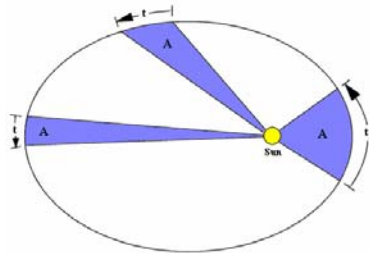
პერიჰელიუმი

მაქსიმალური დაშორება:

აფელიუმი

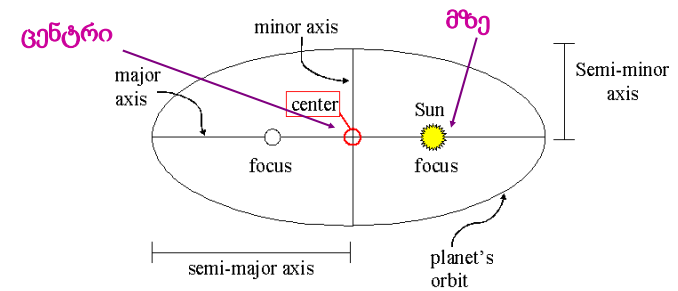
კეპლერის მეორე კანონი

პლანეტისა და მზის შემერთებული რადიუსი ერთიდაიგივე დროის ინტერვალში მოხაზავს ერთიდაიგივე ფართს

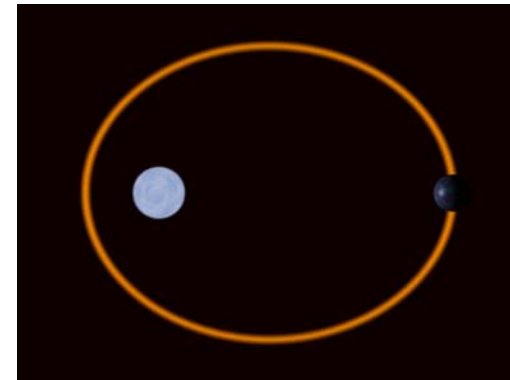


კეპლერის პირველი კანონი

პლანეტები ბრუნავენ მზის ირგვლივ ელიფსურ ორბიტაზე, ხოლო მზე იმყოფება ელიფსის ფოკუსში



კეპლერის ბრუნვა



მაქსიმალური ორბიტალური სიჩქარე: პერიჰელიუმში
მინიმალური ორბიტალური სიჩქარე: აფელიუმში

კეპლერის მესამე კანონი

პლანეტის მზის ირგვლივ ბრუნვის პერიოდის კვადრატი უდრის პლანეტის მზიდან დაშორების საშუალო მანძილის კუბს

$$P^2 = a^3$$

P – წლები (yr)

a - ასტრონომიული ერთეულები (AU)

“ჰარმონიული კანონი”

გალილეი

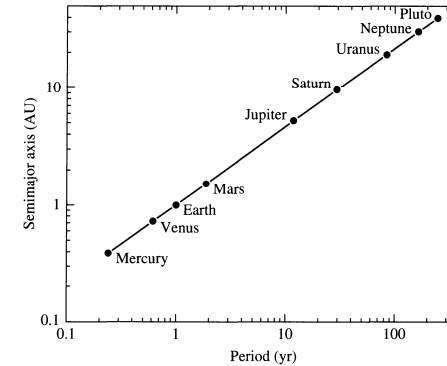
გალილეო გალილეი
Galileo Galilei (1564–1642)

ფიზიკური აზროვნების
პიონერი

ოპტიკური დაკვირვებების
პიონერი



პლანეტების განაწილების დიაგრამა



$$P^2 = a^3 : \quad P = a^{3/2} \quad \log(P) = 3/2 \log(a)$$

$\log(P)/\log(a)$ - დახრის კუთხე: 3/2

გალილეი: ფიზიკა

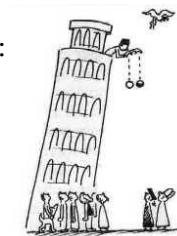
კლასიკური მექანიკის ფუძემდებელი

ექსპერიმენტები სხეულთა მოძრაობაზე:

თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მასაზე

არისტოტელე:

მძიმე სხეულები ვარდებიან უფრო სწრაფად



გალილეი: ფიზიკა

- სინათლის სიჩქარის გაზომვის მცდელობა:

სინათლეს გააჩნია სასრული სიჩქარე და არ არის მყისი (თეორიული მოსაზრება)

- ზგერის სიჩქარის გაზომვები

- ფარდობითობის პრინციპი:

აინშტაინის თეორიის საფუძველი

გალილეი: შეცდომები

კეპლერისა და გალილეის უთანხმოებები:

კეპლერი:

პლანეტები მოძრაობენ ელიფსურ ორბიტებზე

კეპლერი:

დედამიწაზე მიქცევა-მოქცევის მიზეზია მთვარე

გალილეი: დაკვირვებები

პირველი ასტრონომიული ტელესკოპი (?)

გალილეის ტელესკოპი: 30x გადიდება

ვარსკვლავთ მთხრობელი (Siderius Nuncius)

იუპიტერის თანამგზავრების აღმოჩენა: 4 **ახალი სხეული**

(იო, ევროპა, განიმედე, კალისტო)

ჰელიოცენტრული კოსმოლოგია



გალილეი: დაკვირვებები

ირმის ნახტომი: ჩვენი გალაქტიკა

ადრეული წარმოდგენები

“Milky way”

თეთრი ღრუბელი

გალილეის დაკვირვებები:

სინამდვილეში შედგება

ცალკეული ვარსკვლავებისაგან



გალილეი: დაკვირვებები

მთვარის კრატერები:

არაიდეალური სფერო



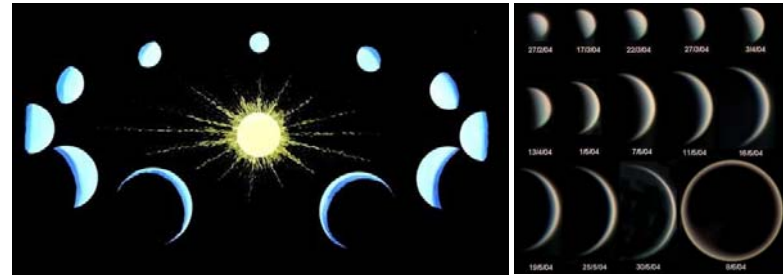
ვენერას ფაზები



გალილეი: დაკვირვებები

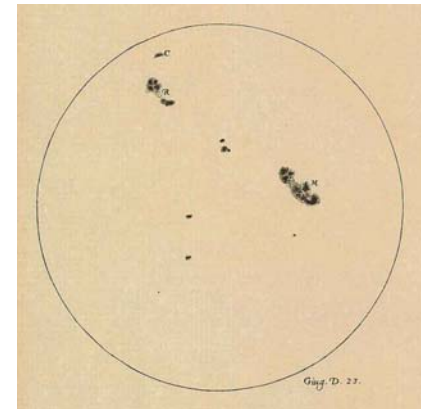
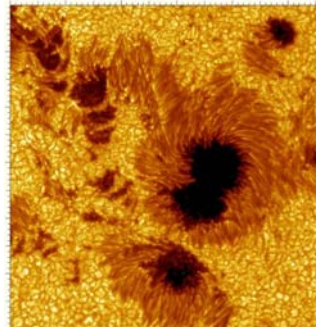
ვენერას სხვადასხვა ფაზები;

ვენერა არ არის მნათობი. პლანეტა მხოლოდ ირეკლავს მზის სიხივებს.



გალილეი: დაკვირვებები

მზე: მზის ლაქები



სატელიტური დაკვირვებები

გალილეის ნახაზი

გალილეო და რელიგია

კათოლიკური ეკლესიის დოგმატების წინააღმდეგობა ახალ დაკვირვებებთან

თხოვნა გალილეის (Pope Urban VIII) ნაშრომი (დიალოგი): ჰელიოცენტრული და გეოცენტრული მოდელების შესახებ.

(ჯორდანო ბრუნო: 1600 †)

კათოლიკური სასამართლო: ეჭვმიტანილი ჰერეტიკობაში სამუდამო შინა პატიმრობა

გალილეის სრული რეაბილიტაცია: 1992 ძეგლი ვატიკანში



ფუნდამენტური მცნებები

ათვლის სისტემები

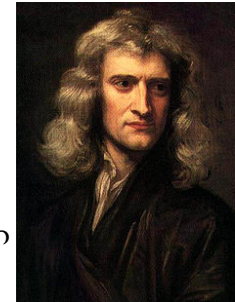
მაგ. დეკარტის კოორდინატთა სისტემა

ფარდობითობის პრინციპი, წრფივი და თანაბარი მოძრაობა

ფიზიკის კანონები ერთნაირია ათვლის ინერციულ სისტემებში (გალილეის გარდაქმნები)

ნიუტონი

ისააკ ნიუტონი
Isaac Newton (1643-1727)
თანამედროვე ფიზიკის როგორც მეცნიერების ფუძემდებელი



“ბუნების ფილოსოფიის მათემატიკური საფუძვლები”, “ოპტიკა”,

მათემატიკა
ფიზიკა (მექანიკა, ოპტიკა)
გრავიტაციის თეორია

ფუნდამენტური მცნებები

სივრცე-დრო: 3 განზომილებიანი სივრცე
1 განზომილებიანი დრო

ბრტყელი სივრცე : ევკლიდეს გეომეტრია
- ორი პარალელური წრფე არსად არ იკვეთება

ნიშანი: სამკუთხედის შიდა კუთხეების ჯამი: 180°

სივრცე არსებობს მატერიისაგან დამოუკიდებლად
აბსოლუტური ვაკუუმი

ნიუტონის მექანიკა

პირველი კანონი: სხეულების ინერცია
ძალა, უძრაობა, ათვლის ინერციული სისტემები;

მეორე კანონი: მოძრაობის კანონი

$$F = m a$$

ძალა, ინერციული მასა, აჩქარება;

მესამე კანონი: ქმედება და უკუქმედება

$$F_1 = -F_2$$

ნიუტონის გრავიტაციის თვისებები

გრავიტაციული ურთიერთქმედება:

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

შორსქმედი

არ არის საჭირო უშუალო კონტაქტი სხეულებს შორის

მყისიერი

ურთიერთქმედების გავრცელების სიჩქარე უსასრულოა (*უსასრულო სინათლის სიჩქარე*)

ნიუტონის გრავიტაცია

- დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობის შესწავლა
- “ვაშლის” ვარდნის მაგალითი

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

$$F = G M m / R^2$$

G - გრავიტაციული ურთიერთქმედების მუდმივა

M – პირველი სხეულის მასა

m – მეორე სხეულის მასა

R – მანძილი სხეულებს შორის

ექვივალენტობის პრინციპი: სხეულის ინერციული და გრავიტაციული მასის ტოლობა

კოსმოლოგია

cosmology (κοσμολογία)

κόσμος - სამყარო, λογία - შესწავლა

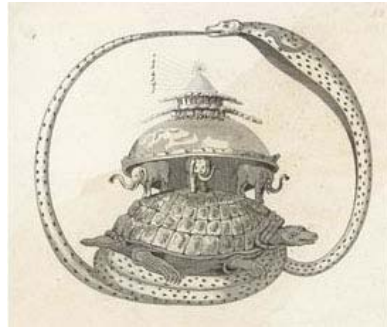
მეცნიერება რომელიც სწავლობს სამყაროს აგებულებას, დინამიკას, წარსულსა და მომავალს

ძველი კოსმოლოგიური წარმოდგენები:

არამეცნიერული კოსმოლოგიური მოდელები

ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

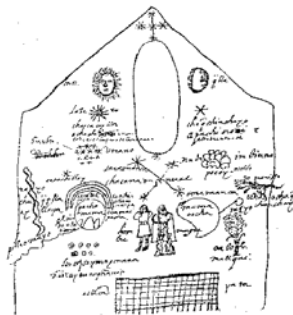
ეგვიპტური



ჰინდლუ

ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

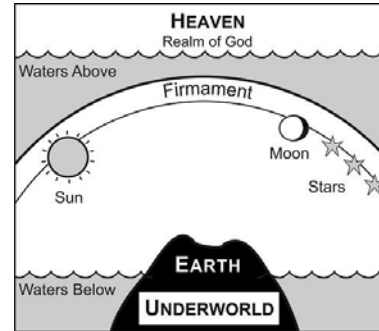
ინკების კოსმოლოგია



კოსმოლოგია – წარმოდგენა სამყაროზე: ცივილიზაციის განვითარებულობის საზომი

ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

ძველი ებრაული



მაია

ნიუტონის კოსმოლოგია

პირველი თანმიმდევრული კოსმოლოგიური მოდელი რომელიც ეფუძნებოდა სამყაროში არსებული კანონზომიერებების კვლევას (მეცნიერულ მიდგომას)

ნიუტონის კოსმოლოგიური მოდელი:

- სტატიკური სამყარო; დროში უცვლელი, სამარადისო
- უსასრულო სივრცე; საზღვრების გარეშე

www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები 2.1-2.3 (გვ. 23-36)

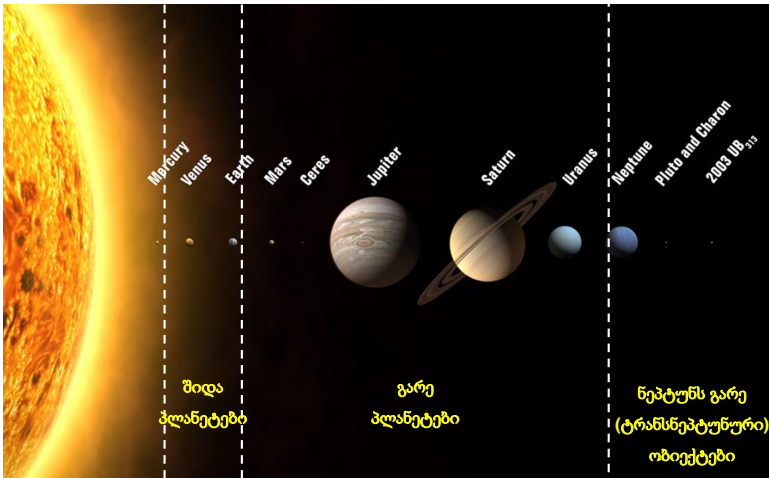


სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 3

მზის სისტემა, პლანეტები,
პლანეტების წარმოშობა

მზის სისტემის პლანეტები



წინა ლექციაში

- კეპლერის კანონები
- გალილეის დაკვირვებები
- მსოფლიო მიზიდულობის კანონი
- ნიუტონის კოსმოლოგია

პლანეტების სახელები

ისტორიული სახელები:

მერკური – კომერციის და მოგზაურობის ღმერთი
(ყველაზე სწრაფად მოძრავი პლანეტა)

ვენერა – სიყვარულის და სილამაზის ღმერთი
(ცაზე ლამაზი ტრანეპტორია?)

მარსი – ომის ღმერთი (პლანეტის მოწითალო ფერი)

იუპიტერი – მთავარი ღმერთი
(ყველაზე დიდი პლანეტა)

სატურნი – მიწადმოქმედების ღმერთი

ურანი, ნეპტუნი, პლუტონი – ტრადიციის გაგრძ.

პლანეტების ტიპები

მზის სისტემა

1. დედამიწის ტიპის პლანეტები (terrestrial)

(კლდოვანი)

მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი

2. გიგანტები

(გაზის, ყინულის)

გაზის გიგანტები: იუპიტერი, სატურნი;

ყინულის გიგანტები: ურანი, ნეპტუნი

ტიციუს–ბოდეს წესი

მანძილი პლანეტებამდე: $R = 4 + n;$
 $n = 3, 6, 12, 24, \dots$

მომდევნო ორბიტაზე n ორმაგდება

ასტრონომიულ ერთეულებში

$$R = 0.4 + 0.3 \times 2^{(n-1)}, \quad n = (-\infty, 0, 1, 2, 3, \dots)$$

დედამიწა: $n=2, R=1AU$

წესი თუ კანონი?

პლანეტის ტიპები

ფიზიკური მახასიათებლები

პლანეტის ტიპი:	კლდოვანი	გიგანტი
ძირითადი ფორმა:	ქვა/მეტალი	გაზი/ყინული
ორბიტები:	0.39–1.52AU	5.2–30AU
ზედ.ტემპერატურა	215– 733K	70–165K
თანამგზავრები:	0–2	13–63
რგოლები:	არა	კი

(273K=0°C)

მანძილები

პლანეტა	ტიციუს–ბოდეს (AU)	რეალური (AU)
მერკური	$(0.4+0.3 \times 0)$	0.4
ვენერა	$(0.4+0.3 \times 2^0)$	0.7
დედამიწა	$(0.4+0.3 \times 2^1)$	1
მარსი	$(0.4+0.3 \times 2^2)$	1.6
?(ცერესი)	$(0.4+0.3 \times 2^3)$	2.8
იუპიტერი	$(0.4+0.3 \times 2^4)$	5.2
სატურნი	$(0.4+0.3 \times 2^5)$	10
ურანი	$(0.4+0.3 \times 2^6)$	19.6
ნეპტუნი	$(0.4+0.3 \times 2^7)$	38.8

ასტეროიდების სარტყელი

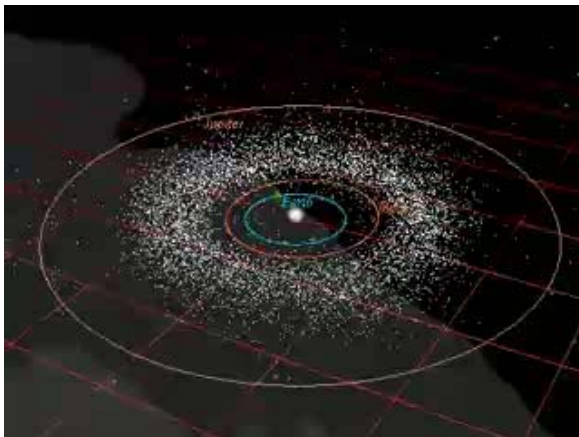
ტიციუს–ბოდეს რადიუსი: 2.8AU

პირველი ობიექტი: ცერესი (1801) რადიუსი: 487 კმ



ასტეროიდების სარტყელი

პლანეტების ბრუნვის სიბრტყე: ეკლიპტიკა



ასტეროიდების სარტყელი

“შზის სისტემის ძირითადი სარტყელი”

100+ კმ დიამეტრი: 200 ობიექტი

1+ კმ დიამეტრი: 0.7–1.7 მილიონი ობიექტი

ასტეროიდების

ტიპი: კლდოვანი

ყველაზე დიდი ასტეროიდები: (ჯუჯა პლანეტები)

Ceres, 4 Vesta, 2 Pallas, 10 Hygiea

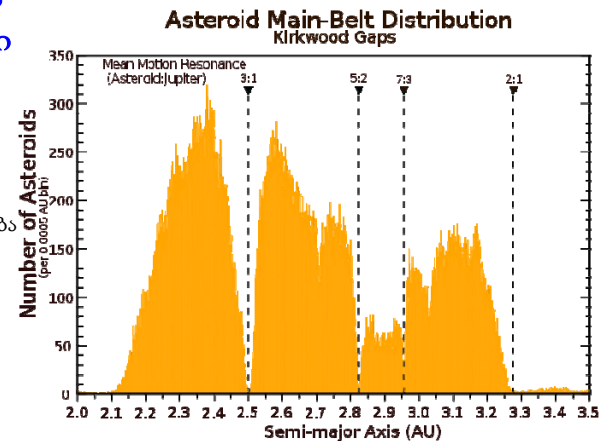
ცერესის ორბიტა: 2.7AU

მასათა ცენტრი: 2.8AU

ასტეროიდების სარტყელი

კირკვულის რღვეულები

ასტეროიდების რიცხვის დამოკიდებულება ობიექტების დიდ ნახევარღერძზე

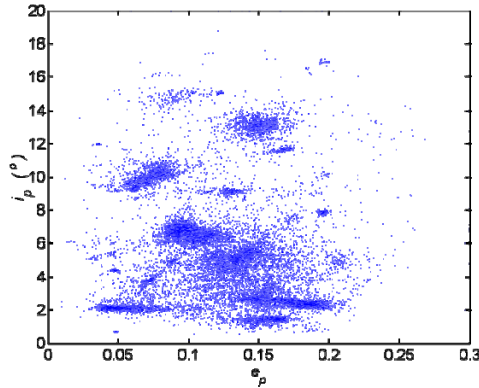


ასტეროიდების სარტყელი

სხვადასხვა ოჯახები ძირითად სარტყელში

ფლორა, ეუნომა, კორონისი, ეოსი, ... 20–30 ჯგუფი

ორბიტის ეკლიპტიკიდან დახრის დამოკიდებულება ორბიტის ექსცენტრისიტეტი



პლანეტები: მერკური

მეტალი: 70%

სილიციუმი: 30%

ზედაპირული ტემპერატურები:

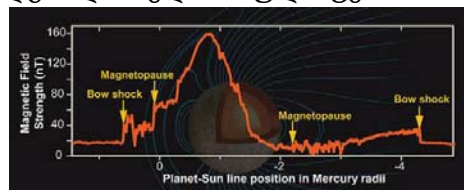
საშუალო: 67 °C

მაქსიმალური: 427 °C

ატმოსფერო: არამდგრადი ზედაპირული ფენა

მაგნიტური ველი:

მაგნიტოსფერო



პლანეტები: მერკური

ნახევარღერძი:

0.387AU

ექსცენტრისიტეტი:

0.2

პერიოდი:

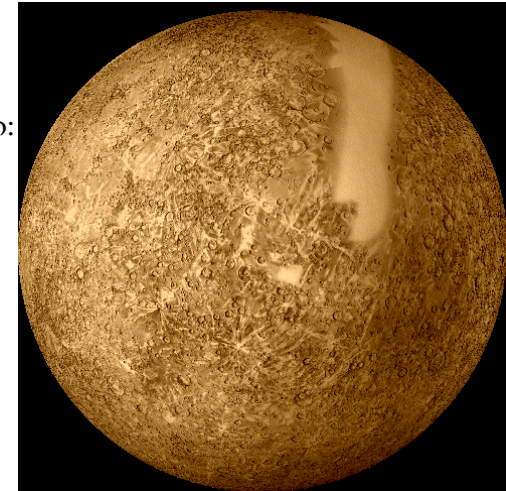
88 დღე

ორბიტის

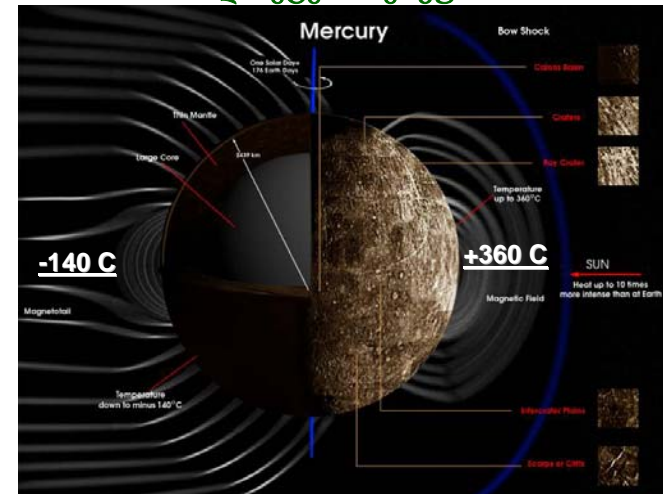
ეკლიპტიკიდან

დახრის კუთხე

7 გრადუსი



პლანეტები: მერკური



პლანეტები: ვენერა

ნახევარღერძი:

0.723AU

ექსცენტრისიტეტი:

0.0068

პერიოდი:

224.7 დღე

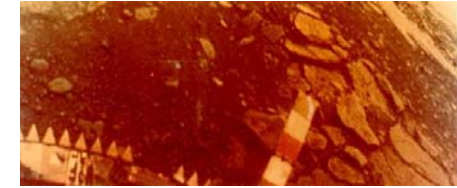
ორბიტის

ეკლიპტიკიდან

დახრის კუთხე

3.39 გრადუსი**პლანეტები: ვენერა**

ზედაპირული ტემპერატურები:

მაქსიმალური: **460 °C**ატმოსფერო: (CO₂) ღრუბლები; კლიმატი;მაგნიტური ველი: **არა****პლანეტები: დედამიწა**

ნახევარღერძი:

1 AU

ექსცენტრისიტეტი:

0.0167

პერიოდი:

365.25 დღე

ორბიტის

ეკლიპტიკიდან

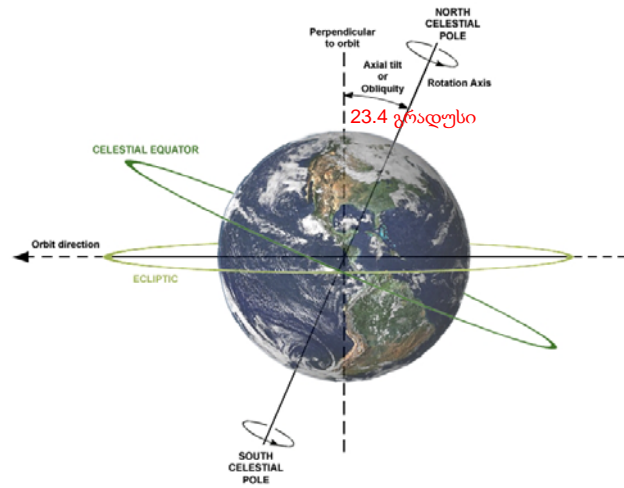
დახრის კუთხე

1.58 გრადუსი**პლანეტები: დედამიწა**

ზედაპირული ტემპერატურები:

საშუალო: **14 °C**მინ./მაქს.: **-89 / +58 °C**ატმოსფერო: **78% აზოტი, 20% ჟანგბადი, ...**ქერქი: **SiO₂ 60%, Al₂O₃ 15%, Ca 5.5%, Fe 3.8% ...**ბირთვი: **“Nife” Ni-Fe (ნიკელ–რკინის ნარევი) 90%**

პლანეტები: დედამიწა

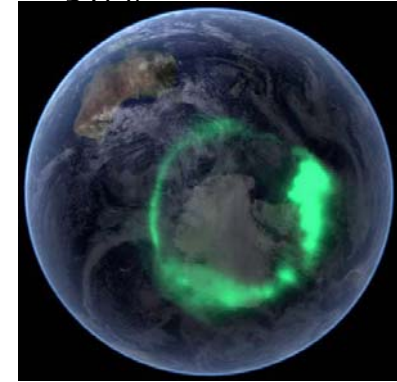
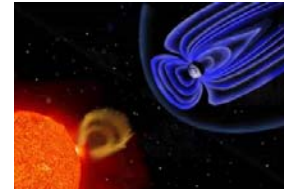


პლანეტები: დედამიწა

მაგნიტური ველი: **დიპოლური ველი**
ჩრდილოეთ და სამხრეთი პოლუსები



მაგნიტური პოლუსების
ბრუნვის ღერძიდან
გადახრა: **1.5 გრადუსი**
მაგნიტოსფერო



პლანეტები: დედამიწა

თანამგზავრი: მთვარე

ორბიტალური

პერიოდი: **27.3**

მასა: **0.0123 დედამიწა**

ექსცენტრისიტეტი:
0.055

ორბიტის დიდი ნახევარღერძი: **384 399 კმ**



პლანეტები: მარსი

ნახევარღერძი:

1.523 AU

ექსცენტრისიტეტი:

0.093

პერიოდი:

686.9 დღე

დახრის კუთხე

1.85 გრადუსი



პლანეტები: მარსი

ზედაპირული ტემპერატურები:

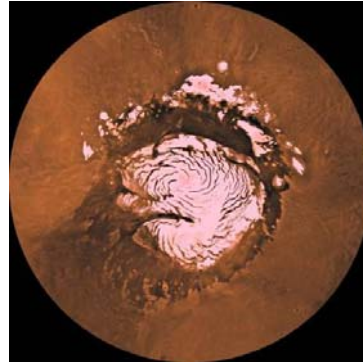
საშუალო: **-46 °C**

მაგნიტური ველი:

არა (წარსულში?)

ატმოსფერო: **CO₂**

პოლარული ყინულები
("მშრალი ყინული")



პლანეტები: იუპიტერი

ზედაპირული ტემპერატურები:

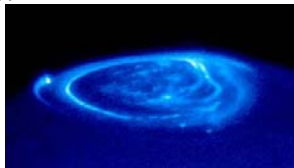
საშუალო: **-108 °C**

მაგნიტური ველი:

დედამიწაზე 14-ჯერ ძლიერი

ატმოსფერო: **H₂, He**

"დიდი წითელი ლაქა"
(ატმოსფერული გრიგალი)



პლანეტები: იუპიტერი

გაზის გიგანტი

მასა: **317.8 დედამიწა**

ნახევარღერძი:

5.2 AU

ექსცენტრისიტეტი:

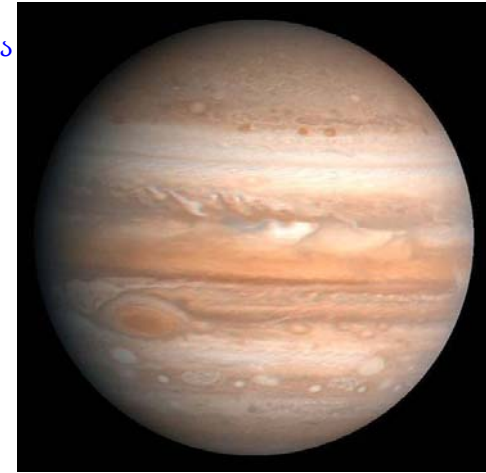
0.048

პერიოდი:

4 331 დღე

დახრის კუთხე

1.3 გრადუსი

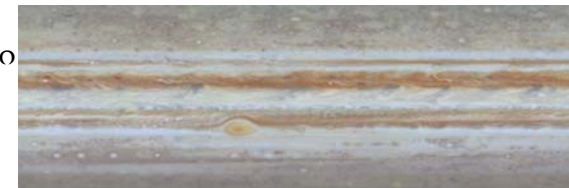


პლანეტები: იუპიტერი

ატმოსფერული დინებები

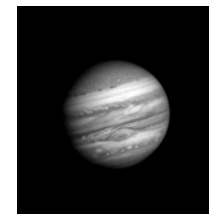
ზონალური

დინებები



ანტიციკლონური

გრიგალები

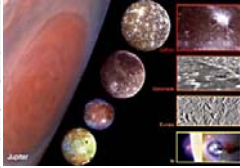


პლანეტები: იუპიტერი

თანამგზავრები (სულ 66)

გალილეოს თანამგზავრები:

Name	IPA	Diameter		Mass		Orbital radius		Orbital period	
		km	%	kg	%	km	%	days	%
Io	'ai.ou	3643	105	8.9×10^{22}	120	421,700	110	1.77	7
Europa	ju'roupa	3122	90	4.8×10^{22}	65	671,034	175	3.55	13
Ganymede	'gaenimi : d	5262	150	14.8×10^{22}	200	1,070,412	280	7.15	26
Callisto	ka'listou	4821	140	10.8×10^{22}	150	1,882,709	490	16.69	61



მცირე თანამგზავრების 6 ჯგუფი
(თემისტები, ჰიმალიები, კარპოები, ანანკები, კარმები, პასიფები)

პლანეტები: სატურნი

მასა: 95.1 დედამიწა

ნახევარღერძი:

9.582 AU

ექსცენტრისიტეტი:

0.055

პერიოდი:

10 759 დღე

დახრის კუთხე

2.48 გრადუსი



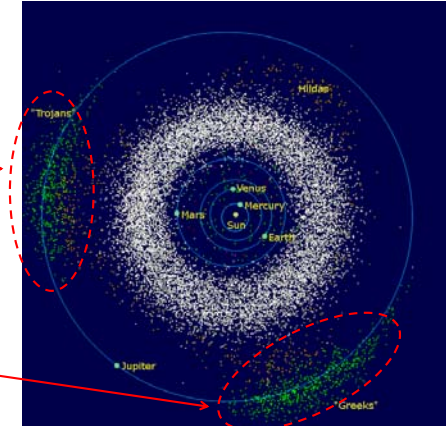
პლანეტები: იუპიტერი

ორბიტალური კომპანიონები

ასტეროიდების
ჯგუფები

ტროელები

ათენელები
(Greeks)



პლანეტები: სატურნი

ზედაპირული ტემპერატურები:

საშუალო: **-139 °C**

ატმოსფერო: **H₂, He**

მაგნიტური ველი:

დედამიწაზე ოდნავ სუსტი

ავრორალური ნათება



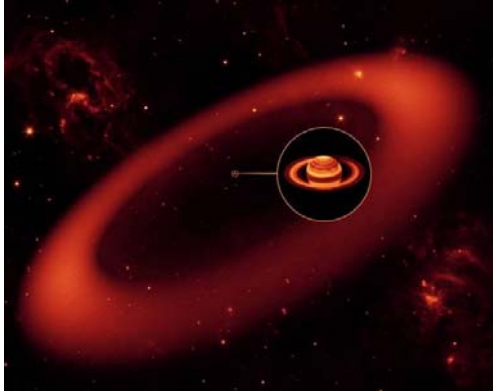
პლანეტები: სატურნი

სატურნის ორბიტა: თანამგზავრები + რგოლები

რგოლები: მცირე ზომის სხეულები და მტვერი (ყინული)

ძირითადი რგოლი

~200 სატურნის რადიუსი: ფოების (Phoebe) რგოლი (2009)



პლანეტები: ურანი

მასა: **14.5 დედამიწა**

ნახევარღერძი:

19.23 AU

ექსცენტრისიტეტი:

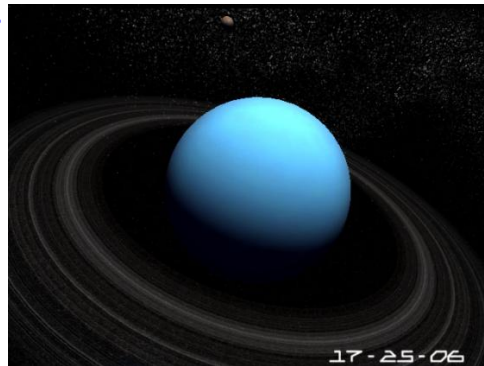
0.044

პერიოდი:

30 799 დღე

დახრის კუთხე

0.77 გრადუსი



პლანეტები: სატურნი

თანამგზავრები:

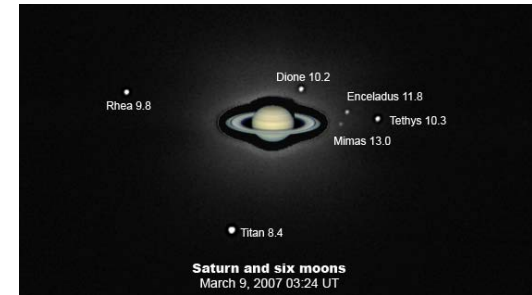
ტიტანი (titan)

თანამგზავრების საერთო მასის 90%

რეა (Rhea)

60 სხვა

თანამგზავრი



პლანეტები: ურანი

ზედაპირული ტემპერატურები:

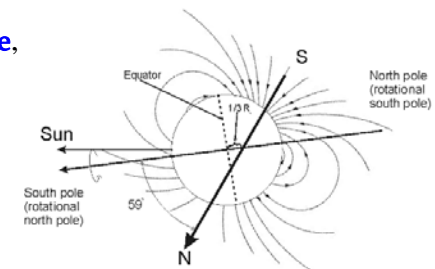
საშუალო: **-197 °C**

შემადგენლობა: **H₂, He,**

მაგნიტური ველი:

ბრუნვის დერძიდან

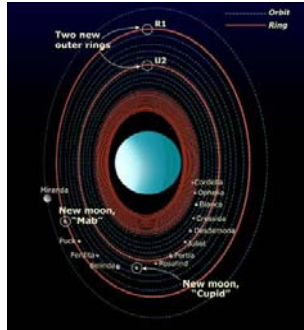
გადახრა: 59 გრადუსი



პლანეტები: ურანი

თანამგზავრები: 27

Miranda, Ariel, Umbriel,
Titania, Oberon



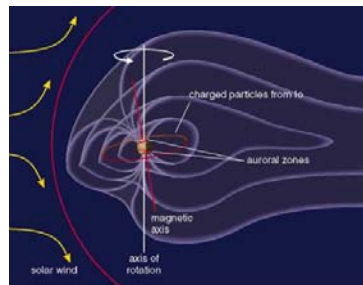
პლანეტები: ნეპტუნი

ზედაპირული ტემპერატურები:

საშუალო: -201 °C (72K)

შემადგენლობა: H₂, He,

მაგნიტური ველი:
ბრუნვის ღერძიდან
გადახრა: 47 გრადუსი
კვადრუპოლური ველი



პლანეტები: ნეპტუნი

მასა: 17 დედამიწა

ნახევარღერძი:

30 AU

ექსცენტრისიტეტი:

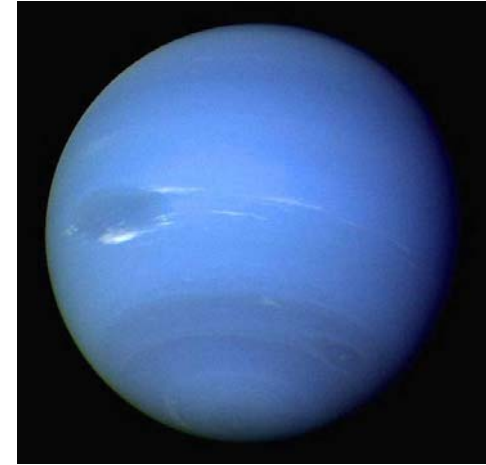
0.011

პერიოდი:

60 190 დღე

დახრის კუთხე

1.767 გრადუსი

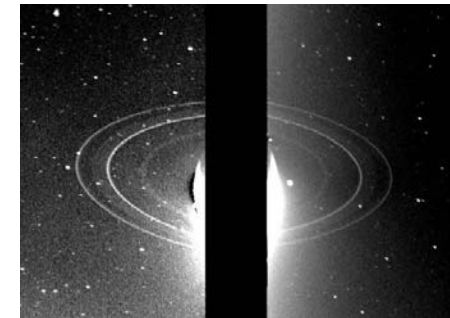


პლანეტები: ნეპტუნი

თანამგზავრები

და რგოლები

თანამგზავრები: 13

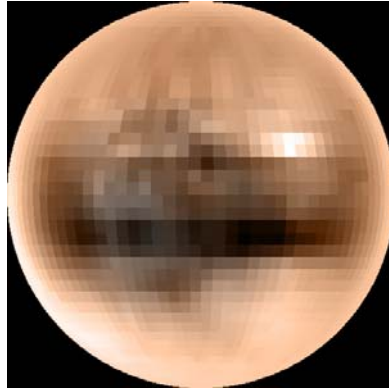


ტრიტონი: რეტროგრადული ორბიტა

ჩაჭერილი ობიექტი?

ნეპტუნს გარე სხეულები: პლუტონი (trans-Neptunian objects)

ჯუჯა-პლანეტა
 მასა: 0.002 დედამიწა
 ნახევარღერძი:
 39.4 AU
 ექსცენტრისიტეტი:
 0.248
 პერიოდი:
 60 613 დღე
 დახრის კუთხე
 17.14 გრადუსი



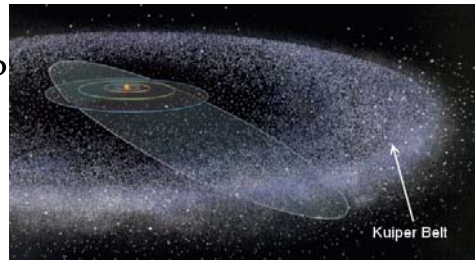
ნეპტუნს გარე სხეულები

ჯუჯა პლანეტები: პლუტონი, ერისი, ხარონი ...



კოიპერის სარტყელი

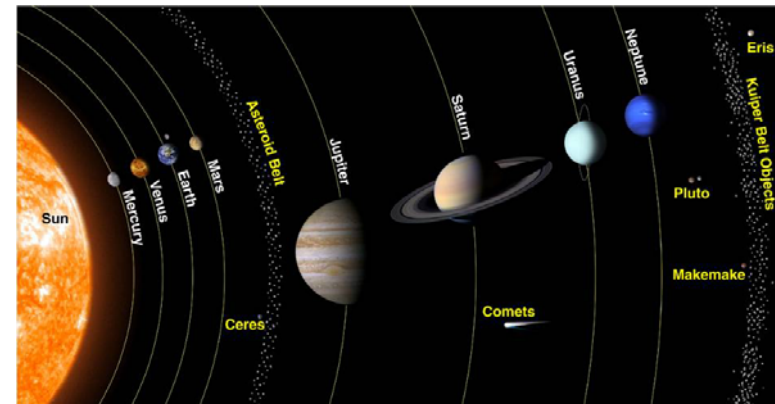
კოიპერის სარტყელი
(Kuiper belt)
 ობიექტების
 რაოდენობა: $>10^6$



ეკლიპტიკიდან დახრილი / ექსცენტრული



მზის სისტემა



მზის სისტემის პერიფერია

ოორტის ღრუბელი

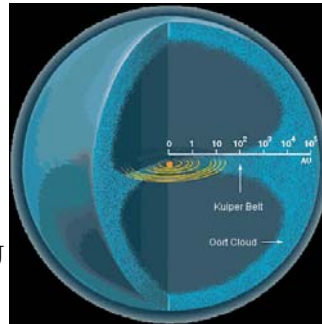
კომეტები

გაწელილი ექსცენტრული

ორბიტები

სფერული ღრუბელი? >> 100AU

კომეტის კუდი: მზის ქარის მიმართულება

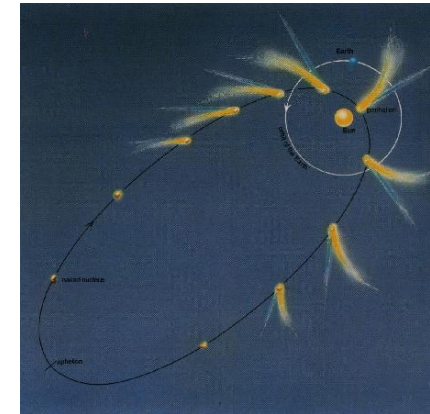


კომეტები

დამზერა: მზესთან ახლოს

კუდის მიმართულება:

მზის ქარი

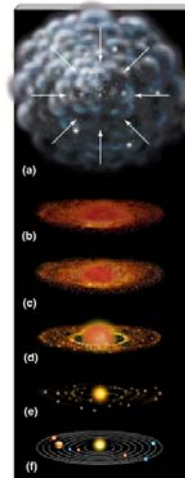


პლანეტების ფორმირება

საწყისი სფერული ღრუბელის
შეკუმშვა თვითგრავიტაციის გამო
და პროტოპლანეტური დისკის
ფორმირება

პლანეტების ჩანასახების
გაჩენა

ნარჩენი გაზის პლანეტებზე
დალექვა (აკრეცია)



პროტოპლანეტური დისკი



პროტოპლანეტარული დისკები

პლანეტების წარმოშობის არეები



არამზიური პლანეტები (exoplanets)

მზის გარე ვარსკვლავების ირგვლივ არსებული პლანეტები

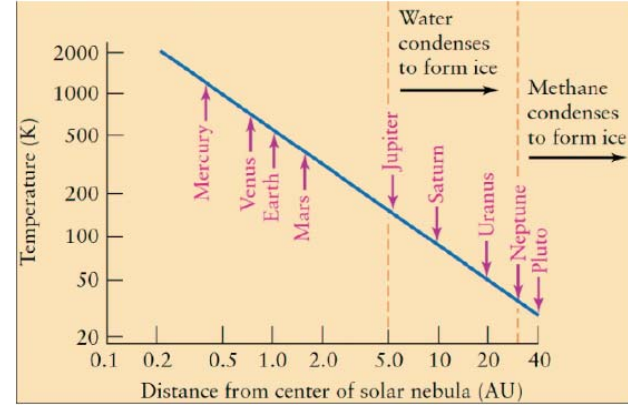
დღეისათვის აღმოჩენილია: **763**

ტიპები:
გიგანტები
ცხელი გიგანტები
სუპერდედამიწები



პლანეტების ფორმირება

ტემპერატურის განაწილება: პლანეტების ქიმია



www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები 19.1-3 (გვ. 714-719)
22.1-2 (გვ. 813-817)



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 4

მზე, ატმოსფერო, მაგნიტური ველი,
მზის ქარი, მზის ევოლუცია

მზე

დედამიწის უახლოესი ვარსკვლავი
დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისა და
ენერჯის ძირითადი წყარო

(helios)–მზე



ადამიანის სწრაფვა მზის
შემეცნებისაკენ

ბერძნული მითოლოგია:
იკარუსი

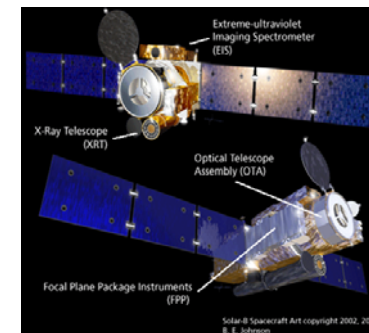
წინა ლექციაში

- მზის სისტემა
- პლანეტები
- მზის სისტემის მცირე სხეულები
- პლანეტების წარმოშობა

დაკვირვებები

თანამედროვე სატელიტური დაკვირვებები

- Ulysses (1990)
- Yohkoh (1991)
- SOHO (1995)
- TRACE (1998)
- HINODE (2006)
- STEREO (2006)

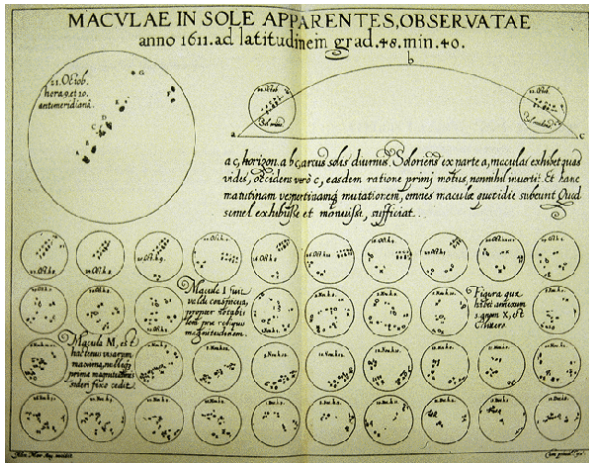


HINODE

დაკვირვებები

მზის
ლაქები

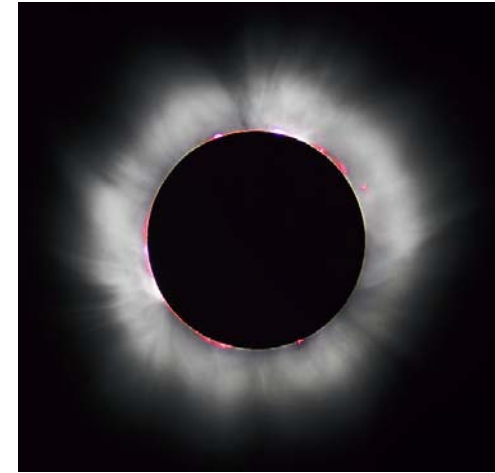
გალილეი
(1611)



დაკვირვებები

მზის სრული
დაბნელება:

თვალით
ხილვადი
მზის
კორონა

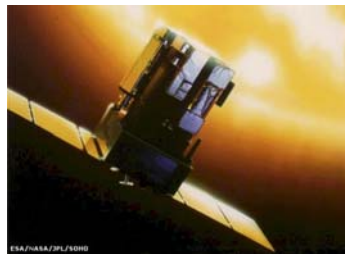


დაკვირვებები

მზის ზედაპირის სეისმოლოგია:
ჰელიოსეისმოლოგია

მზის შიდა აგებულების შესწავლა

Solar and
Heliospheric
Observatory



ფიზიკური თვისებები

მანძილი დედამიწამდე: **150 10⁶ კმ (1AU)**
(8.3 სინათლის წუთი)

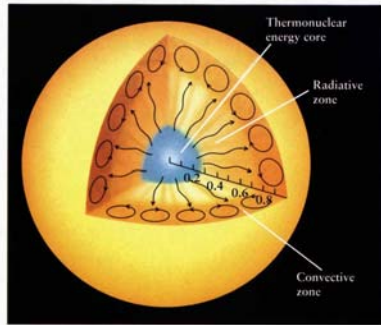
დიამეტრი: **109** დედამიწის დიამეტრი
მასა: **333 000** დედამიწის მასა

ბრუნვის პერიოდი: **25.38 დღე**
შემაღგენლობა: **წყალბადი (73%)**
ჰელიუმი (24.8%)
ჟანგბადი (0.77%) + ...

მზის სტრუქტურა

თერმობირთვული ენერჯის წყარო ვარსკვლავის ცენტრში: **ენერჯის გადატანა ცენტრიდან გარეთ**

- ბირთვი
- რადიაციული ზონა
- კონვექციური ზონა
- ატმოსფერო

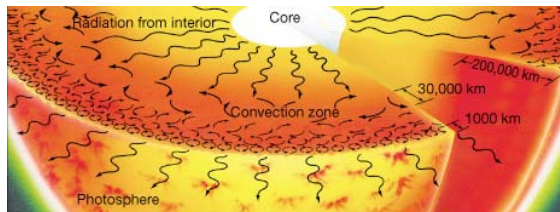


რადიაციული ზონა

ენერჯის გადატანა გამოსხივებით: **0.25–0.7 მზის რადიუსი**

სიმკვრივე: 20 000 – 200 კგ/მ³
 ტემპერატურა: 7 10⁶ – 2 10⁶ K

მზის მაგნიტური ველის გენერაცია;

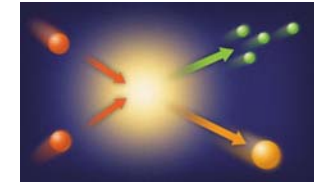


ბირთვი

ცენტრალური ნაწილი: **0-0.25 მზის რადიუსი**
 სიმკვრივე: ~150 000 კგ/მ³
 ტემპერატურა ~13 600 000 K

თერმობირთვული რეაქციები პროტონ-პროტონული (p-p) ჯაჭვი;

წყალბადის ბირთვების შეერთება და ჰელიუმის სინთეზი

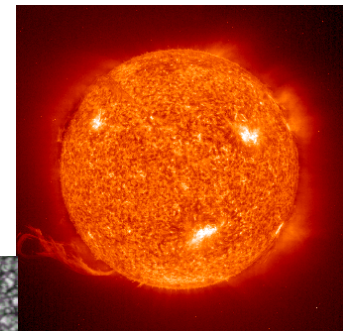
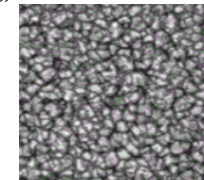
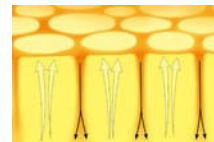


კონვექციური ზონა

ენერჯის გადატანა: სითბური კონვექცია (ანალოგი: წყლის დუღილი)

სიმკვრივე <200 კგ/მ³
 ტემპერატურა 5 700 K

მზის ზედაპირის "გრანულაცია"



ატმოსფერო

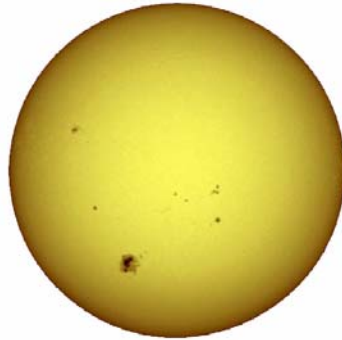
– ფოტოსფერო:

მზის ხილული (ოპტიკური) ზედაპირი.

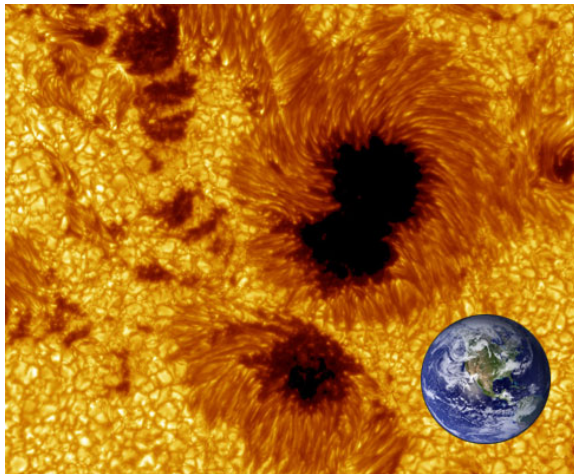
შავი სხეულის
გამოსხივების მოდელი:
~5,500 °C

(ეფექტური ტემპერატურა)

- ქრომოსფერო
- კორონა

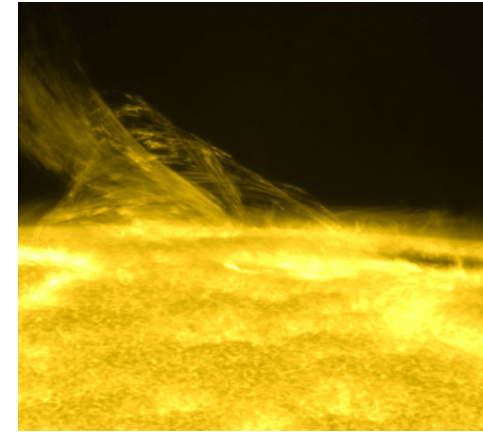


მზის ლაქა



ატმოსფერო

ფოტოსფერო

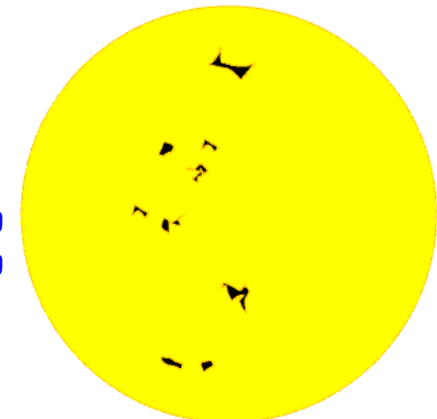


მზის ზედაპირის ბრუნვა

მზის ზედაპირის
ხილული ბრუნვა

ბრუნვის პერიოდი

ეკვატორთან: 25 დღე
პოლუსებთან: 34 დღე

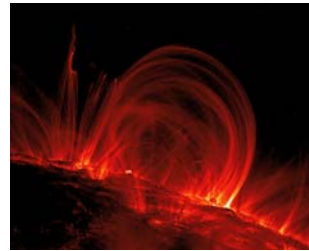
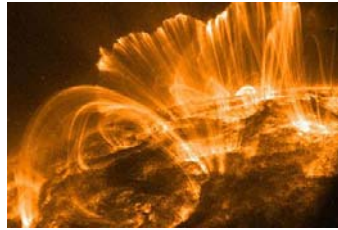


ქრომოსფერო

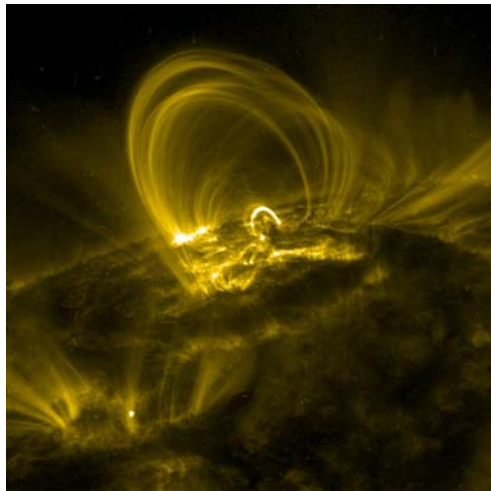
მაგნიტური სტრუქტურები

მაგნიტური “თაღები”
“მარყუქები”

სწრაფი
ცვალებადობა



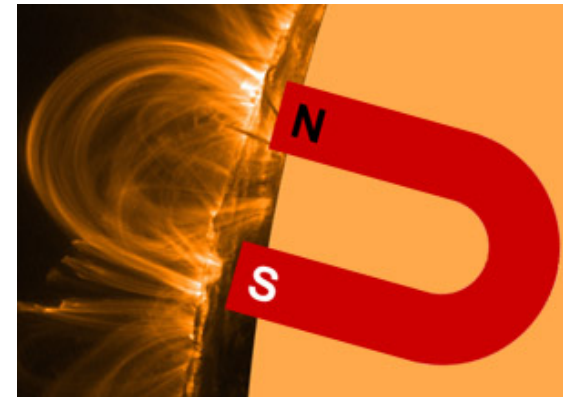
მაგნიტური ველი



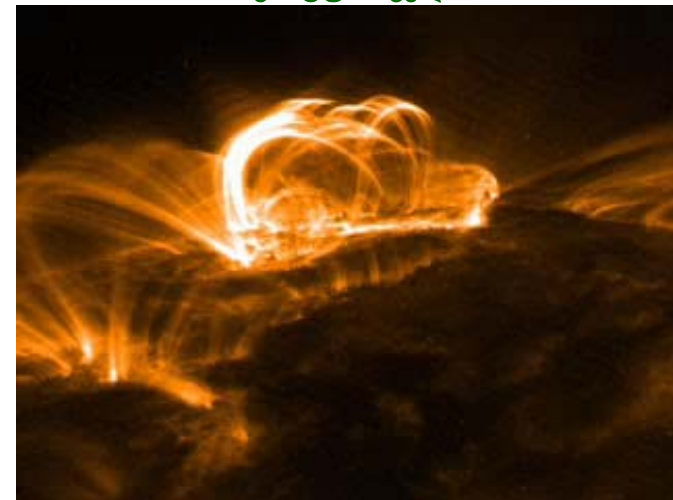
მაგნიტური ველი

მაგნიტური
თაღები

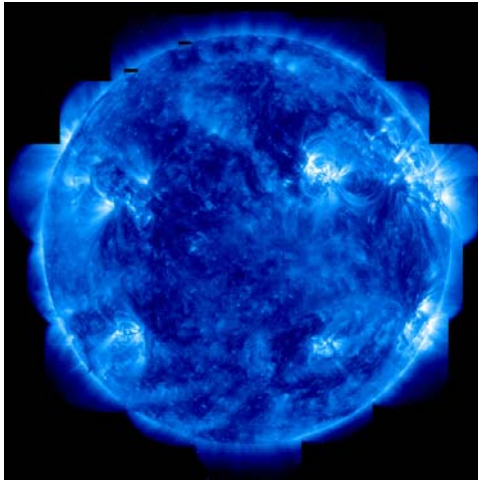
ლოკალური
მაგნიტური
პოლუსები



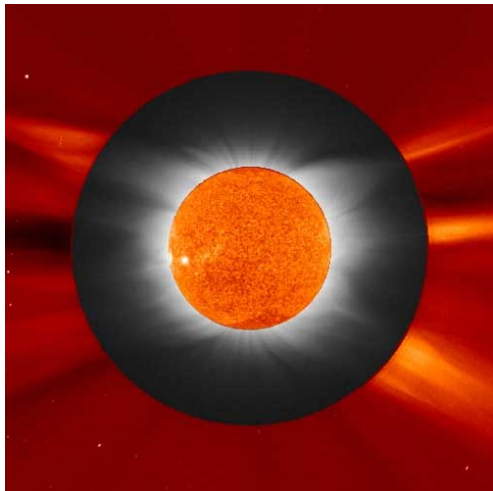
მაგნიტური ველი



ქრომოსფერო



მზის გვირგვინი (კორონა)



მზის გვირგვინი (კორონა)

მზის ატმოსფეროს გარე ფენა
მოიცავს მზის სისტემას

ტემპერატურა: 1–2 მილიონი კელვინი (8–20)
გამოსხივება: ოპტიკური, ულტრაიისფერი,
რენტგენი

მზის კორონის გაცხელების პრობლემა: რატომ
მატულობს ტემპერატურა ფოტოსფეროს ზედა
ფენებში? (მაგნიტოჰიდროდინამიკური მოვლენები)

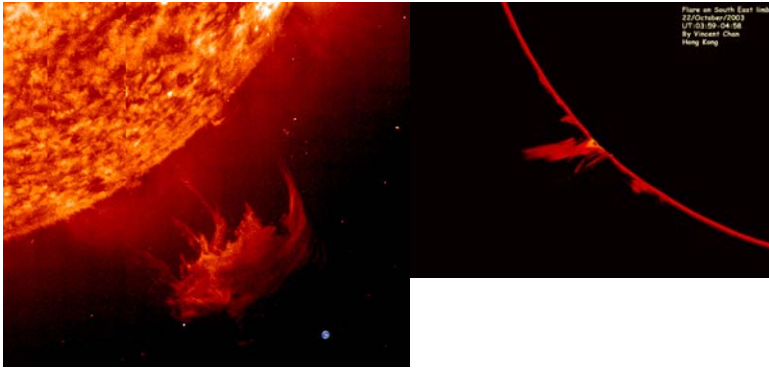
მზის გვირგვინი (კორონა)

მზის სრული დაბნელების დროს მთვარე ფარავს
მზის დისკოს და მოსჩანს მხოლოდ მზის
ატმოსფეროს გარე ფენა – კორონა



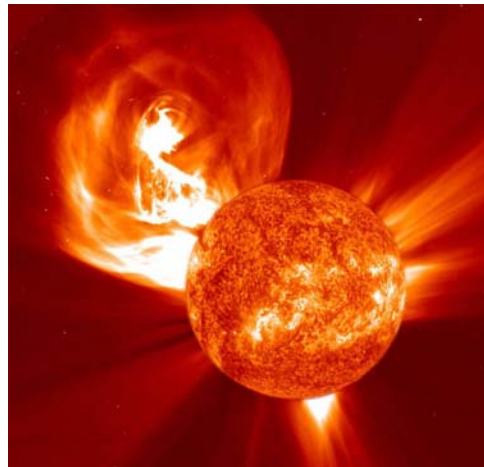
მზის ამოფრქვევები (flares)

დამაგნიტებული პლაზმის “აფეთქებები” მზის ლაქების მახლობლობაში – Flare (გაელვება)

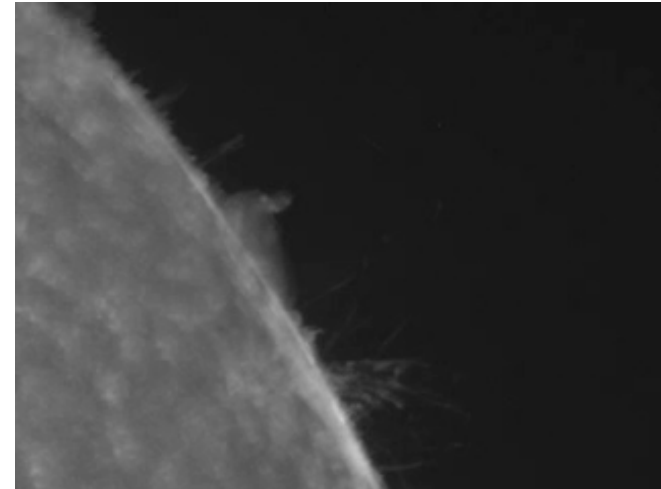


კორონალური მასის ამოფრქვევა (CME)

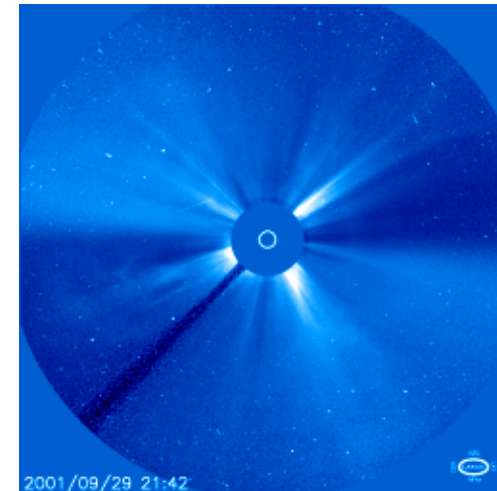
მზის პლაზმის ამოფრქვევები რომლებიც მოწყდებიან მზის მიზიდულობას და ვრცელდებიან ღია კოსმოსში (მზის სისტემაში)



მზის ამოფრქვევები



კორონალური მასის ამოფრქვევა



მზის ქარი

დამუხტული ნაწილაკების (მსუბუქი იონების) მიმართული ნაკადი
“ჩაყინული” მაგნიტური ველები

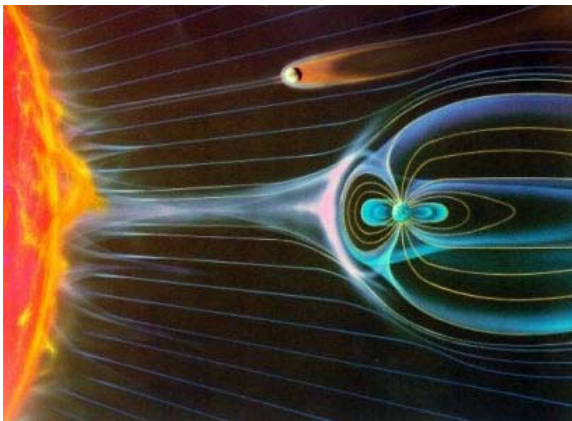
~ 50 ასტრონომიული ერთეული

- კომეტის კუდები;
- კოსმოსურ ხომალდებზე ზემოქმედება;

მზის ქარის იალქანი (თეორიული კონცეფცია)

მზის ქარი

ზემოქმედება დედამიწის მაგნიტოსფეროზე

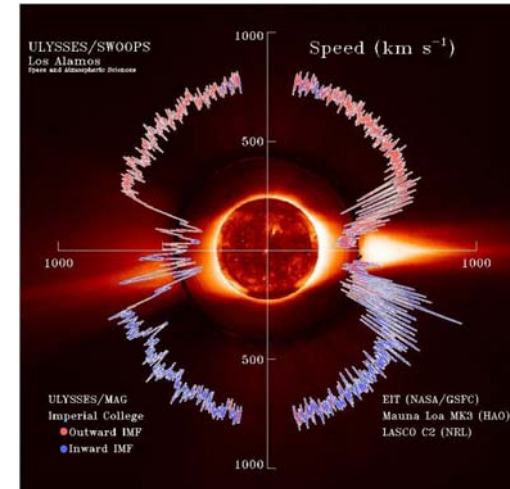


მზის ქარი

“სწრაფი” და “ნელი” მზის ქარი

სწრაფი ქარი პოლარული უბნებიდან

ნელი ქარი ეკვატორიული უბნებიდან



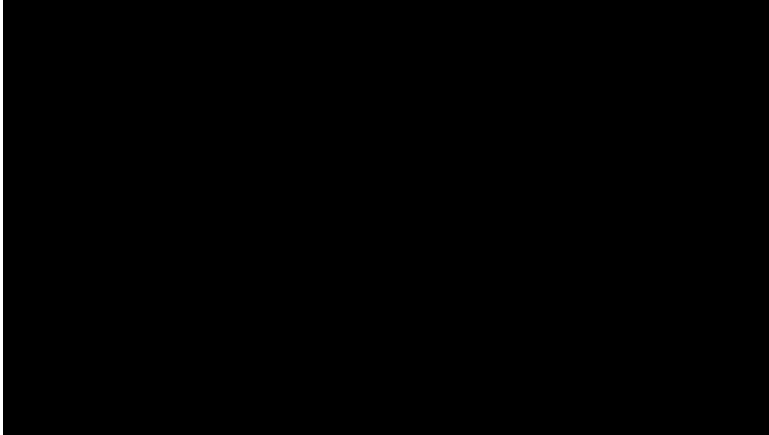
მზის ქარი

ავრორალური ნათება (პოლარული ციალი)

მზის ქარის დამუხტული ნაწილაკები დედამიწის მაგნიტურ პოლუსებთან ახლოს აღწევენ ატმოსფეროში და იწვევენ ნათებას

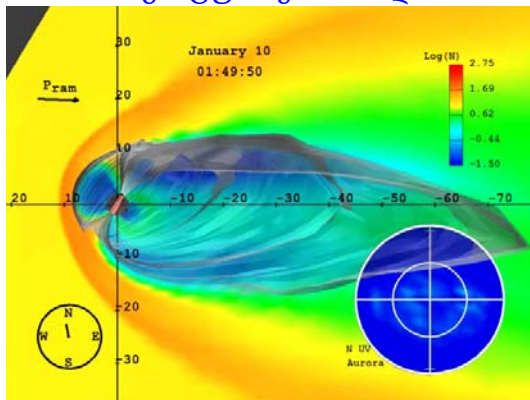


ჩრდილოეთ პოლარული ნათება (aurora borealis)



კორონალური მასის ამოფრქვევა (CME)

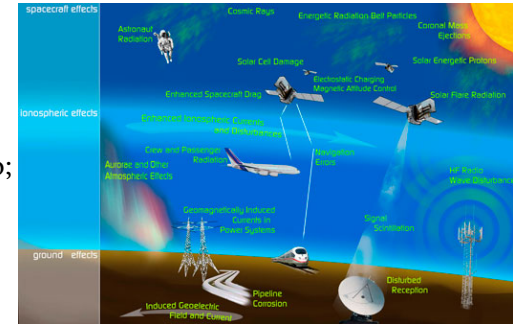
ურთიერთქმედება დედამიწის მაგნიტურ ველთან:
მაგნიტური ქარიშხალი



კოსმოსური ამინდი

მზის ქარის და კორონალური მასის ამოფრქვევების ეფექტი დედამიწაზე. ზემოქმედება:

- სატელიტებზე;
- ნავიგაციის სისტემები;
- რადიოკავშირი;
- ელექტრო და ნავთობსადენები;
- მგზავრების დასხივება;



მაგნიტური ველი

მზის ლაქები:

მაგნიტური ანომალიები მზის ოპტიკურ ზედაპირზე

მზის მაგნიტური ველი:

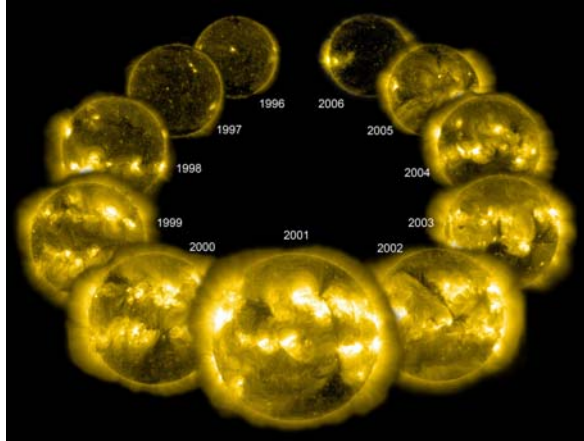
- მცირე მასშტაბოვანი ქაოსური კომპონენტები;
- დიდმასშტაბოვანი რეგულარული კომპონენტი;

დიპოლური ველი: მაგნიტური პოლუსები

პერიოდულობა: 22 წელი

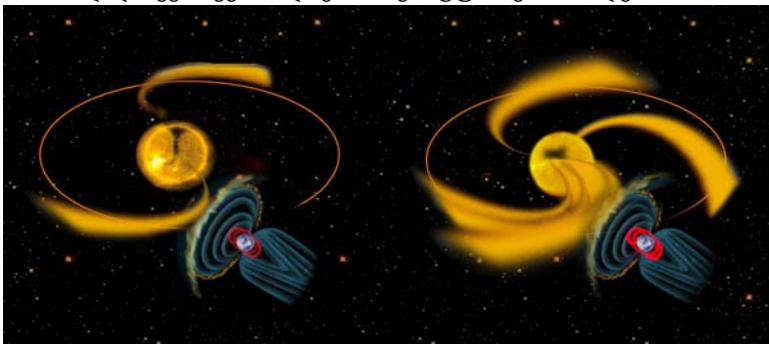
მზის მაგნიტური ციკლი

მზის ლაქების ცვალებადობა: 22 წლიანი ციკლი

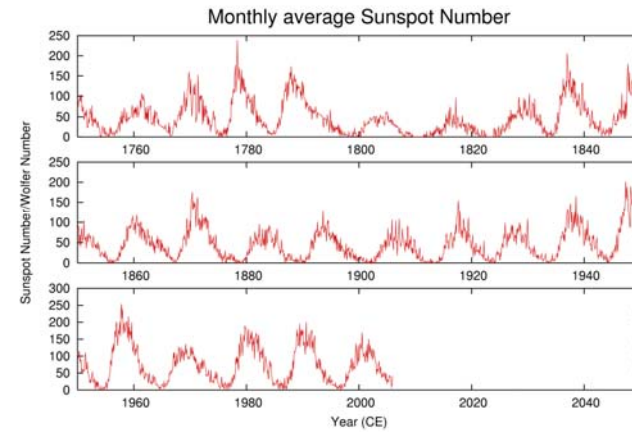


მზის ციკლის ზემოქმედება დედამიწაზე

მზის აქტივობის მაქსიმუმში მზის ზედაპირზე მატულობს ლაქების რიცხვი, საიდანაც ხშირად გამოიყოფიან გავარვარებული პლაზმა. მაქსიმუმის დროს დედამიწაზე უფრო ხშირად დაიკვირვება ძლიერი მაგნიტური ქარიშხლები.



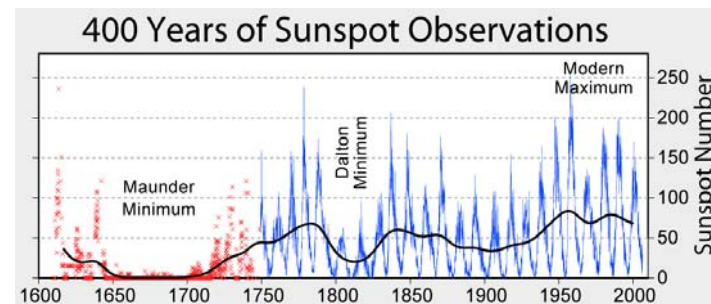
მზის მაგნიტური ციკლი



მაუნდერის მინიმუმი

მაგნიტური ციკლის “ჩავარდნა” (1650–1700)

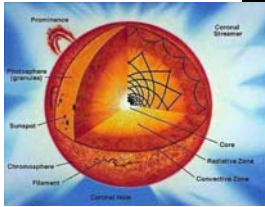
მზის მაგნიტური დინამო მექანიზმის პრობლემა



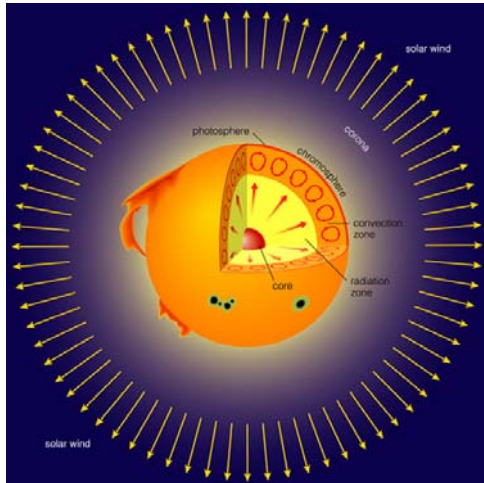
ჰელიოსეისმოლოგია

მზის ზედაპირის სეისმოლოგია

წნევის ტალღების / ვიბრაციის დაკვირვება გვაძლევს იმფორმაციას მზის შიდა აგებულებაზე

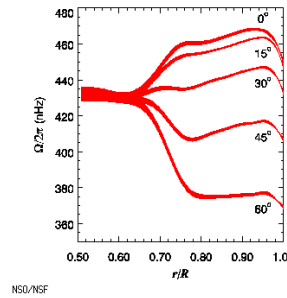
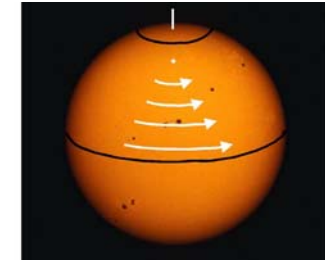


მზის სტრუქტურა



დიფერენციალური ბრუნვა

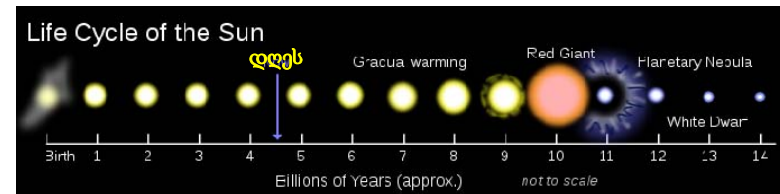
ზედაპირის დიფერენციალური ბრუნვა



სიღრმისეული ფენების დიფერენციალური ბრუნვა

მზის ევოლუცია

მზე იმყოფება ევოლუციის სტაბილურ (მზა) ეტაპზე



სიცოცხლის ბოლოს მზე გაფართოვდება 1AU-ზე მეტ რადიუსზე ☹
 ევოლუციის ბოლო ეტაპი: თეთრი ჯუჯა

მზე და სამყარო*შეფასებები*

მზის ასაკი: ~4.5 მილიარდი წელიწადი
 სამყაროს ასაკი: ~12 მილიარდი წელიწადი

პირველი თაობა: ჩვენს სამყაროში პირველად ანთებული ვარსკვლავები (წყალბადის გიგანტები)

მეორე თაობა: პირველი თაობის დაღუპვის შემდეგ გაჩენილი ვარსკვლავები;

მზე: “მესამე თაობის ვარსკვლავი”

www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები 11. 1,2,3.



სამეცნიერო აკადემიის სსიპი

ლექცია 5

ვარსკვლავები, გამოსხივების სპექტრი
 სპექტრული კლასიფიკაცია,
 HR დიაგრამა

ვარსკვლავები



სხვადასხვა სიკაშკაშის და ფერის ობიექტები

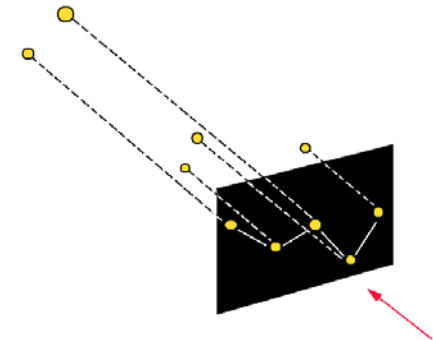
წინა ლექციაში

- მზე
- მზის ბირთვი და ატმოსფერო
- მზის მაგნიტური ველი
- მზის ქარი
- მზის ევოლუცია

ვარსკვლავები

ვარსკვლავის ხილული ნათობა დამოკიდებულია მის აბსოლუტურ ნათობასა და მანძილზე, რომლითაც იგი ჩვენგან არის დაშორებული

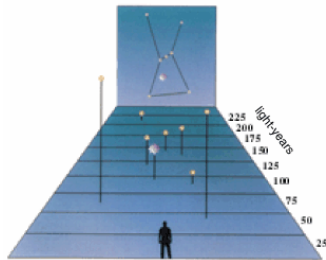
დედამიწიდან ვაკვირდებით ვარსკვლავების გამოსახულებას (პროექციას) ცის თაღზე



ორიონის თანავარსკვლავედი

თანავარსკვლავედი: ერთმანეთს დაშორებული ვარსკვლავები, რომელებიც ახლოს არიან შესახედავად

ორიონის თანავარსკვლავედი



ოპტიკური სისტემატიზაცია

აბსოლუტური ნათობა:

ვარსკვლავის ოპტიკური გამოსხივება;

ხილული ნათობა:

დედამიწამდე მოსული სინათლე;

დედამიწიდან დაკვირვებები:

მანძილი დედამიწამდე + ატმოსფერული შთანთქმა

ჰიპარქოს სისტემა: 6 სიდიდის ვარსკვლავები;

თანამედროვე სისტემა: ვარსკვლავიერი სიდიდე

ვარსკვლავები

სიკაშკაშე

(აბსოლუტური ნათობა, მასა, რადიუსი)

მანძილი დედამიწამდე

(მდებარეობა, ხილული ნათობა)

ფერი

(ზედაპირული ტემპერატურა, სპექტრი, ქიმიური შემადგენლობა, ...)

ვარსკვლავიერი სიდიდე

$$m = -2.5 \log (F/F_0)$$

m – ვარსკვლავიერი სიდიდე

F – ოპტიკური ნაკადი

F₀ – ნორმირება საყრდენ ვარსკვლავზე

საყრდენი ვარსკვლავი: ვეგა

ლოგარითმული სკალა

$$m_1 - m_2 = -5, F_1 / F_2 = 100$$

$$m_1 - m_2 = -10, F_1 / F_2 = 10000$$



ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

- 26.73 მზე
- 12.774 სავსე მთვარე (მზე / 449 000)
- 4.67 ვენერა (მაქს. ხილული სიდიდე)

- 4 დღის განმავლობაში დანახვადი სიდიდე:
დღის ცის (ცისფერი) ნათება

- 2.94 იუპიტერი
- 2.91 მარსი

ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

- 7.78 ნებტუნი (პლანეტა, მაქს. ნათება)
- 13.67 პლუტონი (ჯუჯა პლანეტა, მაქს. ნათება)

- 27 8 მეტრიანი ოპტიკური ტელესკოპით
დედამიწის ზედაპირიდან შეღწევადობის
ზღვარი

- 31.5 ჰაბლის კოსმოსური ტელესკოპის
შეღწევადობის ზღვარი

ზოგიერთი ვარსკვლავიერი სიდიდე

- 1.47 სირიუსი (მზის შემდეგ ყველაზე კაშკაშა
ვარსკვლავი)
- 0 ვეგა (საყრდენი ხილული სიდიდე)

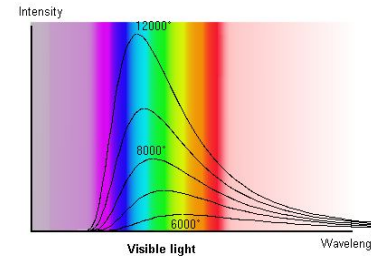
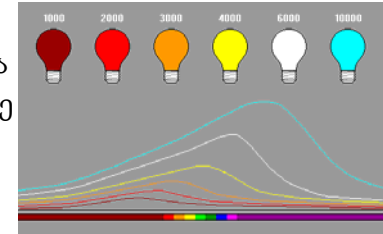
- 3...4 ქალაქიდან შეუიარაღებელი თვალით
ხილვის ზღვარი

- 5.42 ურანი (პლანეტა, მაქს. ნათება)

- 6.5 ღამის ცაზე თვალთ ხილვის ზღვარი

ვარსკვლავთა გამოსხივება

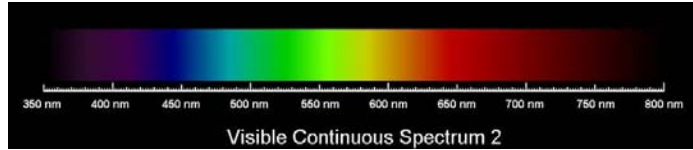
ვარსკვლავის ფერი:
ეფექტური ტემპერატურა
ვარსკვლავის ზედაპირზე



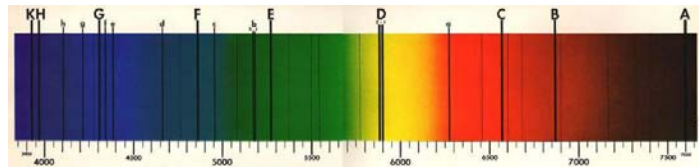
გამოსხივების სპექტრი:
გამოსხივების სიმძლავრე
სხვადასხვა ტალღის
სიგრძეზე (სიხშირეზე)

გამოსხივების სპექტრი

უწყვეტი სპექტრი (სითბური გამოსხივება)



სპექტრული ხაზები (ქიმიური შემადგენლობა)

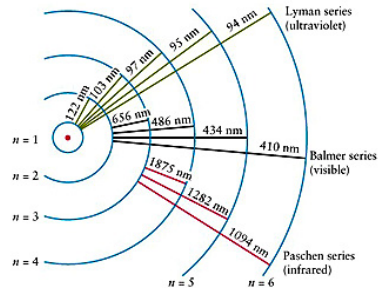


სპექტრული ხაზების სერიები

სპექტრული ხაზი:
ელექტრონის ერთი
ორბიტიდან მეორეზე
გადასვლა

ორბიტები და ხაზები:
დისკრეტული
სერიები:

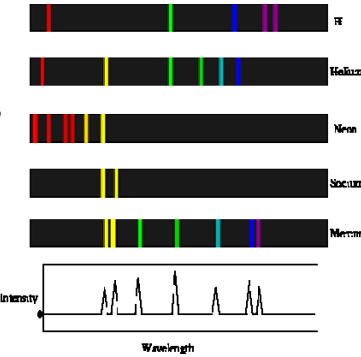
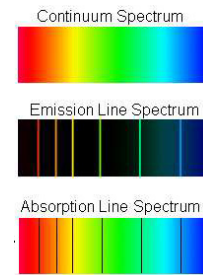
ლაიმანის, ბალმერის, პაშენის.



წყალბადის ატომის ბალმერის სერია

სპექტრული ანალიზი

სპექტრული ხაზები:
გამომსხივებელი გარემოს
ქიმიური შემადგენლობა

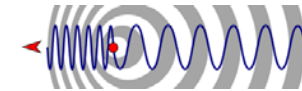


გამოსხივების და
შთანთქმის ხაზები

დოპლერის ეფექტი

ტალღის სიგრძის (სიხშირის) ცვლილება
წყაროს და დამკვირვებლის ერთმანეთის მიმართ
მოძრაობის დროს

ტალღის სიგრძე მცირდება
თუ დამკვირვებელი და წყარო
ერთმანეთის უახლოვდებიან
და იზრდება თუ შორდებიან



დოპლერის ეფექტი

ტალღის სიგრძის ცვლილება დამოკიდებულია ტალღის სიჩქარესა და დამკვირვებლისა და წყაროს ერთმანეთის მიმართ მოძრაობის სიჩქარის

რაც მეტია სიჩქარე, მით მეტია **დოპლერის წანაცვლება**

ბგერითი ტალღა: სიხშირის ცვლილება: ბგერის ტონის მომატება ან დაკლება

ელექტრომაგნიტური ტალღა: სიხშირის ცვლილება სინათლის “ფერის” ცვლილება

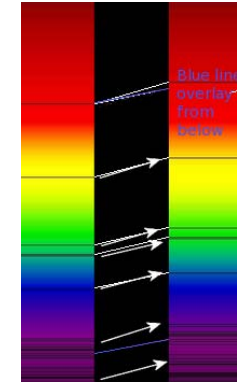
წითელი და ლურჯი წანაცვლება

სპექტრული ხაზები

წანაცვლება: (დოპლერის ეფექტი)
ლურჯი წანაცვლება: დაახლოება
წითელი წანაცვლება: დაშორება

ხაზის გაფართოება:
ატომების ქაოსური მოძრაობები
სითბური; ტურბულენტური

ხაზის გახლეჩვა:
(ელექტრომაგნიტური ველი)

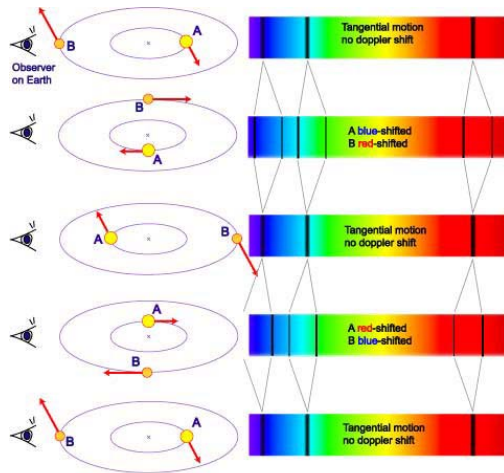


წითელი წანაცვლების მაგალითი

ორმაგი სისტემის სპექტრი

ორი ვარსკვლავის
ბრუნვა
ერთმანეთის
გარშემო

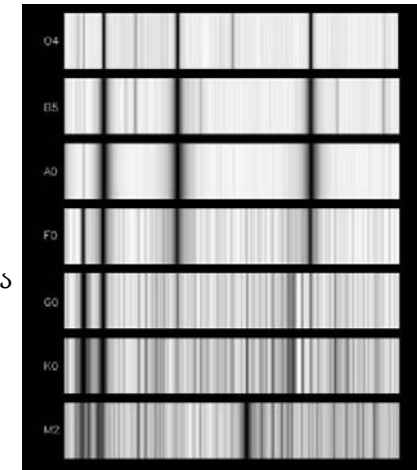
სპექტრული
ხაზების
მკაცრად
პერიოდული
გახლეჩვა



იზოლირებული ვარსკვლავის სპექტრები

ფერი:
ვარსკვლავის
ეფექტური
ტემპერატურა

სპექტრი:
ქიმიური შემადგენლობა
წყალბადი;
მძიმე ელემენტები;
“მეტალურობა”

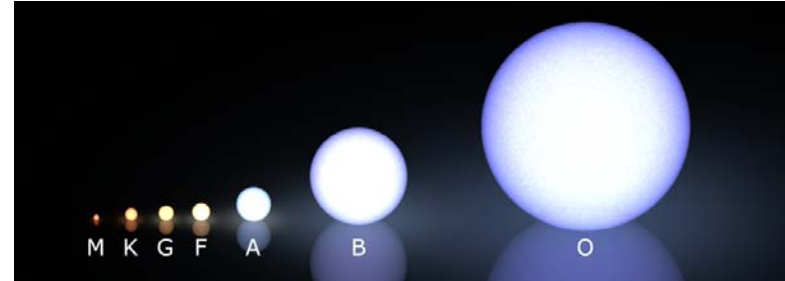


სპექტრული კლასიფიკაცია

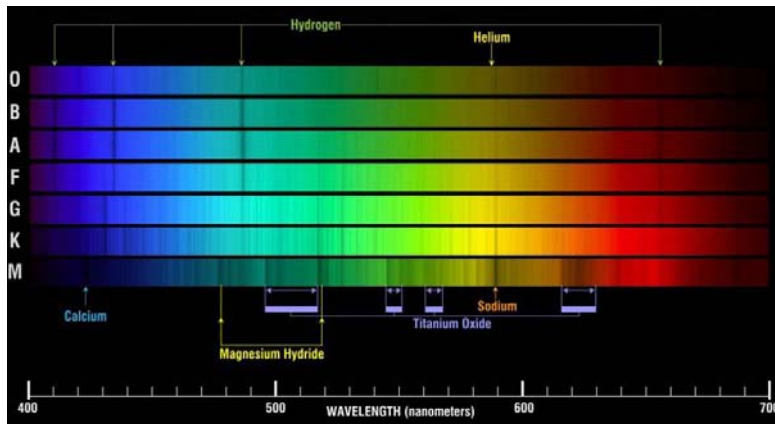
	კლასი	ტემპერატ. შპრი	მასა რაღ.			Main Sequence Lifespan			
	Spectral Class	Effective Temperature (K)	H Balmer Features	Other Features	M/M _{sun}		R/R _{sun}	L/L _{sun}	
O	O	28,000 - 50,000	Blue	weak	ionised He ⁺ lines, strong UV continuum	20 - 60	9 - 15	90,000 - 800,000	1 - 10 Myr
B	B	10,000 - 28,000	Blue-white	medium	neutral He lines	3 - 18	3.0 - 8.4	95 - 52,000	11 - 400 Myr
A	A	7,500 - 10,000	White	strong	strong H lines, ionised metal lines	2.0 - 3.0	1.7 - 2.7	8 - 55	400 Myr - 3 Gyr
F	F	6,000 - 7,500	White-yellow	medium	weak ionised Ca ⁺	1.1 - 1.6	1.2 - 1.6	2.0 - 6.5	3 - 7 Gyr
G	G	4,900 - 6,000	Yellow	weak	ionised Ca ⁺ , metal lines	0.85 - 1.1	0.85 - 1.1	0.66 - 1.5	7 - 15 Gyr
K	K	3,500 - 4,900	Orange	very weak	Ca ⁺ , Fe, strong molecules, CH, CN	0.65 - 0.85	0.65 - 0.85	0.10 - 0.42	17 Gyr
M	M	2,000 - 3,500	Red	very weak	molecular lines, eg TiO, neutral metals	0.08 - 0.05	0.17 - 0.63	0.001 - 0.08	56 Gyr

სპექტრული კლასები

სხვადასხვა სპექტრული კლასის ვარსკვლავების მასის, ფერის და ზომის პირობითი ვიზუალიზაცია



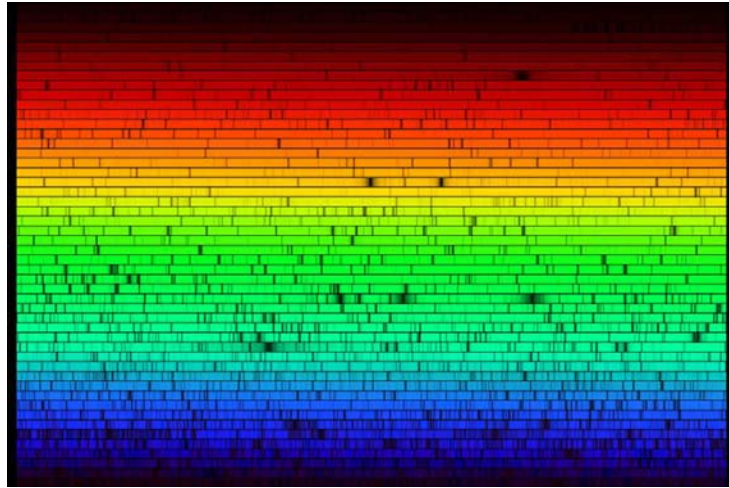
ტიპური სპექტრები



ვარსკვლავების ნათობის კლასები

- O** ექსტრემალური გიგანტები
- Ia** კამკაშა სუპერგიგანტები
- Ib** სუპერგიგანტები
- II** კამკაშა გიგანტები
- III** გიგანტები
- IV** სუბ-გიგანტები (ქვეგიგანტები)
- V** ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი
- SD** სუპერ ჯუჯა
- D** ჯუჯა

მზის გამოსხივების სპექტრი (G2V)

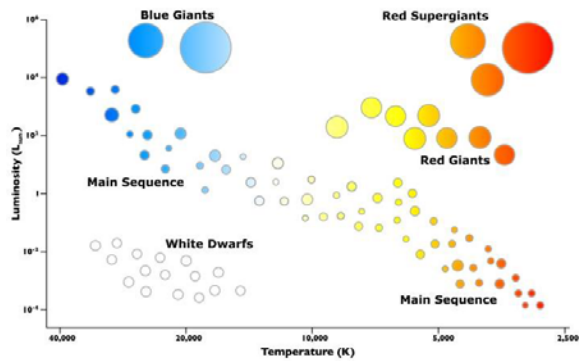


ვარსკვლავების სპექტრები



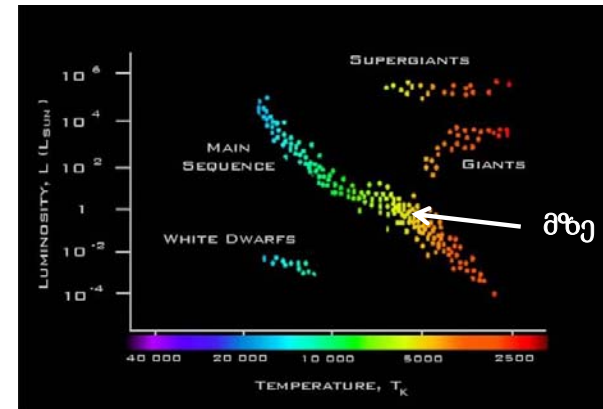
ჰერცშპრუნგ-რასელის (HR) დიაგრამა

აბსოლუტური ნათობისა და სპექტრული კლასის (ტემპერატურის) დამოკიდებულება

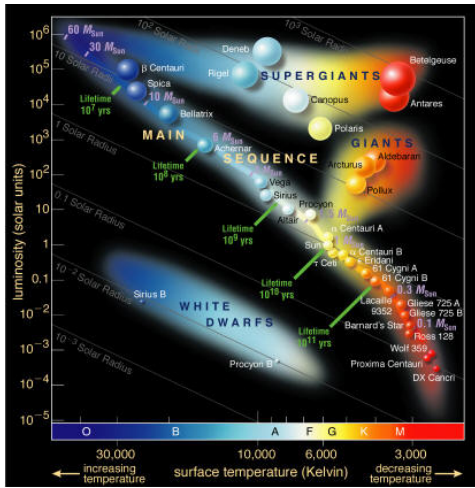


HR დიაგრამა

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავები, ჯუჯები და გიგანტები



HR ფიზიკური ვიზუალიზაცია



ვარსკვლავების ენერჯის წყაროები

უძრობის ენერჯია: $E_m = m C^2$

ბირთვული დაშლა (ურანი) $\sim 0.1\% E_m$
 თერმობირთვული სინთეზი (წყალბადი) $\sim 0.5\% E_m$

მსუბუქი ელემენტების ბირთვული შერწყმა და მძიმე ქიმიური ელემენტების სინთეზი ენერჯის გამოყოფით
 (ანალოგი: წყალბადის თერმობირთვული ბომბი)

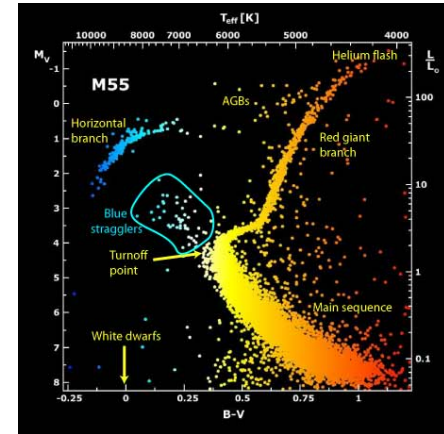
ვარსკვლავური ნუკლეოსინთეზი

ვარსკვლავების გროვების დიაგრამები

წარმოშობის ისტორია და ფიზიკა

გალაქტიკა M55

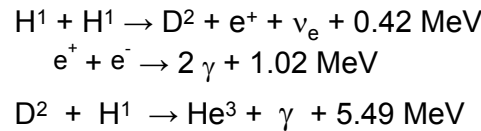
მცირე ქვეკლასები



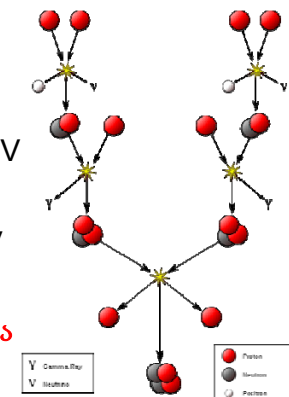
P-P ჯაჭვი (M_{\odot})

ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში: $5 - 15 \times 10^6 K$

პროტონ-პროტონული ჯაჭვი



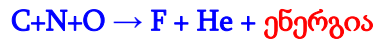
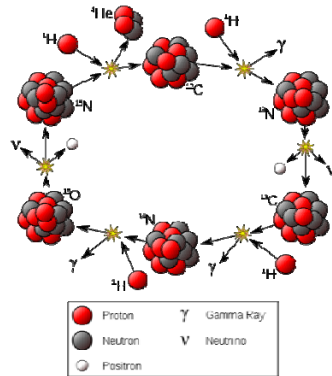
წყალბადი \rightarrow ჰელიუმი + ენერჯია



CNO ჯაჭვი ($M > 1.5 M_{\odot}$)

ტემპერატურა ვარსკვლავის ცენტრში: $> 20 \times 10^6 \text{ K}$

- C - ნახშირბადი
- N - აზოტი
- O - ჟანგბადი



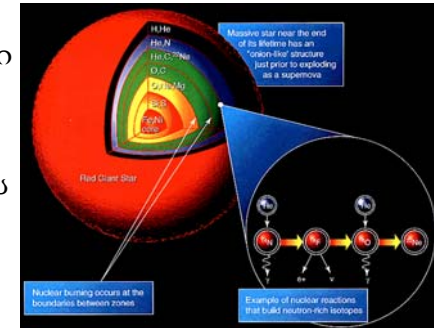
www.tevza.org/home/course/universe2012

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

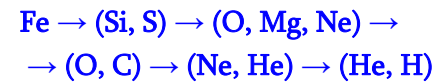
- ქვეთავები 8.1, გვ.202–205
- 8.2 გვ.219–224

სტრუქტურა

ვარსკვლავის ქიმიური შემადგენლობა თერმობირთვული საწვავის გამოლევისას



ბირთვიდან გარე ფენებისაკენ:





სამყაროს ევოლუცია

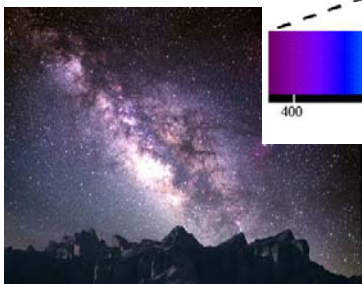
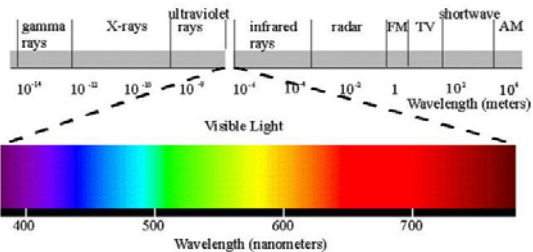
ლექცია 6

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

ბილული სამყარო

ადამიანის თვალი ხედავს ელექტრომაგნიტური სპექტრის მხოლოდ მცირე უბანს:

ოპტიკური უბანი



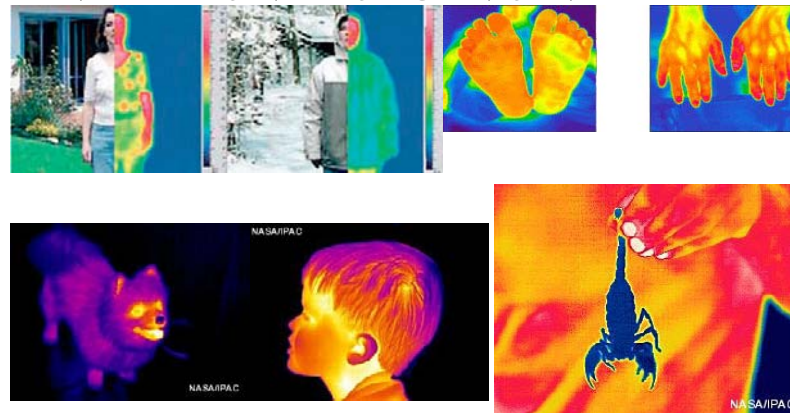
ცის ოპტიკური გამოსახულება ინფორმაციის მცირე ნაწილი

წინა ლექციაში

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

ინფრაწითელი სამყარო

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



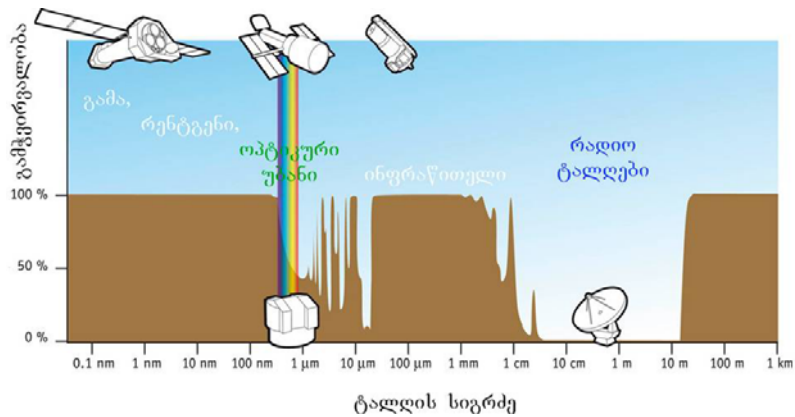
ოპტიკური გამოსახულებასამყარო

სამყარო ხილულ უბანში



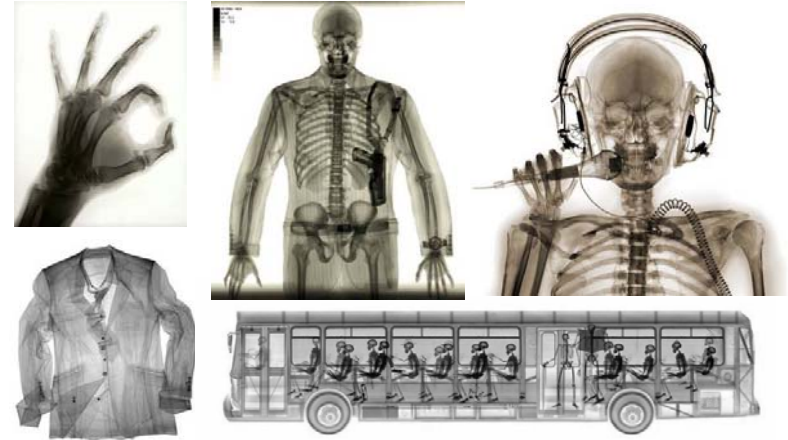
დაკვირვებები დედამიწიდან

ატმოსფეროს გამჭვირვალობა ელექტრომაგნიტური ტალღების სხვადასხვა დიაპაზონში



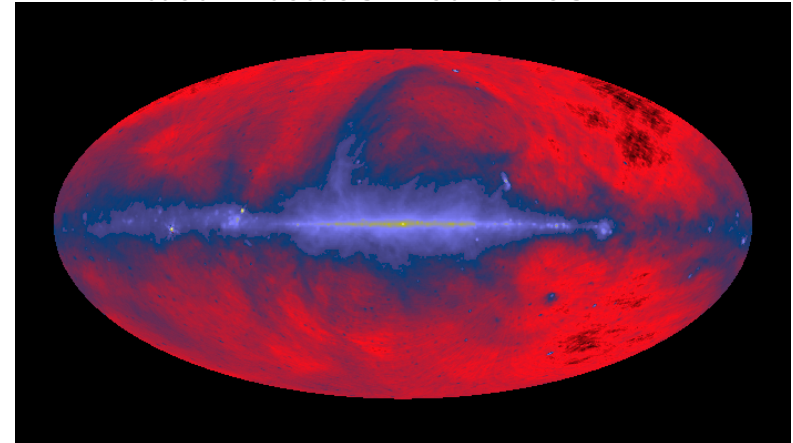
რენტგენული სამყარო (X-ray)

ადამიანის თვალისათვის უხილავი დიაპაზონი



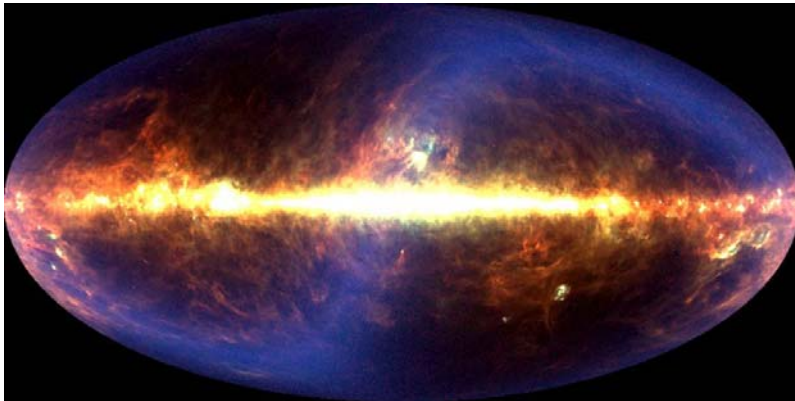
რადიო დიაპაზონი

ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ~1K



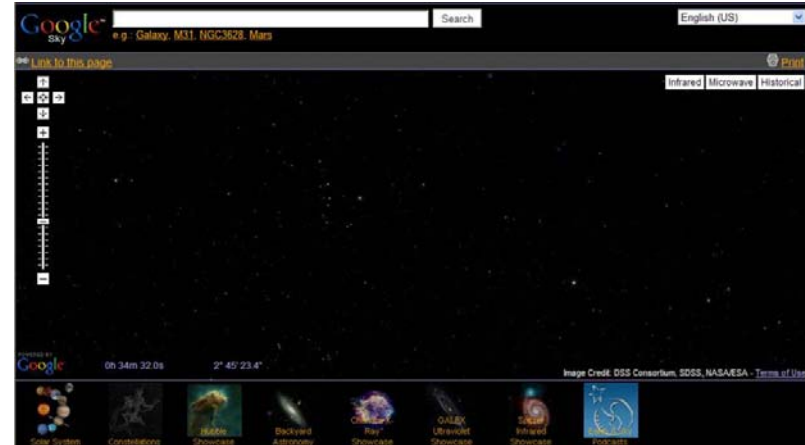
ინფრაწითელი დიაპაზონი

ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ~100K



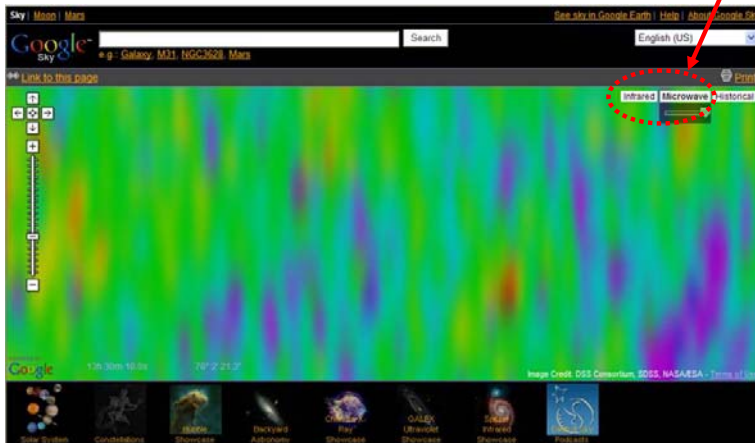
თვალით ხილული (ოპტიკური) დიაპაზონი

www.google.com/sky



ინფრაწითელი და მიკროტალღოვანი

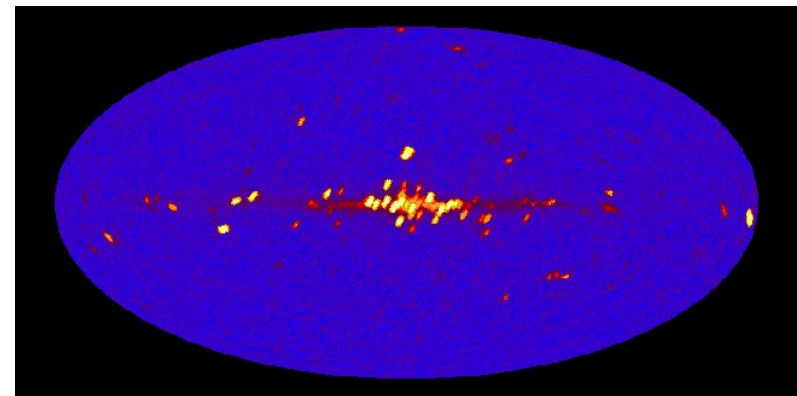
www.google.com/sky



რენტგენული დიაპაზონი (X-ray)

ფოტონის ენერგია: 10^3-10^4 eV

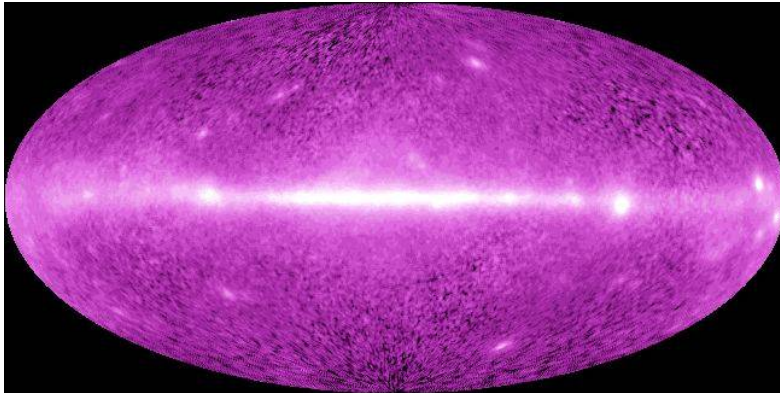
ობიექტების ეფექტური ტემპერატურა: ($\sim 10^8$ K)



გამა დიაპაზონი

ფოტონის ენერგია: 10^6-10^9 eV

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



მოლეკულური ღრუბლები

გრავიტაციულად
შეკავებული ცივი
მოლეკულური
გაზი

შთანთქავს ფონური
ვარსკვლავების
გამოსხივებას



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

ვარსკვლავების ევოლუცია

მოლეკულური ღრუბლები და ვარსკვლავთშორისი
გაზი: ვარსკვლავთწარმოშობის არეები

ევოლუციის მიმართულება:

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

ვარსკვლავთ წარმოშობა

თვითგრავიტაციის
ძალებით
გაზის
ვარსკვლავებში
კოლენსაცია

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 ადრეული ეტაპი:

პროტოვარსკვლავი

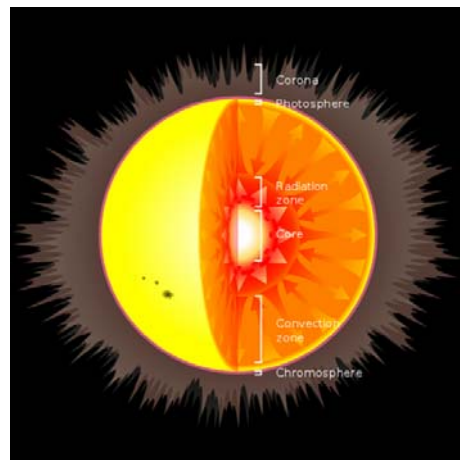
მნათობი + ნარჩენი გაზი



ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი

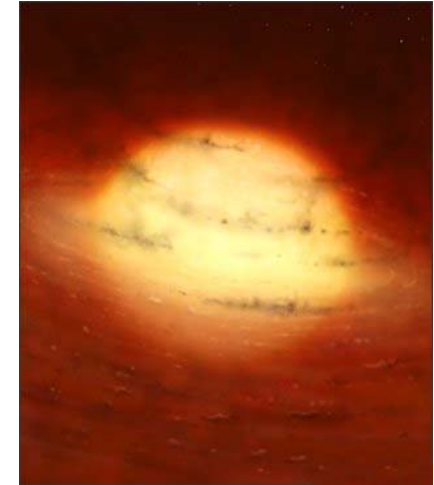
ევოლუციის სტაბილური ეტაპი

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



პროტოვარსკვლავი

პროტოვარსკვლავი შთანთქმავს მის ირგვლივ არსებულ აირად მატერიას და წარმოქმნის ახალგაზრდა ვარსკვლავს

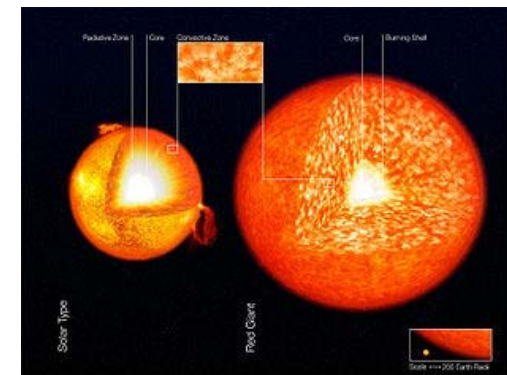


წითელი გიგანტი

ვარსკვლავის ბირთვის თერმობირთვული “გამოწვის” პროცესი:

ტემპერატურისა და რადიუსის წელი მატება

უარყოფითი სითბოტევადობა

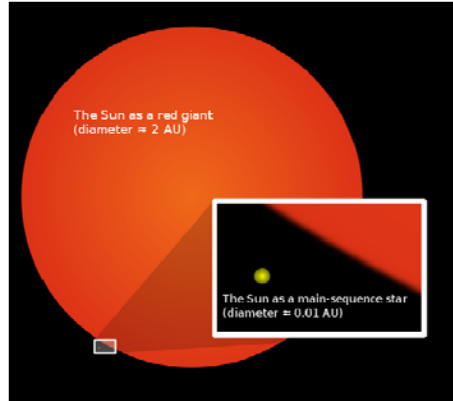


მზის მომავალი: წითელი გიგანტი

მზის რადიუსის მატება:

>200 R_{მზე}
> 2 ა.ე.

პლანეტების
შთანთქმა
(დედამიწა ☹)



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



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. თერმოზირთ. რეაქციები)

ფეთქებადი ნუკლეოსინთეზი

ვარსკვლავის აფეთქება

ზეახალი: დაკვირვებები

ტიხო ბრაჟე 1572:

ახალი მნათობის აღმოჩენა ცაზე



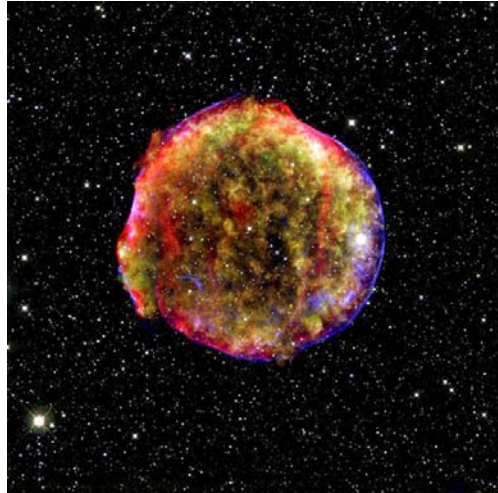
ზეახალი: დაკვირვებები

SN 1572

B Cassiopeiae

სურათი
დღეს

ზეახალის
აფეთქების
ნარჩენი

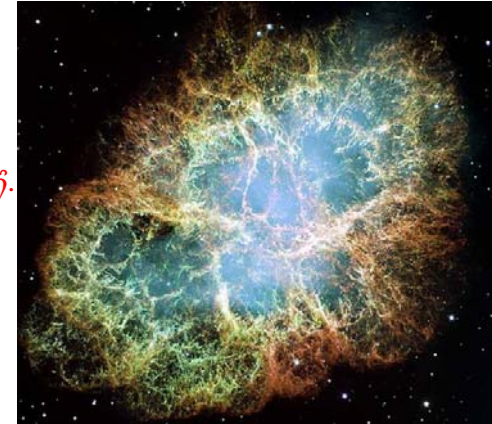


ზეახალის ნარჩენები

კიბორჩხალას ნისლეული

ჩინელი და არაბი
ასტრონომების
დაკვირვებები
ზეახალი 1054 ჩვ.წ.

დღეს:
ნარჩენი
ნისლეული



ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



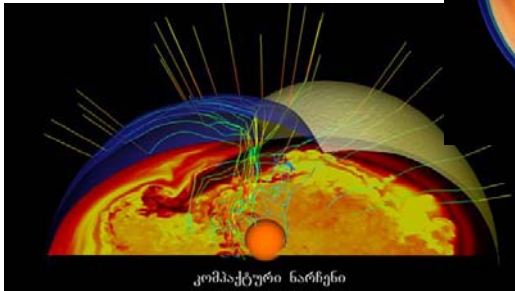
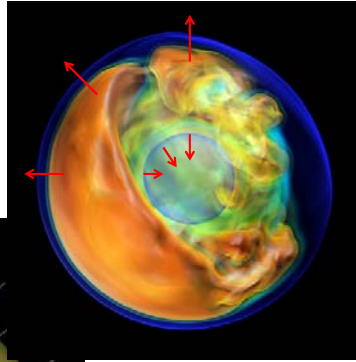
ზეახალი: დაკვირვებები

Helix Nebula



ზეახალი: რიცხვითი მოდელირება

აფეთქება გარეთ;
შეკუმშვა შიგნით:
ზეახლის ნარჩენი



ზეახლის 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)

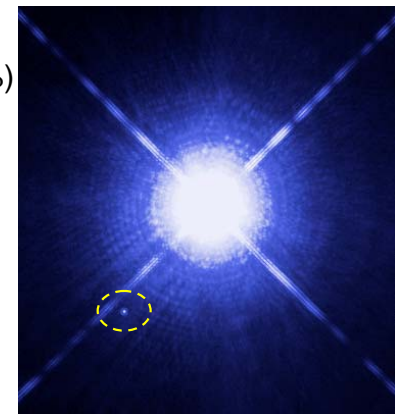
ზეახალი ვარსკვლავი (Ia)



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: $2.5 \cdot 10^9 \text{ კგ/მ}^3$
 მანძილი დედამიწამდე:
 8.6 ს.წ.
 აღმოჩენის თარიღი:
 1862



თეთრი ჯუჯები

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

ნათების ენერჯის 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

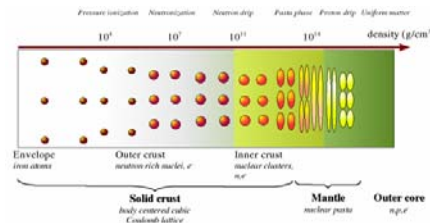
ზეახალის ნარჩენი ობიექტის მასა: $1.4 - 3 M_{\text{გზე}}$

გადაგვარებული ნეიტრონული სითხე

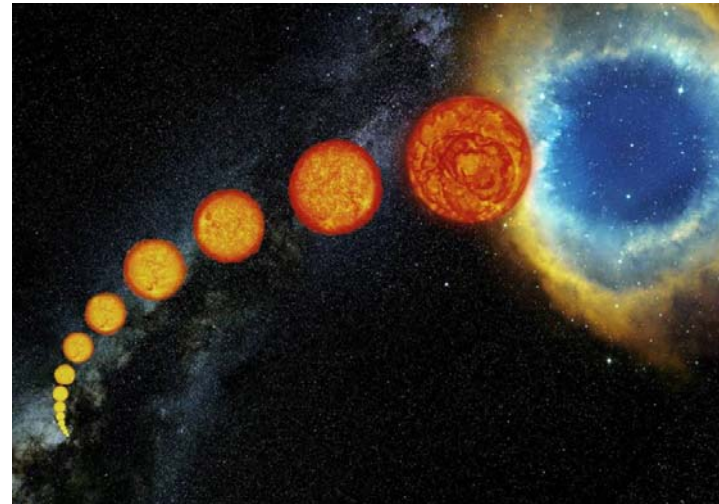
(ქვანტური ნივთიერება)

ატომის ბირთვის სიმკვრივის ვარსკვლავი

კვარკული
ნივთიერება



მზის მომავალი

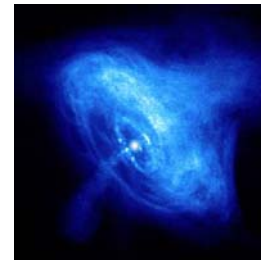


ნეიტრონული ვარსკვლავი

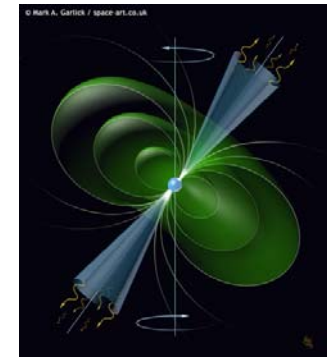
კიბირჩხალას ნისლეულის პულსარი:

ძლიერი მაგნიტური ველი და სწრაფი ბრუნვა:

ვარსკვლავის მიმართული გამოსხივება – პულსაცია



რენტგენის სპექტრულ უბანში

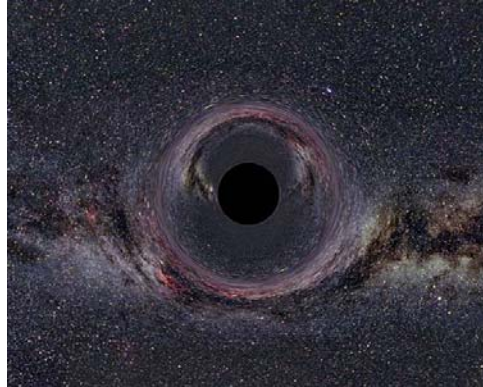


შავი ხვრელი

ცენტრალური ნარჩენი ობიექტის აბსოლუტური გრავიტაციული კოლაფსი

$$M > 3.6 M_{\text{ზოე}}$$

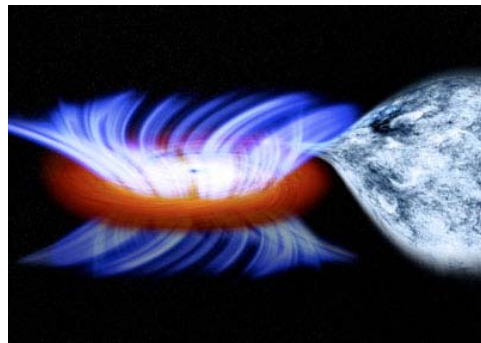
ფოტონები
ჩაიჭირებიან
გრავიტაციულ
ორმოში



შავი ხვრელი

აკრეცია შავ ხვრელზე:
შავი ხვრელის ირგვლივ ჩამდინარე მატერიის
მორევი

ვარდნის პროცესში
ტემპერატურის
მატება და
გამოსხივება;

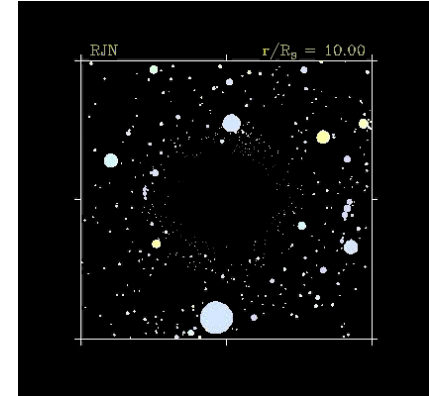


შავი ხვრელი

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის ობიექტი
სივრცე/დროის გამრუდება

იზოლირებული
შავი ხვრელები:

ვარსკვლავების
მოძრაობის
კინემატიკის
დათვლა;



შავი ხვრელი



www.tevza.org/home/course/universe2012



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 7

ჩვენი გალაქტიკა ირმის ნახტომი
 გალაქტიკის სტრუქტურა და
 დინამიკა

წინა ლექციაში

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



ჩვენი გალაქტიკა

Democritus (460-370 BC):

ჰიპოთეზა:

“ღამის ცის ნათელი ზოლი შედგება მრავალი მილიონი ვარსკვლავისაგან”



გალაქტიკის
 ინდივიდუალური
 ვარსკვლავების
 პირველი დაკვირვება:
 გალილეო გალილეი



გალაქტიკის ბრუნვა ღამის ცაზე



ჩვენი გალაქტიკა

ბერძნული სახელწოდება: **Galaxy (Γαλαξίας რძე)**
ინგლისურად: **Milky Way**
ქართული სახელწოდება: **ირმის ნახტომი**

სვადასხვა კულტურის თვალით ღამის ცაზე დანახული გალაქტიკა:

- იაპონია: “ზეციური მდინარე”
- ტაილანდი: “თეთრი სპილოს ნაკვალევი”
- კორეა: “ვერცხლის მდინარე”,
- სომხეთი: “თივის ქურდის ნაკვალევი”,

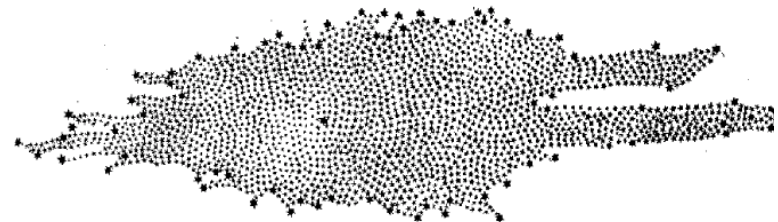
ჩვენი გალაქტიკა

გალაქტიკის ფოტოგრაფია გრძელი ექსპოზიციით



ჩვენი გალაქტიკა

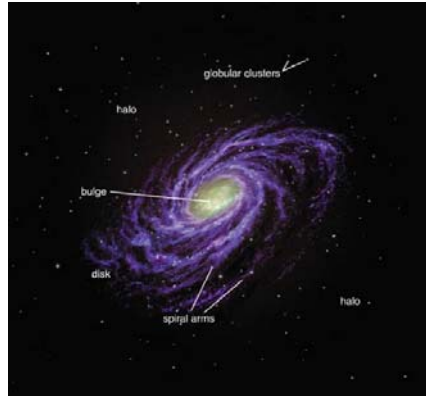
ჰერშელი (1785)
მახლობელ ვარსკვლავების დაკვირვებებზე დაფუძნებული ჩვენი გალაქტიკის პირველი (მცდარი) მოდელი: მზე გალაქტიკის ცენტრში



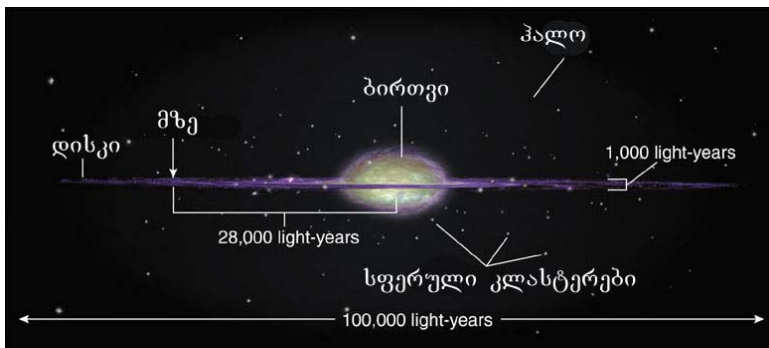
ჩვენი გალაქტიკა

ვარსკვლავების გროვის თვისებები:

- დისკური გროვა;
- ბრუნვა მასიური ცენტრის გარშემო;
- სპირალური სტრუქტურა;



ჩვენი გალაქტიკა



ჩვენი გალაქტიკის სტრუქტურა

გალაქტიკის ცენტრი;

ოვალური ფორმის მასიური ცენტრალური ნაწილი

გალაქტიკის დისკი;

- ბრუნვა ცენტრის გარშემო;
- სპირალური მხრები;

გალაქტიკის ჰალო;

გალაქტიკის ბრუნვის სიბრტყიდან ამოვარდნილი ობიექტები

ჩვენი გალაქტიკა

პარამეტრები:

- დიამეტრი: **100 000 ს.წ.** (~30 კილო პარსეკი)
- სისქე: **1 000 ს.წ.**
- ვარსკვლავების რაოდენობა: **100-400 მილიარდი** ($1-4 \cdot 10^{11}$)
- მასა: **$5.8 \cdot 10^{11} M_{\odot}$**
- ყველაზე ხანდაზმული ვარსკვლავი: **13.2 მილიარდი წელი**

მზე ჩვენს გალაქტიკაში

მზე: გალაქტიკის პერიფერია;

მანძილი ცენტრამდე: **25 000 ს.წ.**

ცენტრის ირგვლივ

ბრუნვის პერიოდი: **250 მილიონი წელი**

სპირალური სტრუქტურის

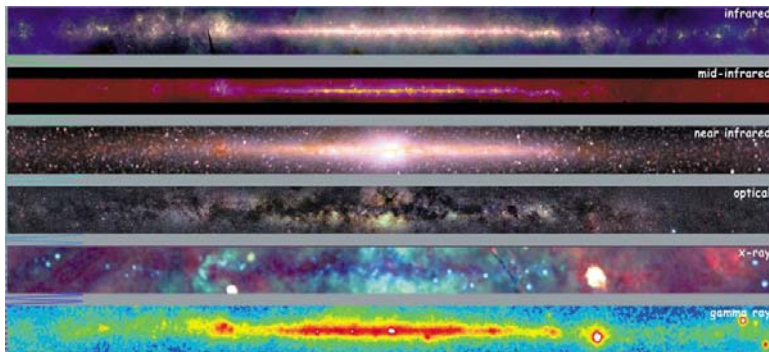
ბრუნვის პერიოდი: **500 მილიონი წელი**

ცენტრალური

ნაწილის ბრუნვის

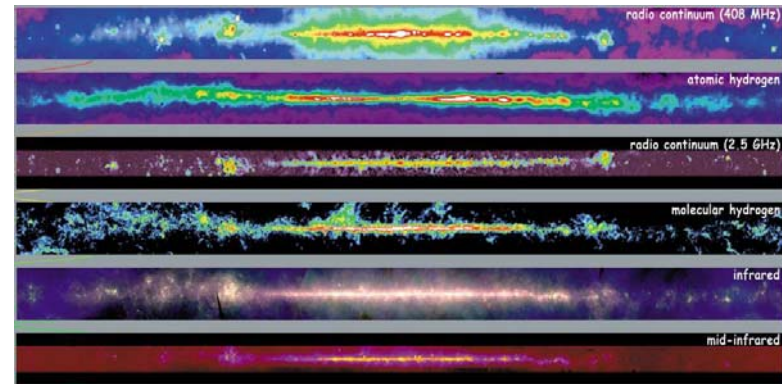
პერიოდი: **15–18 მილიონი წელი**

გალაქტიკა სხვადასხვა სპექტრულ უბანში



ინფრაწითელი, ოპტიკური, რენტგენი: ზეახლის ნარჩენები
გამა სხივები: ნეიტრონული ვარსკვ. აკრეციული დისკები

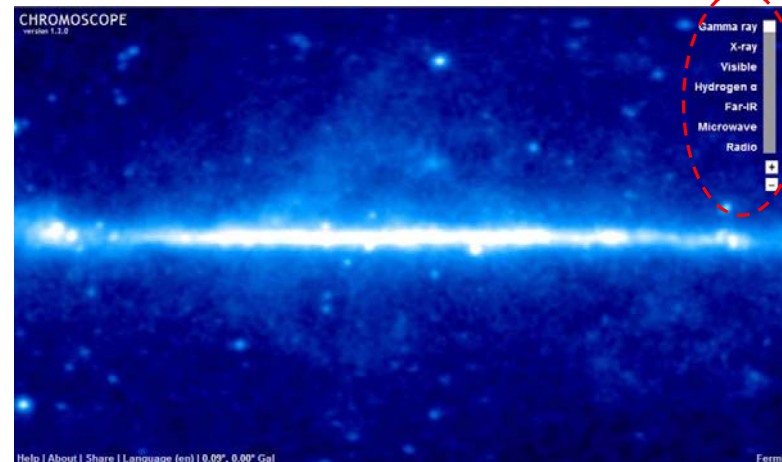
გალაქტიკა სხვადასხვა სპექტრულ უბანში



ინფრაწითელი: გალაქტიკის ცენტრი
ატომური და მოლეკულური წყალბადის განაწილება

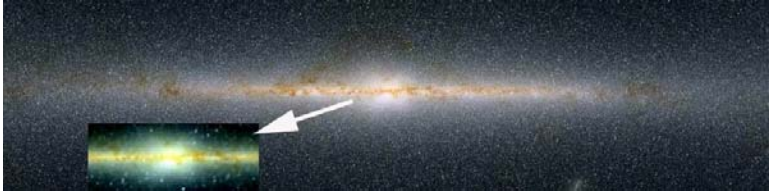
ჩვენი გალაქტიკა

<http://www.chromoscope.net/>



ჩვენი გალაქტიკა: ბირთვი

მასიური ცხელი ბირთვი;



ოპტიკური გამოსახულება:

– დიფუზიური გაზისა და მტვრის შთანთქმვა;

ინფრაწითელი გამოსახულება:

+ გალაქტიკის ბირთვი;

ჩვენი გალაქტიკა: ბირთვი



ოვალის სიგრძე: ~ 5–10 კილო პარსევი

პირდაპირი დაკვირვებები გართულებულია გარშემო დიდი რაოდენობით გაუმჭვირვალე დიფუზიური გაზის არსებობის გამო

ჩვენი გალაქტიკა: ბირთვი

ვარსკვლავების სიმკვრივე ბირთვში:

200 მილიონი ვარსკვლავი / 1 (ს.წ.)³

მზის მახლობლობაში ვარსკვლავების შორის საშუალო მანძილი: 4 ს.წ.

გალაქტიკის ცენტრი:

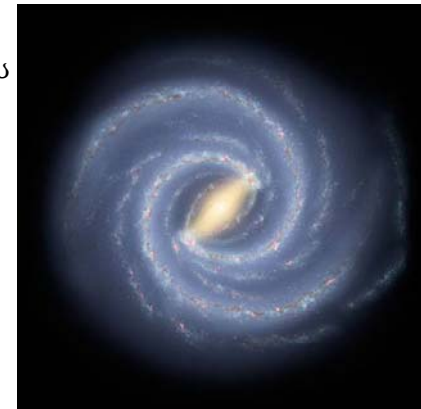
ზემასიური შავი ხვრელი: მასა $4 \cdot 10^6 M_{\odot}$

– სწრაფი მყარტანოვანი ბრუნვა;

– ბირთვის ოვალური ფორმა (central bar);

გალაქტიკური დისკი: სპირალები

ცენტრალური ბირთვის ირგვლივ ბრუნავს დისკურად განწილებული მილიარდობით ვარსკვლავი.



დისკის ნათობაში შეიმჩნევა სპირალური სტრუქტურა

გალაქტიკის სპირალებზე დაკვირვება



ჩვენი გალაქტიკა: სპირალები

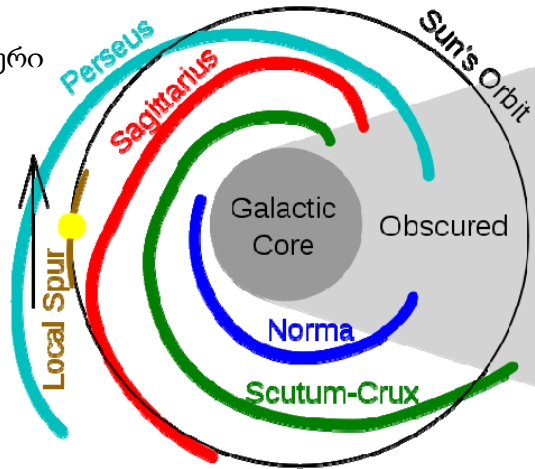
სპირალების გეომეტრია:

ლოგარითმული სპირალები: $r = a \exp(b\phi)$



ჩვენი გალაქტიკა: სპირალები

ინდივიდუალური
სპირალების
აღდგენა



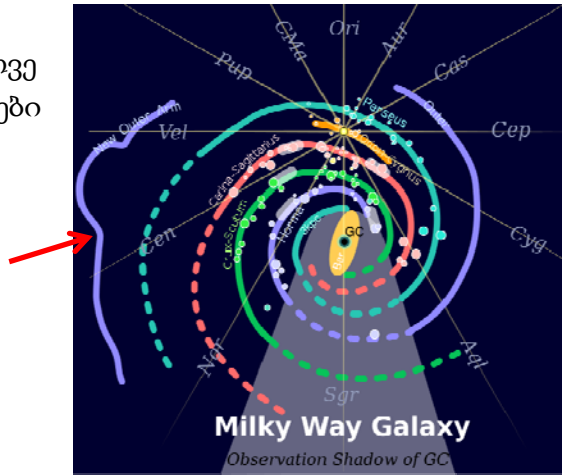
მზის ბრუნვა გალაქტიკაში



ჩვენი გალაქტიკა: სპირალები

თანამედროვე დაკვირვებები

ახალი გარე სპირალი



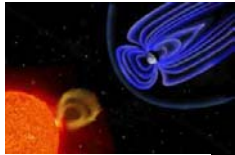
დედამიწა ჩვენს გალაქტიკაში

მაგნიტოსფერო: სივრცის ნაწილი, სადაც დომინირებს დედამიწის მაგნიტური ველი, რომელიც ეწინააღმდეგება მზის ქარს და იცავს დედამიწას დამუხტული ნაწილაკებისაგან.

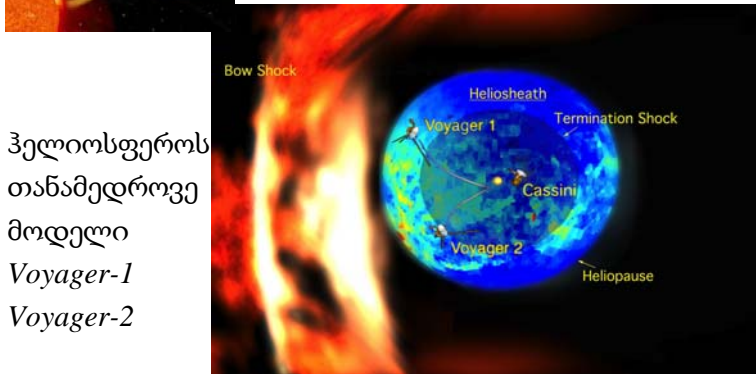
ჰელიოსფერო: სივრცის ნაწილი, სადაც დომინირებს მზის მაგნიტური ველი, რომელიც ეწინააღმდეგება ვარსკვლავურ ქარებს (გალაქტიკურ ქარს).

ვარსკვლავთშორისი გარემო: გარემო, სადაც დომინირებს გალაქტიკური ქარი და მაგნიტური ველები.

დედამიწა ჩვენს გალაქტიკაში



მაგნიტოსფერო



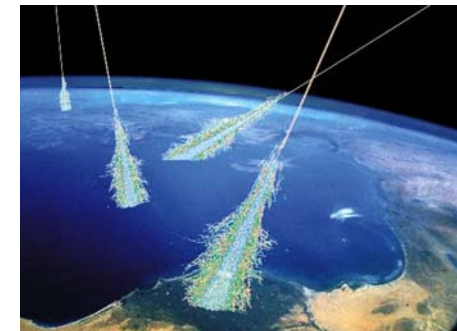
ჰელიოსფეროს თანამედროვე მოდელი
Voyager-1
Voyager-2

გალაქტიკური ქარი

მზის ქარის ანალოგიურად გალაქტიკიდან დედამიწას ეცემა მაღალენერგეტიკული იონების ნაკადი:

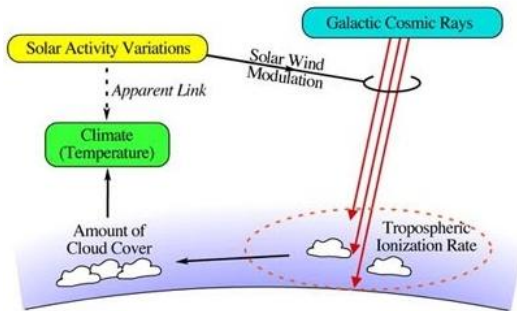
გალაქტიკური კოსმოსური სხივები

მაღალენერგეტიკული ნაწილაკი ატმოსფეროში შემოსვლისას იწვევს ნაწილაკების ზვავურ გაჩენას: "კოსმოსური შხაპი"



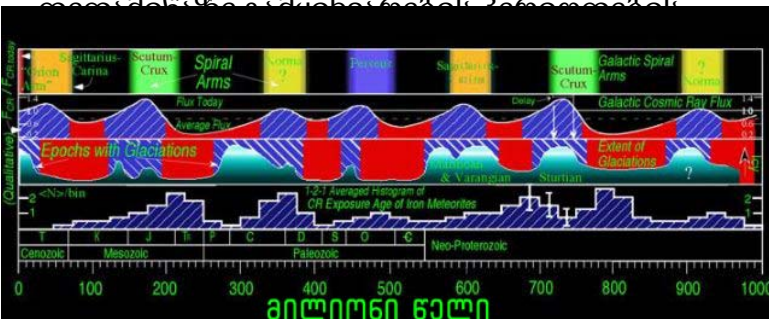
გალაქტიკური ქარი

გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ზეგავლენა დედამიწის კლიმატზე: ატმოსფეროს ზედა ფენებში იონიზაციის ხარისხის ზრდა და ღრუბლიანობის შემცირება



გალაქტიკური ქარი

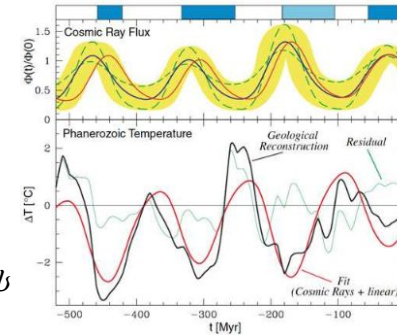
მზის მოგზაურობა სპირალში:



გალაქტიკური ქარი

მზის გავლა გალაქტიკურ სპირალში: გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ინტენსივობის მნიშვნელოვანი ზრდა.

გავლენა კლიმატზე: კოსმოსური სხივების მატება იქვევს დედამიწაზე გლობალური ტემპერატურის კლებას



გალაქტიკური დისკი: კინემატიკა

გალაქტიკის დისკში მყოფი ვარსკვლავები ბრუნავენ ბირთვის ირგვლივ სხვადასხვა კუთხური სიჩქარით: დიფერენციალური ბრუნვა

რაც უფრო ახლოა ვარსკვლავი გალაქტიკის ცენტრთან, მით უფრო ნაკლებია ბრუნვის პერიოდი;

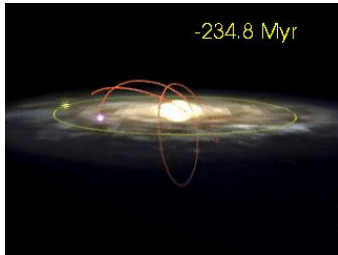
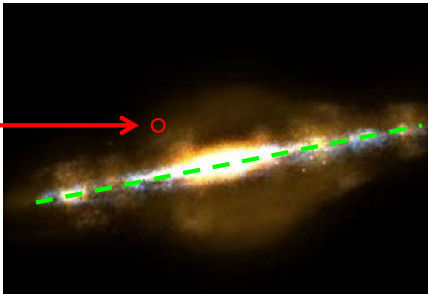
ვარსკვლავების ბრუნვა ემორჩილება ცნობილ კეპლერის კანონს: $P \sim R^{3/2}$

P - ვარსკვლავის ბრუნვის პერიოდი;

R - მანძილი გალაქტიკის ცენტრამდე;

გალაქტიკის ჰალო

გალაქტიკის ბრუნვის სიბრტყიდან ამოვარდნილი ობიექტები ქმნიან გალაქტიკის ჰალოს



ჰალოს ობიექტები ბრუნავენ ნებისმიერ სიბრტყეში

სფერული გროვები

Mn - მესიეს კატალოგი (Charles Messier 1771) ვარსკვლავური გროვების კატალოგი

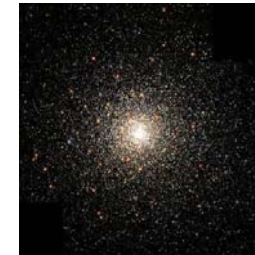


ჩვენი გალაქტიკის ჰალოს სფერული გროვები

ჩვენი გალაქტიკის ჰალოს ობიექტები

გალაქტიკის დისკიდან ამოვარდნილი ობიექტები: ვარსკვლავების მჭიდრო სფერული გროვები

სფერული გროვების რიცხვი ჩვენ გალაქტიკაში: ~ 150–180 გროვა ვარსკვლავების სიმკვრივე სფერულ გროვაში 100–1000 (ვარსკვ./პარსეკ³)



მასიური სფერული გროვა NGC 6093

გამოსახულება: Hubble Space Telescope



სფერული გროვები

ვარსკვლავების ასაკი სფერულ გროვებში:

13.2 მილიარდი წელი

ჰიპოთეზა: სფერული გროვები გაჩნდნენ გალაქტიკის ჩამოყალიბებასთან ერთად;

გალაქტიკის ასაკი ~ $13.2 \cdot 10^9$ წ.

ჩვენი გალაქტიკა (ირმის ნახტომი) წარმოიშვა სამყაროს გაჩენიდან მცირე დროში:

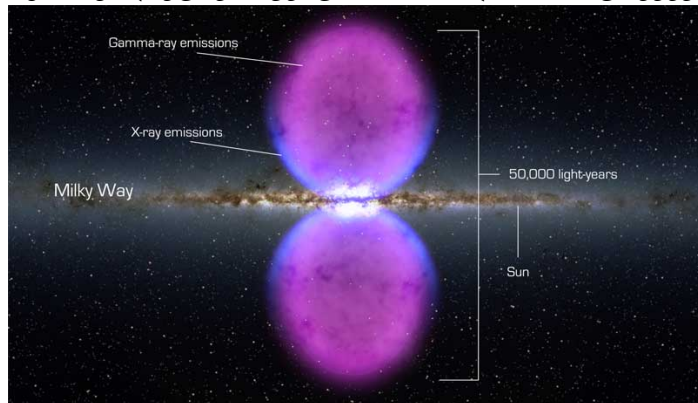
0.3–0.5 მილიარდი წელიწადი

სამყაროს ასაკის შეზღუდვა ქვევიდან

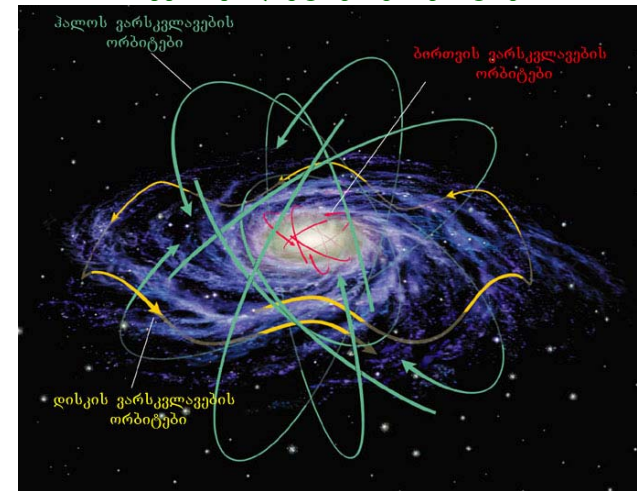
ჩვენი გალაქტიკა: აღმოჩენები

2010: გამა გამოსხივების სფერული ბუმბუტები

მიზეზი: გალაქტიკის ცენტრში მომხდარი ამოფრქვევა?



ჩვენი გალაქტიკა: კინემატიკა



www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები: 24.1 (გვ.874-878)
24.2 (გვ.881-883)
25.1 (გვ.940-948)



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 7 +

ვარსკვლავთშორისი გარემო
მინიმალური და მაქსიმალური მასის
ვარსკვლავები, ვარსკვლავების ასაკი

რამდენი ვარსკვლავი ჩანს ცაში?

ვარსკვლავიერი სიდიდე	ვარსკვლავების რაოდენობა
0	4
1	15
2	48
3	171
4	513 <i>ქალაქის განათება</i>
5	1602
6	4800 <i>ბნელი ცა</i>



წინა ლექციაში

- ჩვენი გალაქტიკა ირმის ნახტომი
- გალაქტიკის სტრუქტურა და დინამიკა

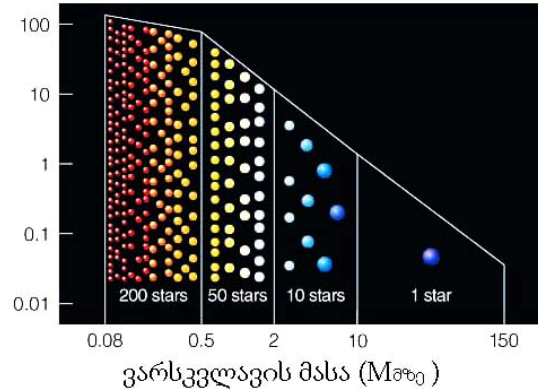
რამდენი ვარსკვლავი ჩანს ცაში?

დედამიწის ერთი წერტილიდან ფიქსირებულ დროს
თვალთ მოჩანს დაახლოებით **~2500 ვარსკვლავი**



ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავები

ვარსკვლავების განაწილება გალაქტიკურ დისკში მასების მიხედვით

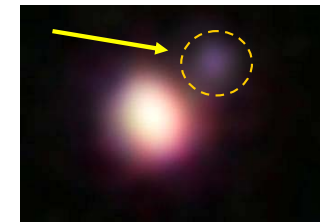


ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავები

წითელი და ყავისფერი ჯუჯა ვარსკვლავები შეადგენენ ჩვენი გალაქტიკის ვარსკვლავების ნახევარზე მეტს.

მათი დანახვა ჩვეულებრივ პირობებში შეუძლებელია

ყავისფერი ჯუჯა პირველი პირდაპირი დაკვირვება: 1989



მინიმალური მასის ვარსკვლავი

ვარსკვლავის მინიმალური მასა განისაზღვრება იმ მინიმალური გრავიტაციის ძალით, რომელიც საჭიროა ვარსკვლავის ცენტრში კრიტიკული ტემპერატურის მისაღწევად რომ ჩაირთოს თერმობირთვული რეაქციები და ობიექტი გახდეს მნათობი.

$$M_{\text{მინ}} \sim 50-80 M_{\text{იუპიტერი}}$$

(~ 0.01 მზე)



მაქსიმალური მასის ვარსკვლავი

გიგანტური მასის ვარსკვლავებს გააჩნიათ ზემდღვარი ოპტიკური გამოსხივება; გამოსხივების წნევა მოქმედებს ვარსკვლავის გარე ფენებზე ცენტრიდან გარე მიმართულებით;

მასის შემდგომი ზრდა შეუძლებელია – ვარსკვლავის გარე ფენები იფანტება კოსმოსში

$$M_{\text{მაქს}} \sim 150 - 200 M_{\text{მზე}}$$

ანომალური მასის ვარსკვლავი: 265 $M_{\text{მზე}}$

მაქსიმალური მასის ვარსკვლავი

ეტა კარინა

მანძილი დედამიწიდან: 8000 ს.წ.

მასა: 120–150 მზის მასა



ჰიპერგიგანტი

სპექტრალური კლასი: O

მასა: > 100 M_☉

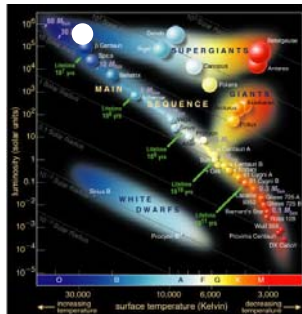
დიამეტრი: ~1000 M_☉

ნათობა: ~2–40 მილიონი L_☉

სიცოცხლის

ხანგრძლივობა:

~ 1 მილიარდი წელი



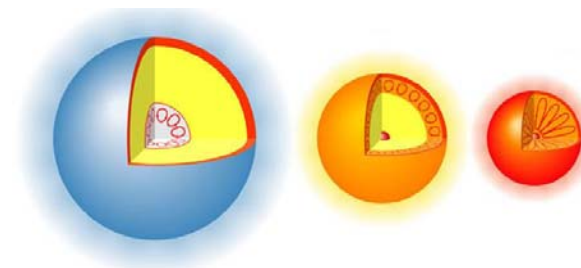
ვარსკვლავების შიდა სტრუქტურა

მცირე და დიდი ზომის ვარსკვლავების შიდა სტრუქტურა (მოდელი)

გიგანტი

მზე

ჯუჯა



ლურჯი გიგანტი

სპექტრალური კლასი: O-B

მასა: < 100 M_☉

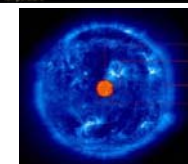
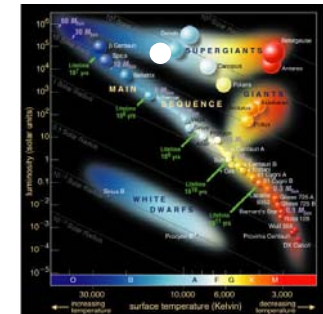
დიამეტრი: ~ 500 M_☉

ნათობა: ~10 000 L_☉

სიცოცხლის

ხანგრძლივობა:

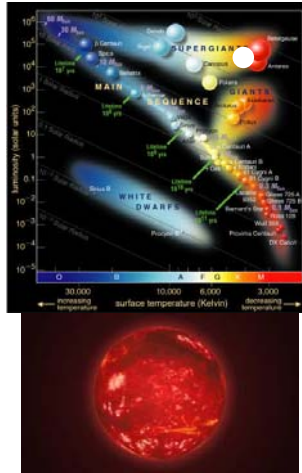
~ 2 მილიარდი წელი



წითელი გიგანტი

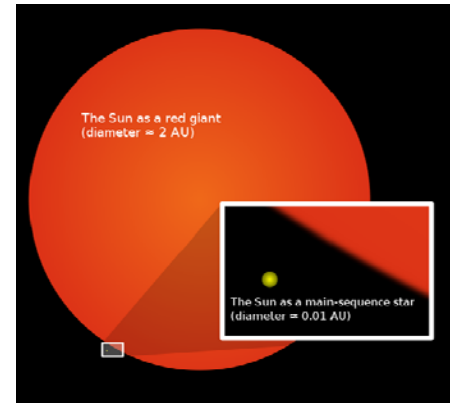
სპექტრალური კლასი: K,M
 მასა: ~10 M_{\odot}
 ნათობა: ~1 000 L_{\odot}

სიცოცხლის ხანგრძლივობა: ~ 1 მილიარდი წელი



წითელი გიგანტი

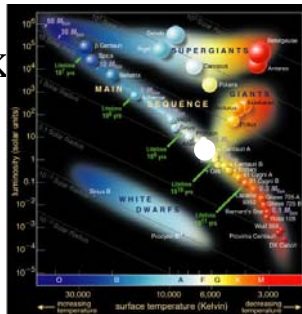
წითელი გიგანტი: მზის მომავალი მდგომარეობა



ძირითადი მიმდევრობის ვარსკვლავი

სპექტრალური კლასი: F,G,K
 მასა: ~ M_{\odot}
 ნათობა: ~ L_{\odot}

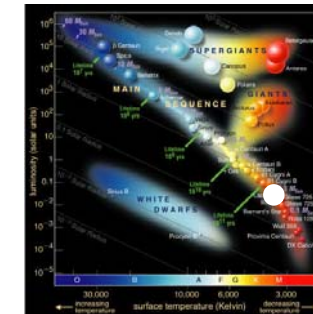
სიცოცხლის ხანგრძლივობა: ~ 10 მილიარდი წელი



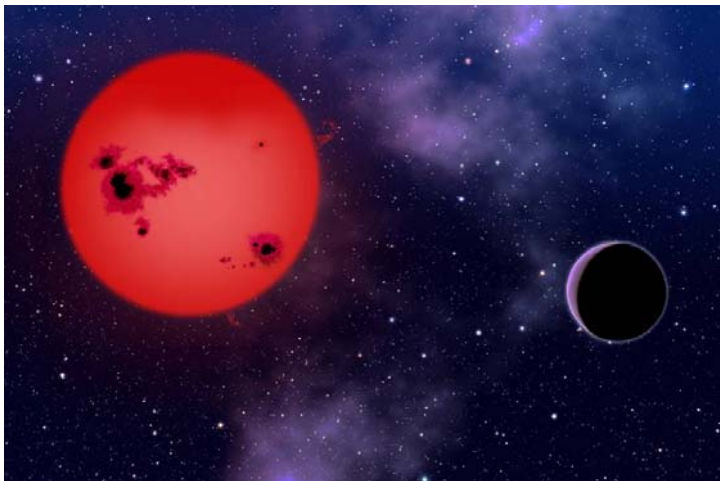
წითელი ჯუჯა

სპექტრალური კლასი: M
 მასა: < 0.5 M_{\odot}
 ნათობა: < 0.01 L_{\odot}

სიცოცხლის ხანგრძლივობა: > 20 მილიარდი წელი



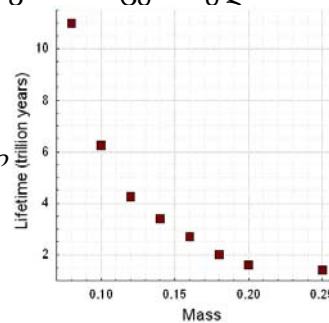
წითელი ჯუჯა



წითელი ჯუჯა

წითელი ჯუჯა ვარსკვლავის სიცოცხლის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია თერმობირთვული რეაქციის მიმდინარეობის სიჩქარეზე. დაბალი მასის ვარსკვლავში პროცესი ნელია.

ათასი
მილიარდი
წელი



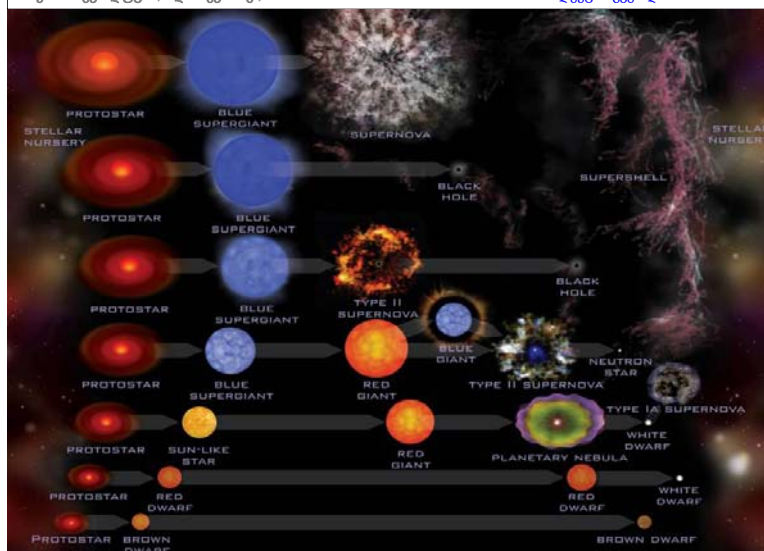
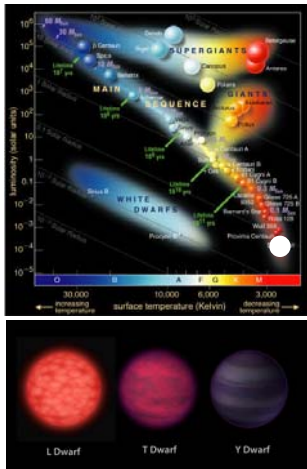
ობიექტის მასა ($M_{\text{სუნი}}$)

ყავისფერი ჯუჯა

დაბალი მასის ობიექტები, რომლებშიც არ მიმდინარეობს p-p თერმობირთვული რეაქციები (შესაძლოა d-d)

ობიექტები თითქმის არ ასხივებენ

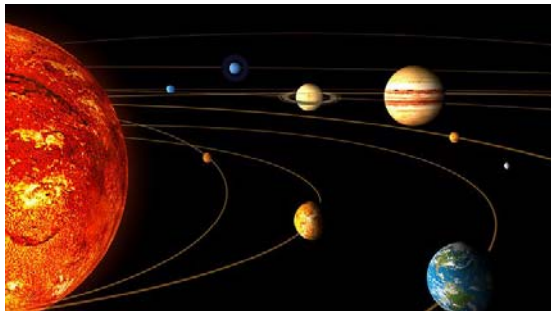
სიცოცხლის ხანგრძლივობა: შემოუსაზღვრავი



იზოლირებული ვარსკვლავი

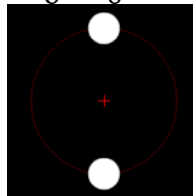
შესაძლოა ვარსკვლავს ჰქონდეს პლანეტარული სისტემა, მაგრამ თუკი სისტემა შეიცავს მხოლოდ ერთ მნათობს, მაშინ ვარსკვლავი “ერთმაგ სისტემაშია”, ანუ იზოლირებულია

მაგალითად:
მზე

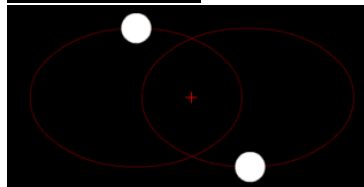


ორმაგი სისტემა

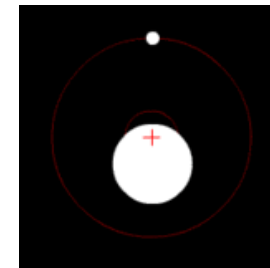
ორი ვარსკვლავი ბრუნავს საერთო მასათა ცენტრის გარშემო:



სიმეტრიული
ორმაგი სისტემები



ასიმეტრიული
ორმაგი სისტემა



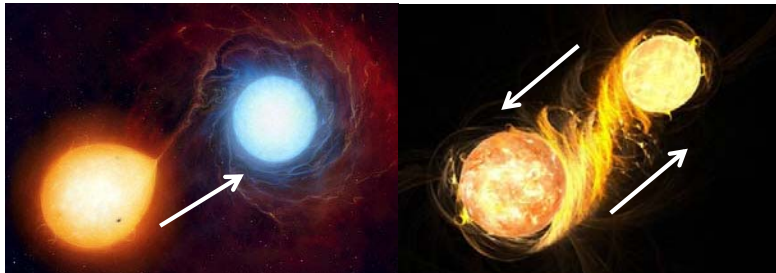
ორმაგი სისტემები

მდგრადი და ურთიერთქმედი ორმაგი სისტემები



სირიუს
A და B

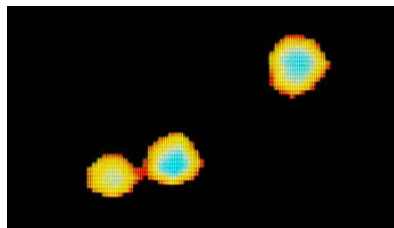
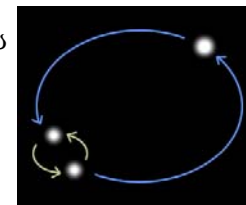
მასის მიმოცვლა ურთიერთქმედ ორმაგ სისტემაში



სამმაგი სისტემები

სამი ვარსკვლავის კომპაქტური ჯგუფი

ვარსკვლავების კინემატიკის მაგალითი



სამმაგი სისტემის დაკვირვება
Beta Monocerotis

პროტო-ვარსკვლავები

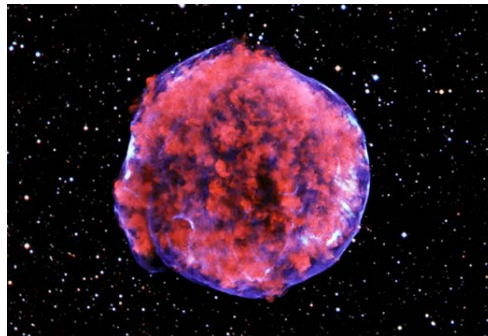
ახალგაზრდა ვარსკვლავური ობიექტები:
ვარსკვლავები ჩამოყალიბების ფაზაში



ვარსკვლავთშორისი გარემო

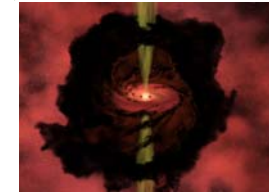
ზეახალის აფეთქებისას სწრაფად მოძრავი ნაწილაკები ეჯახება გაუხშობულ ვარსკვლავთშორისი გარემოს ატომებს და იწვევს მაღალსიხშირულ გამოსხივებას

ტიხო ბრაგეს
ზეახალის
ნარჩენი დღეს
(რენტგენის
გამოსხივება)
SN1572

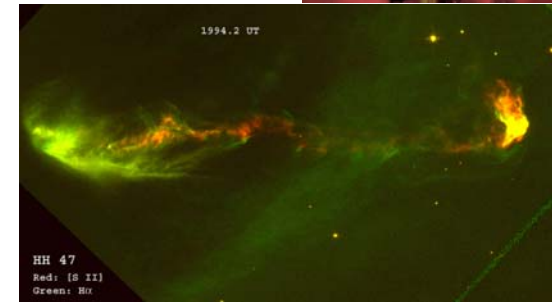


ვარსკვლავური ქავლები

ჰერბიგ-ჰარო ობიექტები:
მასის აკრეცია ვარსკვლავზე და
ვარსკვლავური “ქავლი”



HH47
5 წლის
დაკვირვება



ვარსკვლავთშორისი გარემო

გალაქტიკაში ვარსკვლავებს შორის გარემო (“ვაკუუმი”) შეესებულება გაუხშობული “აირით”.

ცივ არეებში გარემოს სიმკვრივე:
10¹² მოლეკულა / 1 მ³. (H₂)

ცხელ იონიზირებულ არეებში გარემოს სიმკვრივე:
100 ატომი / 1 მ³ (H)

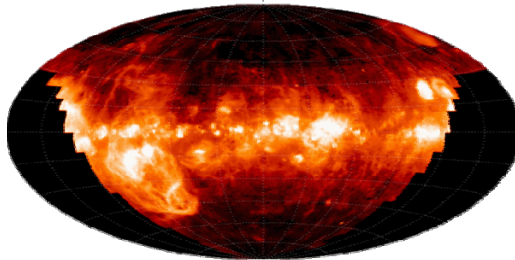
თხევადი წყლის სიმკვრივე: **10²⁸ მოლეკულა / 1 მ³**

ვარსკვლავთშორისი გარემო

შემადგენლობა: 99% აირი, 1% მტვერი.

- წყალბადი: 89%
- ჰელიუმი: 9%
- “მეტალები”: 2% (Li, K, ...)

იონიზირებული
წყალბადის
განაწილება

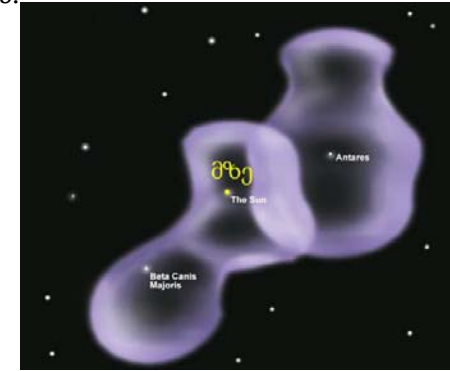


ვარსკვლავთშორისი გარემო

მზე იმყოფება ვარსკვლავთშორისი გარემოს
ლოკალურ “ბუშტში”, სადაც გარემოს სიმკვრივე
საშუალოზე დაბალია.

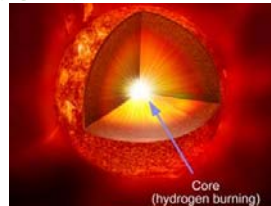
ზომა: ~300 ს.წ.
სიმკვრივე:
50 ატომი 1 მ³

ზეახალი
ვარსკვლავების
აფეთქების
ნაკვალევი?



ობიექტების ასაკის შეფასება

ძირითადი მიმდევრობის
ვარსკვლავი:



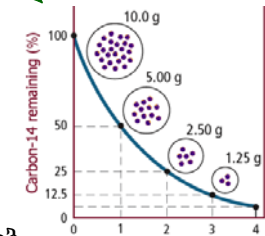
თერმობირთვული რეაქციის მიმდინარეობის
სიჩქარიდან შეგვიძლია დავადგინოთ რა დრო
დასჭირდებოდა ვარსკვლავში არსებული ჰელიუმის
სინთეზს (p-p ჯაჭვი);

- რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე;
- ტემპერატურა დამოკიდებულია ობიექტის მასაზე;

ასაკის შეფასება დაბალი სიზუსტით

დათარიღება ნახშირბადით

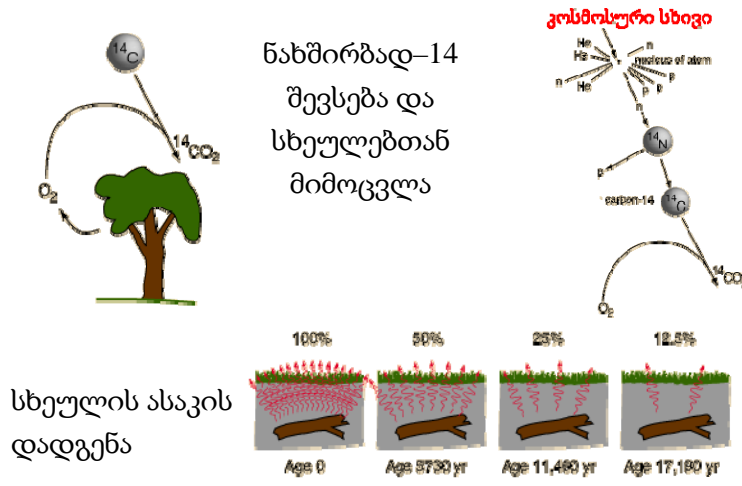
C¹⁴ – ნახშირბადის იზოტოპი
რადიოაქტიული
ნახევარდაშლის
პერიოდი: 5730 წელი



ატმოსფეროში C¹⁴ მუდმივად ჩნდება
კოსმოსური სხივების გამო; თუკი სხეულმა
შეწყვიტა ატმოსფეროსთან ნახშირბადის მიმოცვლა,
მასში C¹⁴ რაოდენობა ეცემა;

C¹⁴ რაოდენობით შეიძლება განსაზღვროთ
ნახშირბადოვანი სხეულის ასაკი

დათარიღება ნახშირბადით



ბირთვული კოსმოქრონოლოგია

იშვიათი ქიმიური ელემენტების ბირთვული დაშლის სიჩქარის ანალიზი

შედეგები:

მზე: 4.75 ± 0.02 მილიარდი წელი

ჩვენი

გალაქტიკის დისკი: 8.8 ± 0.02 მილიარდი წელი

ვარსკვლავები ჰალოში: ~ 12 მილიარდი წელი

ჩვენი გალაქტიკის დისკი ჩამოყალიბდა ცენტრსა და ჰალოზე უფრო გვიან

ბირთვული კოსმოქრონოლოგია

ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის (ნდბ) ქიმიურ ელემენტებზე დაკვირვება:

თორიუმ-232 (ნდბ: 14 მილიარდი წელი)

ურანი-238 (ნდბ: 4.47 მილიარდი წელი)

რადიოაქტიული დაშლის ჯაჭვის შედეგი: ტყვია (Pb-208)



“გალარიბელუი”
ურანი: U238

ობიექტების ასაკის შეფასება რადიოაქტიული დათარიღების მეთოდით

დათარიღება თეთრი ჯუჯებით

თეთრი ჯუჯა ანათებს სითბური ენერჯის ხარჯზე; დროთა განმავლობაში ობიექტი ცივდება, ეცემა ზედაპირული ტემპერატურა;

თუკი დაახლოებით ვიცით თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავის ზედაპირული ტემპერატურა დაბადებისას (100 000 K), დავადგენთ მის ასაკს

შედარებით ნაკლებად ზუსტი მეთოდი

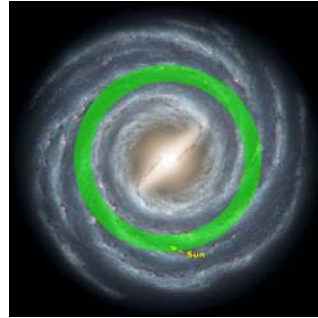
სფერული გროვა M4-ის ასაკი: 12.7 ± 0.7 მლრდ. წელი

გალაქტიკის “სიცოცხლის ზონა”

ცენტრთან ახლოს: მაღალენერგეტიკული გამოსხივება, სიცოცხლის გამანადგურებელი რადიაცია

ცენტრიდან შორს: მძიმე ქიმიური ელემენტების ნაკლებობა (მაგ. ნახშირბადი)

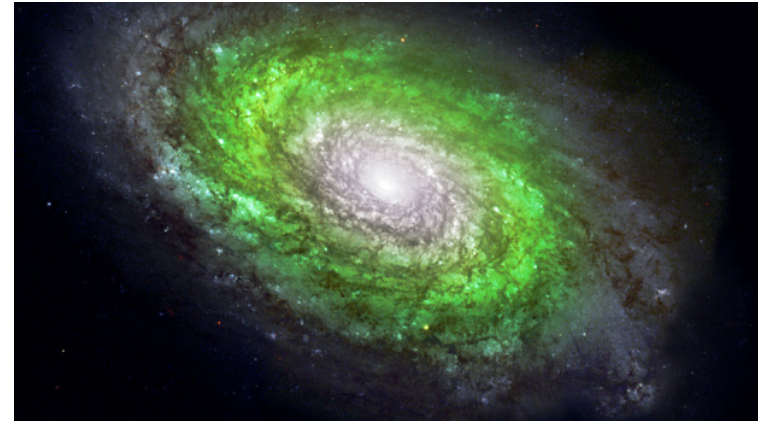
საშუალოდ არე:
“სიცოცხლის ზონა”



www.tevza.org/home/course/universe2012

გალაქტიკის “სიცოცხლის ზონა”

სიცოცხლის ზონა გიგანტურ სპირალურ გალაქტიკაში





სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 8

გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი,
გალაქტიკების კლასიფიკაცია
გალაქტიკების ევოლუცია, ფარული მასა

გალაქტიკები

სავარაუდოა რომ სამყაროში გალაქტიკების სრული რაოდენობა აღემატება 500 მილიარდს.

გალაქტიკების გროვა (კლასტერი) გრავიტაციულად დაკავშირებული სხვადასხვა ტიპის გალაქტიკებია რომლებიც მოძრაობენ ერთმანეთის მიზიდულობის ველში.

ჩვენი გალაქტიკა ირმის ნახტომი არის გალაქტიკური ლოკალური გროვის წევრი

წინა ლექციაში

- ჩვენი გალაქტიკა
- სპირალური სტრუქტურა
- გალაქტიკური ქარი
- სფერული გროვები

გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი

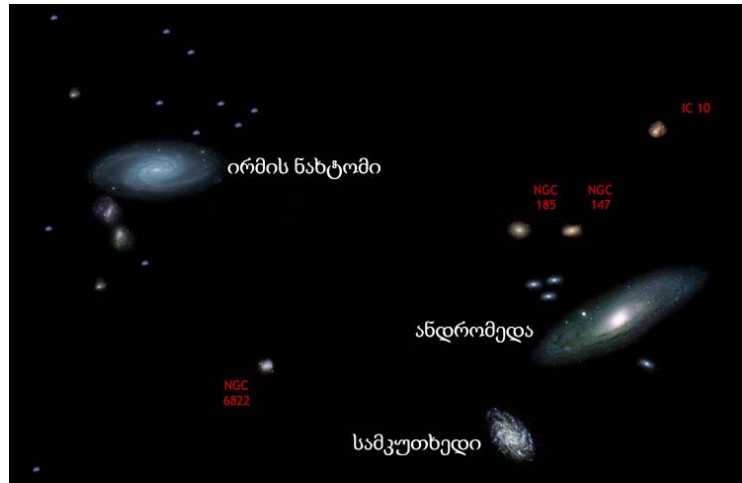
გალაქტიკების სრული რაოდენობა ჩვენს გროვაში: **36 გალაქტიკა**

3 ძირითადი + 27 სატელიტი გალაქტიკები

ძირითადი (მასიური) გალაქტიკები:

1. ანდრომედა;
2. ირმის ნახტომი;
3. სამკუთხედი;

გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი



გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი

	ვარსკვ. რაოდენობა	მსა ($M_{\text{სხე}}$)	ტიპი
ანდრომედა	$10 \cdot 10^{11}$	$12 \cdot 10^{11}$	სპირალური
ირმის ნახტომი	$4 \cdot 10^{11}$	$7 \cdot 10^{11}$	სპირალური
სამკუთხედი	$0.4 \cdot 10^{11}$	$0.5 \cdot 10^{11}$	სპირალური

$10^9 =$ მილიარდი; $10^{12} =$ ტრილიონი

ანდრომედა (M31)



ანდრომედა (M31)

ულტრაიისფერი დიაპაზონი



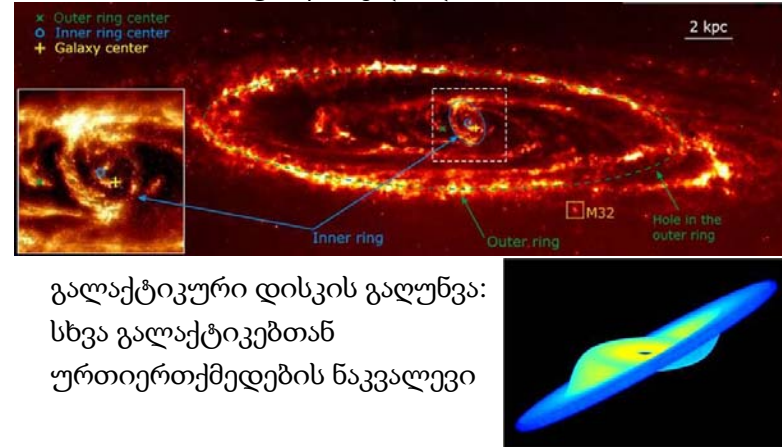
ანდრომედა (M31)

რენტგენის დიაპაზონი



ანდრომედა (M31)

ინფრაწითელი დიაპაზონი



გალაქტიკური დისკის გალუნვა:
სხვა გალაქტიკებთან
ურთიერთქმედების ნაკვალები

საგიტარიუს ჯუჯა გალაქტიკა

ირმის ნახტომის
სატელიტი გალაქტიკა
M54

დიამეტრი:
10 000 ს.წ.

ჩვენი გალაქტიკის
დისკის დიამეტრის
მეათედი



ირმის ნახტომის თანამგზავრები

მაგელანის დიდი და მცირე ღრუბელი
მაგელანის დიდი ღრუბელი – ჩვენი გალაქტიკის
უახლოესი კომპანიონი: მანძილი ~ 150 000 ს.წ.



დაკვირვებები შორეულ გალაქტიკებზე

- **Hubble Deep Field (HDF)**

ექსპოზიცია: **10 დღე** (1995)

გალაქტიკები: **3 000**

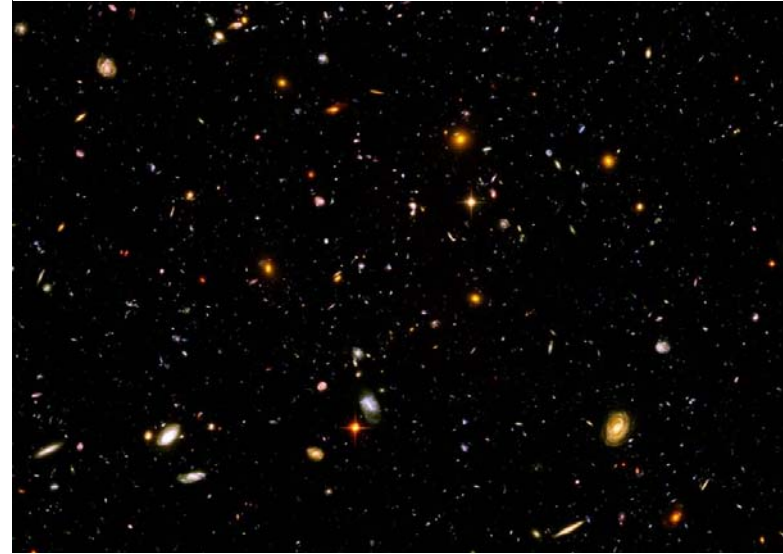
- **Hubble Ultra Deep Field (HUDF)**

ექსპოზიცია: **11 დღე** (4 სიხშირე, 2003)

გალაქტიკები: **10 000**

ობიექტების

ასაკი: **13 მილიარდი წელიწადი**



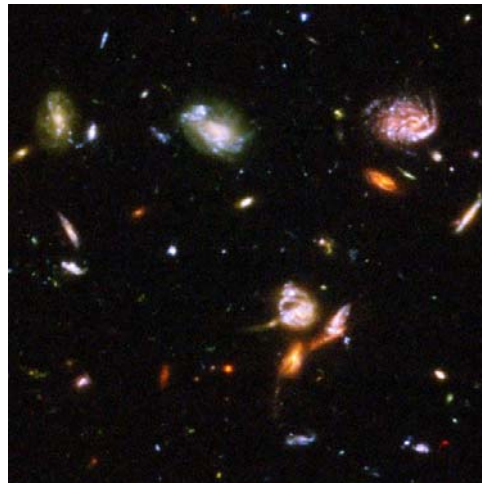
ჰაბლის ულტრა ღრმა ველი

ფრაგმენტი:

სხვადასხვა

ტიპის

გალაქტიკები



გალაქტიკების კლასიფიკაცია

გალაქტიკების კლასიფიკაცია შესაძლებელია მათი ხილულ თვისებებზე დაყრდნობით:

- გალაქტიკის ფორმა;
- სპირალების არსებობა;
- ცენტრალური ნაწილის გეომეტრია;

გალაქტიკების ოპტიკური მორფოლოგია

ჰაბლის მორფოლოგიური კლასიფიკაცია

ჰაბლის გალაქტიკების კლასიფიკაცია

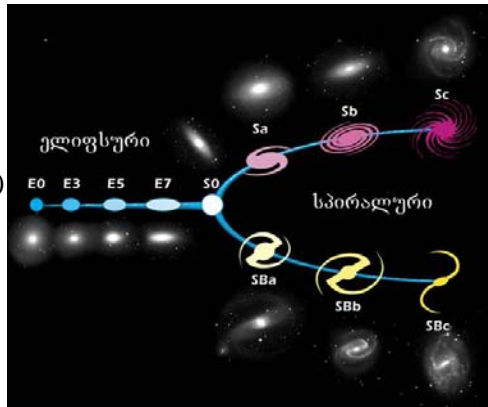
კლასები: **E0-E7, S0, Sa-Sc, SBa-SBc**

E - ელიფსური;
S - სპირალური;

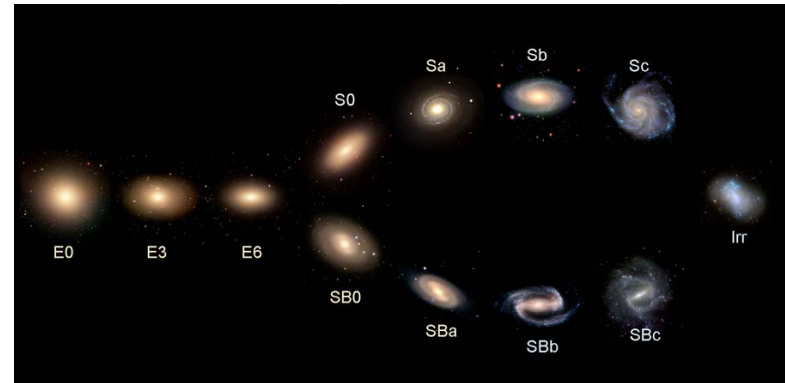
მართკუთხედი (bar)

- კი
- არა

ჩვენი გალაქტიკა:
SBc



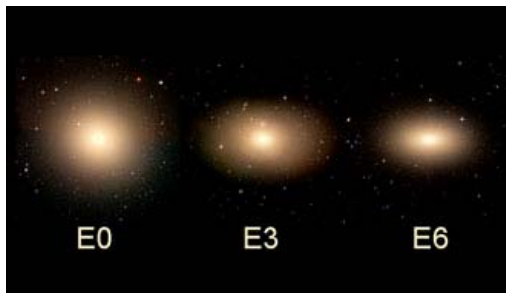
ჰაბლის გალაქტიკების კლასიფიკაცია



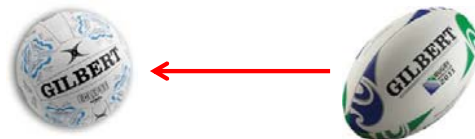
ელიფსური, სპირალური და არარეგულარული გალაქტიკები

ელიფსური გალაქტიკები

ვარსკვლავების
ბირთვული
ჯგუფი



E 0 ← E6

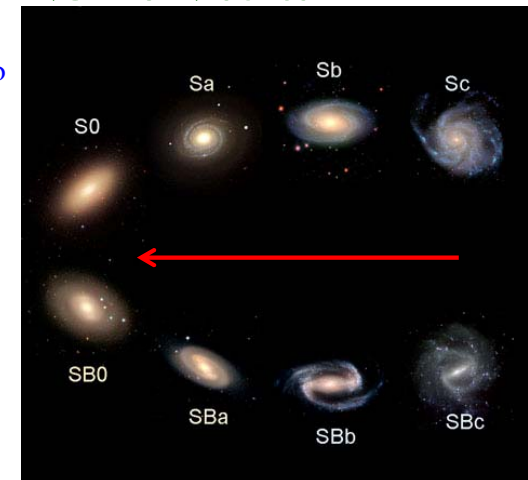


სპირალური გალაქტიკები

უფრო მასიური
ბირთვი

ნაკლები
მტვერი

უფრო
დახვეული
სპირალები



ელიფსური გალაქტიკები

“ცრუ კომეტების” მესიეს კატალოგი:
არა წერტილოვანი გამოსხივების წყარო

ელიფსური გალაქტიკა M60

ვარსკვლავების ბრუნვა
ცენტრის გარშემო ყველა
სიბრტყეში



სპირალური გალაქტიკა

სპირალური
გალაქტიკა
(bar)

NGS1300



სპირალური გალაქტიკა

სპირალური
გალაქტიკა

M101



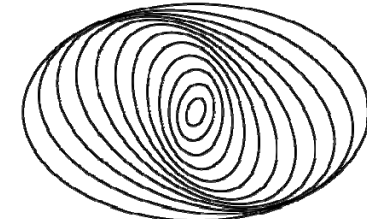
სპირალური გალაქტიკა

მკვეთრად გამოხატული სპირალები
ცენტრალური მართკუთხედი: S / SB

სპირალები: სპირალურ-გრაფიტაციული ტალღები

დიფერენციული ბრუნვა:
არა-მყარტანოვანი ბრუნვა;

ცენტრის ბრუნვის სიხშირე
მაღალია გარეუბნებთან შედარებით (კეპლერის კანონი)



გარდამავალი ტიპი

Lenticular გალაქტიკები (S0)



სომბრერო გალაქტიკა

ზოგიერთი ცნობილი გალაქტიკა



ზოგიერთი ცნობილი გალაქტიკა

მზესუმზირა (M63)



მანძილი: 37 მილიონი სინათლის წელი

ზოგიერთი ცნობილი გალაქტიკა

Whirlpool (მორევი) M51a



გალაქტიკების ურთიერთქმედება

გალაქტიკების დაჯახება: “თაგვების გალაქტიკა” (NGC4676)



არაწესიერი (irregular) გალაქტიკები

გალაქტიკების დაჯახებამ შეიძლება წარმოქმნას მორფოლოგიურად “არაწესიერი ფორმის” ობიექტი

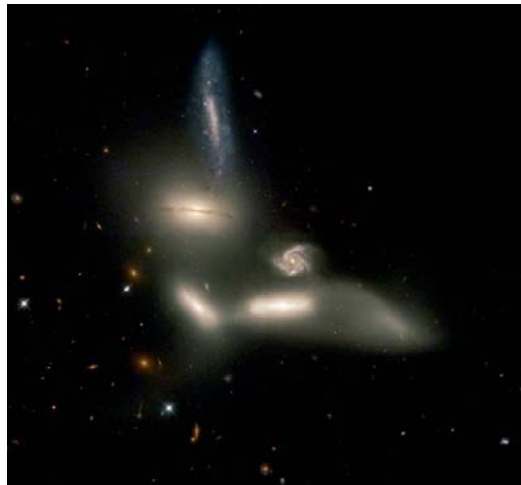


“ჩიტი” IRAS 19115-2124

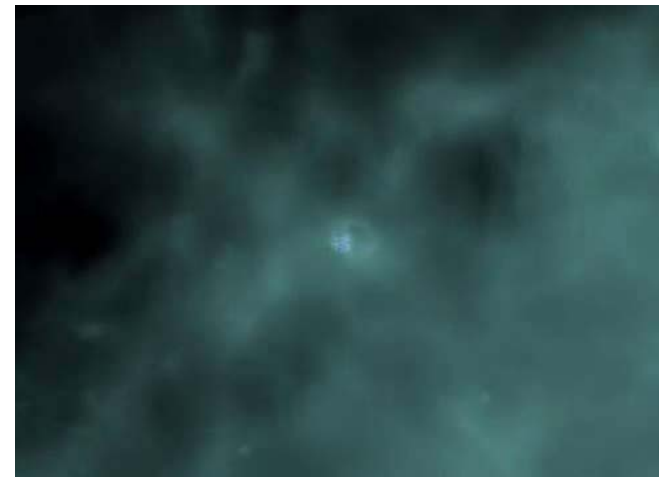


NGC1427A

გალაქტიკების კომპაქტური ჯგუფები



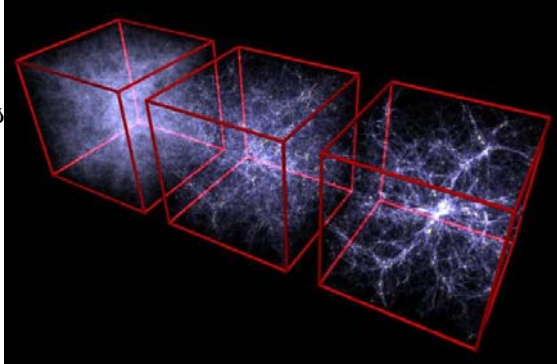
სპირალური გალაქტიკის წარმოქმნა



გალაქტიკების ჯგუფების წარმოქმნა

სამყაროში ადრეული მატერიის გრავიტაციული ფრაგმენტაცია

შემკვრივება:
გალაქტიკების
გროვა
(კლასტერი)

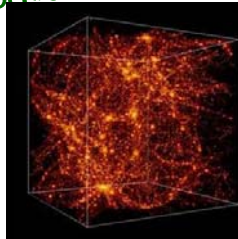


გალაქტიკების ევოლუცია

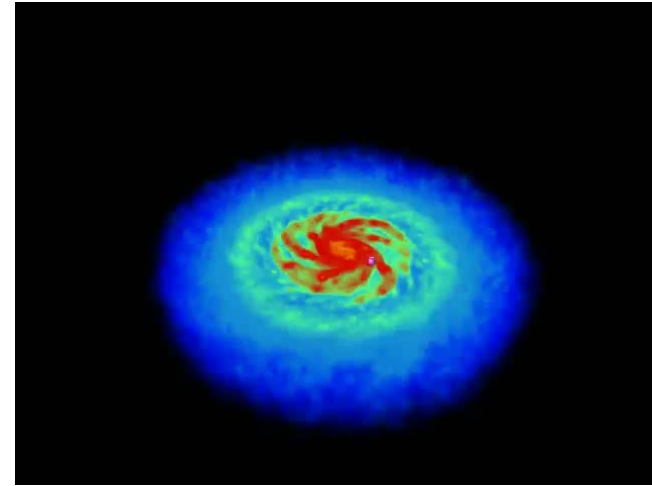
გალაქტიკების წარმოშობა:
ადრეული სამყაროს ფიზიკა;

გალაქტიკებში შესაძლებელია
ინახებოდეს ინფორმაცია ადრეული
სამყაროს თვისებებზე;

კოსმოლოგიისათვის საინტერესო ობიექტები:
გალაქტიკების განაწილების სტატისტიკა;
მაგნიტური ველი; ...



გალაქტიკების დაჯახება



გალაქტიკების ევოლუცია

მასიური გალაქტიკის ცენტრი: შავი ხვრელი

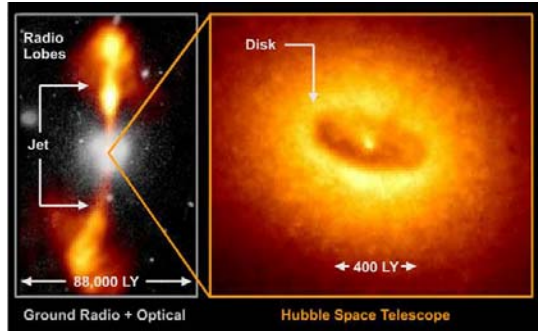
შავი ხვრელის მასა პროპორციულია გალაქტიკის
საერთო მასის;

მიმდებარე მასის შთანთქმა შავი ხვრელის მიერ.

გიგანტური ცხელი მორევი: გრავიტაციული
ენერჯის გამოთავისუფლება და სითბური
გამოსხივება

გალაქტიკების ევოლუცია

გალაქტიკის ბირთვის ნათობის ენერჯის წყარო



გალაქტიკების სიცოცხლის დასასრული:

სამყაროს ევოლუცია

გალაქტიკების ბრუნვა

მასის დეფიციტი:

გრავიტაციული მიზიდულობის ძალის სიმცირე ხილული ორბიტალური სიჩქარეების ასახსნელად.

ნიუტონის გრავიტაცია:

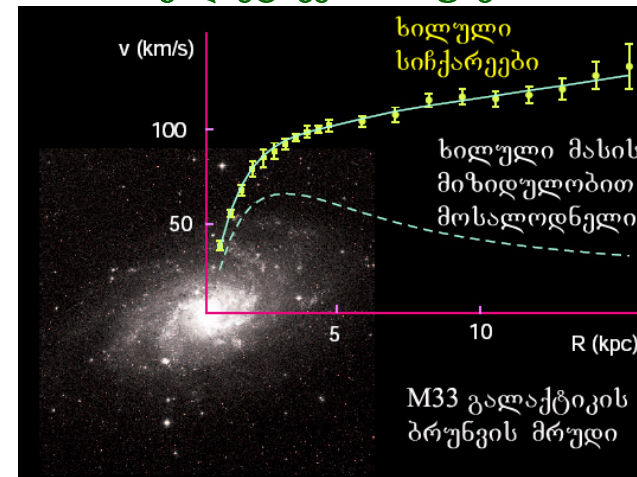
$$F = G M m / r^2 \ll F_{\text{ხილული}}$$

ფარული მასა: $M_{\text{ფ}}$

$$F_{\text{ხილული}} = G (M + M_{\text{ფ}}) m / r^2$$

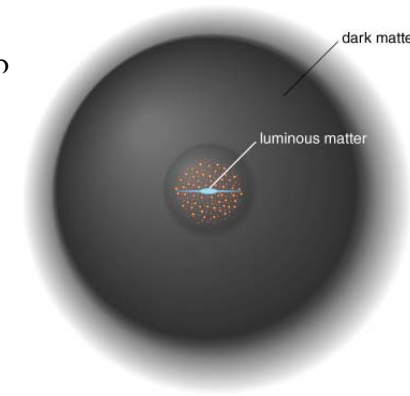
$$M_{\text{ფ}} \gg M$$

გალაქტიკების ბრუნვა



ფარული მასა (Dark Matter)

საჭირო დამატებითი გრავიტირებადი ფარული მასის განაწილება გალაქტიკაში: (ჰიპოთეტური)



ფარული მასა

კანდიდატები: **ცხელი ნაწილაკები (ნეიტრინო)**

სუსტად ურთიერთქმედი მასიური ნაწილაკები (WIMP)

ეგ ზოტიკური მატერია

ალტერნატიული მიდგომა:

სუპერსიმეტრიები (ქვანტური გრავიტაცია)

მოდულიცირებული გრავიტაცია: $F \sim 1/r^n$ ($n \neq 2$)

www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები: 24.1 (გვ.874-878)
24.2 (გვ.881-883)
25.1 (გვ.940-948)



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 9

ზეგალაქტიკური მანძილების გაზომვა,
სამყაროს მსხვილმასშტაბოვანი სტრუქტურა,
კოსმოლოგიური პრინციპი

სამყაროს დიდმასშტაბოვანი სურათი

კოსმოლოგია: მეცნიერება სამყაროს წარმოშობის, აგებულების და ევოლუციის შესახებ;

სამყაროს კოსმოლოგიური მოდელის შესაქმნელად საჭიროა სამყაროს აგებულების ცოდნა დიდ მასშტაბებზე.

“დიდი მასშტაბი”: გალაქტიკური გროვებზე უფრო შორეული მანძილები – მეგა პარსეკი (Mpc)

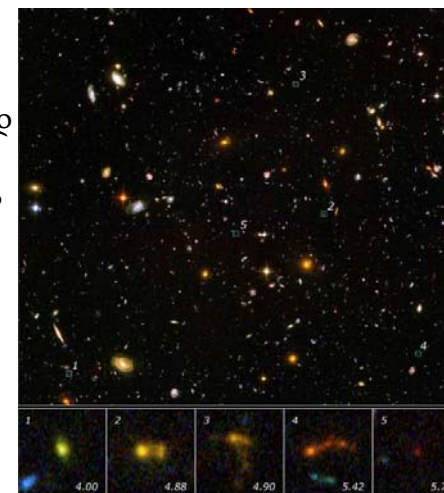
წინა ლექციაში

- გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი
- გალაქტიკების სტრუქტურა და კლასიფიკაცია
- გალაქტიკების ევოლუცია
- ფარული მასა

მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

სამყაროს დიდმასშტაბოვანი სურათის შესაქმნელად საჭიროა მანძილის განსაზღვრა შორეულ ობიექტებამდე

რა მანძილია შორეულ გალაქტიკებამდე?



ტრიგონომეტრიული პარალაქსი

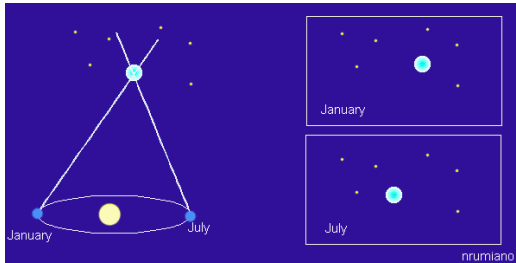
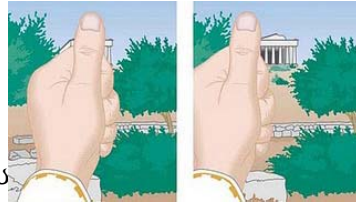
ობიექტის მოჩვენებითი

გადაადგილება

დამკვირვებლის

ადგილმდებარეობის შეცვლის

გამო



მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

ტრიგონომეტრიული პარალაქსი

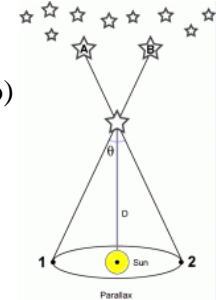
$$d = 1 / p$$

d – მანძილი ვარსკვლავამდე (პარსეკი)

p - პარალაქსის კუთხე (სეკუნდი)

$d \sim 10^6$ პარსეკი (მეგაპარსეკი)

$p \sim 10^{-6}$ სეკუნდი (გრადუსი/3600)



შორეულ ობიექტებამდე პარალაქსის კუთხე

იმდენად მცირდება რომ მისი გაზომვა

შეუძლებელია

ზეგალაქტიკური მანძილების გაზომვის პრობლემა

მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

ექსტრაგალაქტიკური მანძილის გაზომვის

ალტერნატიული მეთოდები:

– სპექტრული პარალაქსი

– სტანდარტული სანთლის მეთოდები

ცნობილი ნათობის ობიექტის

“სტანდარტული სანთლის”

იდენტიფიცირება;

ხილული და აბსოლუტური

ნათობის შედარების მეთოდი



სპექტრული პარალაქსი

ტრიგონომეტრიული პარალაქსი:

ვარსკვლავის ხილული მდებარეობის ცვლილება

დედამიწის სეზონური გადაადგილების გამო;

მანძილები: < 1 კილო პარსეკი; სიზუსტე: მაღალი;

სპექტრული პარალაქსი:

ვარსკვლავის გადაადგილება H-R დიაგრამაზე

აბსოლუტ. და ხილული ნათობის განსხვავების გამო;

მანძილები: < 100 კილო პარსეკი; სიზუსტე: საშუალო;

სპექტრული პარალაქსი

მნათობის

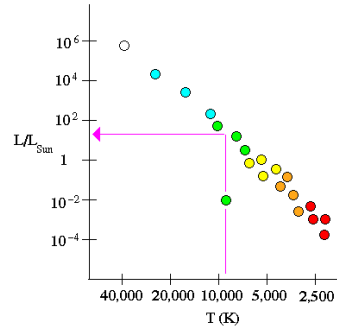
ადგილმდებარეობა

HR დიაგრამაზე

ძირითადი თანმიმდევრობის
ვარსკვლავი:

მახასიათებელი სპექტრული
კლასი;

პარალაქსი: ვერტიკალური გადაადგილება HR დიაგრამაზე



მანძილი: ხილული და აბსოლუტური ნათობის შედარება;

ცეფეიდები

პულსაციის მექანიზმი: ერთმაგად და ორმაგად
იონიზირებული ჰელიუმის გამჭვივებლობის ცვლილება;

აბსოლუტური ნათობა დამოკიდებულია პულსაციის
პერიოდზე:

$$M(V) = -3.53 \log_{10} P_d - 2.13$$

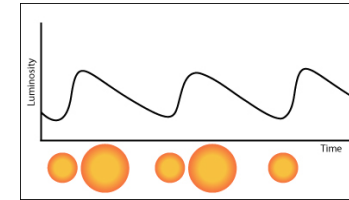
პერიოდის გაზომვით ვიპოვით აბსოლუტურ
ნათებას და ხილულ ნათობასთან შედარებით
გამოვთვლით მანძილს ვარსკვლავამდე, ან
გალაქტიკამდე რომელშიც ეს ვარსკვლავი იმყოფება

ცეფეიდები

სტანდარტული სანთელი: ობიექტის აბსოლუტური
ნათობა დამოკიდებულია მის სხვა ხილულ
პირდაპირ გაზომვად პარამეტრზე.

ობიექტი: პულსირებადი ვარსკვლავი: ცეფეიდი;

პერიოდები: რამოდენიე დღიდან თვეებამდე;



ცეფეიდები

გალაქტიკამდე მანძილის შესაფასებლად საჭიროა ამ
გალაქტიკის ერთი მაინც ცეფეიდის ტიპის
ვარსკვლავის პულსირების დინამიკის დაკვირვება

ცეფეიდები
კაშკაშა ცვალებადი
ვარსკვლავებია,
რის გამოც
შესაძლებელია
მათი აღმოჩენა
სხვა გალაქტიკებში



სფერული გროვები

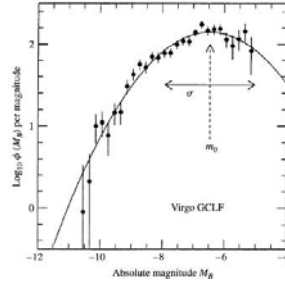


მდებარეობა: გალაქტიკების ჰალო

მოდელი: სხვადასხვა გალაქტიკაში ყველაზე კაშკაშა სფერული გროვების ნათობა ერთიდაიგივეა;

მეთოდი: გალაქტიკებში გროვების ნათობის მრუდების შედარება

ნათობის მრუდების განსხვავებით დავითვლით მანძილის სხვაობას ორ გალაქტიკას შორის



ტული-ფიშერის მეთოდი



Tully-Fisher method

ობიექტი: სპირალური გალაქტიკა

მოდელი: სპირალური გალაქტიკის აბსოლუტური ნათობის განსაზღვრა შესაძლებელია გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ ვარსკვლავების ბრუნვის მაქსიმალური სიჩქარის საშუალებით

$$M_H = -9.50(\log_{10} W_R^i - 2.50) - 21.67$$

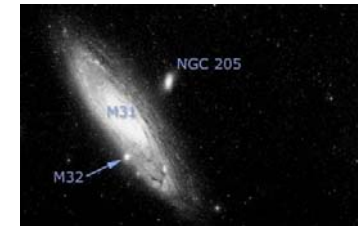
M - ნათობა

W - მაქსიმალური სიჩქარე

სფერული გროვები

გალაქტიკამდე მანძილის შესაფასებლად საჭიროა ამ გალაქტიკის ჰალოში რამოდენიმე სფერული გროვის პირდაპირი დაკვირვება მათი ნათობის მრუდის ასაგებად.

მეთოდი მუშაობს იმ გალაქტიკებისათვის, როდესაც შესაძლებელია გალაქტიკის სხვადასხვა დეტალების ინდივიდუალური დაკვირვება

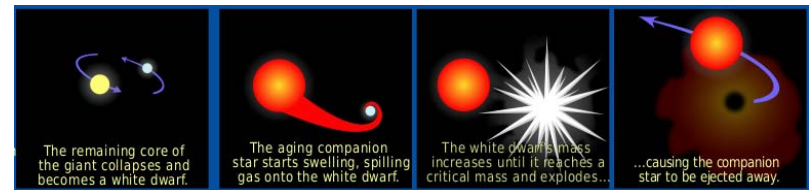


ზეახალი ვარსკვლავები

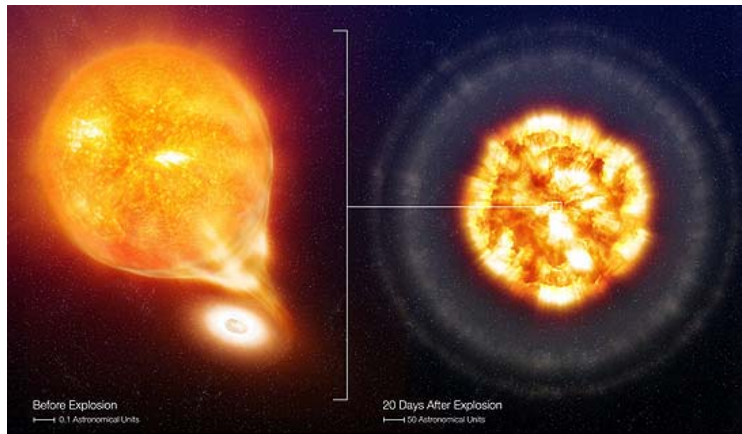
Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავი

ორმაგი სისტემა: თეთრი ჯუჯა+წითელი გიგანტი;

მასის აკრეცია გიგანტიდან თეთრ ჯუჯაზე, ჯუჯის მასის ზრდა და ევოლუციის ბოლო ეტაპი: აფეთქება



Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავები



ილუსტრაცია

Ia ტიპის ზეახალი

ზეახალი ვარსკვლავი: აფეთქების მომენტში აბსოლუტური ნათობა შესაძლებელია აჭარბებდეს გალაქტიკის ჯამურ ნათობას

ასეთ შემთხვევებში შესაძლებელია დავაკვირდეთ ზეახალის აფეთქებას გალაქტიკაში, რომელიც ვარსკვლავის აფეთქებამდე არც ჩანდა.

ოპტიკური, ულტრაიისფერი, რენტგენული გამოსხივება: კომბინირებული დაკვირვებები დედამიწიდან და სატელიტებიდან

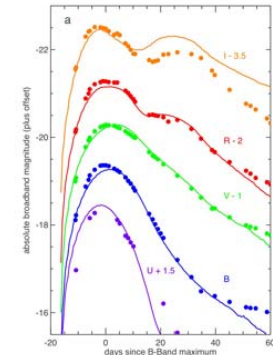


Ia ტიპის ზეახალი

Ia ზეახალი ვარსკვლავის ნათობის დროში ცვალებადობის მრუდით შესაძლებელია აბსოლუტური ნათობის გამოთვლა.

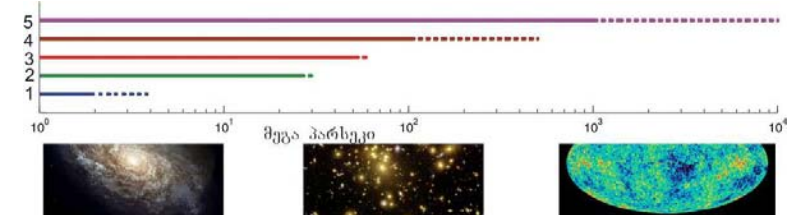
მოდელი: რაც მეტია აბსოლუტური ნათობა, მით უფრო ხანგრძლივია ზეახალის აფეთქების პროცესი

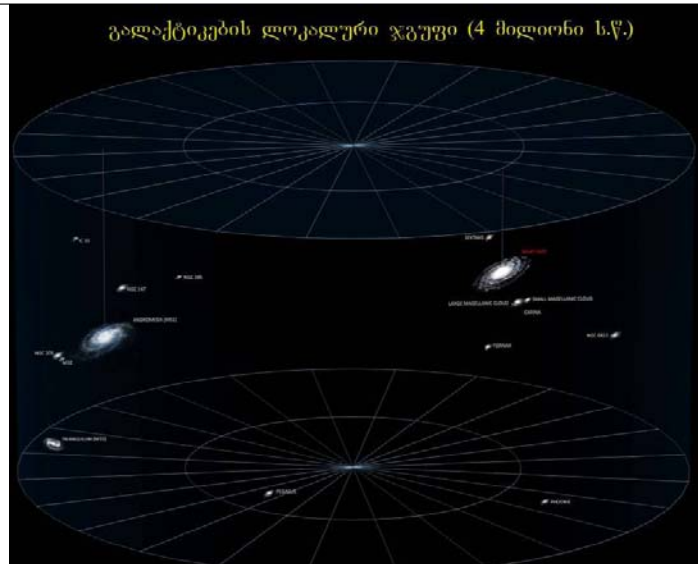
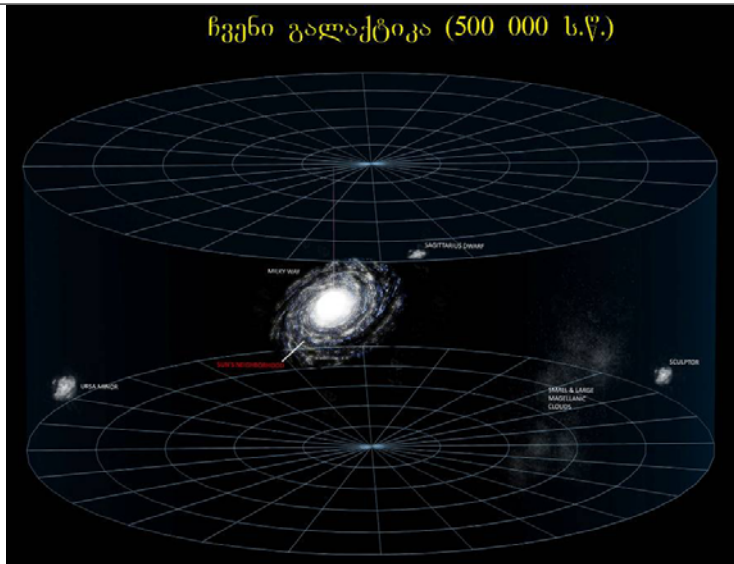
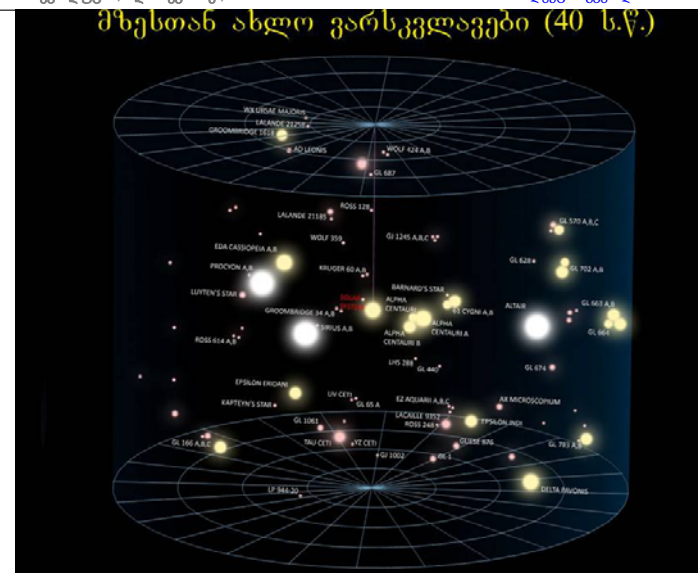
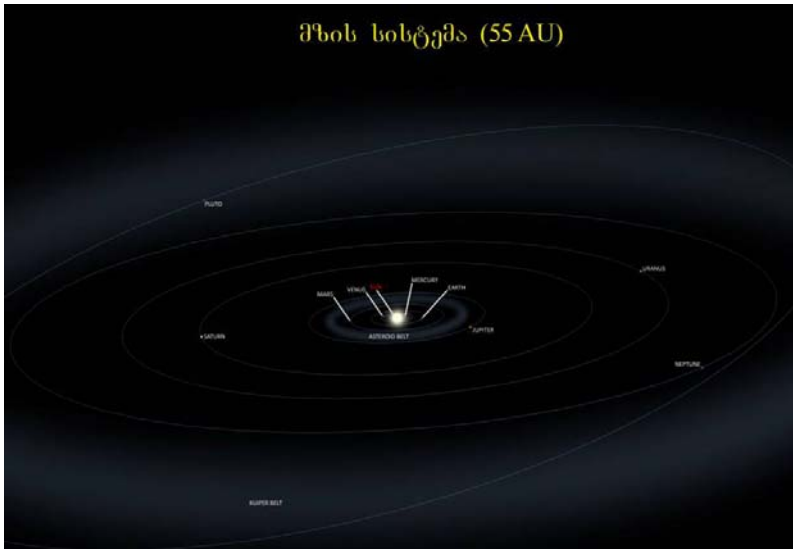
ნათობის ცვლილების მრუდი სხვადასხვა სიხშირეებზე



ექსტრაგალაქტიკური მანძილები

1. სპექტრული პარალაქსი (1-3 Mpc, ±10%)
2. ცეფეიდები (25-30 Mpc, ±16%)
3. სფერული გროვები (50-60 Mpc, ±40%)
4. სპირალური გალაქტიკები (100-500 Mpc, ±40%)
5. ზეახალი ვარსკვლავები (>1000 Mpc, ±10%)





სამყაროს მსხვილმასშტაბოვანი სტრუქტურა

კოსმოლოგიური პრინციპი

კოსმოლოგიურ მასშტაბებზე სამყარო იზოტროპული და ერთგვაროვანია

იზოტროპულობა:

სამყაროს სურათი არ არის დამოკიდებული დაკვირვების კუთხეზე (მიმართულებაზე);

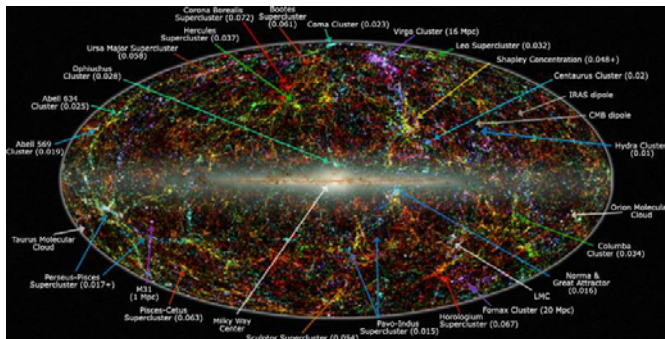
ერთგვაროვნება:

სამყაროს სურათი არ არის დამოკიდებული დაკვირვების ადგილზე;

ხილული სამყარო დიდ მასშტაბებში

კოსმოლოგიურად მცირე მასშტაბები რომლებიც არ ემორჩილებიან კოსმოლოგიურ პრინციპს:

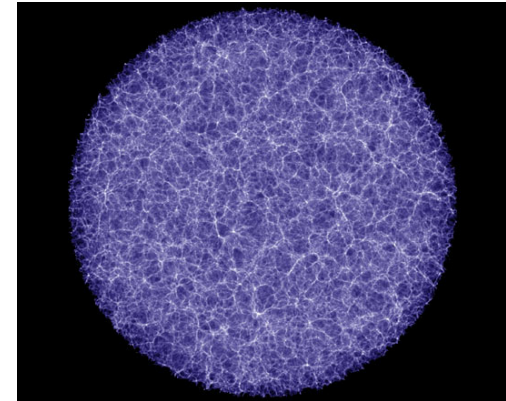
მზის სისტემა, ჩვენი გალაქტიკა, გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი



სამყაროს მსხვილმასშტაბოვანი სტრუქტურა

შემკვრივებები (“კვანძები”):

გალაქტური გროვები (სუპერკლასტერი)

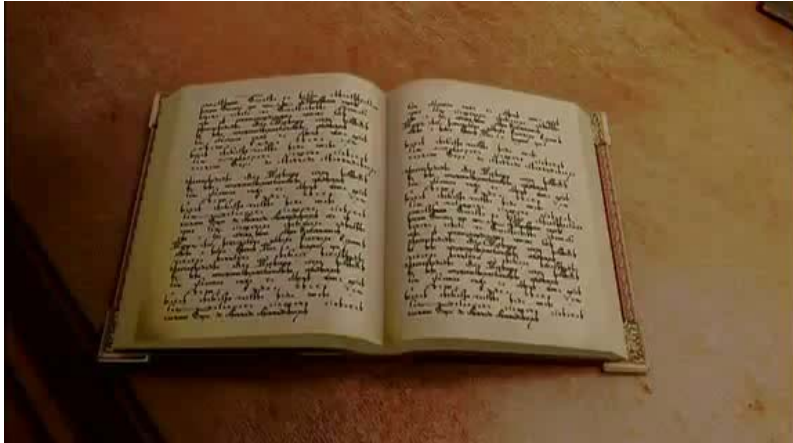


ილუსტრაცია

სამყარო მცირე მასშტაბებში



სამყარო სხვადასხვა მასშტაბში

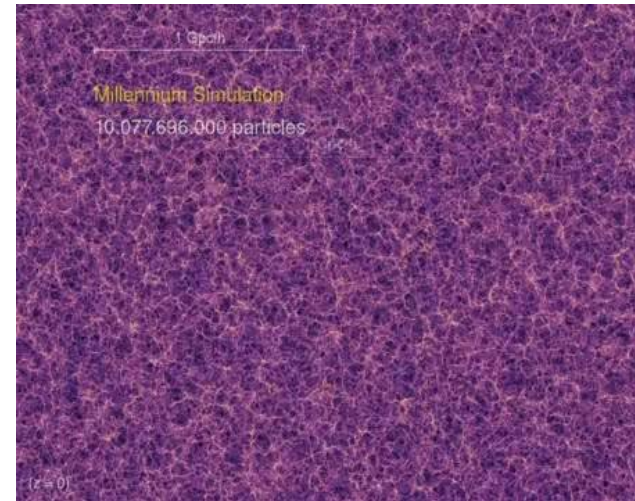


www.tevza.org/home/course/universe2012

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

ქვეთავები: 27.1 (გვ.1038–1046)

სამყარო კოსმოლოგიურ მასშტაბებში





სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 10

კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია,
ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ეფექტები,
სამყაროს გაფართოება, წითელი წანაცვლება

კოსმოლოგია

ფუნდამენტური შეკითხვები (დრო):

- არის თუ არა სამყარო სამარადისო, თუ მას გააჩნდა დასაწყისი;
- იარსებებს თუ არა სამყარო მუდმივად თუ მას გააჩნია დასასრული;
- არის თუ არა სამყარო სტატიკური და უცვლელი თუ ის დროში ცვალებადია;
- სამყარო იცვლება ერთი მიმართულებით თუ ციკლურად;

წინა ლექციაში

- მანძლის გაზომვა შორეულ ობიექტებამდე
- სამყაროს დიდმასშტაბოვანი სტრუქტურა
- კოსმოლოგიური პრინციპი

კოსმოლოგია

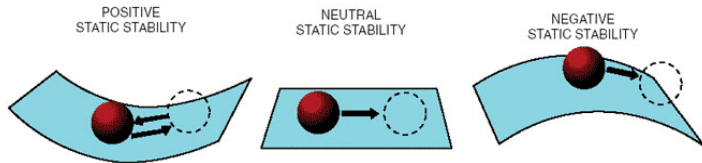
ფუნდამენტური შეკითხვები (სივრცე):

- სასრულია თუ უსასრულოა სამყარო სივრცეში;
- თუკი სამყარო სასრულია, აქვს თუ არა მას საზღვარი;

ფიზიკურ კოსმოლოგიამდე შეკითხვებზე
პასუხობდა რელიგია; (სხვადასხვა მიდგომები)

მდგრადობა

დადებითი, ნეიტრალური და უარყოფითი მდგრადობა



არამდგრადობა

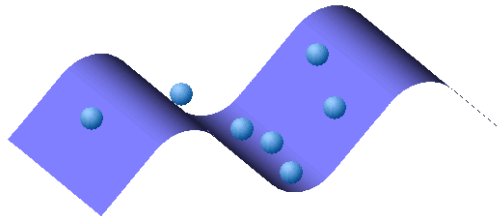
გრავიტაციული არამდგრადობა

რაც მეტი ბურთულა ჩაგორდება დრეკადი ზედაპირის ჩალრმავებაში, მით უფრო იზრდება და ფართოვდება ღრმული;

რაც უფრო ფართოა ღრმული, მით მეტი ბურთულა იწყებს შიგნით ჩაგორებას

ანალოგია:

გრავიტაციული არამდგრადობა



არამდგრადობა

არამდგრადობის მაგალითი რთულ სისტემაში: საფონდო ბირჟა

ზვევური ეფექტი



კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია

- დინამიკა: ნიუტონის კანონები;
- ათვლის სისტემები: გალილეის გარდაქმნები;
- გრავიტაცია: ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონი;

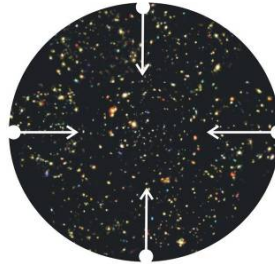
სამყარო: სტატიკური, სამარადისო; უსასრულო

რატომ უნდა იყოს სამყარო უსასრულო?

კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია

სასრული სამყაროს მაგალითი:

მიზიდულობა სამყაროს კიდეებში მიმართული იქნება უპირატესად ცენტრისაკენ



სამყარო რომ სასრული ყოფილიყო მოხდება გრავიტაციული კოლაფსი ცენტრისაკენ

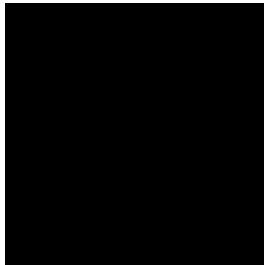
კლასიკური ფიზიკა წინასწარმეტყველებს უსასრულო სამყაროს

ლამის ცა

ოლბერსის პარადოქსი (Olbers 1826)

“უსასრულო ერთგვაროვან სტატკიურ სამყაროში ღამის ცა უნდა იყოს განათებული”

ნებისმიერი მიმართულებით ახლო თუ შორ მანძილზე უნდა ვხედავდეთ მნათობს.



ოლბერსის ახსნა (არასწორი):

ბნელი ცა გამოწვეულია ვარსკვლავთშორისი გაზის და მტვრის შთანთქმით

ნიუტონის კოსმოლოგიის პრობლემები

არ არის საჭირო სამყაროს კიდის არსებობა იმისათვის რომ დაიწყოს გრავიტაციული არამდგრადობა:

სამყაროს ნებისმიერ წერტილში წარმოქმნილი მაღალი სიმკვრივის არე დაიწყებდა მატერიის მიზიდვას და მასის ზრდას - პროცესი არ დამთავრდება სანამ მთელი სამყარო არ მოექცეოდა გრავიტაციის ცენტრში.

დაკვირვებადი სამყარო თითქმის ცარიელია **ნიუტონის უსასრულო სამყარო გრავიტაციულად არამდგრადია**

კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია

პრობლემები: 1. ღამის ცის პარადოქსი; 2. მდგრადობა;

აღმოჩნდა, რომ ნიუტონის უსასრულო სამყარო გრავიტაციულად არამდგრადია უსასრულო სამყაროშიც კი: ნებისმიერი მცირე შეშფოთება (სიმკვრივის ლოკალური ზრდა) გამოიწვევს გრავიტაციულ არამდგრადობას და სამყაროს კოლაფსს;

ფიზიკური კოსმოლოგია: კოსმოლოგია როგორც მეცნიერება სათავეს იღებს თანამედროვე გრავიტაციის თეორიის დაფუძნებიდან (აინშტაინი)

აინშტაინის თეორია

რელატივიზმი: ფარდობითობის თეორია;

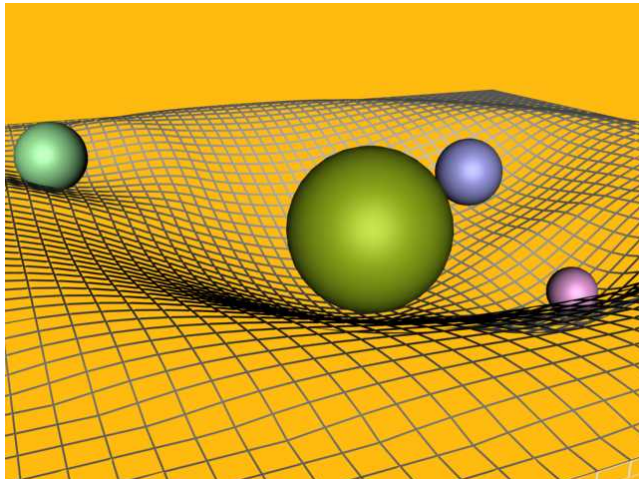
პოსტულატი:

სინათლის სიჩქარე: მაქსიმალური შესაძლო სიჩქარე;
(მასის, გამოსხივების, ინფორმაციის გადატანა)

გალილეის გარდაქმნები \Rightarrow ლორენცის გადაქმნები;
სინათლის სიჩქარე მაქსიმალური სიჩქარეა ყველა
ათვის სისტემაში;

სივრცე, აბსოლუტური დრო \Rightarrow დრო-სივრცე
(ლოკალური დრო)

მასის განაწილება და სივრცის სიმრუდე



აინშტაინის თეორია

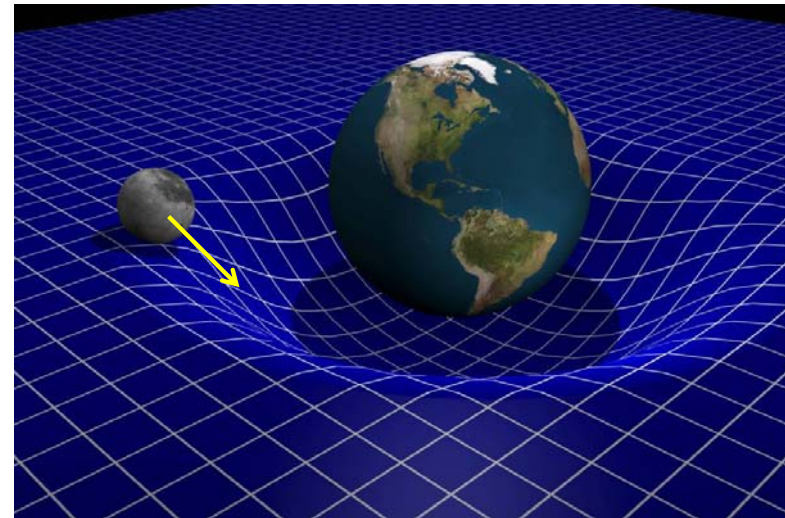
ფარდობითობის ზოგადი თეორია:

გრავიტაციის ახალი თეორია

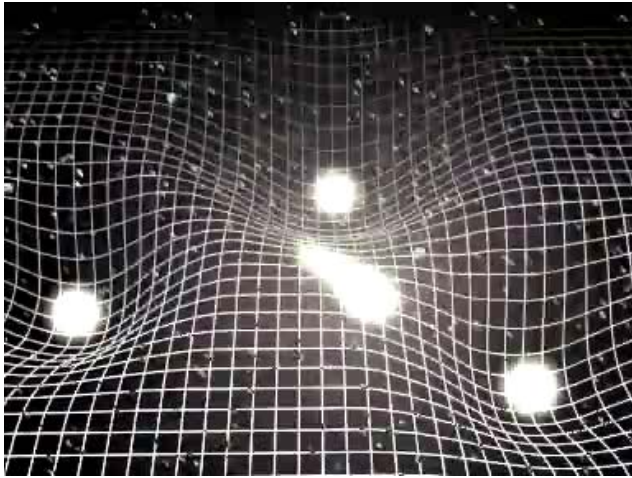
დრო-სივრცე შეიძება იყოს გამრუდებული;
გეომეტრიული წარმოდგენები
სიმრუდე განისაზღვრება მასის განაწილებით;

იტერპრეტაცია:

- მასა განსაზღვრავს სივრცის სიმრუდეს;
- სივრცე განსაზღვრავს მასის მოძრაობას;



სივრცის ლოკალური სიმრუდე

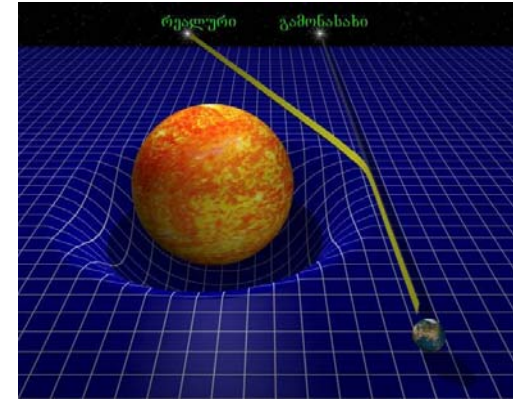


სინათლის სხივის გამრუდება

მასა/ენერგია: $E = mc^2$

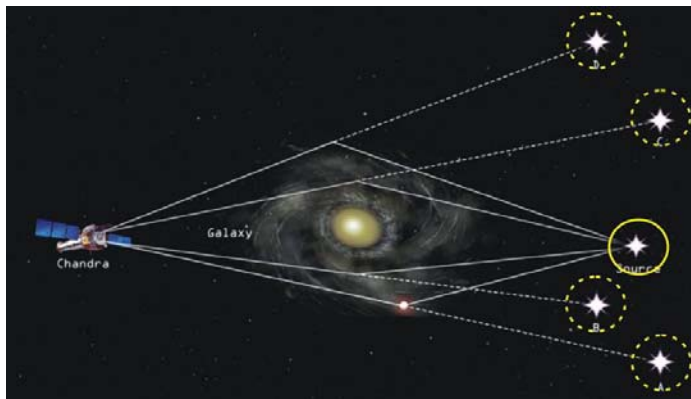
სინათლის სხივი:
ფოტონი
(ეფექტური მასა)

ფოტონის
გრავიტაციული
მიზიდვა



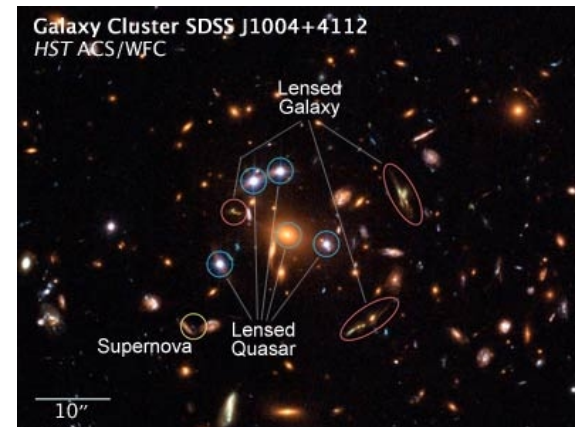
გრავიტაციული ლინზირება

შორეული ობიექტის ოპტიკური გამოსახულების
გრავიტაციული მოდიფიკაცია: ლინზირება



გრავიტაციული ლინზირება

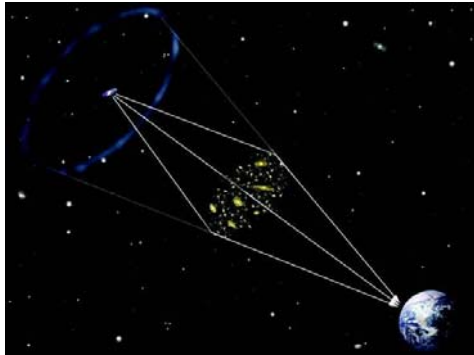
შედეგად: ერთი ობიექტის მრავალჯერადი გამოსახულება



გრავიტაციული ლინზირება

რკალური გამონასახი

თეორია



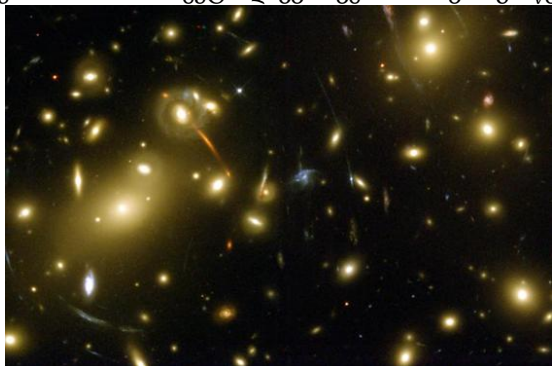
დაკვირვება

გრავიტაციული ლინზირების მოდელირება



შორეული კოსმოსი

გრავიტაციული ლინზირება უპირატესად დაიკვირვება შორეული ობიექტებისათვის (საჭიროა ორი ობიექტი დაკვირვების სხივის გასწვრივ)



სამყაროს დიდმასშტაბოვანი გეომეტრია

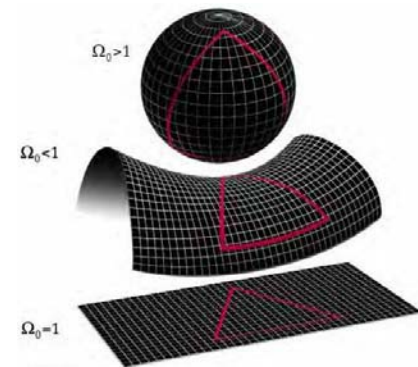
სამყაროს გლობალური გეომეტრია:

სიმრუდე:

დადებითი,

უარყოფითი,

ნულოვანი (ბრტყელი);



სამკუთხედის შიდა

კუთხეების ჯამი:

ბრტყელი: 180°

დადებითი: >180°, უარყოფითი: <180°;

აინშტაინის კოსმოლოგია

აინშტაინის განტოლება: $G \sim T$

G - მეტრიკა (სივრცის გეომეტრია – სიმრუდე)

T – ენერგია–იმპულსი (მასა, ენერგია)

$T > 0$: გრავიტაცია მხოლოდ მიმზიდველი ძალაა

$G > 0$: სივრცის დადებითი სიმრუდე ?

დადებითი სიმრუდის შემთხვევაში სტატიკური სამყარო განიცდის გრავიტაციული კოლაფსს

სამყაროს გაფართოება

დაკვირვებები:

ედვინ ჰაბლი (Hubble 1929)

გალაქტიკის წითელი წანაცვლება პროპორციულია დედამიწამდე მანძილის

გამოსხივების სპექტრის წითელი წანაცვლება მიგვითითებს იმ ფაქტზე რომ გალაქტიკა ჩვენ გვშორდება (დოპლერის ეფექტი)

დაშორების სიჩქარე იზრდება შორეული ობიექტებისათვის

აინშტაინის კოსმოლოგია

აინშტაინის ჰიპოტეზა: მდგრადი სამყაროს არსებობისათვის საჭიროა ნულოვანი სიმრუდე დიდ მასშტაბებზე (ბრტყელი სამყარო);

$$G \sim T - \Lambda$$

Λ - აინშტაინის ლამბდა წევრი: სივრცის განზიდვა;

აინშტაინის მოდელი: სტატიკური სამყაროსათვის საჭიროა განმზიდვა ძალა – ლამბდა წევრი

სამყაროს გაფართოება

ჰაბლის კანონი: გალაქტიკები გვშორდებიან დაშორების მანძილის პროპორციული სიჩქარეებით

$$V = H D$$

V - დაშორების სიჩქარე

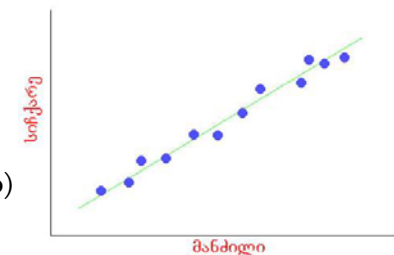
D – მანძილი მნათობამდე

H – ჰაბლის მუდმივა:

$H \approx 72$ (კმ/წ)/(მეგა პარსეკი)

სტატიკური სამყაროს

მოდელი უარყოფილია დაკვირვებებით

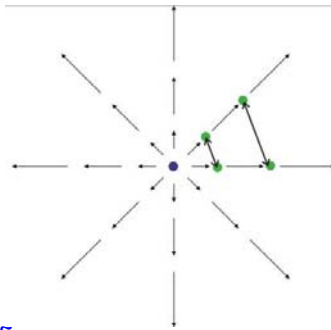


სამყაროს გაფართოება

გაფართოება: არასტატიკური სამყარო (!)

გაფართოების ცენტრი:
დედამიწა?

კოსმოლოგიური პრინციპი:
ერთგვაროვნება;



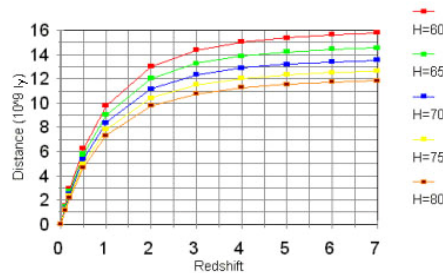
სამყარო ფართოვდება ყველგან:
ნებისმიერი ორი წერტილი შორდება ერთმანეთს

Z მანძილი

მანძილი/წითელი წანაცვლების სკალა
დამოკიდებულია ჰაბლის მუდმივის ზუსტ
მნიშვნელობაზე:

შორეული ობიექტი:
მაღალი Z ობიექტები
(z > 0.1)

მაგ. კვაზარები,
ზეახალი ვარსკვლავები



წითელი წანაცვლება

სამყაროს გაფართოება საშალებას იძლევა მანძილი
გავზომოთ წითელი წანაცვლებით:

ჰაბლი: მანძილი პროპორციულია სიჩქარის

დოპლერი: წითელი წანაცვლება პროპორციულია
დაშორების სიჩქარის

z - წითელი წანაცვლება; $z \sim v$

რელატივისტური ფორმა (v~c) $1+z = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

ჰაბლის რადიუსი

მანძილის ზრდასთან ერთად იზრდება
გალაქტიკების ჩვენგან დაშორების სიჩქარე

იმისათვის რომ გალაქტიკა დავინახოთ, ანუ
მივიღოთ გამოსხივებული სინათლე, გალაქტიკის
დაშორების სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს
სინათლის სიჩქარეს.

ჰაბლის რადიუსი: რადიუსი, სადაც გალაქტიკების
დაშორების სიჩქარე უტოლდება სინათლის სიჩქარეს

ჰაბლის რადიუსის შიგნით მყოფი გალაქტიკები
გვშორდებიან სინათლის სიჩქარეზე უფრო ნელა

ჰაბლის რადიუსი

$$R_H = C / H$$

C - სინათლის სიჩქარე

H – ჰაბლის მუდმივა

რა ხდება ჰაბლის რადიუსის გარეთ?

სამყაროს ის ნაწილი რომელიც ჩვენთან არ არის დაკავშირებულია მიზეზ–შედეგობრივად

კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

სამყარო შეიძლება გავყოთ დაკვირვებად და დაუკვირვებად ნაწილებად.

ოლბერსის პარადოქსის ახსნა:

ჩვენ შეგვიძლია დავაკვირდეთ მხოლოდ სასრულ სფეროს (ჰაბლის რადიუსი).

დაკვირვებადი სამყაროს ზომა განსაზღვრავს **კოსმოლოგიურ ჰორიზონტს**: სამყაროს იმ ნაწილს რომლის დაკვირვებაც შესაძლებელია დედამიწიდან

კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

ყველაზე შორეულმა ობიექტმა რომლის დანახვას შესაძლებელია დღეს სინათლე გამოასხივოს სამყაროს დაბადებისას. დღემდე ამ შუქმა ჩვენამდე მოგზაურობისას დაფარა მაქსიმალურად შესაძლო მანძილი:

$$R_H = C T$$

C - სინათლის სიჩქარე

T_y – სამყაროს ასაკი

$$H \sim 1/ T_y$$

ჰაბლის მუდმივით სამყაროს ასაკის შეფასება

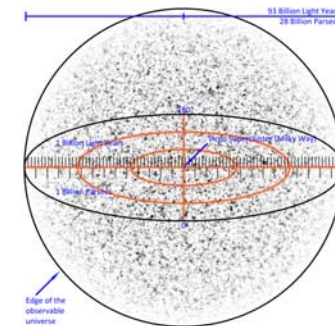
სამყაროს ასაკი: 13.7 მილიარდი წელი

ჰაბლის რადიუსი: 13.7 მილიარდი სინათლის წელი

კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

კოსმოლოგიური ჰორიზონტის სიდიდე იზრდება სამყაროს გაფართოების ევექტის გათვალისწინებით.

რეალური
კოსმოლოგიური
ჰორიზონტი
46 მილიარდი ს.წ.



სივრცე და დრო სამყაროში

ხილული სამყაროს დაკვირვება:

ჩვენამდე შორეული ობიექტიდან მოსული სინათლე მნათობმა გამოასხივა წარსულში;

დროში განსხვავება პროპორციულია მნათობამდე მანძილის;

დიდი მანძილი = შორეული წარსული;

ღრმა კოსმოსი: ადრეული სამყარო;

დაკვირვება კოსმოლოგიური ჰორიზონტზე (ჰაბლის რადიუსი):

სამყაროს ფოტოგრაფია მისი დაბადებისას?

www.tevza.org/home/course/universe2012



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 11

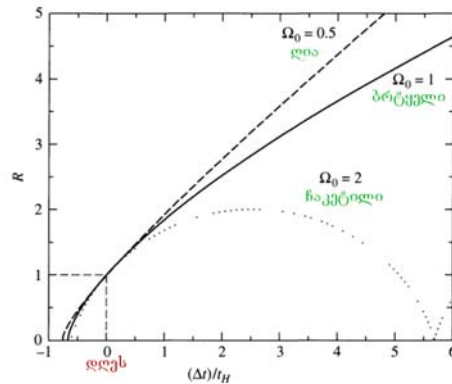
დიდი აფეთქების თეორია
ადრეული სამყარო
რელიქტური ფონური გამოსხივება

სამყაროს გაფართოება

აინშტაინის განტოლების ამონახსნი:
ფრიდმანი (1922), არასტატიკური ამონახსნი:

სამყაროს ბედი
დამოკიდებულია
მის სიმკვრივეზე

“ღია” და
“ჩაკეტილი”
სამყარო



წინა ლექციაში

- კლასიკური ფიზიკა და კოსმოლოგია
- ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ეფექტები
- სამყაროს გაფართოება
- კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

სამყაროს გაფართოება

ლემეტრი (Georges Lemaître, 1927)

“შექმნის მომენტში

ფეთქებადი კოსმოსური კვერცხი”

“the Cosmic Egg exploding at the moment of the creation”



“დიდი აფეთქების” (big bang) თეორიის ავტორი

სამყარო ფართოვდება საწყისი მცირე ზომის ცხელი წერტილიდან.

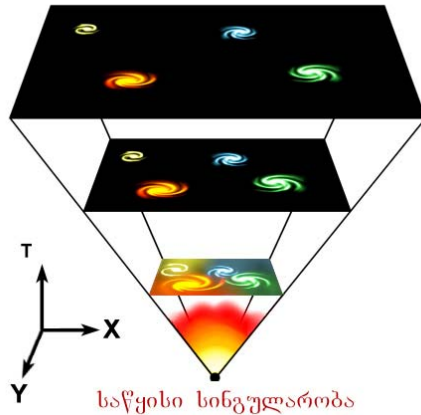
პრობლემები: **საწყისი წერილი – სინგულარობა? უსასრულო სიმკვრივე?**

დიდი აფეთქება

მთელი სამყაროს მასა თავმოყრილია ერთ წერტილში

გაფართოებისას იკლებს სიმკვრივე და ტემპერატურა

”ცხელი” დიდი აფეთქების მოდელი



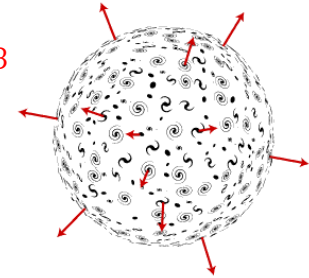
გაფართოება და კოსმოლოგიური პრინციპი

- დიდი აფეთქება: გაფართოება საწყისი წერტილიდან.
- კოსმოლოგიური პრინციპი: სამყაროში არ არსებობს გამორჩეული ადგილი ან მიმართულება;

რომელი წერტილის ირგვლივ ფართოვდება საყარო?

პასუხი: ყველა

ანალოგი: ბუმტის ზედაპირის გაფართოება



ადრეული სამყარო

მაღალი ენერგიები, ტემპერატურა, სიმკვრივე.

დიდი გაერთიანება: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ბირთვული, ძლიერი და სუსტი ურთიერთქმედების აღმწერი ერთიანი ველის თეორია.

გაფართოება: ტემპერატურის, სიმკვრივის კლება

სხვადასხვა ”ეპოქები”: განსხვავებული ფიზიკა

სამყაროს ევოლუცია

თეორიული მოდელი: კოსმოლოგიური ეპოქები

10^{-32} წამი ($10^{27}K$)

ელემენტარული ნაწილაკების ”ბულონი”, ელექტრონები, კვარკები ...

10^{-6} წამი ($10^{13}K$)

კვარკები ქმნიან პროტონებს და ნეიტრონებს

3 წუთი (10^8K)

იონიზირებული პლაზმა (გაუმჟღავნებელი)

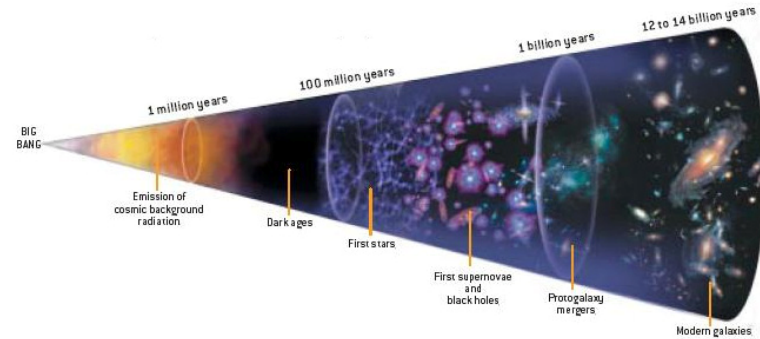
სამყაროს ევოლუცია

300 000 წელი (10 000K)
ატომების წარმოქმნა და გამჭვირვალე სამყაროს დაბადება

1 მილიარდი წელი (70K)
პირველი გალაქტიკების წარმოშობა

10 მილიარდი წელი (3K)
სამყაროს დღევანდელი სურათი

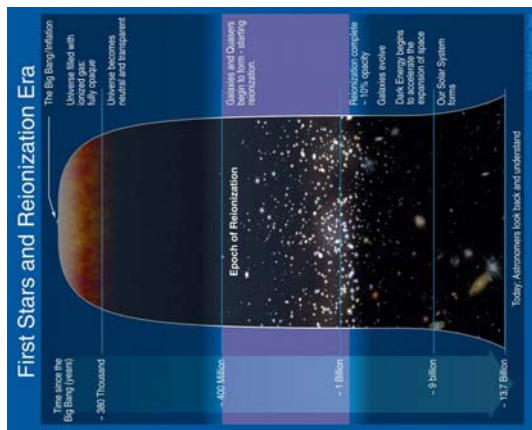
კოსმოლოგიური ეპოქები



რეიონიზაცია

ბნელი ეპოქის დასასრული

პირველი ვარსკვლავების ანთება



ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები

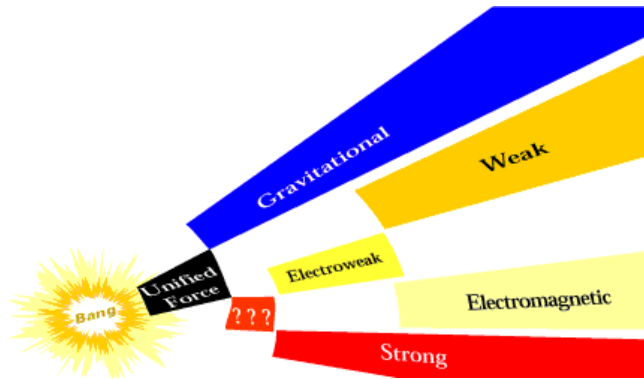
- გრავიტაციული
- ელექტრომაგნიტური
- ძლიერი
- სუსტი

დიდი გაერთიანების თეორია: მაღალ ენერჯიებზე ურთიერთქმედებები ერთიანდებიან (GUT)

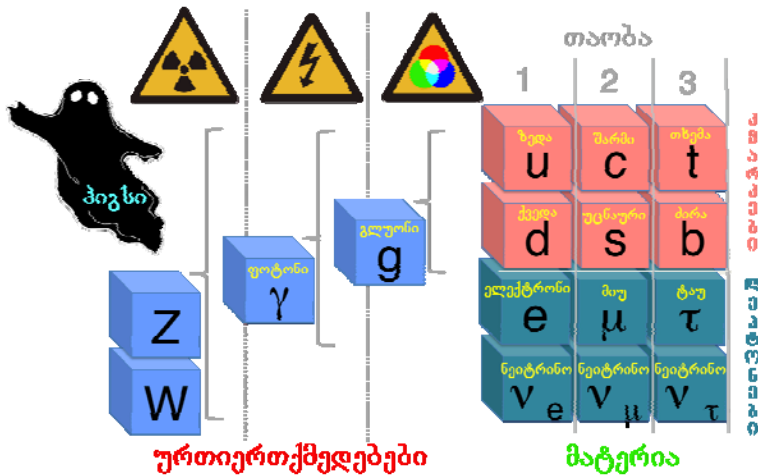
დიდი აფეთქების საწყისი ფაზა: GUT

სამყაროს ევოლუცია

სამყაროს გაფართოება და ფუნდამენტური ურთიერთქმედებები



სტანდარტული მოდელი



ადრეული ეპოქა

სამყაროს გაფართოება იწვევს ტემპერატურის კლებას

ფაზური გადასვლები:

EW: (150 GeV)

ელექტრო-სუსტი ურთიერთქმედება

QCD: (175 MeV)

ქვანტური ქრომოდინამიკა:

ძლიერი ურთიერთქმედება

$$(1\text{MeV} = 10^6 \text{ eV} = 10^6 \times 10^5 \text{ K} = 10^{11} \text{ K})$$

ნაწილაკები და ანტინაწილაკები

- QUARKS:** UP QUARK, DOWN QUARK, CHARM QUARK, STRANGE QUARK, TOP QUARK, BOTTOM QUARK.
- LEPTONS:** ELECTRON-NEUTRINO, ELECTRON, MUON-NEUTRINO, MUON, TAU-NEUTRINO, TAU.
- FORCE CARRIERS:** PHOTON, GLUON, W BOSON, Z BOSON.
- THEORETICALS:** TACHYON, HIGGS BOSON, DARK MATTER, GRAVITON.
- NUCLEONS:** PROTON, NEUTRON.

სიმეტრიები სამყაროში

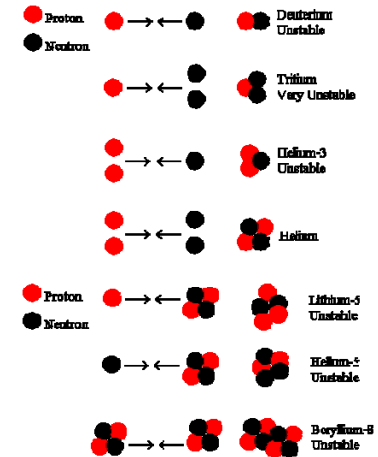
სიმეტრიების დარღვევამ ფაზური გადასვლებისას უნდა ახსნას დღევანდელი სამყაროს ხილული ასიმეტრიები.

ბარიონული ასიმეტრია: მატერია–ანტიმატერია დღევანდელი სამყაროში დომინირებს მატერია;

მაგნიტური მონოპოლები: “მაგნიტური ველის მუხტი” არ არის დამზერილი

დიდი აფეთქების ბირთვული სინთეზი

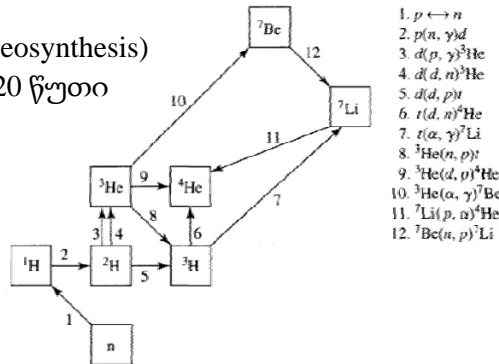
სამყაროს საწყისი გაცივებისას მცირე დროის განმავლობაში ესწრება მხოლოს მსუბუქი ქიმიური ელემენტების სინთეზი



დიდი აფეთქების ბირთვული სინთეზი

BBN (Big Bang Nucleosynthesis)
სამყაროს ასაკი: 3–20 წუთი

ბირთვების შერწყმა და ქიმიური ელემენტების სინთეზი



კოსმოლოგიური წარმოშობის ქიმიური ელემენტები (ძმძმე ელემენტების სინთეზი ხდება ვარსკვლავებში)

რელიქტური გამოსხივება



თეორია (გამოვი, 1948)

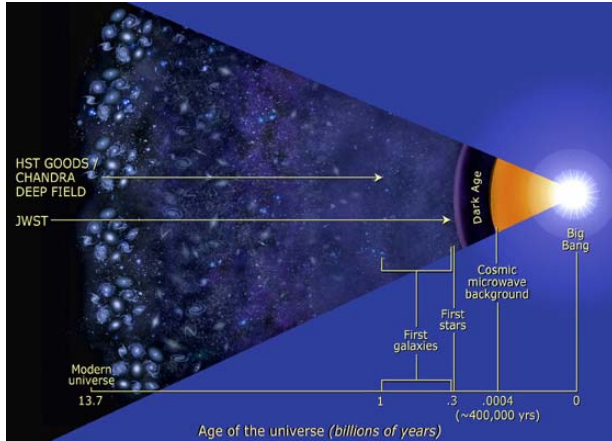
თუკი სამყარო ცივდება, მაშინ იგი გადის ე.წ. რეკომბინაციის ეპოქას. წყალბადის იონები ქმნიან წყალბადის ატომებს. სამყარო ხდება გამჭვირვალე.

დიდი აფეთქების ნათება უნდა ჩანდეს გამჭვირვალე სამყაროში.

სამყარო ფართოვდება: გამოსხივების სიხშირე ეცემა (ეფექტური ტემპერატურა). [დღეს: 3K](#)

ფონური გამოსხივება

უკანასკნელი ოპტიკური გაფანტვის ზედაპირი.



რელიქტური გამოსხივება

რელიქტური ფონის გამოსხივების აღმოჩენა:



Penzias, Wilson 1965

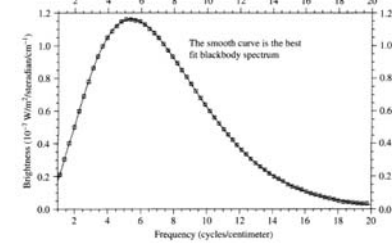
ერთგვაროვანი იზოტროპული გამოსხივება.

ტალლის სიგრძე: 1.06 მმ

მიკროტალღოვანი გამოსხივება

გამოსხივების ტიპი:

სითბური: 2.7K

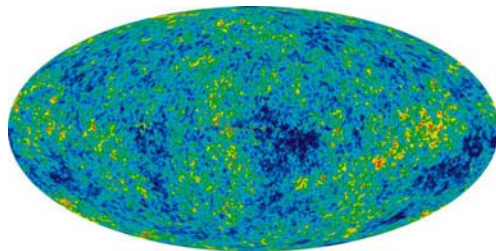


“ზუსტი” კოსმოლოგია

დაკვირვებითი კოსმოლოგიის ხანა:

რელიქტური ფონის გამოსხივების

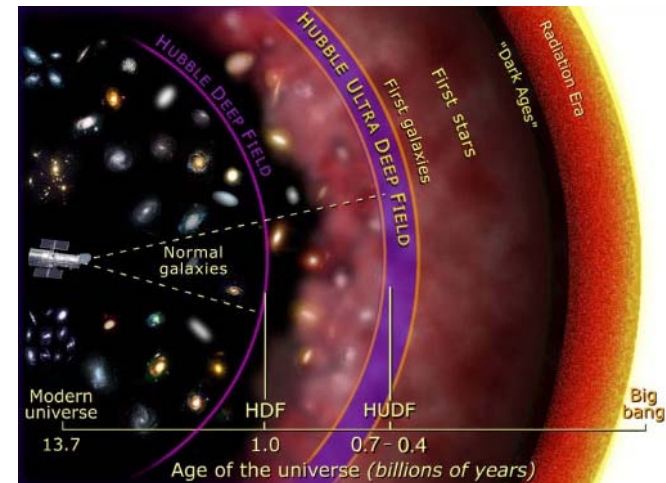
არაერთგვაროვნებები: ($T = 2.7K, \Delta T/T \sim 10^{-5}$)



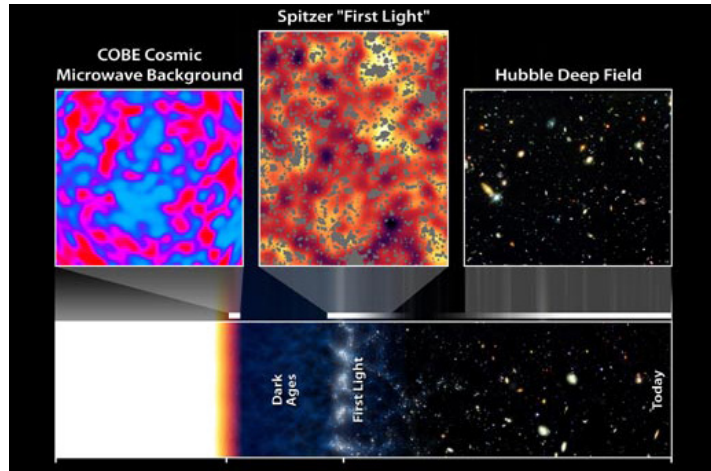
საწყისი არაერთგვაროვნებები:

გალაქტიკების ჩანასახები

დაკვირვებები



დაკვირვებები



ფარული ენერგია

სამყაროს დიდმასშტაბოვანი გეომეტრია დიდი სიზუსტით ბრტყელია.

თანამედროვე დაკვირვებები, სამყაროს ასაკი

მიმზიდავი და განმზიდავი ძალების ბალანსი:
 მიმზიდავი: ნორმალური მატერია, ფარული მასა
 განმზიდავი: ფარული ენერგია (ჰიპოთეტური)

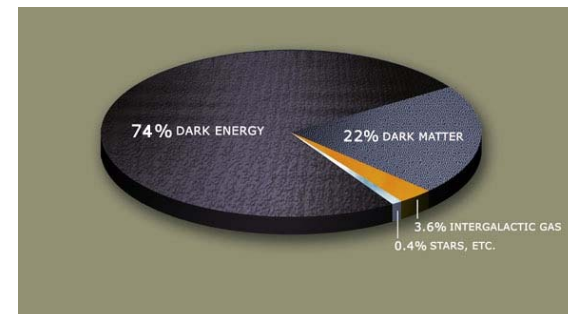
მომავალი დაკვირვებები

უკანასკნელი გაფანტვის ზედაპირი: **ოპტიკური**
 ეპოქა: წყალბადის რეკომბინაცია
 რელიქტური ფონის გამოსხივება;
 სამყაროს ასაკი: **300 000 წელი**

უკანასკნელი გაფანტვის ზედაპირი: **გრავიტაციული**
 ეპოქა: **GUT (?)**
 გრავიტაციული ფონური გამოსხივება (?)
 სამყაროს ასაკი **< 1 წამი (?)**

ფარული ენერგია

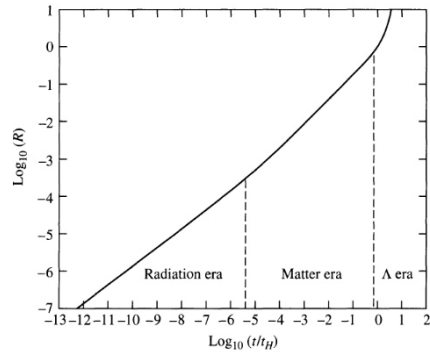
- 4% ვარსკვლავები, ვარსკვლავთშორისი გაზი, გამოსხივება
- 22% ფარული მასა
- 74% ფარული ენერგია ☹



კოსმოლოგიური ეტაპები

სამყაროს გაფართოება იწვევს გამოსხივებისა და მატერიის სიმკვრივის კლებას, ფარული ენერჯის სიმკვრივე (ვაკუუმის თვისება) უცვლელია (ჰიპოთეზა)

1. გამოსხივების დომინირება;
2. მატერიის დომინირება;
3. ფარული ენერჯის დომინირება;



დიდი აფეთქება

სამყაროს გაფართოება საწყისი ცხელი წერტილიდან

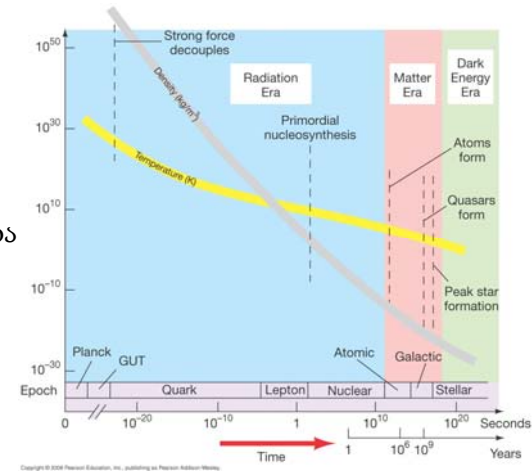
საწყისი წერტილი: **სინგულარობა**
 სამყაროს ასაკი: ~14 მილიარდი წელი

გაფართოების სიჩქარე < სინათლის სიჩქარე

სამყაროს ზომა ≤ კოსმოლოგიური ჰორიზონტი

კოსმოლოგიური ეტაპები

სამყაროს მომავალი “ფარული ენერჯის ეპოქა” დამოკიდებულია დღეს უცნობი ფაქტორის თვისებებზე



www.tevza.org/home/course/universe2012



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 12

დიდი აფეთქების თეორიის პრობლემები
ინფლაციის თეორია

დიდი აფეთქების თეორიის პრობლემები

- სამყაროს ბრტყელი გეომეტრია;
- ჰორიზონტის პრობლემა;
- მაგნიტური მონოპოლები და ტოპოლოგიური დეფექტები;

დიდი აფეთქების თეორია ხსნის მხოლოდ სამყაროს დღევანდელი გაფართოების დინამიკას (ჰაბლის კანონი)

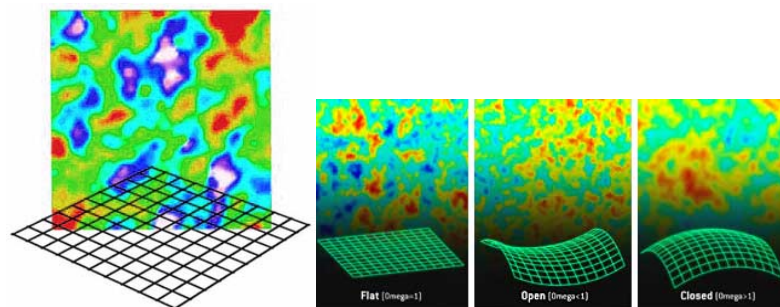
წინა ლექციაში

- დიდი აფეთქების თეორია
- ადრეული სამყარო
- რელიქტური ფონური გამოსხივება

ბრტყელი სამყარო

დიდ მასშტაბებზე სამყაროში სივრცე არ არის გამრუდებული:

სამყაროს დიდი სიზუსტით ბრტყელია



ბრტყელი სამყარო

სტანდარტული დიდი აფეთქების თეორიის პრობლემა: *ბრტყელი ამონახსნი არამდგრადია*

სიმრუდის მცირე შეშფოთებები დაიწყებენ სწრაფ ზრდას და შეცვლიან დღევანდელ სურათს.

დღეს ბრტყელი გეომეტრიიდან გადახრა: **0.001%**
ადრეულ სამყაროში შეშფოთების სიდიდე: **10^{-60}**

საწყისი პირობების არაზუნებრივად ზუსტი არჩევა

ჰორიზონტის პრობლემა

კოსმოლოგიური ჰორიზონტი: $R_H \sim C t$
C – სინათლის სიჩქარე

სამყაროს გაფართოების სიჩქარე $< C$,
კოსმოლოგიური ჰორიზონტი იზრდება და მოიცავს უფრო და უფრო მეტ სივრცეს;

ჰორიზონტს შიგნით: დაკვირვებადი სამყარო,
ურთიერთქმედება და ინფორმაციის გაცვლა

ჰორიზონტს გარე სამყარო ჩვენგან განსხვავდება?

ბრტყელი სამყარო

დიდი აფეთქებისას სივრცემ უნდა დაიწყოს ზუსტად იმ სიჩქარით გაფართოება, რაც აუცილებელია დღევანდელი “ბრტყელი” (გაუმრუდებელი) სივრცის მისაღებად

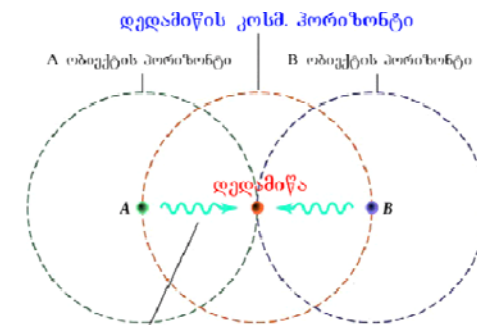
გამალითად: ბურთი ავაგდოთ ზუსტად იმ სიჩქარით რომ იგი ავიდეს და ზუსტად გაჩერდეს დროშის ბოძის თავზე.



სამყაროს სჭირდება გაცილებით მეტი სიზუსტე გაფართოების საწყისი სიჩქარის არჩევისას

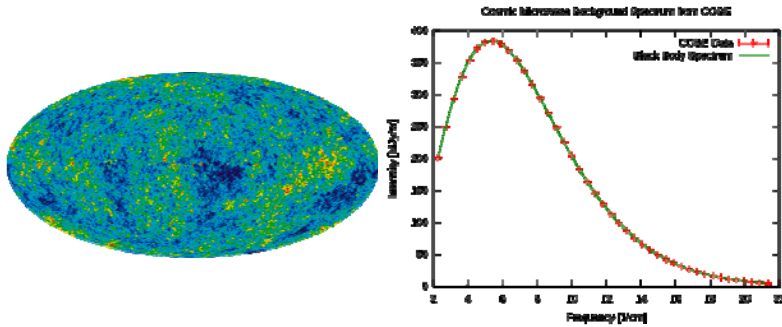
ჰორიზონტის პრობლემა

ჩვენ ვხედავთ სამყაროს შორეულ უბნებს რომლებიც ერთმანეთთან კავშირში არაა, მაგრამ მაინც ერთნაირად გამოიყურებიან



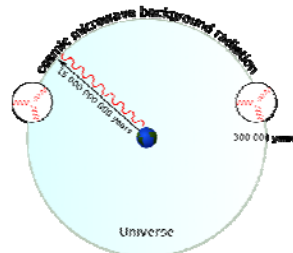
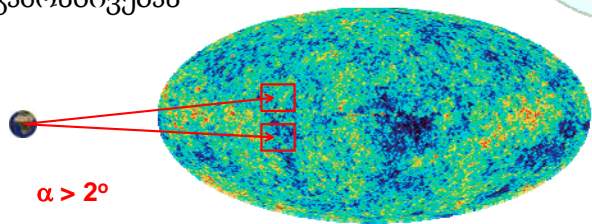
რელიქტური ფონის გამოსხივება

რელიქტური ფონის გამოსხივების სპექტრი დიდი სიზუსტით ემთხვევა სითბურ გამოსხივებას (შავი სხეულის გამოსხივება 2.725K ტემპერატურაზე)



ჰორიზონტის პრობლემა

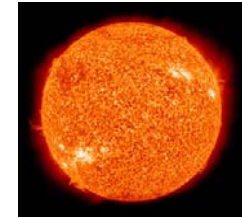
რელიქტური ფონის უბნები, რომლებიც ერთმანეთს ვერ ხედავენ ასხივებენ ერთიდაიგივე ტემპერატურის სითბურ გამოსხივებას



სითბური გამოსხივება

“შავი სხეულის” გამოსხივების სპექტრი ახასიათებს სითბურ გამოსხივებას - როდესაც სხეული დაახლოებით ერთ ტემპერატურაზეა

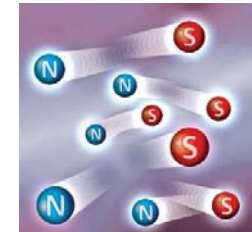
მაგ. გავარვარებული ნივთიერების სფერო: მზე (~5700K)



სითბური წონასწორობა - სხეულის სხვადასხვა ნაწილები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ

მაგნიტური მონოპოლები

ელექტრული ველი: დადებითი და უარყოფითი ელექტრული მუხტები პროტონი +, ელექტრონი -



მაგნიტური ველის მუხტი - მონოპოლი?

მაგნიტური ველის პოლარობა:

“ჩრდილოეთი”, “სამხრეთი”

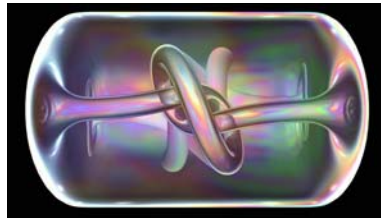
ჩრდილოეთ და სამხრეთ მონოპოლები?

სივრცის ტოპოლოგია

რთული ტოპოლოგიის
ორგანზომილებიანი
ზედაპირი - მებიუსის ლენტი



სივრცის ტოპოლოგიური
დეფექტის მაგალითი
(სივრცე ბოთლის შიგნით)



კოსმოლოგიური ინფლაცია

Starobinsky model (1970)

Alan Guth – Inflation (1981)

Andrei Linde (1982)

ინფლაციის თანამედროვე მოდელი

სამყაროს აჩქარებული გაფართოება:
გაფართოების სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება
სინათლის სიჩქარეს

გაფართოების ფაქტორი: $\times 10^{60}$

დიდი აფეთქების პრობლემები

დიდი აფეთქების თეორიის ფარგლებში არ არის
გამორიცხული შემდეგი ფაქტორების არსებობა:

მაგნიტური მონოპოლების
(ველის თეორია)

სივრცის ტოპოლოგიური დეფექტების
(გრაფიტაციის თეორია)

დღეისათვის არცერთი დამზერილი არ არის ...

კოსმოლოგიური ინფლაცია

სამყაროში სივრცის გაფართოების მიზეზი:
ინფლაციური ველი (განმზიდავი)

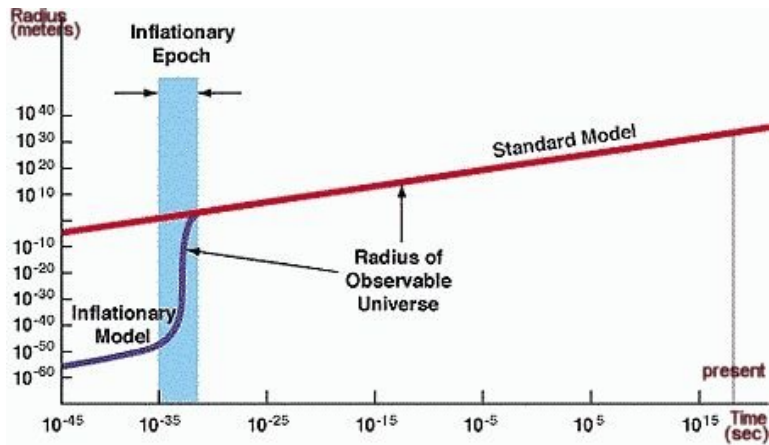
ინფლაციური ველის ენერგია პროპორციულია
სივრცის მოცულობის

რაც მეტია სივრცე, მით მეტია ინფლაციური ველი,
მით მეტია განზიდვა, მით უფრო სწრაფად
ფართოვდება სამყარო

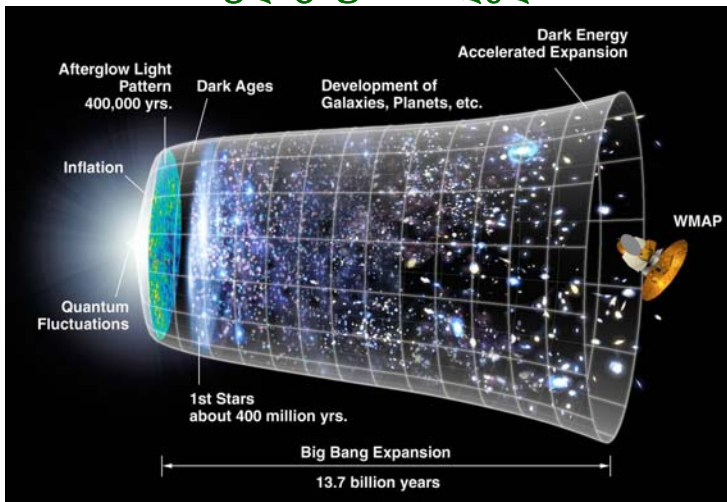
რადაც მომენტში ინფლაციური ველი ქრება და
ენერგია გადადის ჩვენთვის ცნობილ ფორმებში
გამოსხივება+მატერიაში
ცხელი სამყაროს დაბადება

ინფლაცია

არქარებული გაფართოების ეპოქა: 10^{-35} – 10^{-30} წ.



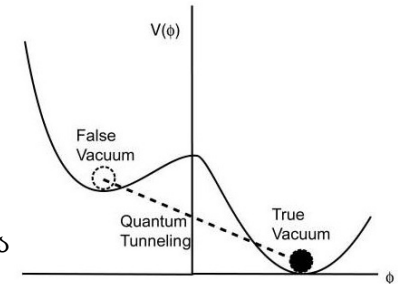
ინფლაციური მოდელი



ინფლაცია

საწყისი მდგომარეობა: ცარიელი ბუმი, ვაკუუმი
სკალარული ველის თვისება: "ცრუ ვაკუუმი"

ცრუ ვაკუუმიდან
გადასვლა რეალურ
ვაკუუმში



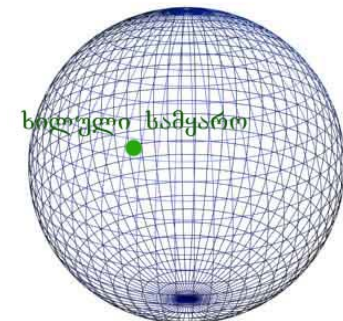
სკალარული ველის ენერგია

↓ ↓ ↓ ↓
მატერიის ენერგია (ცხელი სამყაროს დაბადება)

ბრტყელი სივრცე

ინფლაციური მოდელი:
სამყაროს ზომა გაცილებით აღემატება ხილული
სამყაროს რადიუსს (10^{60})

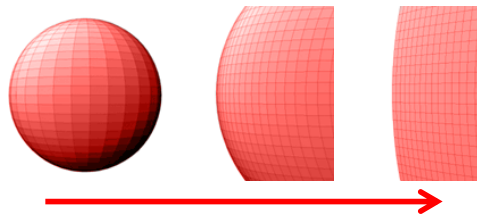
ანალოგი:
სფეროს ზედაპირის
მცირე უბანზე
სიმრუდე არ იგრძნობა



ბრტყელი სამყარო

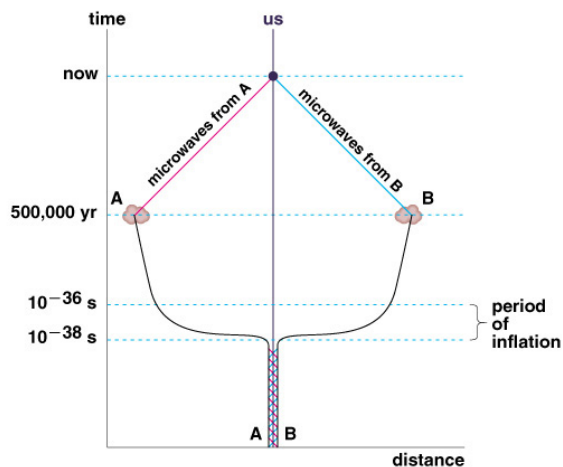
სამყაროს გეომეტრიას გააჩნია დადებითი სიმრუდე

ჩვენთან მიზეზ-შედეგობრივად დაკავშირებული სამყაროს ნაწილი (ჰორიზონტს შიგნით) დიდი სიზუსტით ბრტყელია



ჰორიზონტის პრობლემა

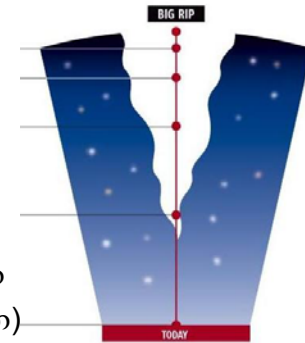
ადრეულ სამყაროში ახლოს მდებარე უბნები ინფლაციური გაფართოების შემდეგ აღმოჩნდნენ ჰორიზონტს გარეთ



დიდი გახლეჩვა

სივრცის სინათლის სიჩქარეზე უფრო სწრაფი გაფართოება იწვევს სივრცის “გახლეჩვას”

განცალეხული სივრცის ნაწილებს შწირდებათ გარკვეული დრო რომ კვლავ დაინახონ ერთმანეთი (კოსმოლოგიური ჰორიზონტი იზრდება სინათლის სიჩქარით)



ქვანტური ქაფი

ბუშტის ზომა. პლანკის მასშტაბი: 10^{-35} მ
საწყისი მომენტი? პლანკის დრო: 10^{-44} წ.

ჰაიზენბერგის განუზღვრელობის პრინციპი; არ შეიძლება კოორდინატისა და დროის ერთდროულად გაზომვა;

განუზღვრელობა: დროის ღერძის მიმართულება, მიზეზ-შედეგობრიობა, აზრს კარგავს შეკითხვა: რა იყო მანამდე?

ქვანტური ქაფი

საწყისი მდგომარეობა: დრო-სივრცის ქვანტური ქაფი;



სამყაროს ასაკი

დიდი აფეთქება: ~ 15 მილიარდი წელი
ინფლაციური მოდიფიკაცია: ~13.7 მილიარდი წელი

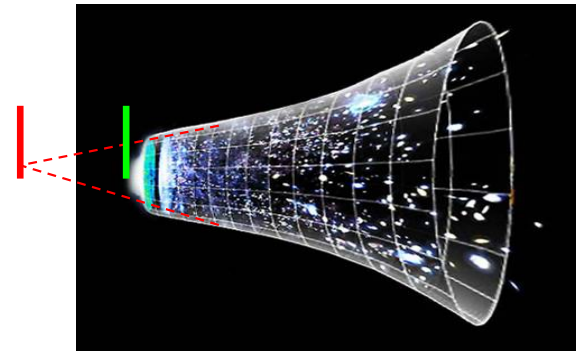
დღევანდელი წარმოდგენებით ინფლაცია დიდი აფეთქების თეორიის სტანდარტული მოდიფიკაციაა ადრეულ ეტაპზე

დიდი აფეთქების მოდელი: სამყაროს ზომა ნაკლებია ჰაბლის რადიუსზე

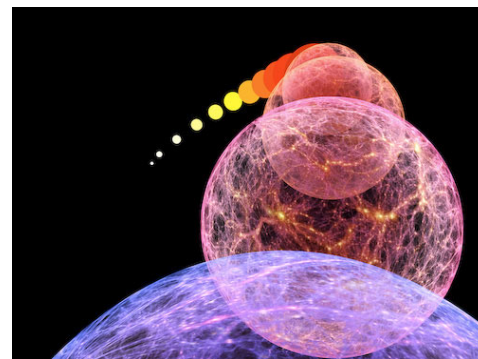
ინფლაცია: სამყაროს ზომა აღემატება ჰაბლის რადიუსს

სამყაროს ასაკი

ინფლაციის თეორიაში სამყარო უფრო ახალგაზრდაა დიდი აფეთქების თეორიასთან შედარებით



ინფლაციური კოსმოლოგია



www.tevza.org/home/course/universe2011



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 12 +

თანამედროვე პრობლემები
ასტრობიოლოგია

პრობლემები

- სამყაროში მატერიის განაწილების სიმკვრივე (სიზუსტე ~ 10x)
- ფარული მასის განაწილება;
- გრავიტაცია დიდ მასშტაბებზე;
- რა არის კოსმოლოგიური მუდმივა;
- სტრუქტურის ფორმირების მოდელი;

წინა ლექციაში

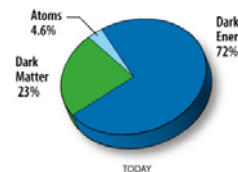
- დიდი აფეთქების თეორიის პრობლემები
- ინფლაციის თეორია

სამყაროს სიმკვრივე

სამყაროს სიმკვრივე განსაზღვრავს სამყაროს გლობალურ გეომეტრიას (სიმრუდეს).

Tipler, Paul A.	~	10^{-30} g/cm ³
Guth, Alan H	~ 4.5–18	10^{-30} g/cm ³
Silk, Joseph	~ 5	10^{-30} g/cm ³

(3 წყალბადის ატომი კუბურ მეტრში)

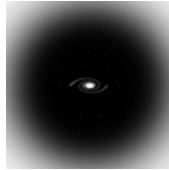


$$\Omega = 2/3 \Lambda (c^2/H^2)$$

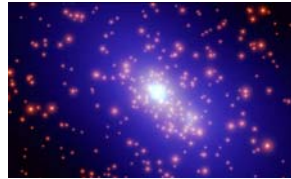
ფარული მასის განაწილება

ფარული მასის განაწილების შესწავლა:

1. გალაქტიკებში;
ვარსკვლავების ბრუნვის დინამიკა;



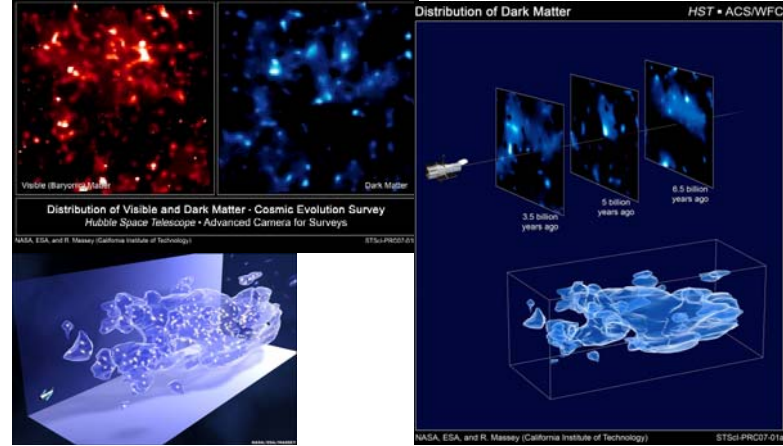
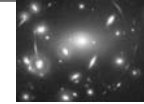
2. გალაქტიკების გროვებში;
გალაქტიკების მოძრაობის დინამიკა;



3. დიდ მასშტაბებზე;
გრავიტაციული ლინზირება;
რიცხვითი მოდელირება;

ფარული მასის განაწილება

გრავიტაციული ლინზირება:

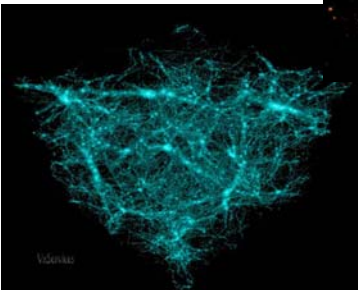
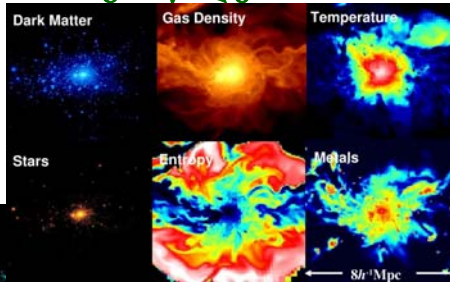


ფარული მასის განაწილება

რიცხვითი

მოდელირება:

გალაქტიკების
ჯგუფები

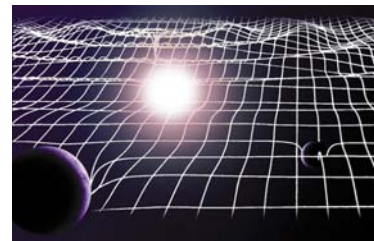
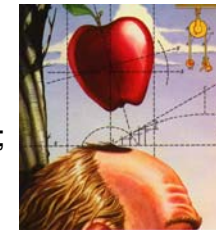


გრავიტაციული
ფრაგმენტაცია
ადრეულ სამყაროში

გრავიტაცია დიდ მასშტაბებზე

მცირე მასშტაბები:

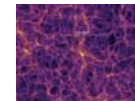
ნიუტონის მსოფლიო
მიზიდულობის კანონი;



საშუალო მასშტაბები:

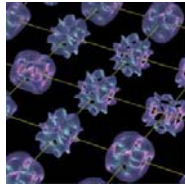
აინშტაინის
გრავიტაცია;

დიდი მასშტაბები?

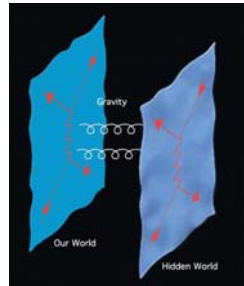


გრავიტაცია დიდ მასშტაბებზე

თანამედროვე ველის თეორიები სიმეტრიები და სუპერსიმეტრიები (მაღალგანზომილებიანი სივრცე)

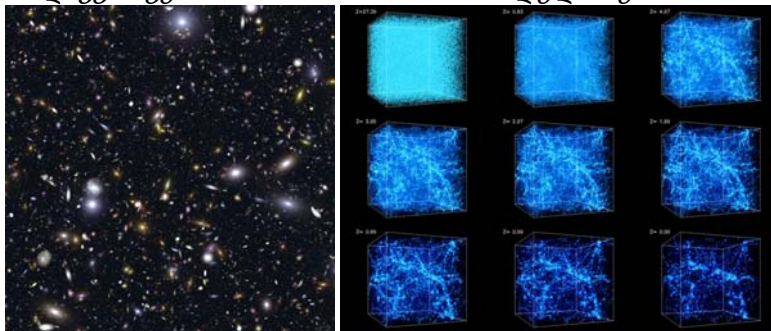


სიმები, ბრანა გრავიტაციის დიდმასშტაბოვანი მოდიფიკაცია, ბრანების ურთიერთქმედება



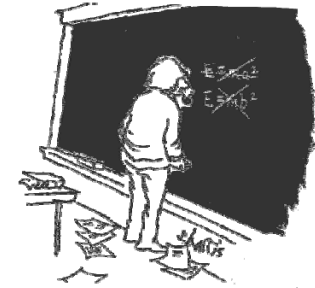
სტრუქტურის ფორმირება

გალაქტიკების დღევანდელი განაწილება უნდა ჩამოყალიბებულიყო სამყაროს სტრუქტურის ფორმირების დროს (ჯუჯა გალაქტიკების სიმცირე) დაკვირვება მოდელირება

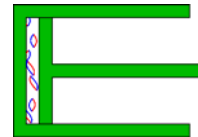


კოსმოლოგიური მუდმივა

კოსმოლოგიური მუდმივა პირობითად აღნიშნავს ვაკუუმის ენერგიას, რომელიც იწვევს სივრცის გაფართოებას



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



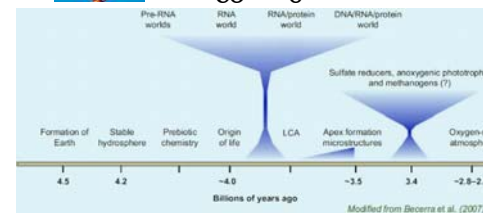
ვაკუუმის ენერგიის სიმკვრივე მუდმივა

სიცოცხლე დედამიწაზე

დედამიწა ჩამოყალიბებისას იყო ცხელი ციური სხეული



სიცოცხლე განვითარდა მოგვიანებით

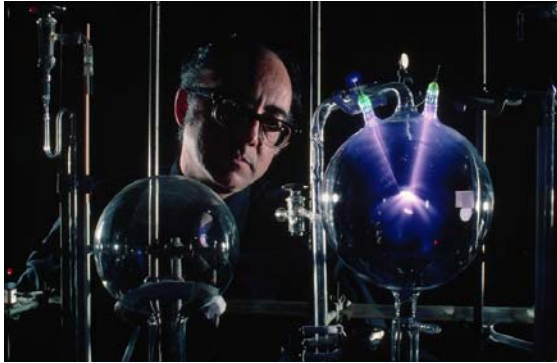


აბიოგენეზი

არაორგანული ნივთიერებებიდან ორგანული ნაერთების სინთეზი

მილერის ექსპერიმენტი: "სიცოცხლის დაბადება"

(Miller 1953)



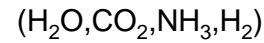
რთული ფორმების სინთეზი

ამინომჟავები, რნმ, დნმ, მცენარეები, ცოცხალი ორგანიზმები, ..., ცივილიზაცია

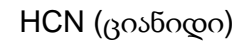


აბიოგენეზი

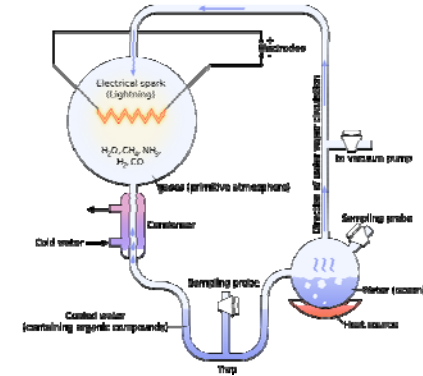
პლანეტის ატმოსფეროს პირობებში ორგანული ამინომჟავების სინთეზი



20-მდე ამინომჟავა



ადენინი

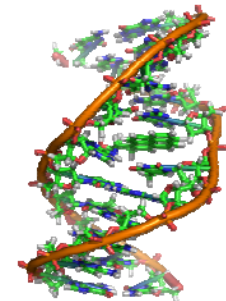


ასტრობიოლოგია

სიცოცხლის წარმოშობის და ევოლუციის შესწავლა კოსმოსში (არამიწიერი ბიოლოგიური ფორმები)

ნახშირბადოვანი სიცოცხლე (დნმ)

მარსი



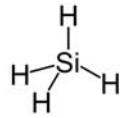
ასტრობიოლოგია

არა-ნახშირბადოვანი სიცოცხლე?

ჰიპოთეტური ბიოლოგიური ფორმები

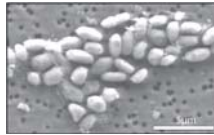
– სილიციუმის “ორგანული ფორმები”

– ფოსფორი “ორგანული ფორმები”



– დარიშხანის ბაქტერია?

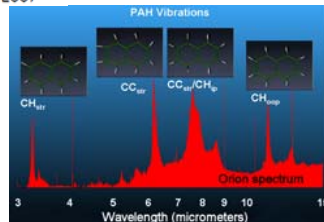
(Nasa 2010)



ორგანული ნივთიერებები კოსმოსში

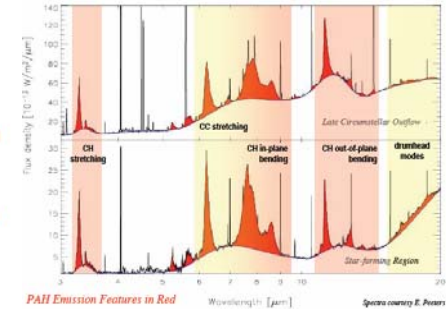
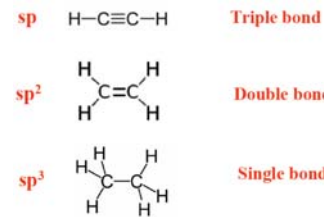
IRAS16293-2422	HCOOH, CH ₃ CHO, CH ₃ OCHO, CH ₃ OCH ₃ , HCOOCH ₃ , CH ₃ CN, C ₂ H ₅ CN, CH ₃ CCH	Cazaux et al. 2003; Kuan et al. 2004; Bottinelli et al. 2004b; Chandler et al. 2005; Remijan & Hollis 2006
NGC1333-IRAS4A	HCOOH, HCOOCH ₃ , CH ₃ CN	Bottinelli et al. 2004a, 2007, 2008
NGC1333-IRAS4B	HCOOCH ₃ , CH ₃ CN	Sakai et al. 2006, Bottinelli et al. 2007a
NGC1333-IRAS2A	CH ₃ CN, CH ₃ OCH ₃	Jorgensen et al. 2005; Bottinelli et al. 2007

[2009]
 Propanal (CH₃CH₂CHO)
 Propenal (CH₂CHCHO)
 Cyanoallene (CH₂CCHCN)



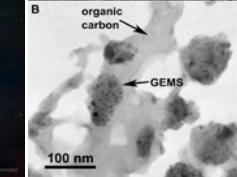
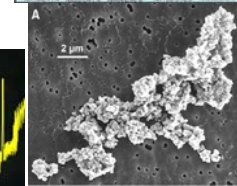
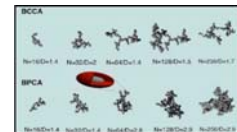
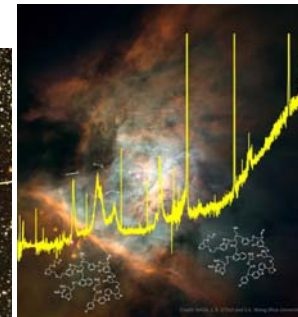
ორგანული ნივთიერების სპექტრი

ნახშირბადის სამი ტიპის ბმა სინათლის სპექტრში ტოვებს სხვადასხვა შთანთქმის ხაზებს

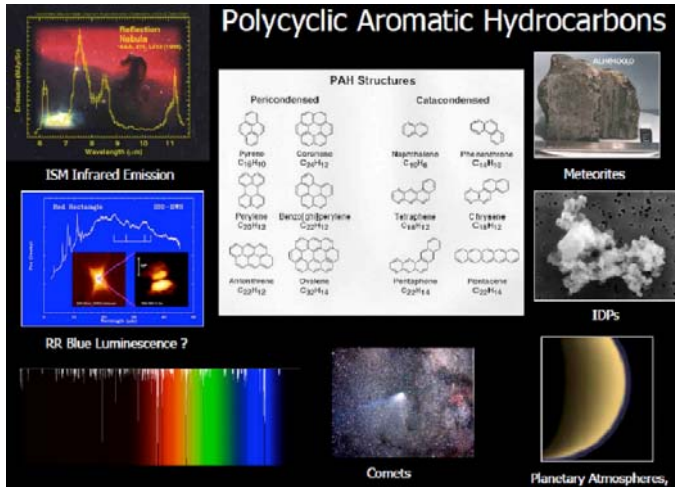


ორგანული ნივთიერება კოსმოსში

- პლანეტორისი მტვერი
- მოლეკულური ღრუბლები
- პროტოპლანეტარული დისკები
- კომეტები
- ნისლეულები



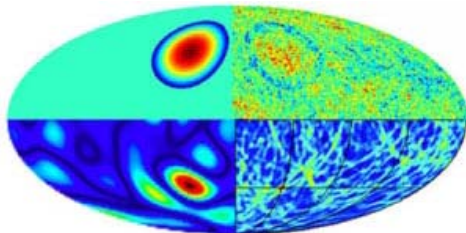
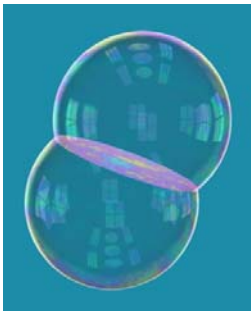
არომატული ნახშირწყლები



სამყაროები

მრავალი სამყაროს არსებობის ჰიპოტეზის დაკვირვებითი ტესტ: ლაქები რელიქტური ფონის გამოსხივებაში.

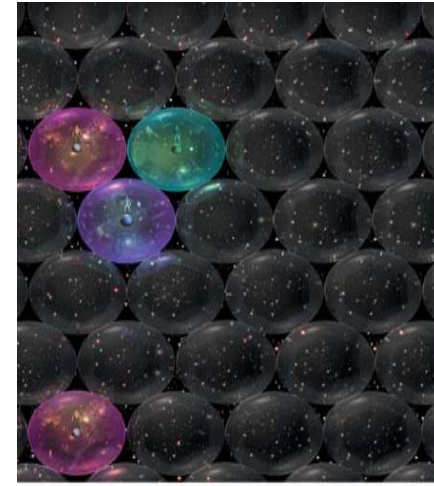
ჰიპოტეზა: სამყაროების დაჯახების ნაკვალევი?



სამყაროები

Universe
სამყარო

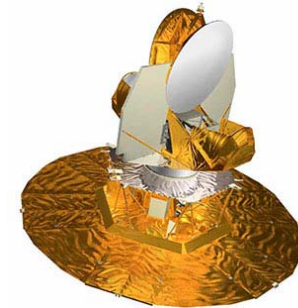
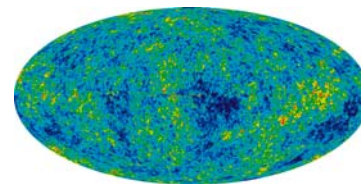
Multiverse
სამყაროები



რელიქტური ფონის კვლევა

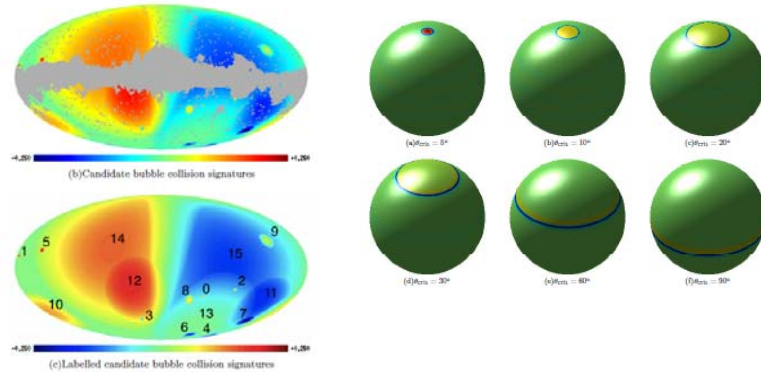
Wilkinson
Microwave Anisotropy Probe
WMAP

2011: 7 წლის მონაცემები



სამყაროების დაჯახება

ადრეულ ეპოქაში სამყაროების დაჯახების ნაკვალევი? (McEwen et al. 2012)



“პარალელური” სამყაროები

სხვადასხვა სამყაროში ჩამოყალიბდა სხვადასხვა ფიზიკური პირობები (ჰიპოთეზა)

- სიცოცხლე, ინტელექტი ☺
- სიცოცხლე ინტელექტის გარეშე;
- ძლიერი გრავიტაცია: შავი ხვრელები;
- სუსტი გრავიტაცია: სამყარო პლანეტების გარეშე;
- ძლიერი “სუსტი ურთიერთქმ.”: ძლიერი რადიაცია;
- სუსტი “ძლიერი ურთიერთქმ.”: სუსტი თერმობირთ.
- სუსტი “ელ.მაგ ურთიერთქმ.”: სიბნელე
- ბევრი ფარული მასა: მატერიის არ არსებობა;

ანთროპული პრინციპი

ჩვენი სამყაროს ევოლუცია: ძირითადი ფაქტორი – ინფლაცია

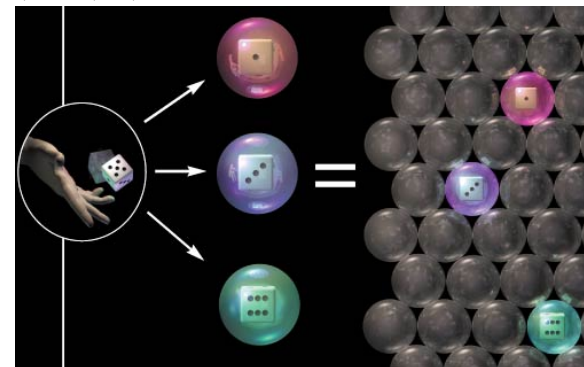


ექსპონენციალური გაფართოება: სამყაროს თვისებები დამოკიდებულია საწყის ქვანტურ (სტოქასტურ) შეშფოთებებზე

ქვანტური ქაფის სხვა ბუშტებში სავარაუდოდ სხვა პირობებია: სივრცის სიმრუდე, გრავიტაციული მუდმივა, ელემენტარული ნაქილაკები, ელექტრონის მუხტი და მასა ...

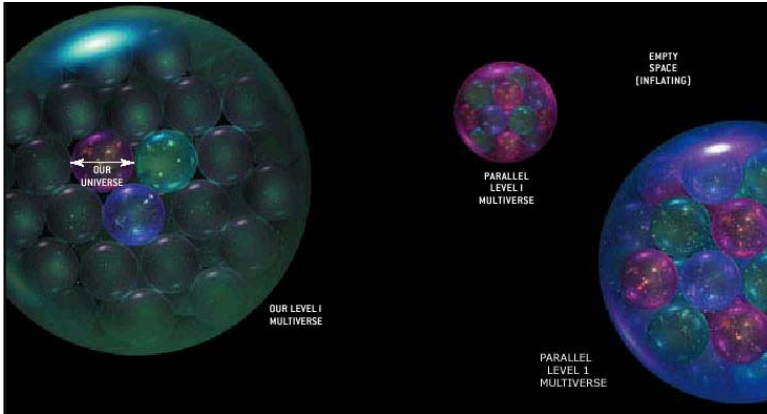
სამყაროები

სიცოცხლის არსებობისათვის საჭირო ფიზიკური სამყაროს პირობების ჩამოყალიბება ნაკლებად ალბათურია



სამყაროების ჯგუფები?

ჰიპოთეზა (ფანტაზია)



გამოცდები

www.tevza.org/home/course/universe2012