



## სამყაროს ევოლუცია

### ლექცია 10

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)

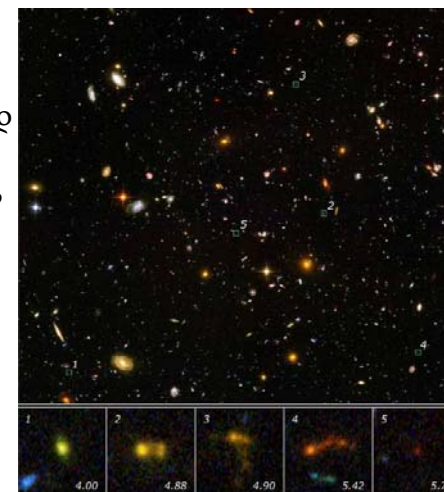
## წინა ლექციაში

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

## მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

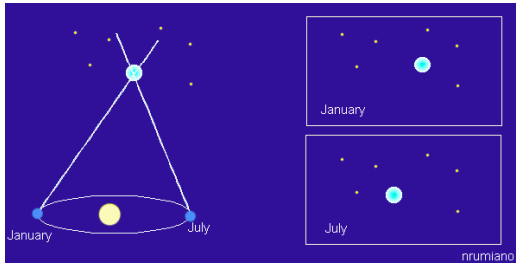
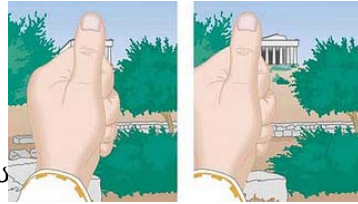
სამყაროს დიდმასშტაბოვანი სურათის შესაქმნელად საჭიროა მანძილის განსაზღვრა შორეულ ობიექტებამდე

რა მანძილია შორეულ გალაქტიკებამდე?



### ტრიგონომეტრიული პარალაქსი

ობიექტის მოჩვენებითი გადაადგილება დამკვირვებლის ადგილმდებარეობის შეცვლის გამო



### მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

ტრიგონომეტრიული პარალაქსი

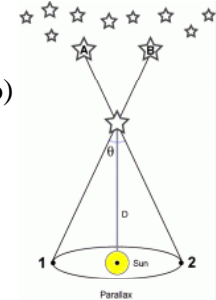
$$d = 1(\text{AU}) / p$$

d – მანძილი ვარსკვლავამდე (პარსეკი)

p - პარალაქსის კუთხე (სეკუნდი)

d ~ 10<sup>6</sup> პარსეკი (მეგაპარსეკი)

p ~ 10<sup>-6</sup> სეკუნდი (გრადუსი/3600)



შორეულ ობიექტებამდე პარალაქსის კუთხე იმდენად მცირდება რომ მისი გაზომვა შეუძლებელია

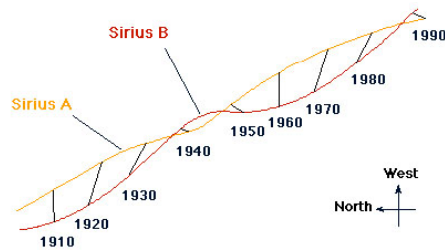
ზეგალაქტიკური მანძილების გაზომვის პრობლემა

### ვარსკვლავებამდე მანძილის გაზომვა

ასტრომეტრია: ვარსკვლავების და სხვა ციური სხეულების ადგილმდებარეობის და მოძრაობის სიარეების ზუსტი გაზომვა.

დიდი სიზუსტით გაზომვა შესაძლებელია:

- მზის სისტემის სხეულები;
- ჩვენი გალაქტიკის ობიექტები;

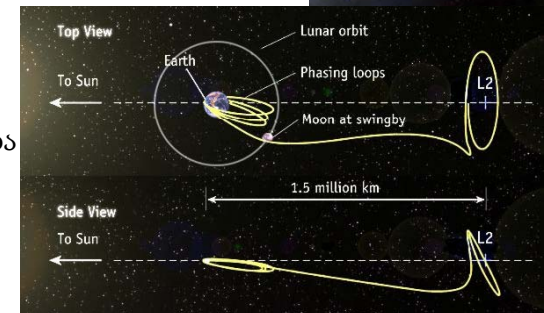


### ვარსკვლავებამდე მანძილის გაზომვა

ასტრომეტრიული თანამგზავრები: Hipparcos (1989-1993), Gaia (2013-)



პარალაქსის სამკუთხედის ფუძე გაიზარდა 1.5მლნ კმ-ით



## მანძილი შორეულ ობიექტებამდე

ზეგალაქტური მანძილის გაზომვის ალტერნატიული მეთოდები:

- სპექტრული პარალაქსი
- სტანდარტული სანთლის მეთოდები

ცნობილი ნათობის ობიექტის “სტანდარტული სანთლის” იდენტიფიცირება;

ხილული და აბსოლუტური ნათობის შედარების მეთოდი



## სპექტრული პარალაქსი

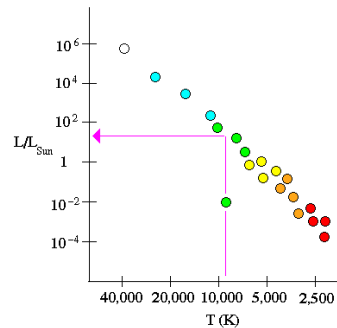
მნათობის ადგილმდებარეობა HR დიაგრამაზე

ძირითადი თანმიმდევრობის ვარსკვლავი:

მახასიათებელი სპექტრული კლასი;

პარალაქსი: ვერტიკალური გადაადგილება HR დიაგრამაზე

მანძილი: ხილული და აბსოლუტური ნათობის შედარება;



## სპექტრული პარალაქსი

ტრიგონომეტრიული პარალაქსი:

ვარსკვლავის ხილული მდებარეობის ცვლილება დედამიწის სეზონური გადაადგილების გამო; მანძილები: < 1 კილო პარსეკი; სიზუსტე: მაღალი;

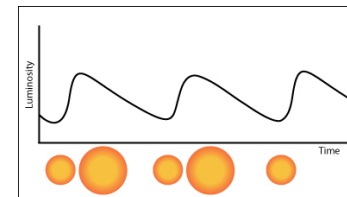
სპექტრული პარალაქსი:

ვარსკვლავის გადაადგილება H-R დიაგრამაზე აბსოლუტ. და ხილული ნათობის განსხვავების გამო; მანძილები: < 100 კილო პარსეკი; სიზუსტე: საშუალო;

## ცეფეიდები

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

ობიექტი: პულსირებადი ვარსკვლავი; ცეფეიდი; პერიოდები: რამოდენიმე დღიდან თვეებამდე;



## ცეფეიდები

პულსაციის მექანიზმი: ერთჯერადად და ორჯერადად იონიზირებული ჰელიუმის გამჭვირვალობის 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

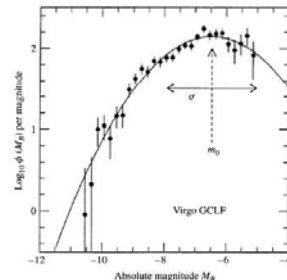
## სფერული გროვები

მდებარეობა: გალაქტიკების ჰალო

მოდელი: სხვადასხვა გალაქტიკაში ყველაზე კამკაშა სფერული გროვების ნათობა ერთიდაიგივეა;

მეთოდი: გალაქტიკებში გროვების ნათობის მრუდების შედარება

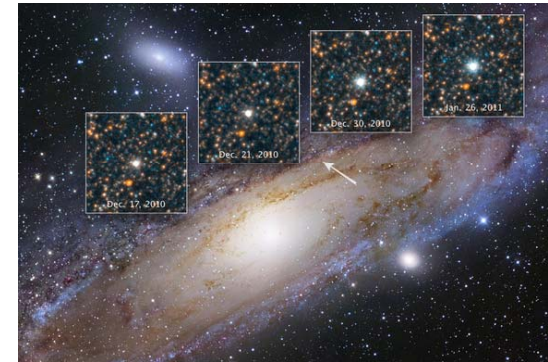
ნათობის მრუდების განსხვავებით დავითვლით მანძილის სხვაობას ორ გალაქტიკას შორის



## ცეფეიდები

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

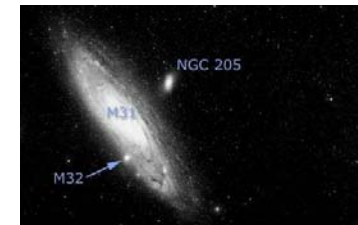
ცეფეიდები კამკაშა ცვალებადი ვარსკვლავებია, რის გამოც შესაძლებელია მათი აღმოჩენა სხვა გალაქტიკებში



## 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





## ტული-ფიშერის მეთოდი



Tully-Fisher method

ობიექტი: სპირალური გალაქტიკა

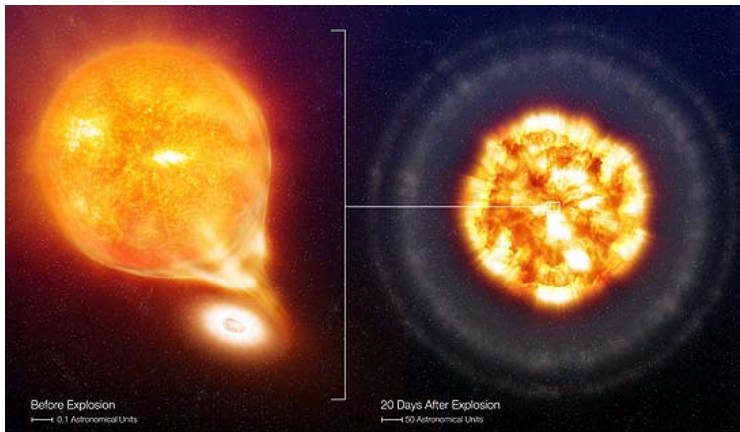
მოდელი: სპირალური გალაქტიკის აბსოლუტური ნათობის განსაზღვრა შესაძლებელია გალაქტიკის ცენტრის ირგვლივ ვარსკვლავების ბრუნვის მაქსიმალური სიჩქარის საშუალებით

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

M - ნათობა

W - მაქსიმალური სიჩქარე

## Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავები



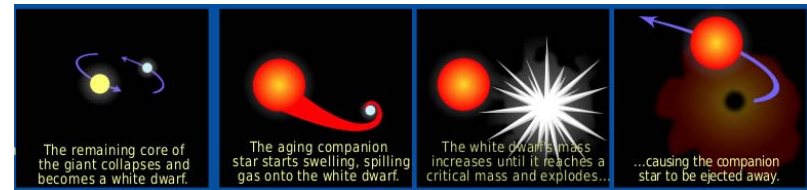
ილუსტრაცია

## 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

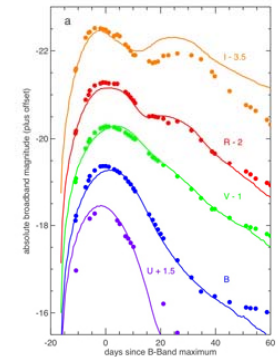


## Ia ტიპის ზეახალი

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

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

ნათობის ცვლილების მრუდი სხვადასხვა სიხშირეებზე



## Ia ტიპის ზეახალი

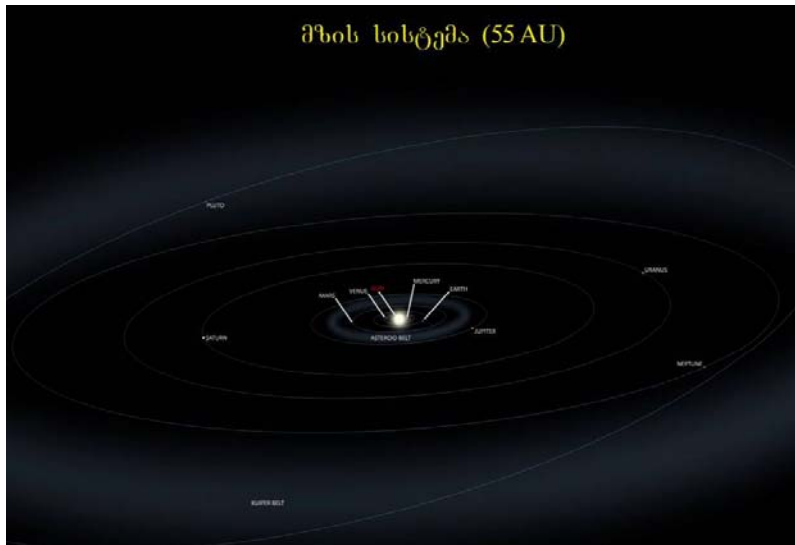
ზეახალი ვარსკვლავი: აფეთქების მომენტში აბსოლუტური ნათობა შესაძლებელია აჭარბებდეს გალაქტიკის ჯამურ ნათობას

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

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

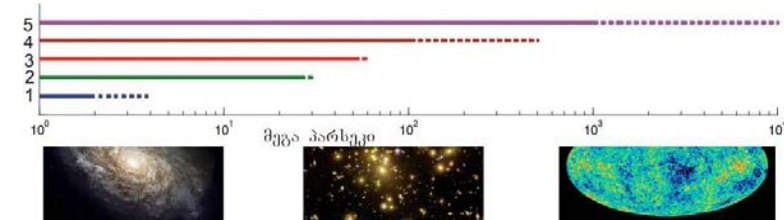


## მზის სისტემა (55 AU)



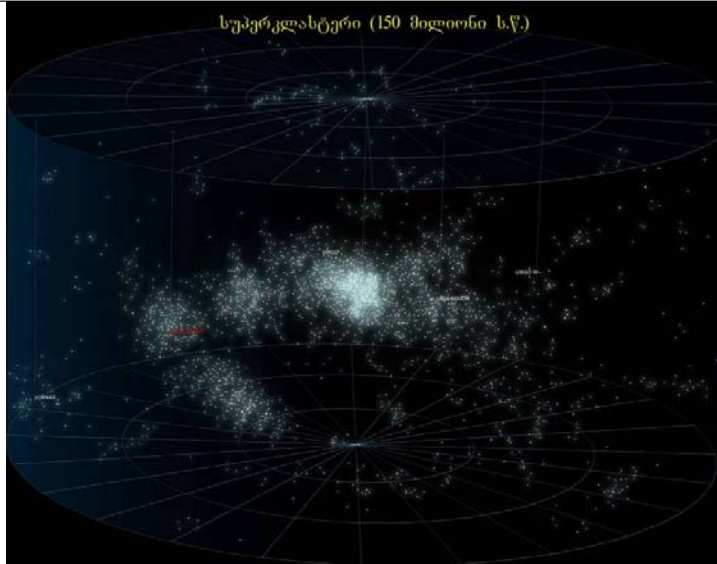
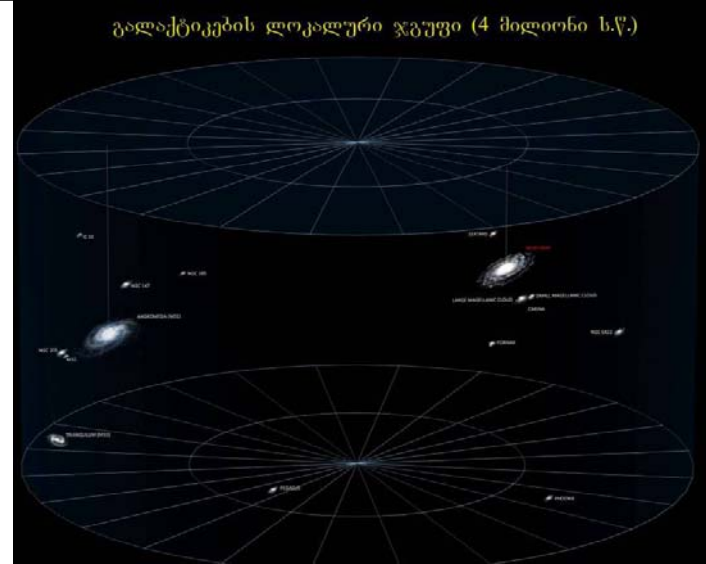
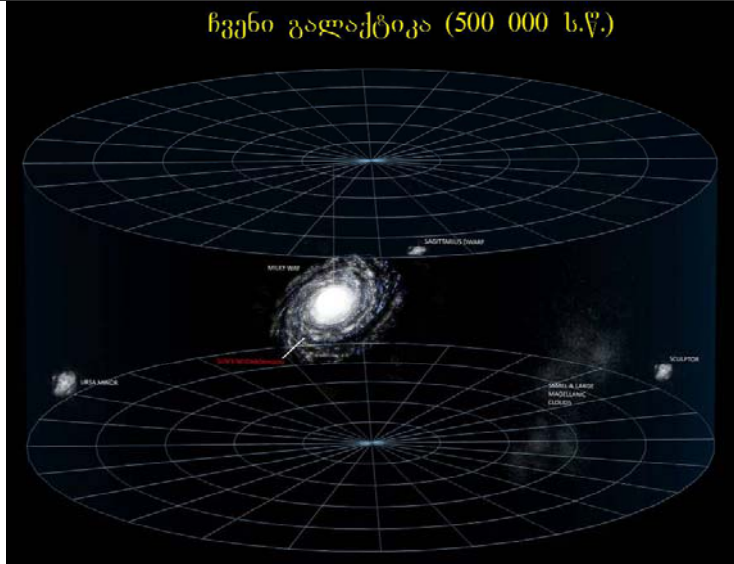
## ექსტრაგალაქტიკური მანძილები

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%)

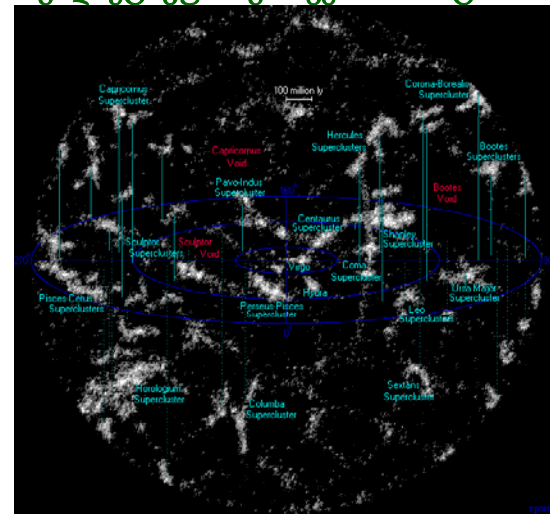


## მზესთან ახლო ვარსკვლავები (40 ს.წ.)





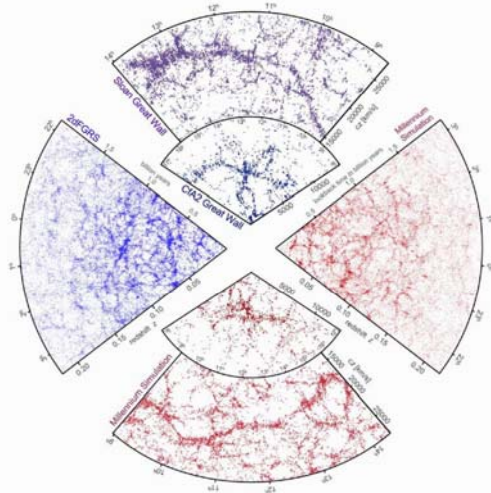
### გალაქტიკური გროგების მასშტაბი





### გალაქტიკური გროვების მასშტაბი (SDSS)

Sloan Digital Sky Survey (SDSS) 2000-



### ერთგვაროვნება

არ არსებობს გამორჩეული მდებარეობა



მ. ეშერი: "მფრინავი თევზები"

დიდ მასშტაბებში სამყარო ერთნაირად ჩანს როგორც დედამიწიდან ისე სამყაროს ნებისმიერი სხვა წერტილიდან.

### იზოტროპულობა

არ არსებობს გამორჩეული მიმართულება



საპირისპირო შემთხვევა: გამორჩეული მიმართულება; მაგ. "ღერძი"

მ. ეშერი: "ეშმაკები და ანგელოზები"



### სამყაროს მსხვილმასშტაბოვანი სტრუქტურა

#### კოსმოლოგიური პრინციპი

კოსმოლოგიურ მასშტაბებზე სამყარო იზოტროპული და ერთგვაროვანია

#### იზოტროპულობა:

სამყაროს სურათი არ არის დამოკიდებული დაკვირვების კუთხეზე (მიმართულებაზე);

#### ერთგვაროვნება:

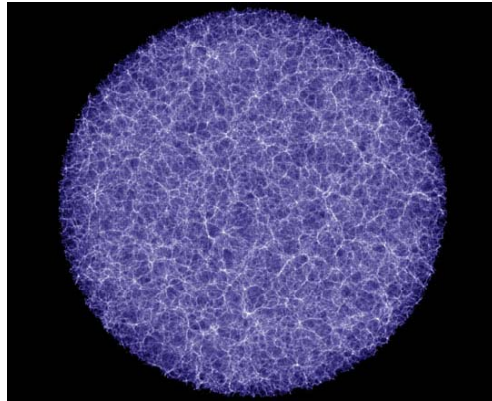
სამყაროს სურათი არ არის დამოკიდებული დაკვირვების ადგილზე;



### სამყაროს მსხვილმასშტაბოვანი სტრუქტურა

შემკვრივებები (“კვანძები”):

გალაქტური გროვები (სუპერკლასტერი)



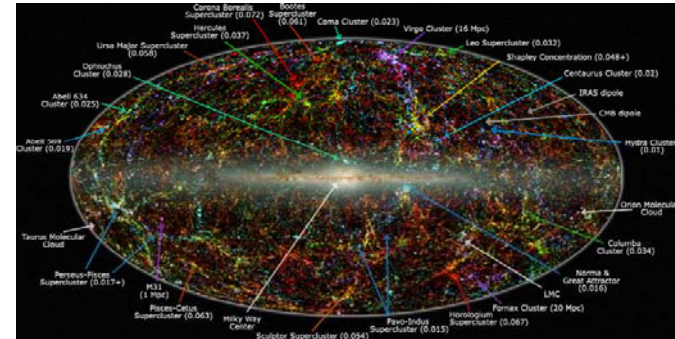
ილუსტრაცია

### სამყარო მცირე მასშტაბებში

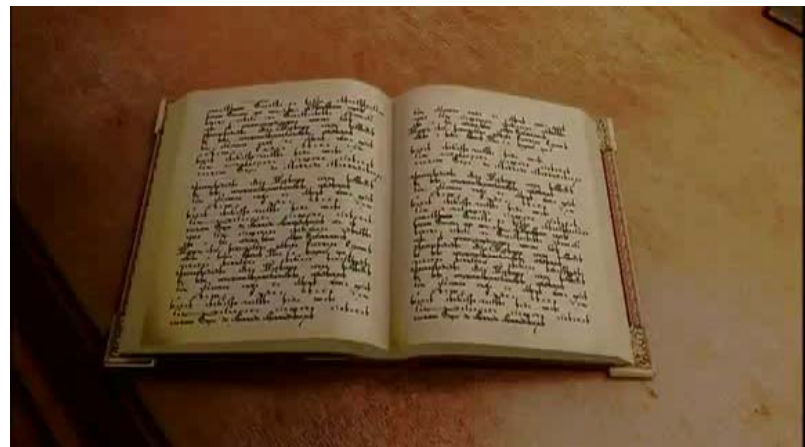


### ხილული სამყარო დიდ მასშტაბებში

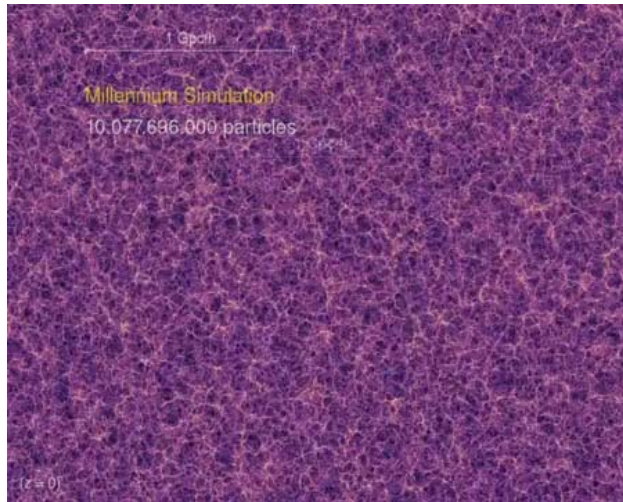
კოსმოლოგიურად მცირე მასშტაბები რომლებიც არ ემორჩილებიან კოსმოლოგიურ პრინციპს: მზის სისტემა, ჩვენი გალაქტიკა, გალაქტიკების ლოკალური ჯგუფი



### სამყარო სხვადასხვა მასშტაბში



## სამყარო კოსმოლოგიურ მასშტაბებში



[www.tevza.org/home/course/universe2015](http://www.tevza.org/home/course/universe2015)

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

ქვეთავები: 27.1 (გვ.1038–1046)