



## სამყაროს ევოლუცია

### ლექცია 2

კეპლერი, გალილეი  
ნიუტონის კოსმოლოგია

### კეპლერი

იოჰან კეპლერი  
Johannes Kepler (1571–1630)

ტიხო ბრაგეს თანაშემწე:  
ცაზე დაკვირვება შეუიარაღებელი  
თვალით



*Jo. Keplerus*

ასტრონომიის ახალი ერა  
ოპტიკური დაკვირვებები

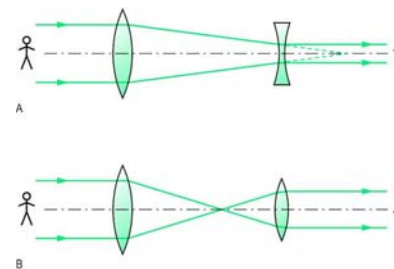
### წინა ლექციაში

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

### ოპტიკური ტელესკოპები

ლიზნები და პირველი ოპტიკური ზელსაწყობები:  
(1608, ნიდერლანდები)

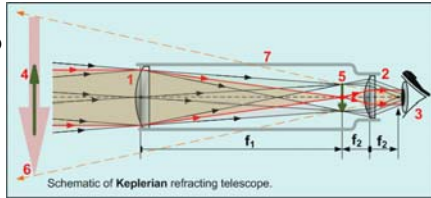
- გალილეის რეფრაქტორის ტიპის ტელესკოპი (1609)
- კეპლერის რეფრაქტორი (1611)



### ოპტიკური ტელესკოპები

კეპლერის რეფრაქტორი

- დაკვირვების უფრო ფართო ველი
- შებრუნებული გამოსახულება



რეფრაქტორი აბასთუმნის ობსერვატორიაში (1937):



### კეპლერის იდეები

ადრეული ნაშრომი:

Mysterium Cosmographicum

კოსმოგრაფიული საიდუმლოებები

ახალი იდეები:

მოძრაობა ელიფსურ ორბიტებზე

ორბიტაზე ბრუნვის სიჩქარე ცვალებადია

Astronomica Nova

ახალი ასტრონომია

Harmonica Mundi

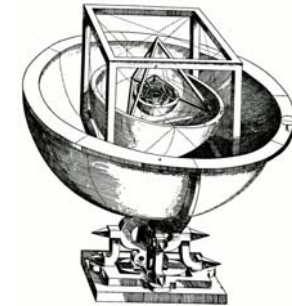
სამყაროს ჰარმონიები

### პლანეტების მოძრაობის გეომეტრიული აღწერა

კეპლერის საწყისი იდეები

- იდეალური ფორმები;
- პლატონური სხეულები;

შეუსაბამობა დაკვირვებებთან

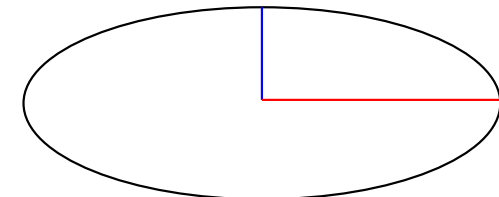
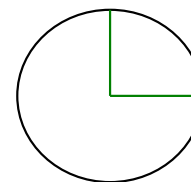


მოძრაობა არაწრიულ ორბიტებზე

ოვალური ტრაექტორიები

### ოვალური ტრაექტორიები

წრეწირი: რადიუსი



ელიფსი: დიდი ნახევარღერძი

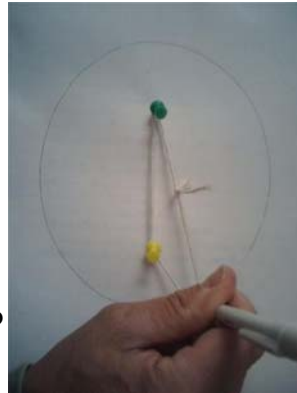
პატარა ნახევარღერძი

### 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



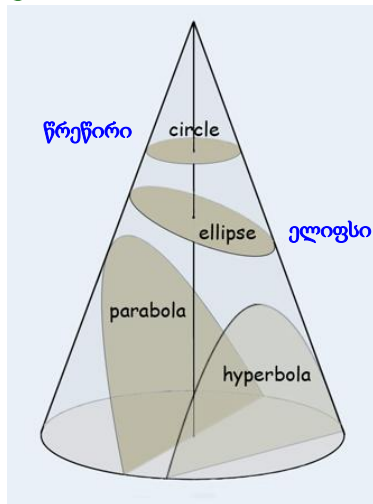
წრეწირი: ცენტრი  
ელიფსი: ორი ფოკუსი

### ელიფსი

ილუსტრაცია:

კონუსის კვეთის  
გეომეტრიული ფორმები:

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



### ელიფსი

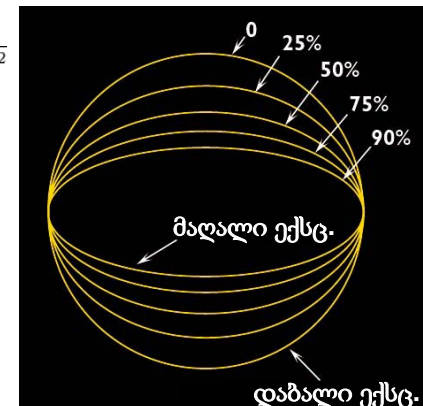


### ელიფსი

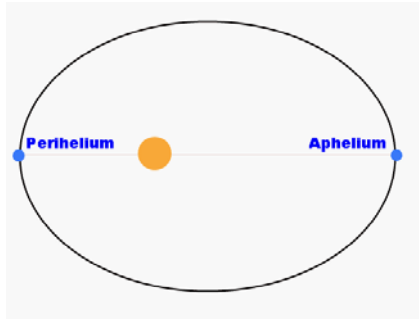
ელიფსის “გაწელილობის” ანუ “ოვალობის” ზომა:  
**ექსცენტრისიტეტი**

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

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



### ორბიტები მზის ირგვლივ

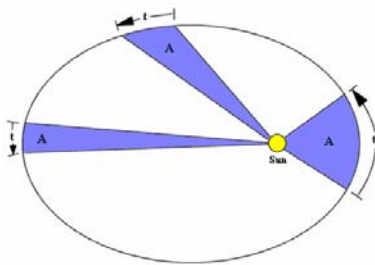


მინიმალური დაშორება:  
მაქსიმალური დაშორება:

პერიჰელიუმი  
აფელიუმი

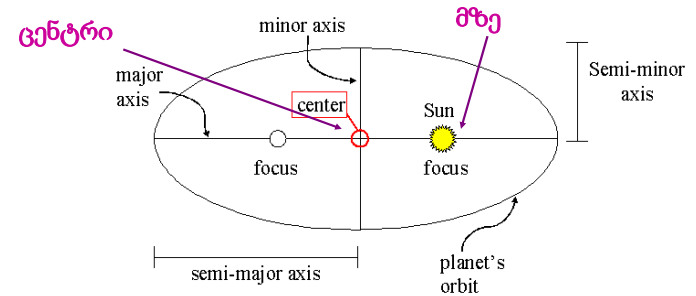
### კეპლერის მეორე კანონი

პლანეტისა და მზის შემაერთებული რადიუსი ერთიდაიგივე დროის ინტერვალში მოხაზავს ერთიდაიგივე ფართს

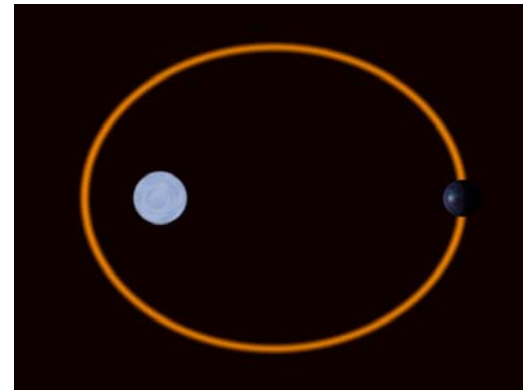


### კეპლერის პირველი კანონი

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”

### გალილეო

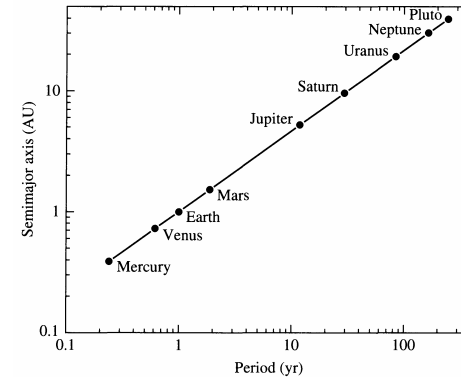
გალილეო გალილეი  
Galileo Galilei (1564–1642)

ფიზიკური აზროვნების  
პიონერი

ოპტიკური დაკვირვებების  
პიონერი



### პლანეტების განაწილების დიაგრამა



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

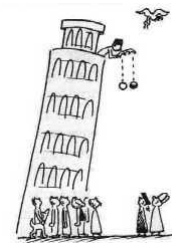
log(P)/log(a) - დახრის კუთხე: 3/2

### 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: 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: შეცდომები

კეპლერისა და გალილეის უთანხმოებები:

კეპლერი:

პლანეტები მოძრაობენ ელიფსურ ორბიტებზე

კეპლერი:

დედამიწაზე მიქცევა-მოქცევის მიზეზია მთვარე

### გალილეი: დაკვირვებები

ირმის ნახტომი: ჩვენი გალაქტიკა

ადრეული წარმოდგენები

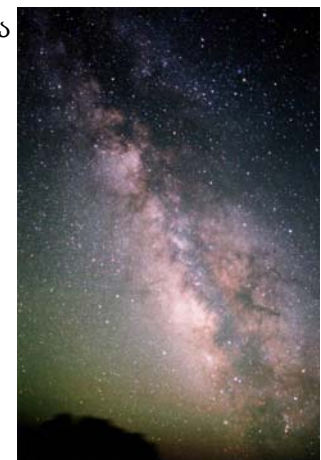
“Milky way”

თეთრი ღრუბელი

გალილეის დაკვირვებები:

სინამდვილეში შედგება

ცალკეული ვარსკვლავებისაგან





### გალილეი: დაკვირვებები

მთვარის კრატერები: არაიდეალური სფერო

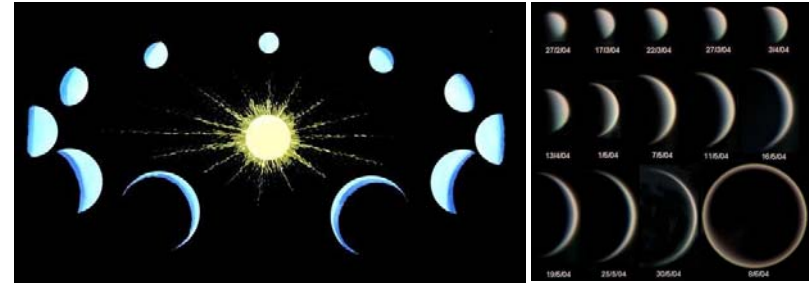


### ვენერას ფაზები



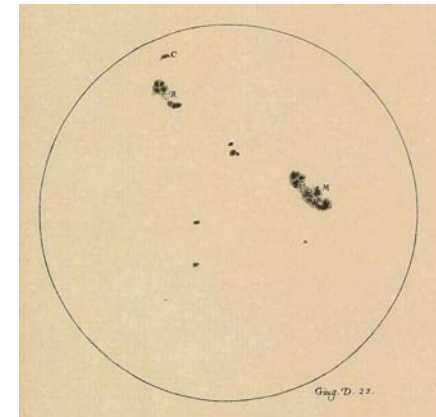
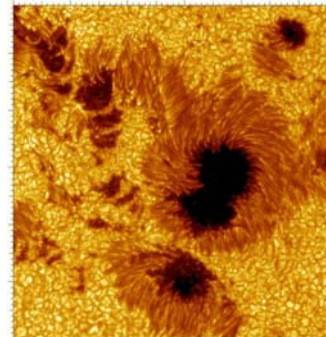
### გალილეი: დაკვირვებები

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:  
ექვმიტანილი ჰერეტიკობაში  
სამუდამო შინა პატიმრობა

გალილეის სრული რეაბილიტაცია: 1992  
ძველი ვატიკანში



## ფუნდამენტური მცნებები

### ათვლის სისტემები

მაგ. დეკარტის კოორდინატთა სისტემა

ფარდობითობის პრინციპი,  
წრფივი და თანაბარი მოძრაობა

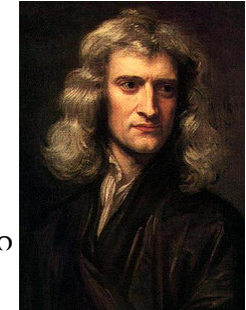
ფიზიკის კანონები ერთნაირია ათვლის ინერციულ  
სისტემებში (გალილეის გარდაქმნები)

## ნიუტონი

ისააკ ნიუტონი

Isaac Newton (1643-1727)

თანამედროვე ფიზიკის  
როგორც მეცნიერების ფუძემდებელი



“ზუნების 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

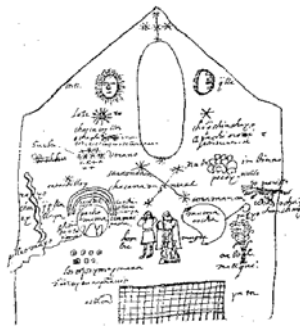
ეგვიპტური



ჰინდუ

### ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

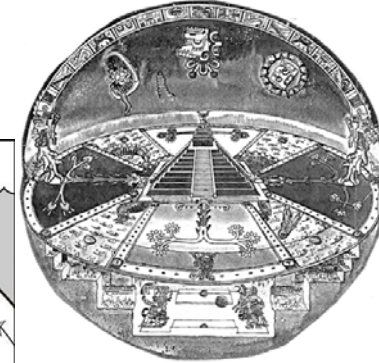
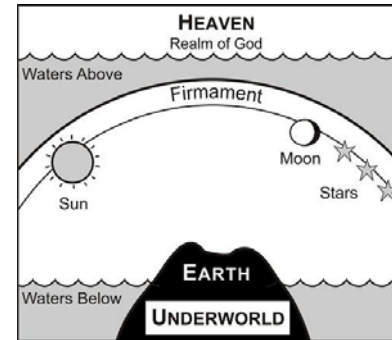
ინკების კოსმოლოგია



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/universe2013](http://www.tevza.org/home/course/universe2013)

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

ქვეთავები 3.1, 3.2, 3.3, 3.4,  
5.1

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

ქვეთავები 2.1-2.3 (გვ. 23-36)