



სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 2

კეპლერის კანონები, გალილეის დაკვირვებები,
ციური სხეულების მოძრაობის ორბიტები,
ნიუტონის კოსმოლოგია

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2014

ლექცია/გვერდი: 2/2

კეპლერი

იოჰან კეპლერი
Johannes Kepler (1571–1630)

ტიხო ბრაგეს თანაშემწე:
ცაზე დაკვირვება შეუიარაღებელი
თვალით



ასტრონომიის ახალი ერა
ოპტიკური დაკვირვებები

სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2014

ლექცია/გვერდი: 2/1

წინა ლექციაში

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

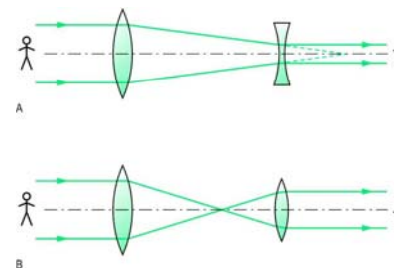
სამყაროს ევოლუცია, ალ. თევზაძე, 2014

ლექცია/გვერდი: 2/3

ოპტიკური ტელესკოპები

ლიზნები და პირველი ოპტიკური ზელსაწყობები:
(1608, ნიდერლანდები)

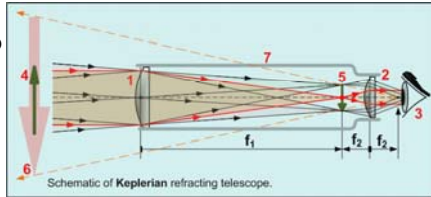
- გალილეის რეფრაქტორის ტიპის ტელესკოპი (1609)
- კეპლერის რეფრაქტორი (1611)



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

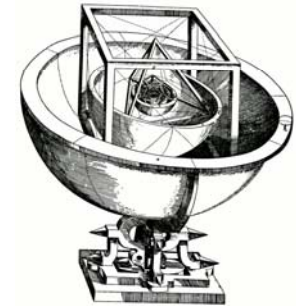
სამყაროს ჰარმონიები

პლანეტების მოძრაობის გეომეტრიული აღწერა

კეპლერის საწყისი იდეები

- იდეალური ფორმები;
- პლატონური სხეულები;

შეუსაბამობა დაკვირვებებთან

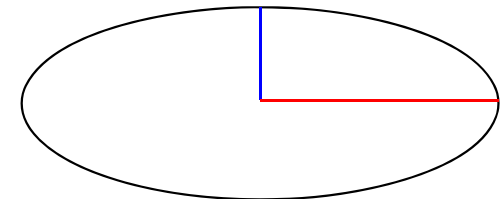
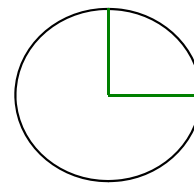


მოძრაობა არაწრიულ ორბიტებზე

ოვალური ტრაექტორიები

ოვალური ტრაექტორიები

წრეწირი: რადიუსი



ელიფსი: დიდი ნახევარღერძი
პატარა ნახევარღერძი

მათემატიკური ფორმა

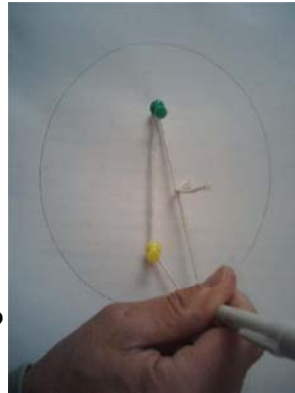
მანძილების ჯამი მრუდიდან
ორ ფოკუსამდე მუდმივია

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

a, b - ნახევარღერძები
დიდი და პატარა ნახევარღერძი

წრეწირი: ცენტრი

ელიფსი: ორი ფოკუსი



ელიფსი

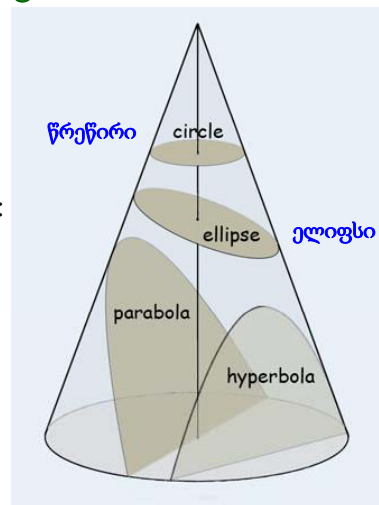


ელიფსი

ილუსტრაცია:

კონუსის კვეთის
გეომეტრიული ფორმები:

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

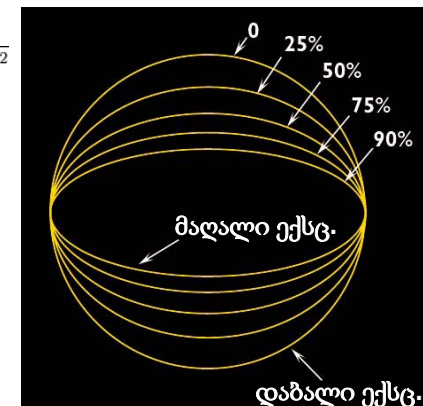


ელიფსი

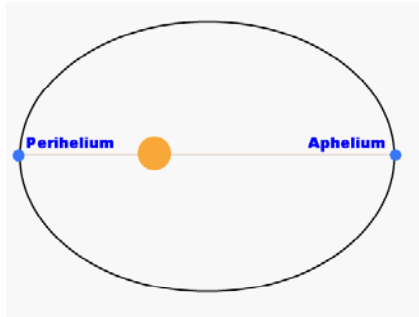
ელიფსის “გაწელილობის” ანუ “ოვალობის” ზომა:
ექსცენტრისიტეტი

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

სადაც a და b ელიფსის
დიდი და პატარა
ნახევარღერძებია



ორბიტები მზის ირგვლივ



მინიმალური დაშორება:

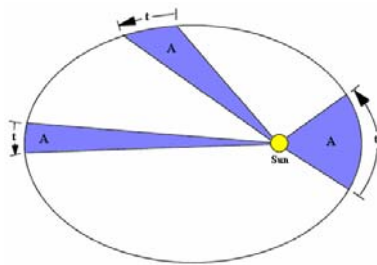
პერიჰელიუმი

მაქსიმალური დაშორება:

აფელიუმი

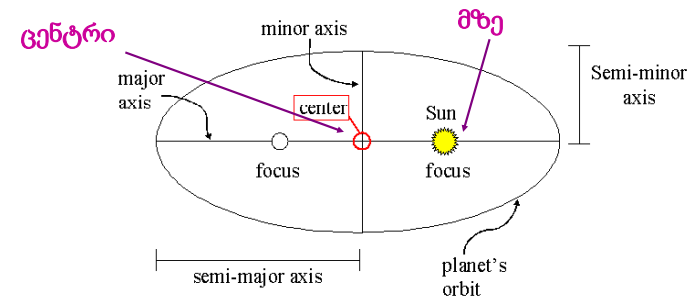
კეპლერის მეორე კანონი

პლანეტისა და მზის შემაერთებული რადიუსი ერთიდაიგივე დროის ინტერვალში მოხაზავს ერთიდაიგივე ფართს

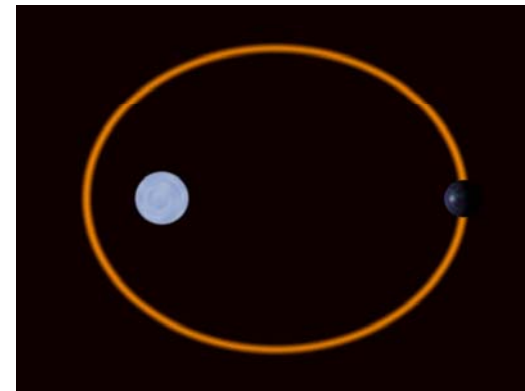


კეპლერის პირველი კანონი

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

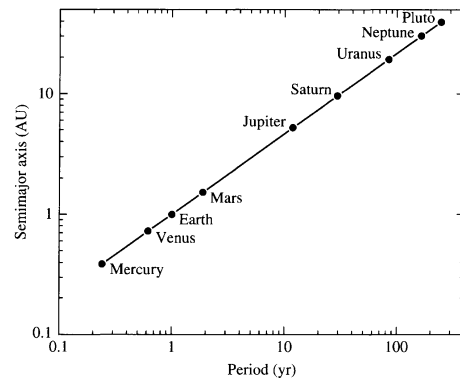
$$P^2 = a^3$$

P – წლები (yr)

a – ასტრონომიული ერთეულები (AU)

“ჰარმონიული კანონი”

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

დედამიწის ორბიტები

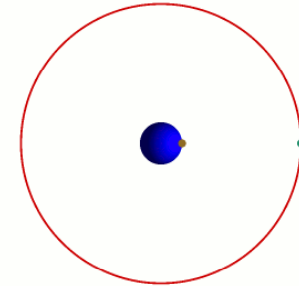
მაგალითი:

გეოსტაციონალური ორბიტა:

ორბიტის პერიოდი ემთხვევა

დედამიწის ბრუნვის პერიოდს:

24 სთ



ორბიტის სიმაღლე: ~ 35 000 კმ

კეპლერის III კანონი: თანამგზავრები უფრო დაბალ ორბიტებზე ბრუნავენ უფრო სწრაფად, და პირიქით, უფრო მაღალ ორბიტებზე ბრუნავენ უფრო ნელა;

გალილეი

გალილეო გალილეი

Galileo Galilei (1564–1642)

ფიზიკური აზროვნების

პიონერი

ოპტიკური დაკვირვებების

პიონერი



გალილეი: ფიზიკა

კლასიკური მექანიკის ფუძემდებელი

ექსპერიმენტები სხეულთა მოძრაობაზე:

თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მასაზე

არისტოტელე:
მძიმე სხეულები ვარდებიან უფრო სწრაფად



გალილეი: შეცდომები

კეპლერისა და გალილეის უთანხმოებები:

კეპლერი:

პლანეტები მოძრაობენ ელიფსურ ორბიტებზე

კეპლერი:

დედამიწაზე მიქცევა—მოქცევის მიზეზია მთვარე

გალილეი: ფიზიკა

- სინათლის სიჩქარის გაზომვის მცდელობა:

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

- ზეგრძნის 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: დაკვირვებები

ირმის ნახტომი: ჩვენი გალაქტიკა

ადრეული წარმოდგენები

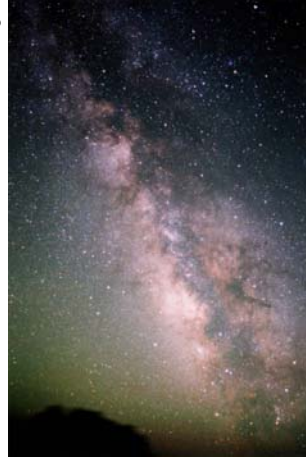
“Milky way”

თეთრი ღრუბელი

გალილეის დაკვირვებები:

სინამდვილეში შედგება

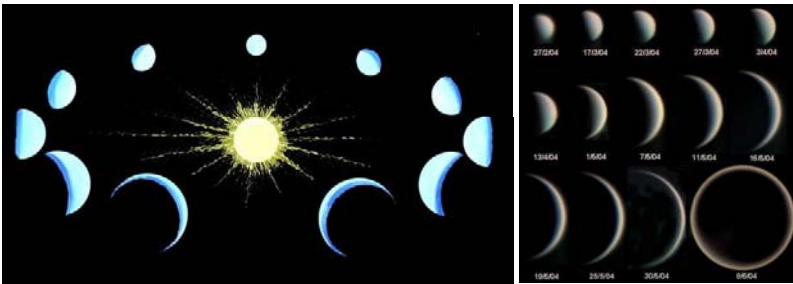
ცალკეული ვარსკვლავებისაგან



გალილეი: დაკვირვებები

ვენერას სხვადასხვა ფაზები;

ვენერა არ არის მნათობი. პლანეტა მხოლოდ ირეკლავს მზის სიხივებს.



გალილეი: დაკვირვებები

მთვარის კრატერები:

არაიდეალური სფერო

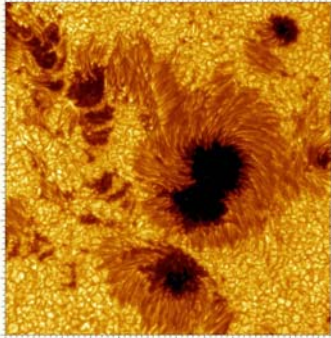


ვენერას ფაზები

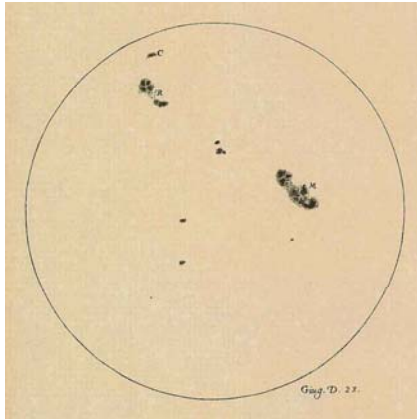


გალილეი: დაკვირვებები

მზე: მზის ლაქები



სატელიტური დაკვირვებები



გალილეის ნახაზი

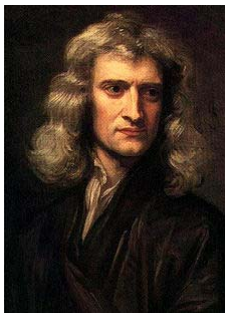
ნიუტონი

ისააკ ნიუტონი

Isaac Newton (1643-1727)

თანამედროვე ფიზიკის

როგორც მეცნიერების ფუძემდებელი



“ბუნების ფილოსოფიის მათემატიკური საფუძვლები”, “ოპტიკა”,

მათემატიკა

ფიზიკა (მექანიკა, ოპტიკა)

გრავიტაციის თეორია

გალილეო და რელიგია

კათოლიკური ეკლესიის დოგმატების
წინააღმდეგობა ახალ დაკვირვებებთან

თხოვნა გალილეის (Pope Urban VIII)

ნაშრომი (დიალოგი): ჰელიოცენტრული და
გეოცენტრული მოდელების შესახებ.

(ჯორდანო ბრუნო: 1600 წ.)

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)

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 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

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

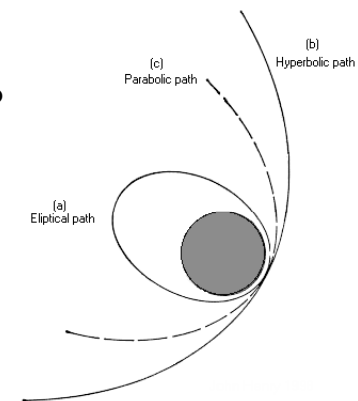
$$F_1 = -F_2$$

ტრაექტორიის ფუნდამენტური ფორმები

ორი სხეულის ამოცანა: ორი მოძრავი სხეული ერთმანეთს იზიდავს ნიუტონის მსოფლიო მიზიდულობის კანონით.

შესაძლო ღია და ჩაკეტილი
ტრაექტორიები:

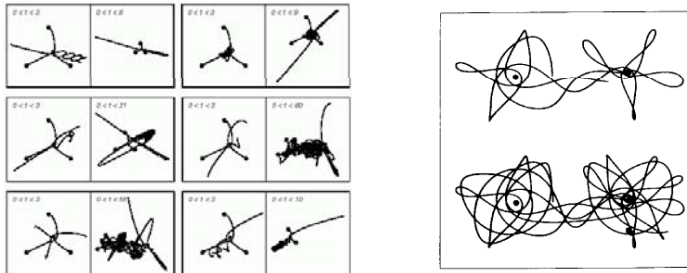
- ელიფსი ($e=0$, წრეწირი)
- პარაბოლა
- ჰიპერბოლა



ტრაექტორიის ფუნდამენტური ფორმები

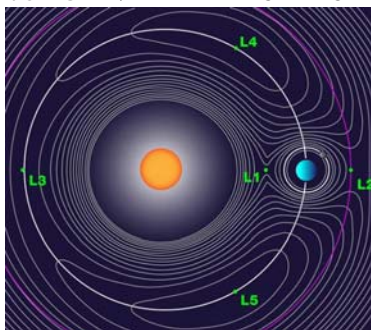
სამი სხეულის ამოცანა: სამი სხეული რომელიც მოძრაობს ერთმანეთის მიზიდულობის ველში:
ამოცანას არ გააჩნია ზუსტი ანალიზური ამონახსნი.

შესაძლოა ღია და შეზღუდული ტრაექტორიები:



ლაგრანჟის წერტილები

ორი ერთმანეთის მიმართ მბრუნავი სხეულის სიმძიმის ველში მოძრავი მესამე ნაწილაკი შეიძლება იყოს ამ ორი სხეულის მიმართ უძრავი ე.წ. ხუთ ლაგრანჟის წერტილში: L_1, L_2, L_3, L_4, L_5

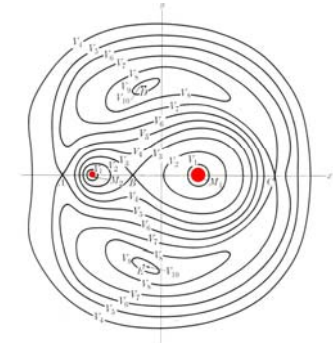


ტრაექტორიის ფუნდამენტური ფორმები

სამი სხეულის ამოცანა: შეზღუდული ამოცანა

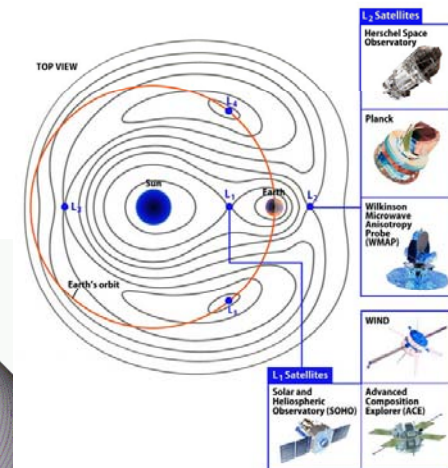
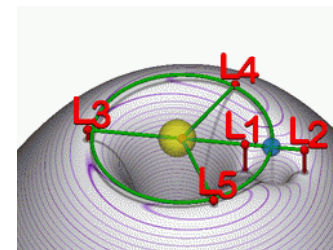
ორი მასიური სხეულის სიმძიმის ველში მესამე „სასინჯი“ ნაწილაკის მოძრაობის აღწერა

ეფექტური
გრავეიტაციული
პოტენციალი
ორი სხეულის
თანამბრუნავ
სისტემაში



ლაგრანჟის წერტილები

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების „ლუზაზე დაყენება“ ლაგრანჟის წერტილებში



ნიუტონის გრავიტაციის თვისებები

გრავიტაციული ურთიერთქმედება:

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

შორსქმედი

არ არის საჭირო უშუალო კონტაქტი სხეულებს შორის

მყისიერი

ურთიერთქმედების გავრცელების სიჩქარე უსასრულოა (*უსასრულო სინათლის სიჩქარე*)

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

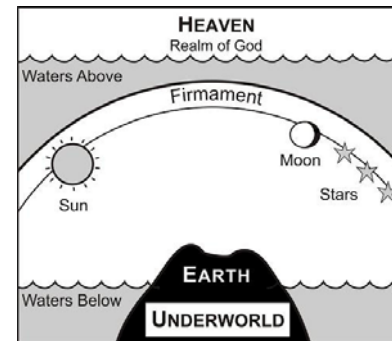
ეგვიპტური



ჰინდუ

ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

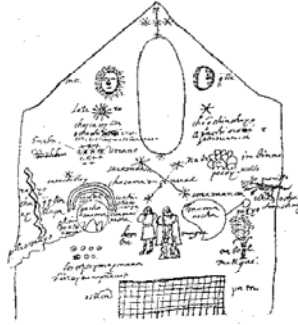
ძველი ებრაული



მაია

ძველი კოსმოლოგიური მოდელები

ინკების კოსმოლოგია



კოსმოლოგია – წარმოდგენა სამყაროზე:
ცივილიზაციის განვითარებულობის საზომი

www.tevza.org/home/course/universe2014

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)

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