სამყაროს ევოლუცია

ლექცია 1

ადრეული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ:
გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული
სისტემები, ასტრონომიული პარალაქსი

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

www.tevza.org/home/course/universe2019

Universe01.ppt	ლექციის პრეზენტაცია ანიმაციებით
Handout01.pdf	ლექციის საბეჭდი ვერსია
\universe2013\Books	წიგნები

+ სემინარის თემები
+ კოლოქვიუმის საკითხები
+ საგამოცდო საკითხები

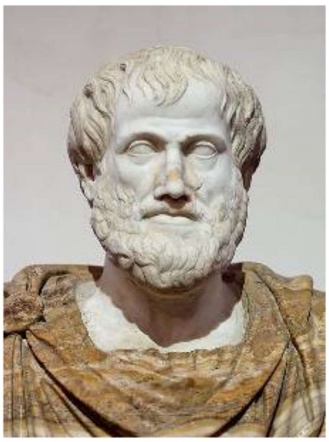
კონსულტაციები: alexander.tevzadze@tsu.ge

საკონფერენციო თემები: /home/course/themes/

სასწავლო კურსის შინაარსი

1. ადრეული წარმოდგენები სამყაროს შესახებ;
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 სტურქტურა, 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;
14. თანამედროვე პრობლემები; უკანასკნელი აღმოჩენები;

ძველი ბერძნული ფილოსოფია



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

სამყაროს შემადგენლობა:
– 4 ელემენტი;
(მიწა, წყალი, ჰაერი, ცეცხლი)
– ღვთიური ეთერი;
(ცარიელი სივრცე)

ზეცა: იდეალური, უცვლელი და სამარადისო.

არქაული დაკვირვებები ღამის ცაზე

გამორჩეულად კაშკაშა ვარსკვლავების წარმოსახვით ფიგურებად დაჯგუფება: **თანავარსკვლავედები**

მერწყული *ორიონი*

თანავარსკვლავედები არ არიან ვარსკვლავების გროვები, მაგალითად ისეთი როგორიცაა გალაქტიკები ან სფერული გროვები. თანავარსკვლავედები არიან ვასრკვლავები, რომელთა პროექცია ღამის ცის თაღზე ერთმანეთთან ახლოს იმყოფებიან. მათი გამოყენება შესაძლებელია ცაზე დაკვირვებისას მიმართულების დასადგენად.

ღამის ცის ბრუნვა

ღამის ცის ბრუნვა ჩრდილოეთის მიმართულების ირგვლივ კარგად ჩანს ვარსკვლავების გადაადგილებაზე დაკვირვებით ერთი ღამის განმავლობაში.

ღამის ცის სადღეღამისო ბრუნვა

ბრუნვის ღერძის პროექცია ცაზე: ჩრდილოეთ პოლუსი

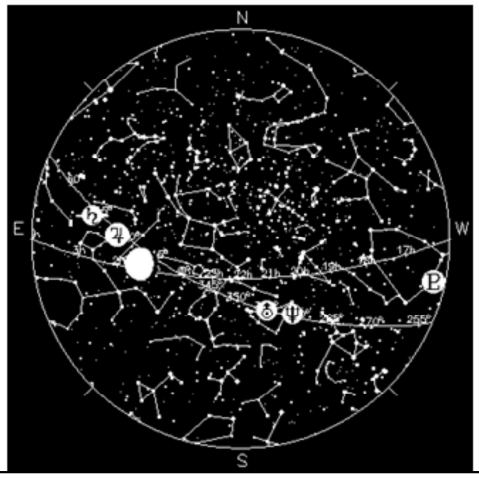
პერიოდი: 24სთ

ღერძის მიმართულება: ჩრდილოეთ პოლარული ვარსკვლავი

სურათი გადაღებულია ხანგრძლივი ექსპოზიციით, რომლის განმავლობაშიც ვარსკვლავები ასწრებენ შემოხაზონ წრიული რკალის ნაწილი ღამის ცაზე ჩრდილოეთ მიმართულების გარშემო.

ღამის ცის სეზონური ბრუნვა

წლის განმავლობაში ცაზე თანავარსკვლავედები გადაადგილდებიან

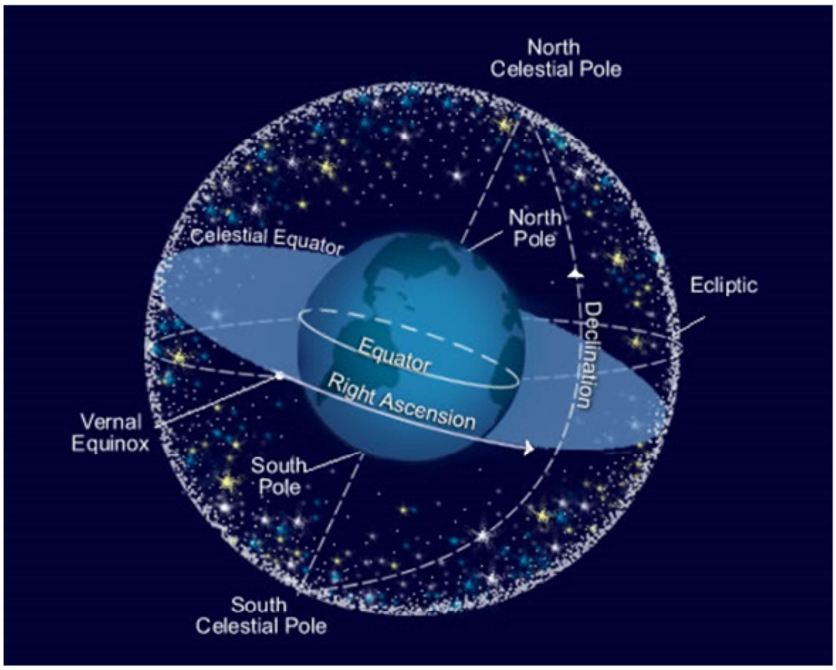


ღამის ცის სეზონური ბრუნვის პერიოდია ერთი წელიწადი, რაც გამოწვეულია დედამიწის მზის ირგვლივ ბრუნვით.

ცის თაღი (არქაული წარმოდგენები)

ცის თაღი ბრუნავს დედამიწის გარშემო, ხოლო ვარსკვლავები დამაგრებულნი არიან ცის თაღზე

სამყაროს ცენტრი:
დედამიწა



გეოცენტრული სისტემა

გეოცენტრული სამყაროს მოდელში დედამიწა (გეოსი) წარმოადგენს სამყაროს ცენტრს, ხოლო ყველა სხვა მნათობები, მათ შორის მზე, მთვარე, პლანეტები და ვარსკვლავები ბრუნავენ მის გარშემო სხვადასხვა მანძილის დაშორებით.

ასტრონომიული დაკვირვებები

ჰიპარქო

(Hipparchus of Nicaea190-120BC)

დაკვირვებითი ასტრონომიის ფუძემდებელი:

შეუიარაღებელი თვალით ღამის ცის დაკვირვებები და მნათობების ყველაზე სისტემატიური აღწერა

მეთოდები: გეომეტრია, ტრიგონომეტრია;

ჰიპაქრო: ბერძენი ასტრონომი, გეოგრაფი, მათემატიკოსი, ტრიგონომეტრიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი, დაკვირვებითი ასტრონომიის ერთ-ერთი პიონერი.

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

134 ჩ.წ.ა. - ადრე უცნობი ვარსკვლავის აღმოჩენა (?)
2000 ვარსკვლავის კატალოგი; ცის რუქა; (ურანი?)

დედამიწის ბრუნვის ღერძის პრეცესიის აღმოჩენა

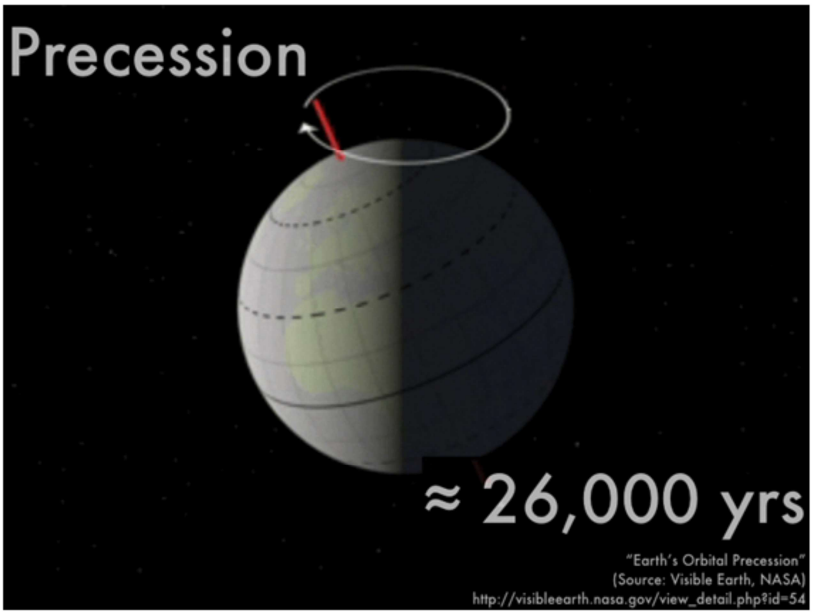
ჰიპაქროს სამყაროს მოდელი: გეოცენტრული სისტემა

ჰიპაქრომ მოახდინა ღამის ცაზე ვარსკვლავების სისტემატიზაცია, ცის ატლასი და ვარსკვლავების კატალოგი.

პრეცესია

მბრუნავი სხეულის ბრუნვის ღერძის შედარებით ნელი წრიული გადაადგილება

(მაგ: გზრიალა, გიროსკოპი)



დედამიწის ბრუნვის ღერძი დახრილია წარმოსახვითი ვერტიკალური მიმართულებიდან 23.5 გრადუსიანი კუთხით. ვერტიკალური მიმართულება განისაზღვრება დედამიწის მზის ირგვლივ ბრუნვის სიბრტყის (ეკლიპტიკის სიბრტყის) პერპენდიკულარული მიმართულებით. ამ დახრის შედეგია დედამიწაზე მზის ირგვლივ ბრუნვისას ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროებში განსხვავებული სეზონების - ზამთრისა და ზაფხულის არსებობა.

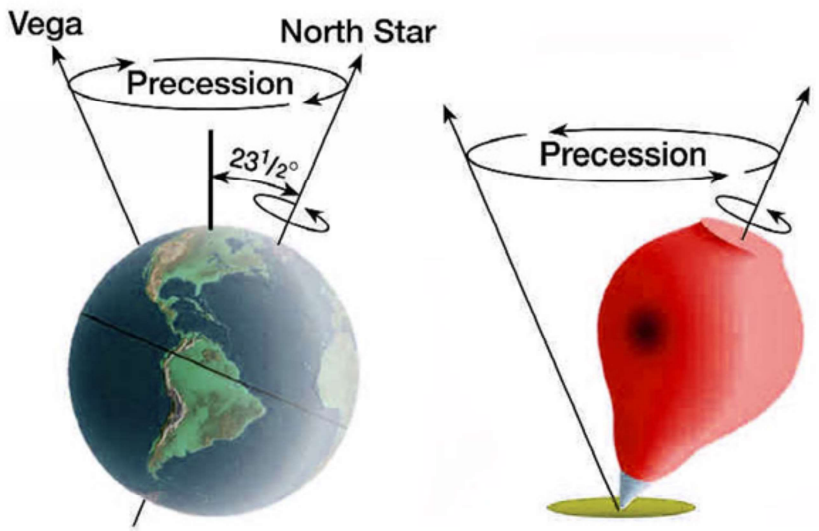
დედამიწის ბრუნვის ღერძის პრეცესია

ბრუნვის პერიოდი: **24** საათი

პრეცესიის პერიოდი: **26 000** წელი

ჩრდილოეთ პოლარული ვარსკვლავი:

1° → 23.5°



დედამიწის ბრუნვის ღერძი განიცდის პრეცესიას - ბრუნვას წარმოსახვითი ვერტიკალური მიმართულების გარშემო 26 ათას წლიანი პერიოდით. თუკი დედამიწის ბრუნვის ღერძი ჩრდილოეთის მიმართულებით დაახლოებით ემთხვევა ე.წ. „ჩრდილოეთ პოლარული“ ვარსკვლავის მიმართულებას, ბრუნვის ნახევარპერიოდის, 13 ათასი წლის შემდეგ ბრუნვის ღერძი მოტრიალდება 47 გრადუსით და ჩრდილოეთ მიმართულება დაემთხვევა ვარსკვლავ „ვეგას“ მიმართულებას.

ფილოსოფიური მოდელის პრობლემები

პლანეტა – (πλανήτης, მოხეტიალე)

არა–წრიული, ე.ი. „არა-იდეალური“ ტრაექტორიები: მოძრაობა ვარსკვლავების ფონზე;

ცის თაღიდან ამოვარდნილი „ხეტიალი“.

5 პრობლემა:

მერკური, ვენერა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი;

ხუთი დამატებითი ერთ მანათობიანი თაღი?

პლანეტა, ქართული ტერმინოლოგიით „ცდომილი.“ არქაული წარმოდგენებით მნათობები მიმაგრებულია ცის თაღზე და მათი მოძრაობა გამოწვეულია ცის თაღის ბრუნვით, რაც ერთი შეხედვით მისაღები თეორიაა ვარსკვლავების მოძრაობის (ბრუნვის) ასახსნელად. იგივე ცის თაღი აღარ გამოდგება განსხვავებულ ტრაექტორიაზე მოძრავი უფრო კაშკაშა მნათობების, პლანეტების აღსაწერად. პლანეტების ნათება, ვარსკვლავებისგან განსხვავებით, გამოწვეულია მზიდან არეკვლილი სინათლით.

რეტროგრადული ტრაექტორიები

წელიწადის განმავლობაში დროის მოკლე პერიოდებში პლანეტები გადაადგილდებიან ცის თაღის (ვარსკვლავების) ბრუნვის მიმართულების საწინააღმდეგო მომართულებით.

უკუღმა ბრუნვის “რეტროგრადული” ფაზა

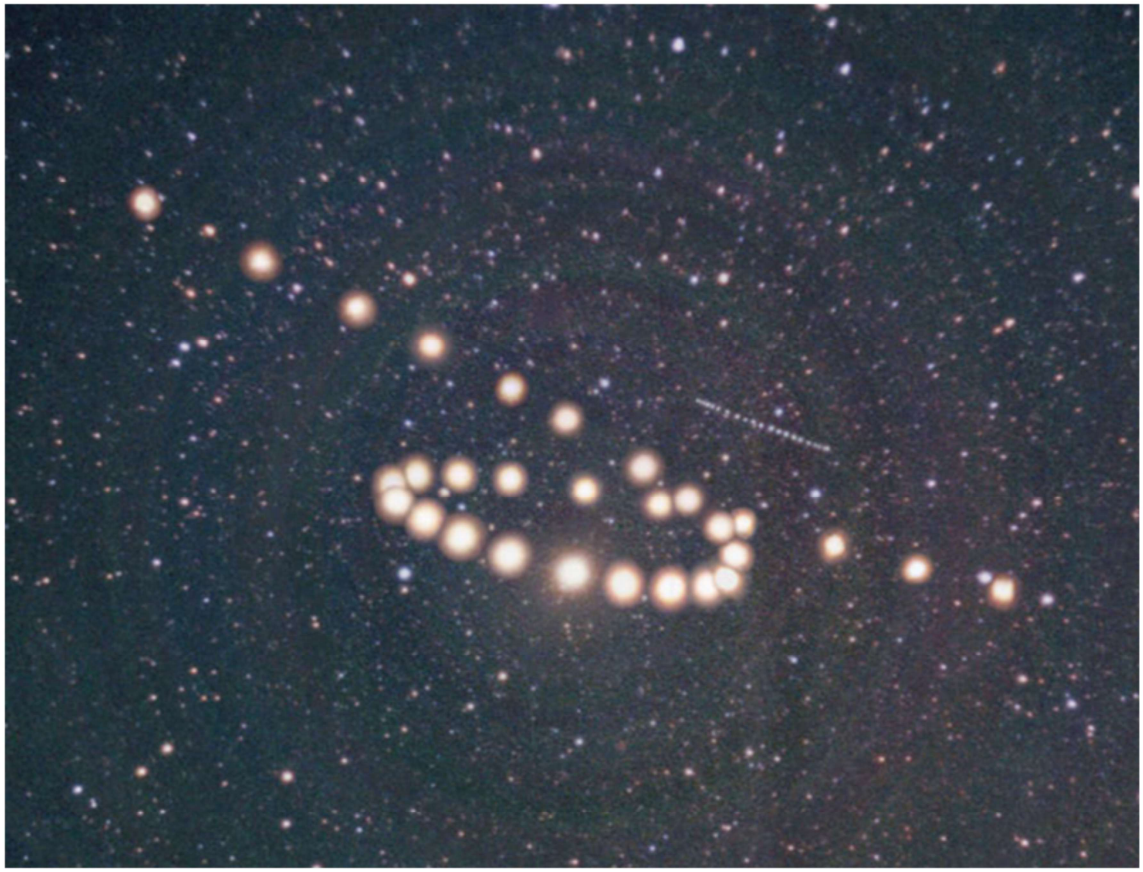
მარსი
(2005)
(ღამეში 1 სურათი)

რეტროგრადული ბრუნვის დასაკვირვებლად საკმარისია დავაფიქსიროთ პლანეტის მდებარეობა სხვა ვარსკვლავების მიმართ ყოველ ღამე ერთიდაიგივე დროს. აღმოჩნდა, რომ წლის განმავლობაში არსებობენ მოკლე პერიოდები, რომლის განმავლობაშიც პლანატები მოძრაობენ ცის თაღის საპირისპიროდ, ანუ „რეტროგრადული“ მიმართულებით.

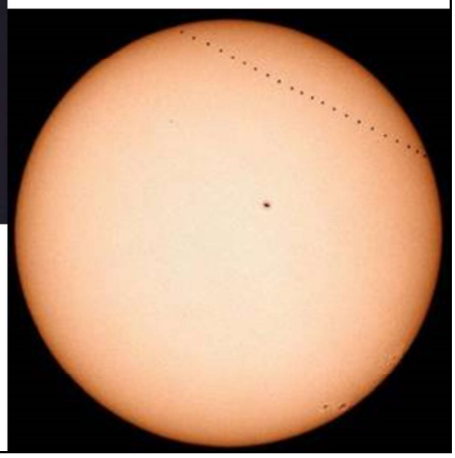
მარსი 2007/2008

ყოველ წელს რეტროგრადულ ფაზაში ერთიდაიგივე პლანეტის გადაადგილების ტრაექტორია შეიძლება იყოს შესამჩნევად განსხვავებული ფორმის. ერთი შეხედვით პლანეტები „დახეტიალობენ.“

მარსი 2003



ვენერა 2004



ვენერას რეტროგრადული ფაზა გრძელდება გაცილებით მეტი ხნის განმავლობაში და ზოგჯერ, შესაძლებელია მან გადაიაროს მზის დისკზეც (ტრანზიტი) და დატოვოს ჩრდილი.

პთოლემეს კოსმოლოგიური მოდელი

პთოლემე

Claudius Ptolemaeus (90–168AD)

გეოცენტრული სამყარო

პლანეტების მოძრაობა უნდა აღიწეროს
იდეალური ტრაექტორიებით: წრეწირებით.

წრეწირების ზედდება: ციკლები და ეპიციკლები;

თავისი დროისათვის ყველაზე ზუსტი თეორია

კლაუდიუს პთოლემე ალექსანდრიელი: გეოცენტრული სამყაროს თეორიის მათემატიკური საფუძვლების ფუძემდებელი. ციკლების და ეპიციკლების წრეწირების გამოყენებით პთოლემეს თეორიის საშუალებით შესაძლებელი გახდა პლანეტების მოძრაობის გამოთვლა და მათი მდებარეობის წინასწარმეტყველება რამოდენიმე წლით ადრე.

გეოცენტრული მოდელი

სამყაროს ცენტრი: **ბრტყელი დედამიწა**

და მის ირგვლივ მბრუნავი ნახევარსფეროს ფორმის **ცის თაღი**

პთოლემეს მოდელმა მნიშვნელოვნად გაუსწრო საკუთარ ეპოქას: როდესაც კაცობრიობა ჯერ კიდევ დარწმუნებულია, რომ დედამიწა ბრტყელია, პთოლემეს თეორია წარმატებით წინასწარმეტყველებს პლანეტების მოძრაობას დედამიწის გარშემო.

გეოცენტრული მოდელი

სამყაროს ცენტრი: დედამიწა;

ცეტრის გარშემო მბრუნავი სხეულები:

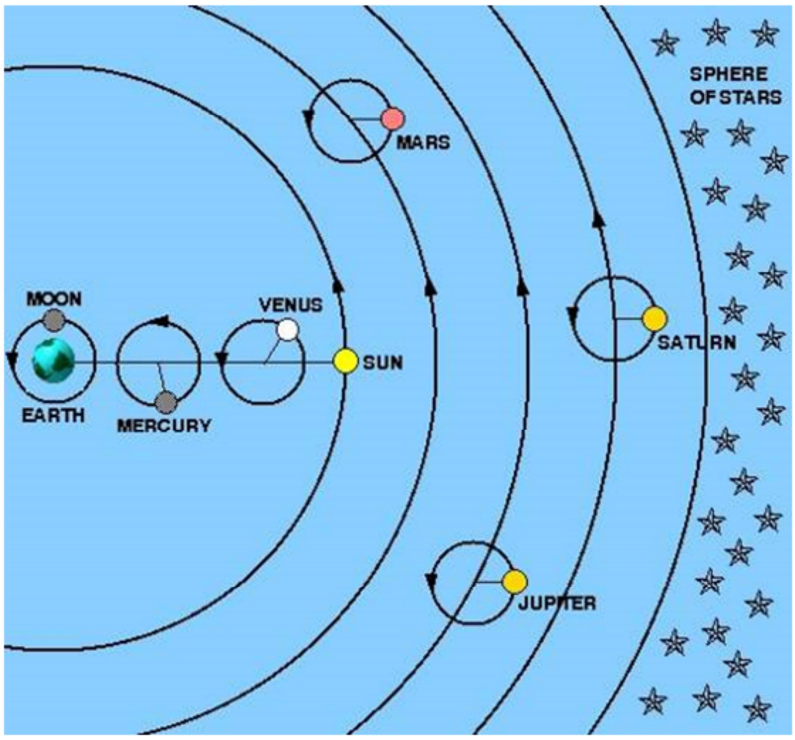
მთვარე	(27 დღე)
მერკური	(88 დღე)
ვენერა	(225 დღე)
მზე	(365 დღე)
მარსი	(687 დღე)
იუპიტერი	(4331 დღე)
სატურნი	(10759დღე)

პთოლმეს გეოცეტრულ მოდელში დედამიწის ირგვლივ ბრუნავენ როგორც მთვარე, ასევე მზე, სხვა იმ დროისათვის აღმოჩენილი პლანეტები და ცის თაღი, რომელზედაც დამაგრებულია ვარსკვლავები. ალტერნატიული თეორიით ვარსკვლავები წარმოადგენენ სხვადასხვა ზომის ხვრელებს ცის თაღში, საიდანაც ჩვენამდე აღწევს ცის თაღის უკან არსებული ზეციური სინათლე.

ციკლები და ეპიციკლები

ტრაექტორია: სხვადასხვა რადიუსისა და პერიოდის ბრუნვის ზედდება;

პლანეტების ეპიციკლებზე ბრუნავის სიხშირე აღემატება ციკლურ ორბიტებზე ბრუნვის სიხშირეს;

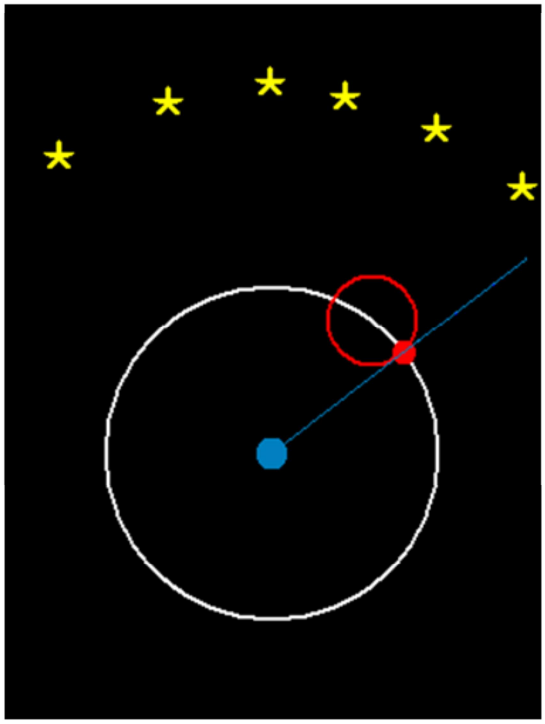


სხეულის წრეწირზე ბრუნვის სიჩქარე დამოკიდებულია წრეწირის, ანუ ორბიტის რადიუსზე. რაც უფრო დიდია რადიუსი, მით უფრო ნელა ბრუნავს პლანეტა. თუკი ტრაექტორტია შედგება დიდი რადიუსის ცეკლისა და მცირე რადიუსის ეპიციკლისგან, პლანეტის მოძრაობის ტრაექტორია შესაბამისად სპირალურად ეხვევა დედამიწის გარშემო.

რეტროგრადული მოძრაობა

პთოლემეს ახსნა:

- წრეწირების ზედდება;
- დიდ რადიუსზე ნელი ბრუნვა;
- მცირე რადიუსზე სწრაფი ბრუნვა;

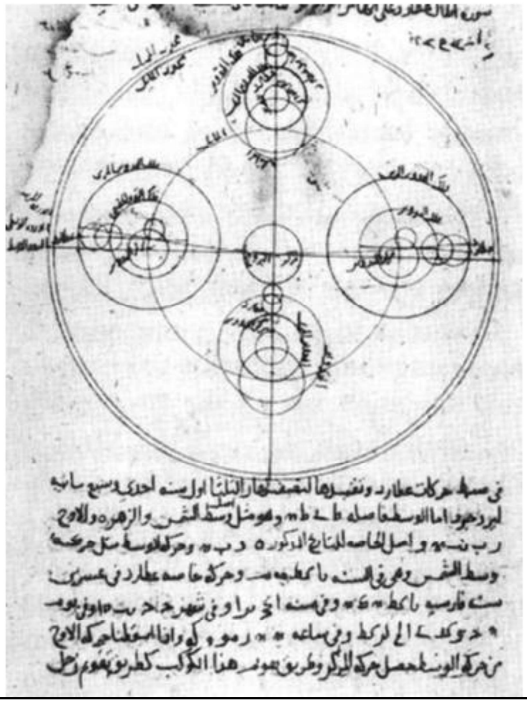


მაგ: ვარსკვლავების ცის თაღზე მარსის მოძრაობის პროექციის რეტროგრადული ტრაექტორია;

პთოლემეს გეოცენტრულ მოდელში პლანეტების რეტროგრადული მოძრაობა წარმოსახვითი ეფექტია, როდესაც ციკლურ და ეპიციკლურ წრეწირებზე ერთიდაიგივე მიმართულებით მბრუნავი პლანეტისათვის გვეჩვენება, რომ დროის მცირე მონაკვეთებში ვარსკვლავების ფონზე პლანეტა გადაადგილდება შებრუნებული მიმართულებით.

პთოლემეს სამყაროს მოდელის პრობლემები

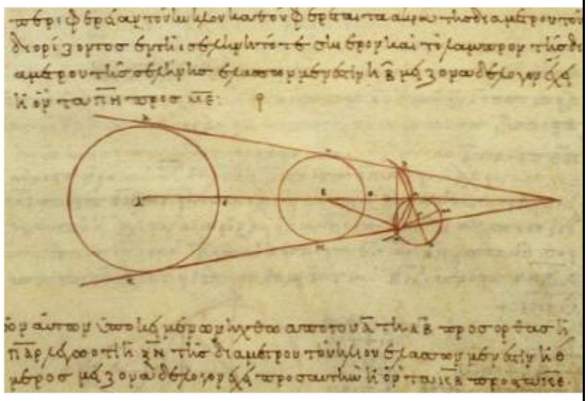
შუა საუკუნეების არაბი ასტრონომების დაკვირვებებმა გამოავლინეს პთოლემეს მოდელის უზუსტობები.



გამოსავალი: ეპიციკლები, ეპიციკლებში და ეპიციკლებში?

ჰელიოცენტრული სისტემა: სათავეები

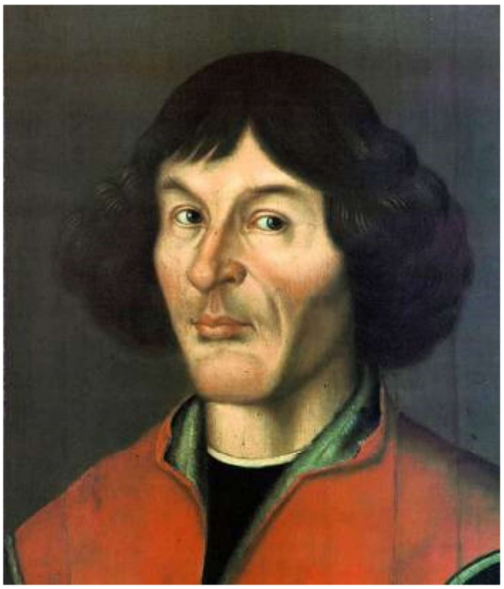
არისტარხე
(Aristarchus of Samos, 310–230BC)



მზის, დედამიწის და მთვარის ფარდობითი ზომების შეფასება

სამყაროს ცენტრში იმყოფება ყველაზე დიდი სხეული: **მზე**
მზე (ჰელიოს): ჰელიოცენტრული სისტემა

კოპერნიკის სამყაროს მოდელი



კოპერნიკი
Nicolaus Copernicus (1473-1543)

1543: *ციური სხეულების*
ბრუნვის შესახებ

ჰელიოცენტრული სისტემა:
- სამყაროს ცენტრი: მზე;
- პლანეტები ბრუნავენ მზის გარშემო;
- მთვარე ბრუნავს დედამიწის გარშემო (თანამგზავრი);

ჰელიოცენტრული სამყარო

სამყაროს ცენტრი: მზე

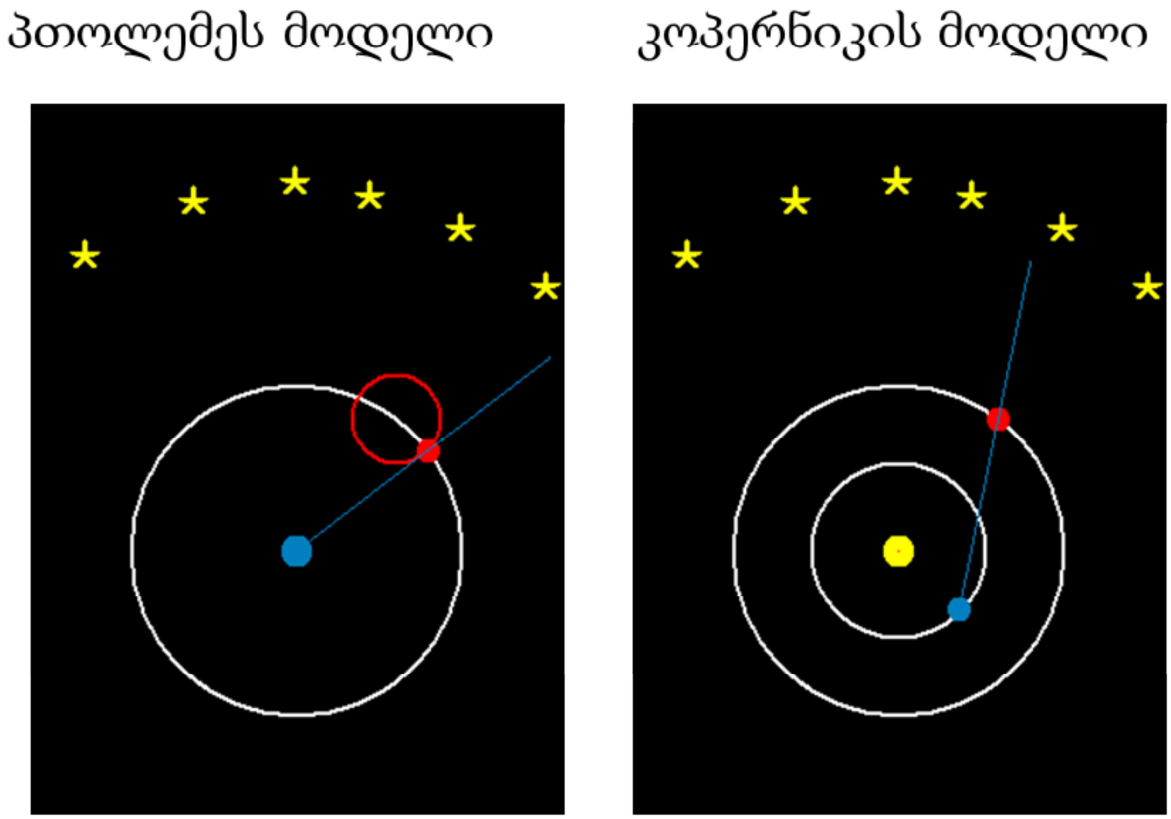
პლანეტების ბრუნვა:

წრიული ორბიტები

- სამყაროს მარტივი მოდელი;
- “უცნაური თეორია”

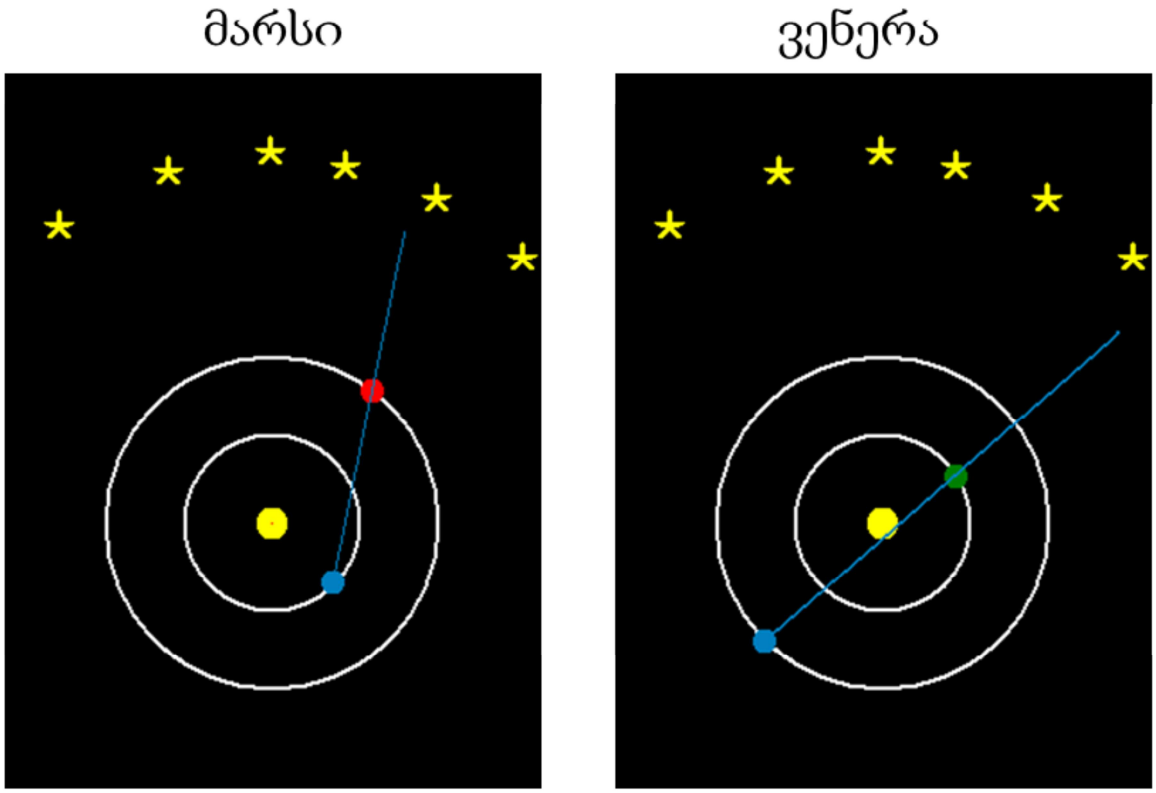
ტრაექტორიების დათვლის მათემატიკური მოდელი

რეტროგრადული მოძრაობა



კოპერნიკის ჰელიოცენტრული მოდელი განსხვავებულად ხსნის დედამიწის „შედა“ (მაგ. ვენერა) და „გარე“ (მაგ. მარსი) პლანეტების რეტროგრადულ ფაზებს. პთოლემეს გეოცეტრულ მოდელში ორივე პლანეტის რეტროგრადული მოძრაობის გამომწვევი მიზეზი ერთიდაიგივე ციკლი/ეპიციკლის ზედდებაა. კოპერნიკის მოდელი ხსნის თუ რატომ დაიკვირვება რეტროგრადული ფაზა შიდა პლანეტებისათვის გაცილებით უფრო ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.

შიდა და გარე პლანეტები



რეტროგრადული ფაზების განსხვავება შედა და გარე პლანეტებისათვის კოპერნიკის ჰელიოცენტრულ სისტემაში.

კოპერნიკის სისტემის პრობლემები

1.) არსებულ ფიზიკურ პრინციპებთან (ბერძნული ფილოსოფია) წინააღმდეგობა:

მძიმე → მსუბუქი

მიწა → წყალი → ჰაერი → ცეცხლი → ეთერი

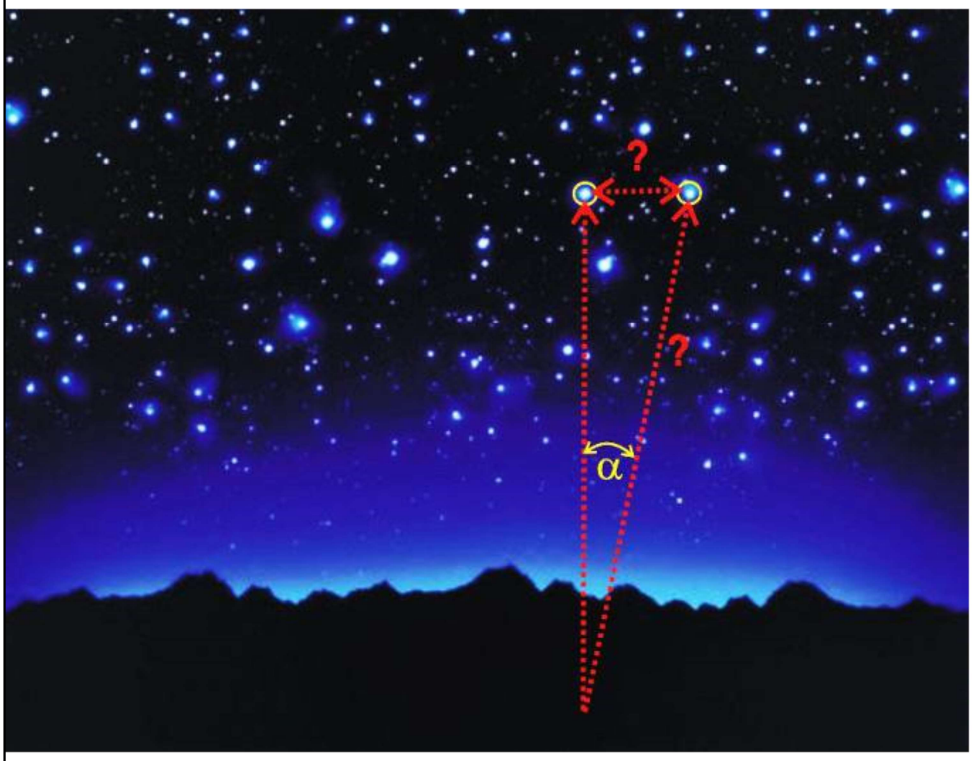
2.) შეუსაბამობა დაკვირვებებთან: პთოლემეს მოდელზე უარესი შედეგები;

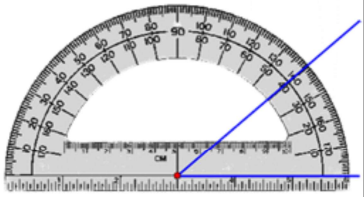
3.) წინააღმდეგობა რელიგიასთან;

“De revolutionibus orbium coelestium”

კოპერნიკის “რევოლუცია”

დაკვირვებები

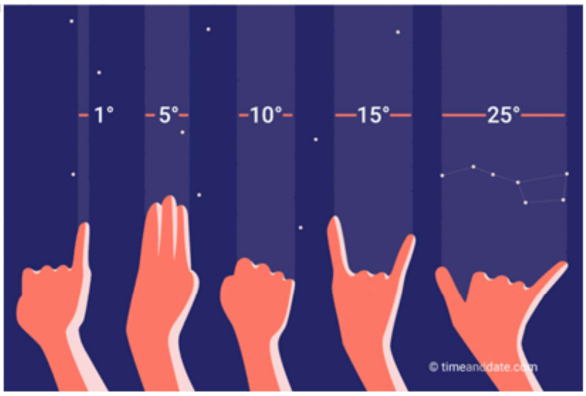




კუთხის საზომი ხელსაწყო: სექსტანტი

კუთხის საზომი ხელსაწყო.

სხეულის ზომის შეფასება კუთხის გამოყენებით



კუთხის გაზომვით შესაძლებელია მანძილის, ან შენობის სიმაღლის შეფასებაც წინასწარ ცნობილი ზომის ობიექტების გამოყენებით.

კუთხის საზომი ერთეულები

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…	$= 10^{-12}$

კუთხის საზომი ერთეული სეკუნდი - ძველი ქართული ტერმინოლოგიით „წამი კუთხისა“.

დაკვირვებები

ულუღბეგი (1394-1449)

ასტრონომია, ტრიგონომეტრია, სფერული გეომეტრია, მათემატიკა.

სამარყანდის ობსერვატორია

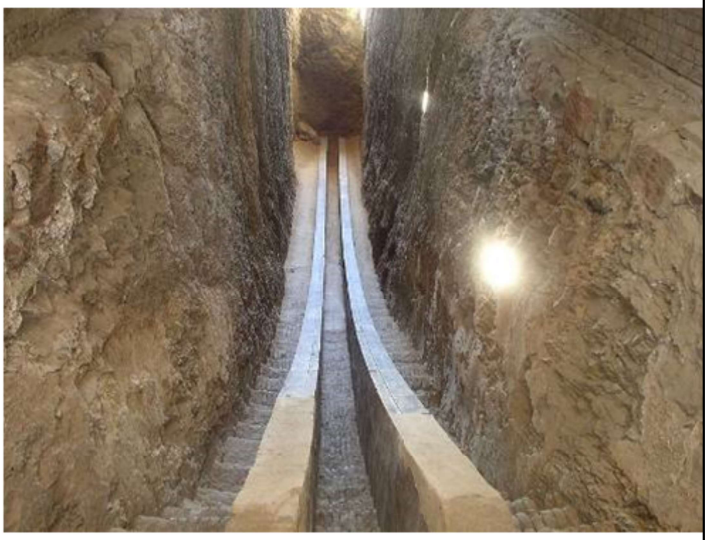
დაკვირვებები

ულუღ ბეგის ობსერვატორია

ქვის “სექსტანტი”

სიგრძე: **30მ**

კუთხური გარჩევა: **3′**



წელიწადის ხანგრძლივობის შეფასება: **365.257** დღე

რეალური მნიშვნელობა: 365.242 დღე

დედამიწის ბრუნვასთან ერთად ობსერვატორია ტრიალებს და საშუალება აქვს დააკვირდეს ღამის ცას სხვადასხვა მიმართულებით. ულუღ ბეგმა პირველმა გაზომა წელიწადის ხანგრძლივობა 0.004% სიზუსტით.

დაკვირვებები

ტიხო ბრაგე

Tyge Ottesen Brahe

(1546 – 1601)

თავისი დროის უზუსტესი დაკვირვებები

სამყაროს აგებულება:

- *კოპერნიკის სისტემის სიმარტივე*
- *პთოლემეს ფილოსოფიური საფუძვლები*

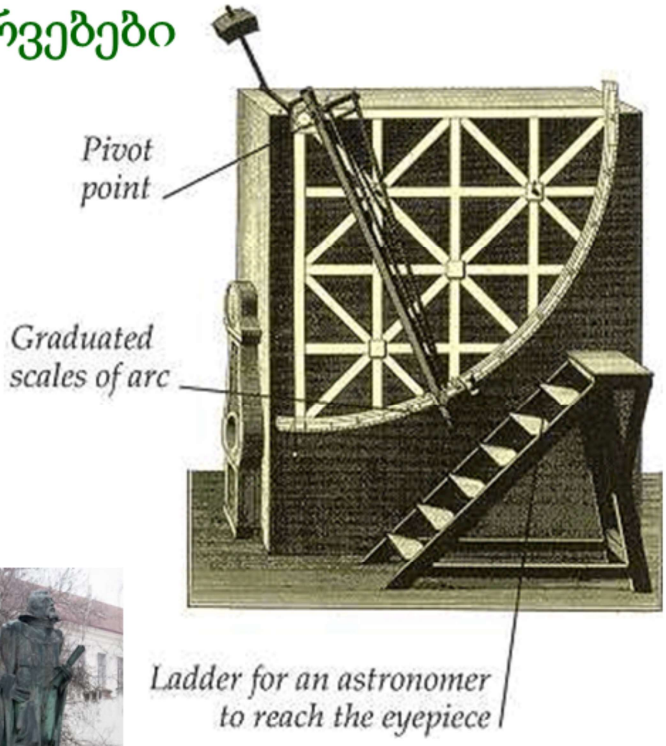
დაკვირვებები

ტიხოს ობსერვატორია

“ზუსტი ასტრონომია”

კუთხის გაზომვის უპრეცედენტო სიზუსტე (1.5′)

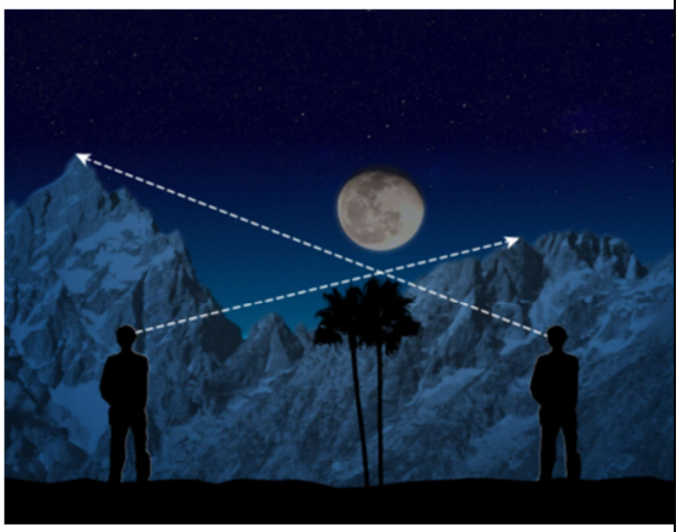
ტიხოს ასისტენტი: კეპლერი



ოპტიკური პარალაქსი

Parallax *- ბერძ. ცვლილება*

დამკვირვებლის მდგომარეობის ცვლილება იწვევს ახლომდებარე ობიექტის გადაადგილებას ფონურ ობიექტთან შედარებით

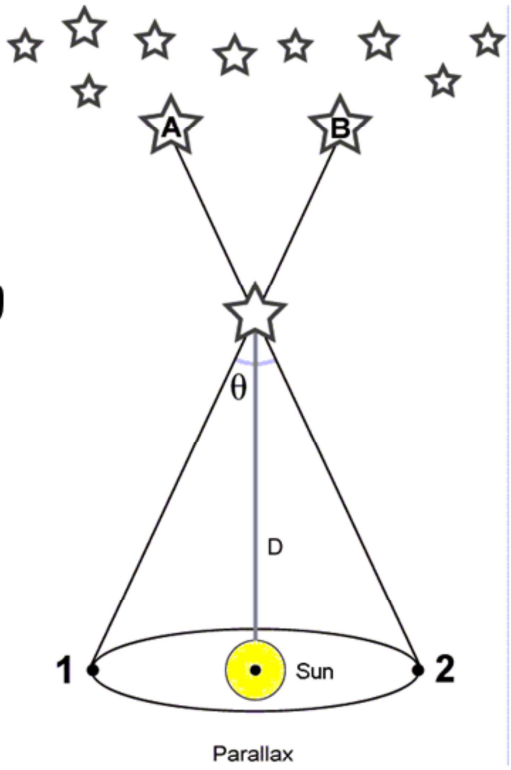


ექსპერიმენტი სარკესთან: დახუჭეთ ერთი თვალი. პირდაპირ გაშლილი ხელის ცერა თითი მიადეთ სარკეზე დახუჭული თვალის ანასახს. ხელის გაუნძრევლად გაახილეთ პირველი და დახუჭეთ მეორე თვალი ...

გეომეტრიული პარალაქსის მაგალითი

ასტრონომიული პარალაქსი

დედამიწის წლიური ბრუნვის შედეგად ახლომდებარე ვარსკვლავის გადაადგილება შორეული ვარსკვლავების ფონზე



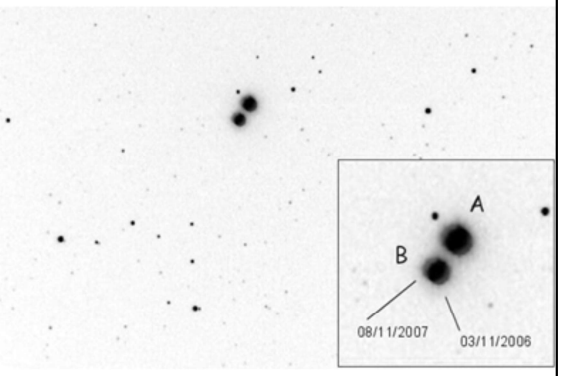
არიან ვარსკვლავები ჩვენგან ერთ მანძილზე “ცის თაღზე” მიმაგრებული თუ არა?

ასტრონომიული პარალაქსი

ვარსკვლავის ხილული (მოჩვენებითი) გადაადგილება.
გადაადგილების კუთხე - “პარალაქსის კუთხე”

ბესელი
Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846)

61 Cygni: 0.31სეკუნდი (1838)
მანძილი: 3 პარსეკი
9.8 სინათლის წელი



ბესელის მიერ აღმოჩენილმა პარალაქსის მოვლენამ პირველად ექსპერიმენტულად დაადასტურა, რომ ვარსკვლავები იმყოფებიან ჩვენგან სხვადასხვა მანძილზე, ხოლო დედამიწიდან ერთიდაიგივე მანძილზე დაშორებული სფერული ცის თაღის მოდელი მცდარია. თუკი ვარსკვლავები განლაგებული არიან სხვადასხვა მანძილზე, ე.ი. სამყაროს გააჩნია სტრუქტურა და შესაძლებელია მისი აგებულების შესწავლა.

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

უახლოესი ვარსკვლავები

#	Designation			Stellar class	Apparent magnitude (m_V)	Absolute magnitude (M_V)	Eff. temperature T_{eff} in K (±err)	Epoch J2000.0		Parallax[2][3] Arcseconds (±err)	Distance[4] Light-years (±err)	Additional references
	System	Star	Star #					Right ascension [2]	Declination[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 (Rigil Kentaurus; Toliman)	Proxima Centauri (V645 Centauri)	1	M5.5Ve	11.09[2]	15.53[2]	3,040[6]	$14^h\ 29^m\ 43.0^s$	−62° 40′ 46″	0.768 87 (0.29)″[7][8]	4.2421 (16)	[9]
		α Centauri A (HD 128620)	2	G2V[2]	0.01[2]	4.38[2]	5,790[6]	$14^h\ 39^m\ 36.5^s$	−60° 50′ 02″	0.747 23 (1.17)″[7][10]	4.3650 (68)	
		α Centauri B (HD 128621)	2	K1V[2]	1.34[2]	5.71[2]	5,260[6]	$14^h\ 39^m\ 35.1^s$	−60° 50′ 14″			
2	Barnard's Star (BD+04°3561a)		4	M4.0Ve	9.53[2]	13.22[2]	3,134 (102)[11]	$17^h\ 57^m\ 48.5^s$	+04° 41′ 36″	0.546 98 (1.00)″[7][8]	5.9630 (109)	
3	Wolf 359 (CN Leonis)		5	M6.0V [2]	13.44[2]	16.55[2]	2,800 (100)[12]	$10^h\ 56^m\ 29.2^s$	+07° 00′ 53″	0.419 10 (2.10)″[7]	7.7825 (390)	
4	Lalande 21185 (BD+36°2147)		6	M2.0V [2]	7.47[2]	10.44[2]	3,400[13]	$11^h\ 03^m\ 20.2^s$	+35° 58′ 12″	0.393 42 (0.70)″[7][8]	8.2905 (148)	

www.tevza.org/home/course/universe2019

J. Fix “Astronomy Journey to the Cosmic Frontier”

ქვეთავები 1, 2, 3

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

ქვეთავები 2.1, 2.2, 2.3

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

ქვეთავები 1.1 და 1.2 (გვ. 2-8)