

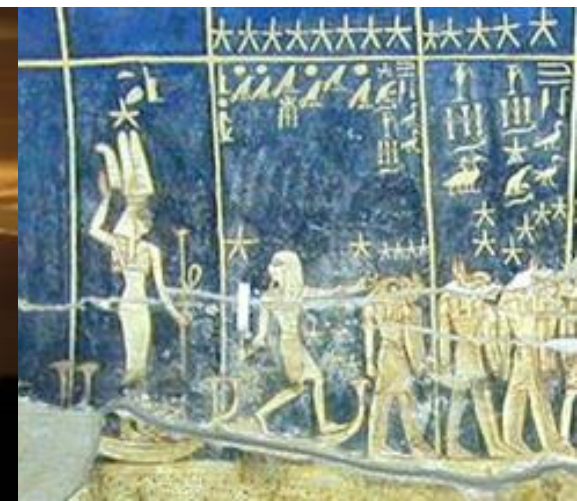
# Csillagászati földrajz



- Földrajzi diszciplína: a Földre (is) vonatkozó csillagászati ismereteket gyűjti össze és rendszerezi a földrajztudomány kívánalmai és szempontjai szerint
  - Csillagászati földrajz  $\neq$  csillagászat
- Témakörök:
  - Térbeli és időbeli tájékozódás
    - Égbolti koordinátarendszerek (szférikus csillagászat)
    - Időszámítás
    - Földrajzi helyzetmeghatározás
  - A Föld mint égitest
    - Alakja
    - Mozgásai (forgás, keringés, ezek időbeli változásai)
  - Földön kívüli világtér
    - A Naprendszer és a kozmosz mint a Földet tartalmazó rendszerek
    - A Földhöz hasonlítható más égitestek: bolygók

# A csillagászat az egyik legősibb tudomány

- Közvetlen ismeretség az égi jelenségekkel
- Páratlan szabályosság
  - felsőbb, isteni akarat jele
    - a világegész magyarázatának szerves része  
*mítoszok, megszemélyesítés, kozmogóniák*
  - az időszámítás alapja
    - ciklusok: nap, év, hónap, ...  
*kultúrák, civilizációk szervezése*



# Csillagászat a történelem hajnalán: Archeoasztronómia

Tárgyi emlékek, melyek csillagászati ismeretekről tanúskodnak:

- bronzkori Ny-Európa: megalitikus kultúrák  
→ **napfordulói, napéjegyenlőségi napkelte irányába tájolt**
  - állókövek (*monolit, menhir*)
  - kőívek (*dolmen*)
  - halomsírok (*tumulus*)
- más kultúrák: hasonló állókövek, piramisok, stb.
- esetleg egyéb tárgyi emlékek



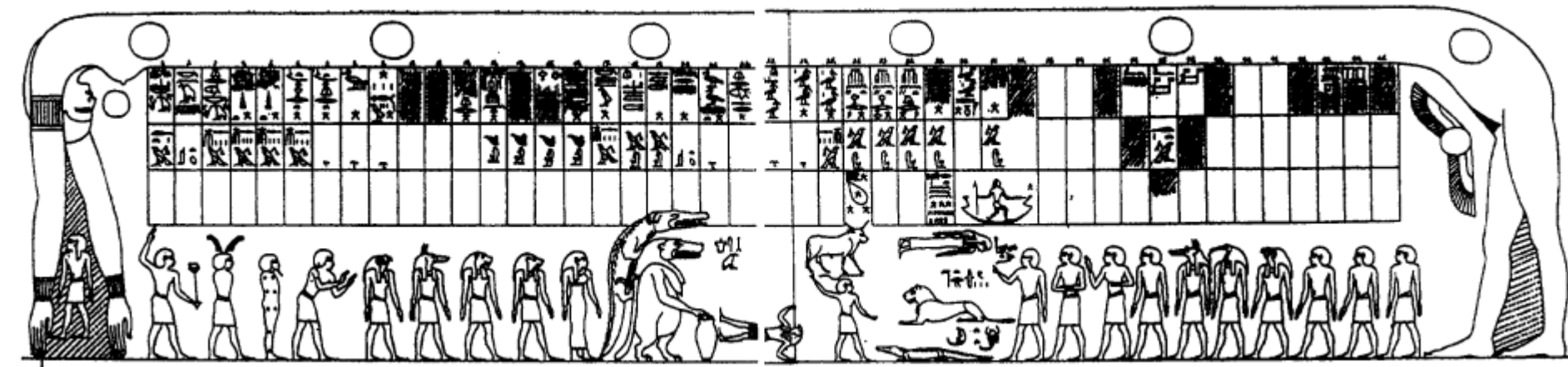
# Ókori civilizációk: Egyiptom



- Tájolt épületek, piramisok
- Istenek és égitestek azonosítása, mitológia
- Naptárak: polgári (365 nap) és rituális (~365,25 nap)

Szíriusz szerepe: a Nílus áradása → év kezdete

- 12 óra nappal + 12 óra éjjel = 24 óra
- Órafigyelő papok: akkor kezdődik egy új „óra” (dekán) az év adott napján, ha adott csillag felkel egy ülő segéd adott testrésze felett



# Ókori civilizációk: Mezopotámia

- Rengeteg forrás: agyagtáblák (legkorábbi írás)
- Hatvanas számrendszer  
→  $1 \text{ ó} = 60 \text{ p}$ ,  $1 \text{ p} = 60 \text{ mp}$  + kör =  $360^\circ$
- Időszámítás: 24 egyenlő óra, 7 napos hét
- Élénk asztrológiai érdeklődés: az égi jelenségek az istenek akaratának ómenei
- Újbabiloni korszak:  
megfigyelési adatok + matematikai szabályosságok  
→ fejlett megfigyelő csillagászat és algebra





## + Számos egyéb csillagászati kultúra

Távol-kelet, India, Közép-Amerika, Óceánia...



# Görögök: A platóni Akadémia (~i.e. 387) programja

**Geometriai modell:** a világ matematikai szerkezetű (püthagoreizmus), tehát egy geometriai modellel visszaadhatók a látszólagos mozgások

**Egyenletes körmozgások elve:** mivel csak ez méltó az égitestekhez, ilyenekkel kell magyarázni a mozgásokat

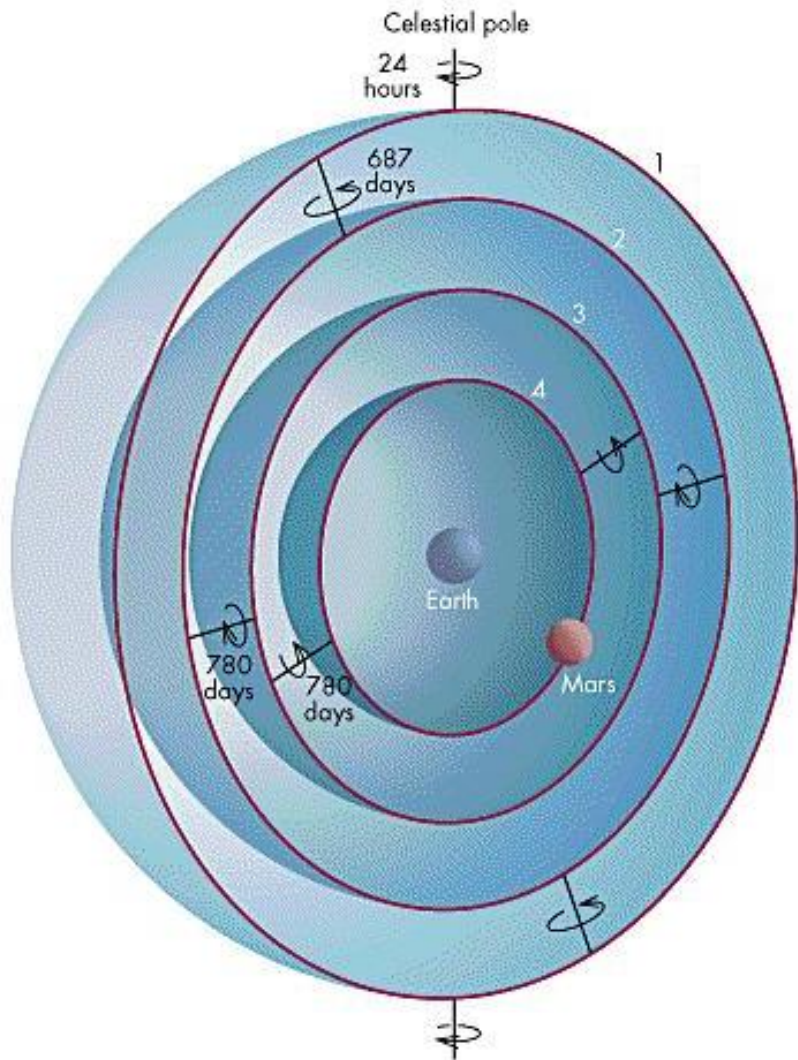
**Jelenségek megőrzése:** addig kell bonyolítani a rendszert, míg képes megőrizni a jelenségeket, vagyis képes a modell megfelelni a valóságnak



→ 2000 évig a nyugati csillagászati hagyomány gerince



# Az első megoldás: Eudoxosz



- Homocentrikus szférák rendszere:  
egy-egy égitest mozgása több, azonos kp-ú, eltérően forgó gömbhøj forgásának eredője
- a Nap és a Hold esetén 3, a bolygók esetén 4 szférára van szükség
- tetszőlegesen pontosítható:  
Kallipposz + 2-2 szférát vezetett be a Nap és Hold esetére, és + 1-1-1-et a három külső bolygóra  
→ egyfajta paradigma a mozgások magyarázatában



# Arisztotelész két régióra osztja a világot:

## Hold alatti (szublunáris):

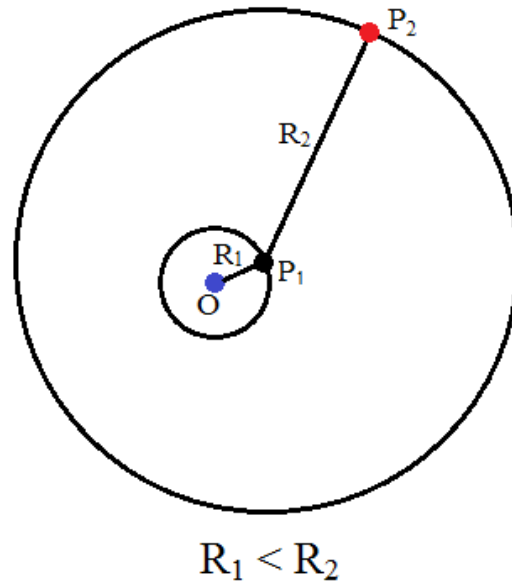
- tökéletlen: szüntelen változás és káosz jellemzi
- anyaga: tűz + víz + föld + levegő  
→ mind a saját helyére törekszik (könnyű: fel – nehéz: le)
- mindenféle változásnak kitett:
  - helyváltoztató
  - minőségi (pl. kék → zöld)
  - mennyiségi (pl. növekedés)
  - keletkezés és pusztulás
- leírására a természet-filozófia (*phüszika*) hivatott
  - a matematika túl szabályos, vele nem lehet ezt a változó régiót leírni

## Hold feletti (szuperlunáris):

- tökéletes: nincs változás, örök rend és harmónia
- anyaga: „ötödik elem” (éter)
- egyetlen változás:
  - tökéletes (örökkévaló) szabályos körmozgások
  - a többi változás nem lehetséges
  - ezért az újkorig nem ismerik el:
    - nóvák, szupernóvák
    - csillagfényesség-változások
    - üstökösök mint légkörön túli jelenségek
- leírására a matematika hivatott, mert csak ez elég szabályos ahhoz, hogy matekkal le lehessen írni

# A második megoldás: Hipparkhosz, Ptolemaiosz

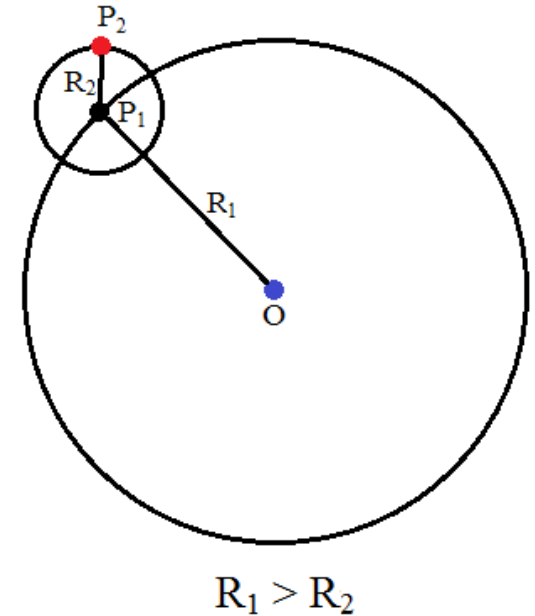
Excenter



O középpont körül  
 $R_1$  sugarú körön  
kering  $P_1$  pont,  
amely körül  
 $R_2$  sugarú körön  
kering  $P_2$  pont

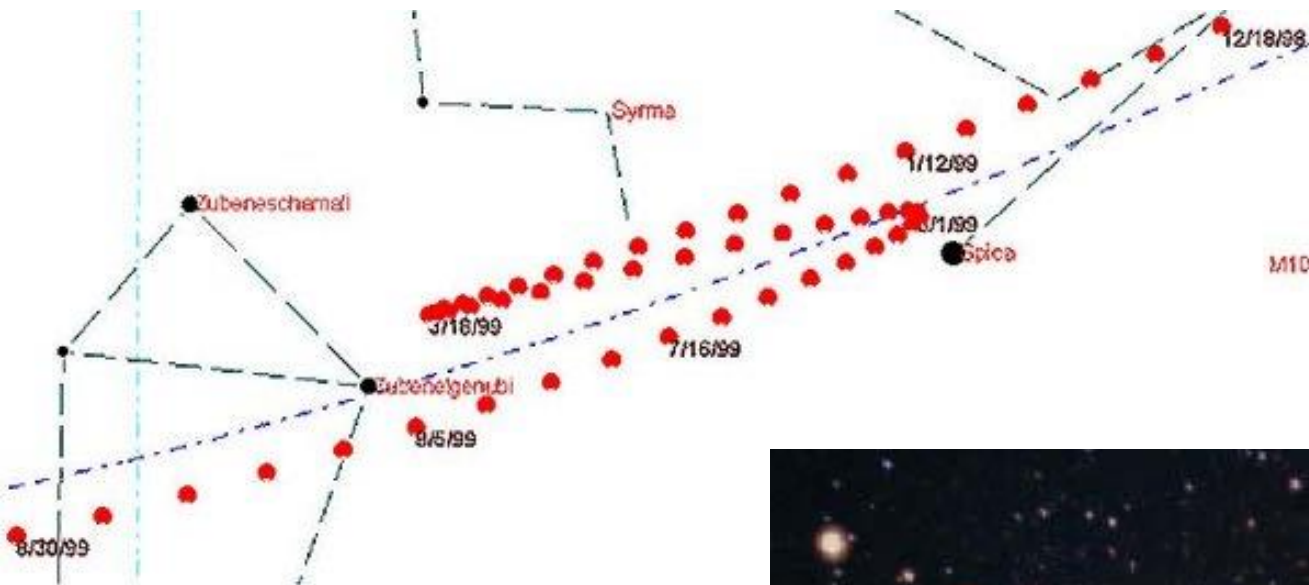
(O = a kp-i Föld,  
 $P_2$  = a bolygó)

Epiciklus



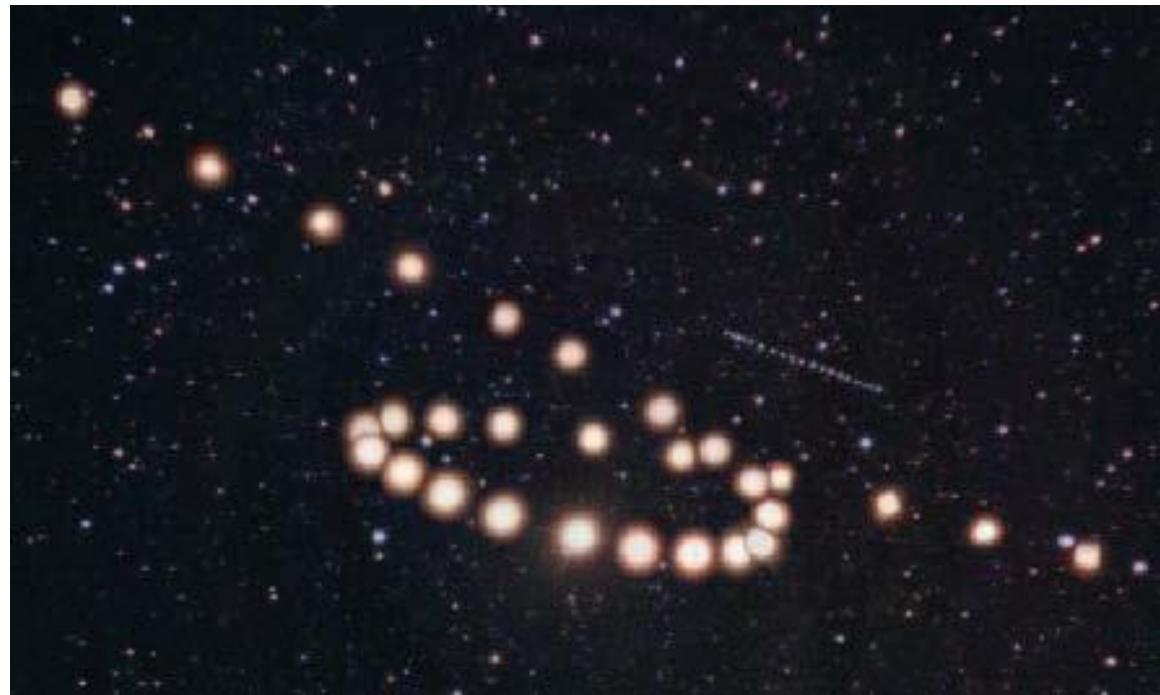
- körmozgások összetevődése
- egyszerű: síkbeli megoldás → rajzolható + jól illik a mozgásokra (ekliptika)  
+ előny: képes magyarázni pozíciók mellett a fényességváltozásokat is
- bonyolult: nem egyetlen középpont van → nem passzol a szféraelmélethez

# Kitérő: a bolygók hurkos mozgása

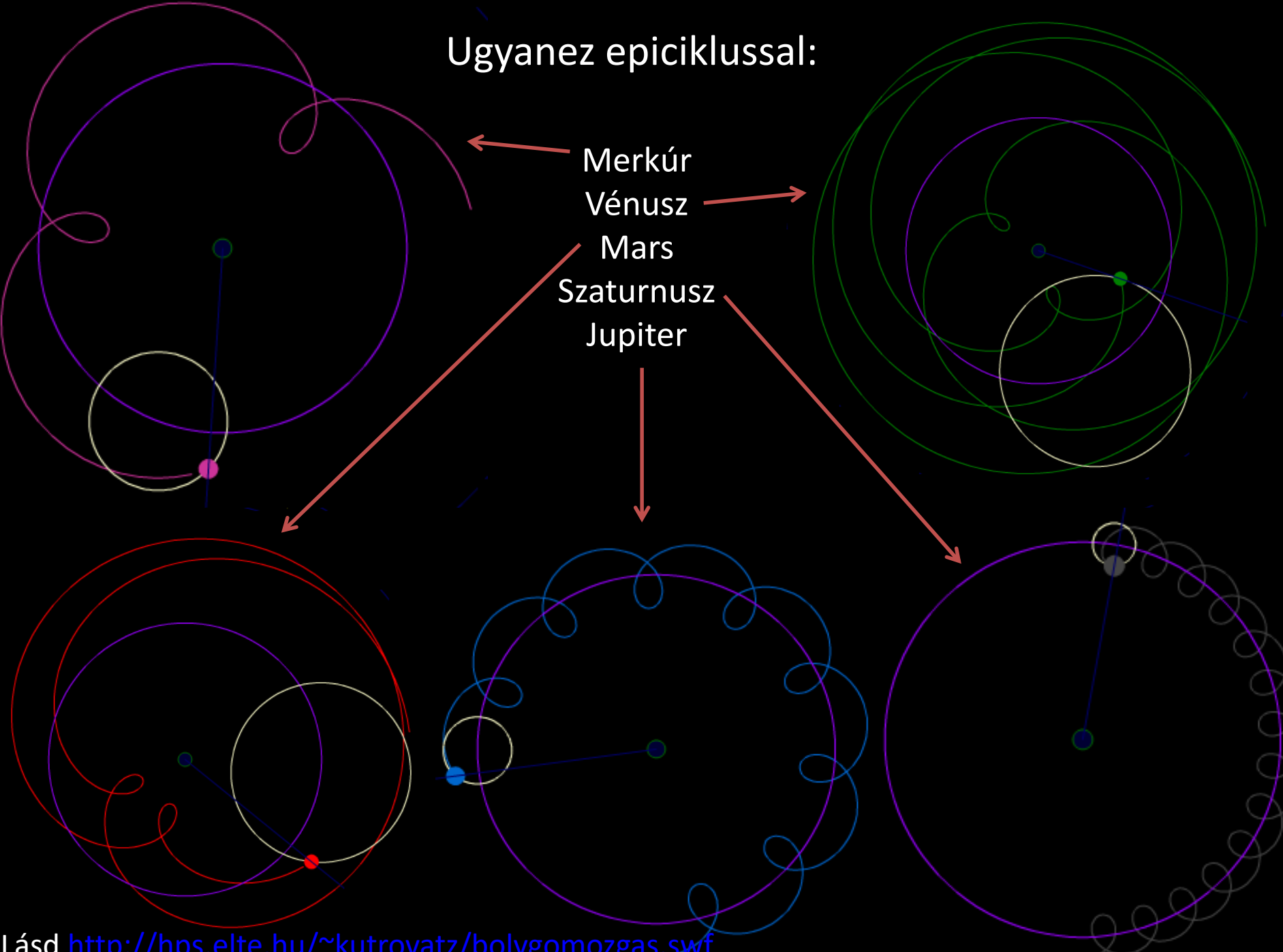


A Mars látszó pozíciói a csillagos ég háttérén (1998.12.18 – 1999.08.30)

A bolygók haladásuk során időnként „hurkokat” – görögül *hippopédé* (ló-béklyó) – írnak le. Hogyan modellezhető ez a platóni programban? (Eudoxosz: bolygónként 2 szférával)

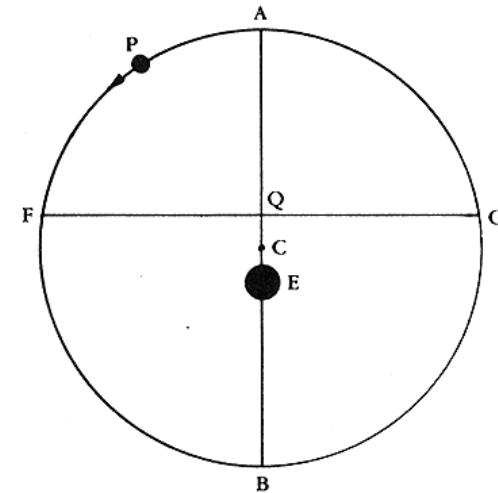
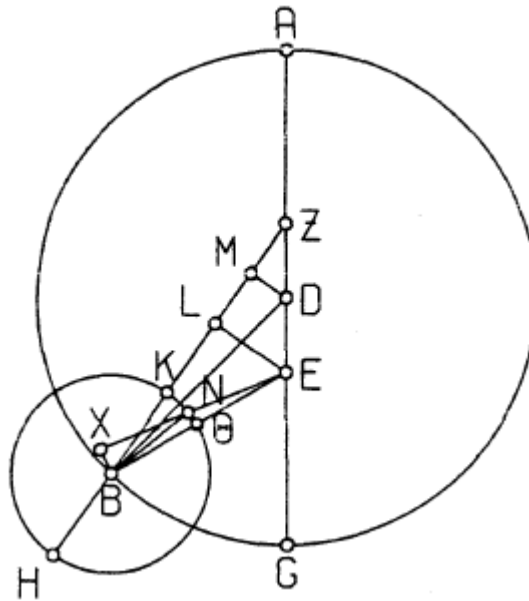


# Ugyanez epiciklussal:



# A ptolemaioszi rendszer

- A matematikai csillagászat alapműve 1500 évig: Ptolemaiosz (+2. sz.): *Almagest* (A csillagászat nagy matematikai összefoglalása)
- Mivel a bolygók nem tökéletesen modellezhetők egyenletes körökkel (lásd majd Kepler törvényeit), egyszerre kell használnia az excentert, az epiciklust, valamint az ekvánspontot
- Mindegyik bolygó mozgását körök egy összetett rendszere valósítja meg:
- Az egyes bolygók mozgásai függetlenek egymástól, a körök paramétereit csak a megfigyelt pozíciók alapján adódnak (szemben később Kopernikusszal)

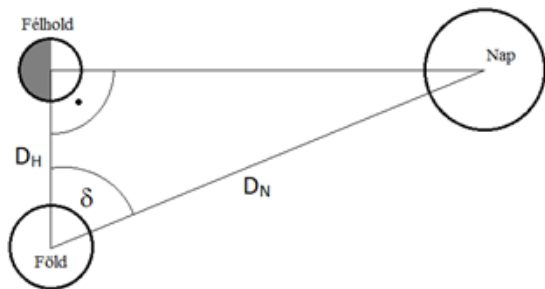


Ekvánspont (Q): a P pont mozgása nem egyenletes, hanem csak a Q pontból nézve látszik egyenletesnek

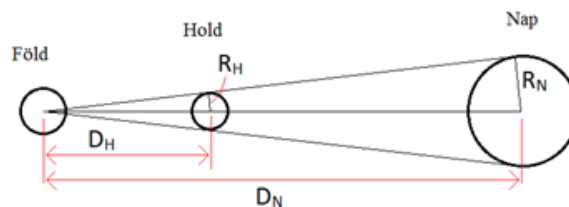
# Továbbá a görögök...

eljátszottak a mozgó Föld gondolatával:

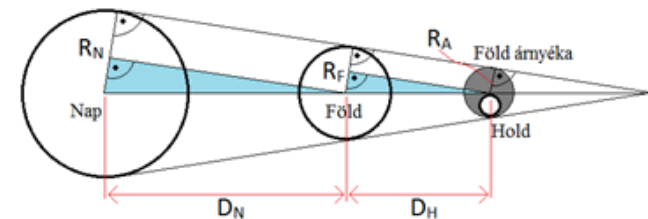
- Héракleidész (-4. sz.): a Föld naponta megfordul a tengelye körül + a Merkúr és a Vénusz a Nap körül kering (?)
- Arisztarkhosz (-3. sz.): a Nap van a középpontban, körülötte kering az összes bolygó a Földdel együtt, a Föld forog, a csillagok nagyon messze vannak
  - sajnos nem maradt fenn a munkája, csak arra való utalások
  - fennmaradt egy másik műve: „A Nap és a Hold méretéről és távolságáról”  
→ ebben mérések alapján arányokat állapít meg:



Ha félholdkor  $\delta = 87^\circ$ ,  
akkor  $D_N / D_H = 18 \sim 20$



Ha napfogyatkozáskor a Hold  
éppen kitakarja a Napot,  
akkor  $R_N / R_H = 18 \sim 20$



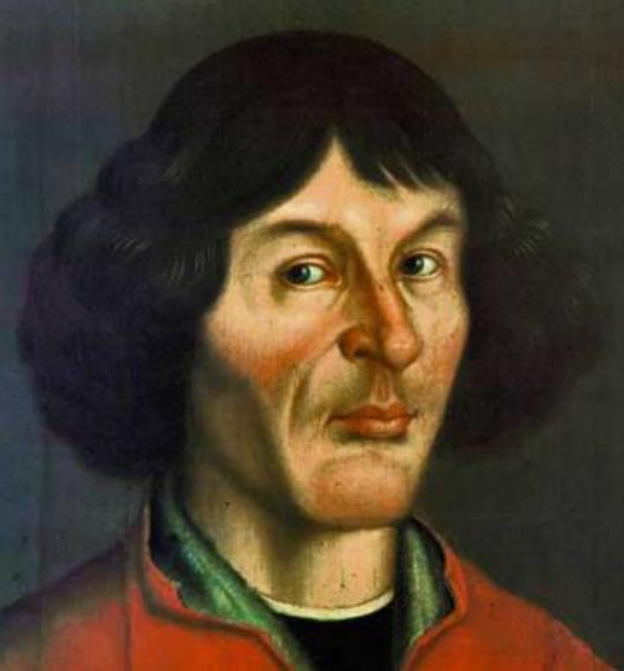
Ha holdfogyatkozáskor a  
Föld árnyéka kétszerese a  
Holdnak, akkor  $R_N / R_F \approx 7$



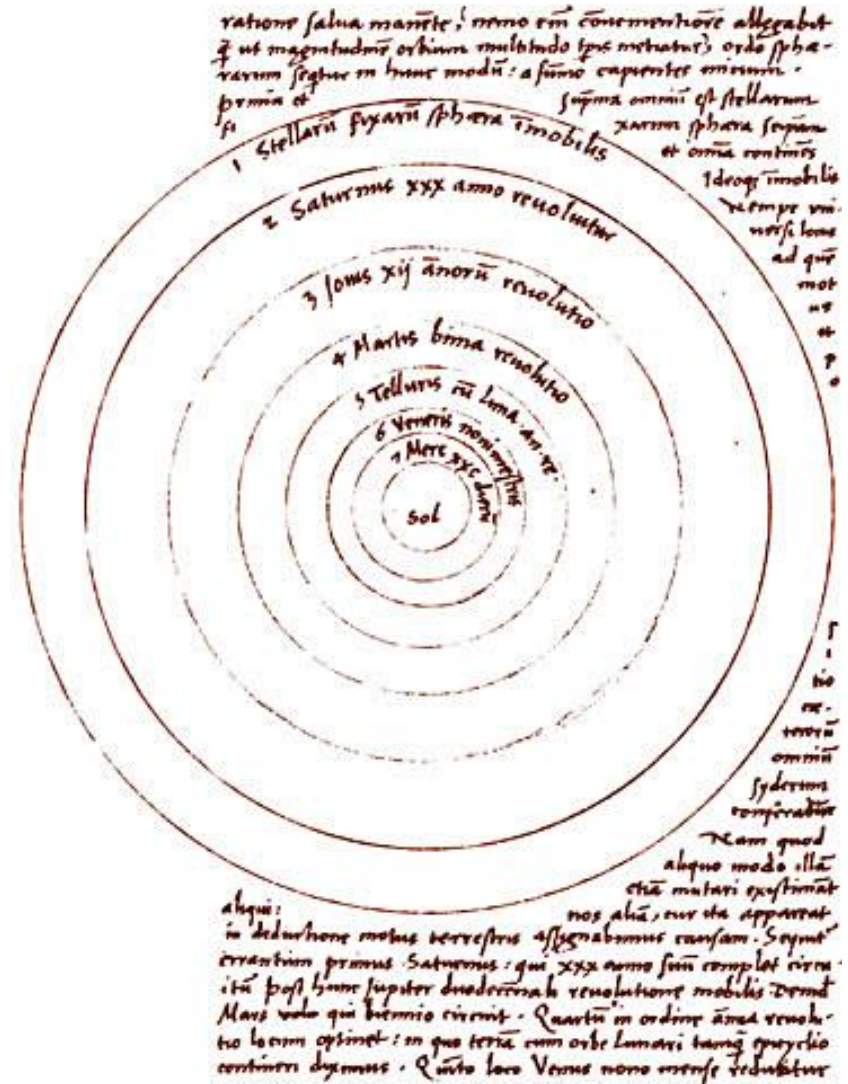
# A reneszánsz

- az „evilági” kérdések előtérbe kerülnek (humanizmus)
- Bizánc elestével görög nyelvű szövegek kerülnek nyugatra → újrafelfedezés
- a földrajzi felfedezésekkel, reformációval stb. meginog az uralkodó világrend
- a könyvnyomtatással gyorsan és széles körben terjed a műveltség
- a tengeri hajózás, navigáció csillagászati problémákat vet fel





# Nicolaus Kopernikusz

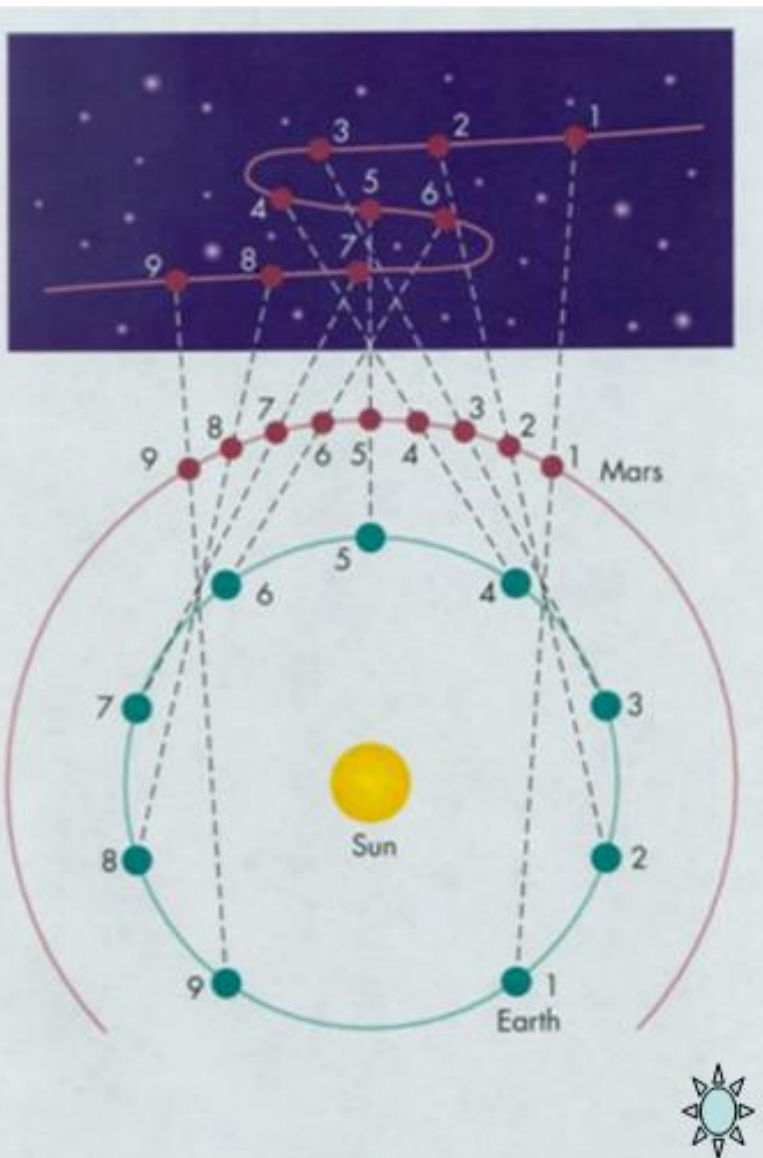


És mi van akkor, ha:

- a Nap van a középpontban
- a Föld évente kering és
- naponta forog?

→ 1543: Az égi körök forgásáról

# Kopernikusz előnye



A hurkok magyarázata: látszólagos, nem valódi mozgások. Okuk:

- a Föld belülről leelőzi a külső bolygót
  - a Földet belülről leelőzi a belső bolygót
- mintha hátrálna, de csak a mozgó megfigyelő szempontjából tűnik így

→ magyarázható:

- milyen gyakran fordulnak elő a hurkok
- mekkora a hurkok mérete
- a bolygók fényessége összefügg a Nap helyzetével

⇒ „szimmetrikus”, arányos, egységes magyarázati rendszer



# Giordano Bruno



Radikális kozmológiai következményeket vont le:

- a Föld nincs a középpontban, hanem kering a Nap körül
- de a Nap sincs a középpontban, mert a világegyetem végtelen
- a csillagok mind-mind napok (esetleg a halványabbak bolygók)
- feltehető, hogy ezen csillagok (vagy némelyek) körül is keringenek bolygók, és könnyen lehet, hogy ezeken is létezik élet: egy-egy „világ”

1600: máglyán elégetik Rómában → ma a tudomány mártírjaként ünneplik

(Az igazsághoz hozzátartozik:

- nehezen nevezhető tudósnak: állításait meredek filozófiai és teológiai érvekkel támasztotta alá, de nem művelte a csillagászatot
- nem a kozmológiai állításai miatt végezték ki, hanem eretnek tanok miatt Krisztusról, Máriáról, a feltámadástól, a papokról és az egyházzól...)

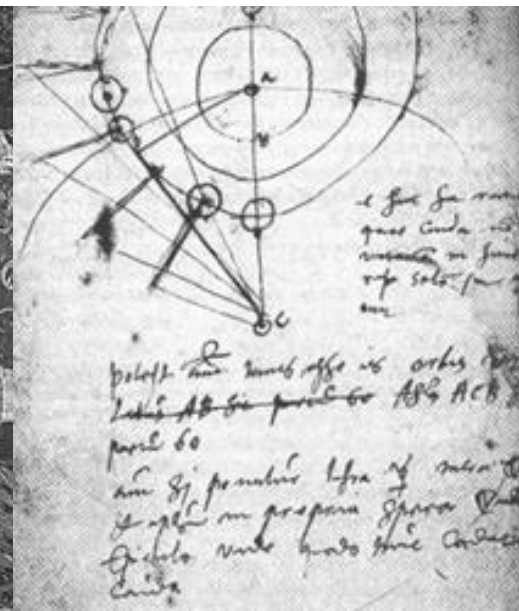
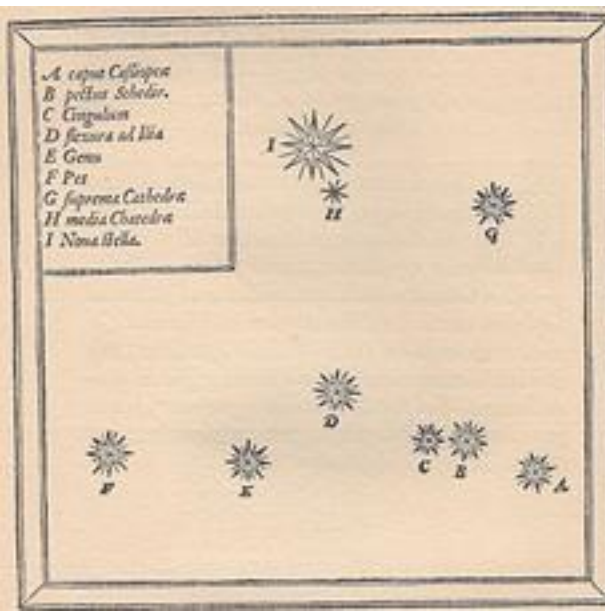
# Tycho Brahe

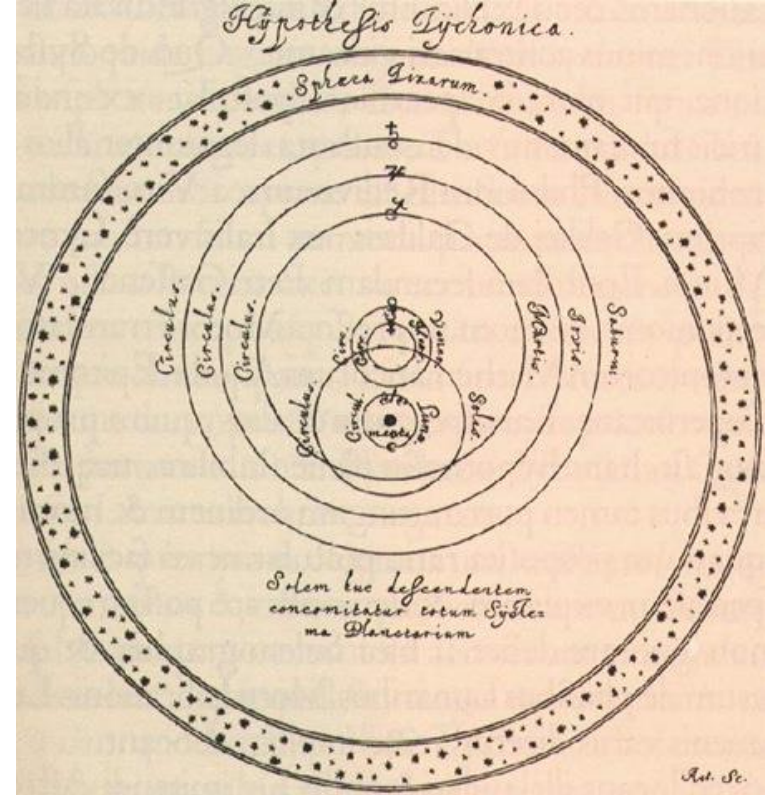


Szerencsés égi események:

- 1572: fényes szupernóva a Cassiopeiában  
→ nem igaz, hogy az égbolt változatlan: lehetséges új csillagok születése
- 1577: hatalmas üstökös → parallaxis alapján távolságot becsül  
→ az égben van (nem légköri), és át kellene törnie a törhetetlen szférákat!

⇒ az arisztotelészi világregd tarthatatlan





Életét a megfigyeléseknek szenteli: az addigi legnagyobb csillagvizsgálót felépítteti egy szigeten

- az addigi legpontosabb szabadszemes észlelések
- az addigi legátfogóbb adatsor

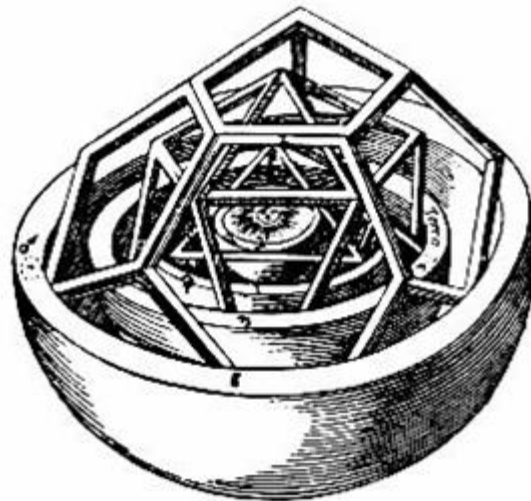
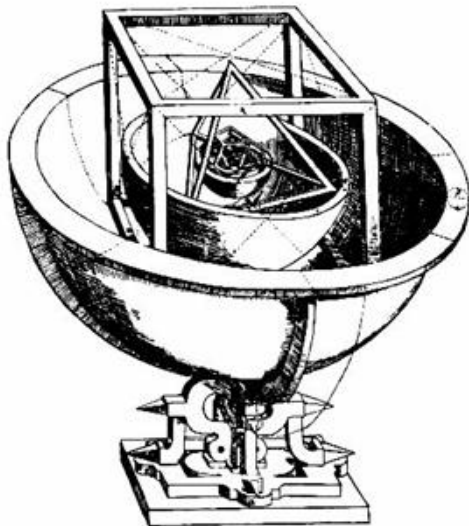
Célja saját elméletét bizonyítani: a ptolemaioszi és kopernikuszi közötti kompromisszum:

- a bolygók mind a Nap körül keringenek (→ magyarázó erő)
- de a Nap a központi Föld körül (→ nem gond a parallaxis hiánya)

# Johannes Kepler



- Tycho Brahe segédje, de megrögzött kopernikánus
- Kopernikusz nyomán a világ matematikai harmóniáját keresi
- Kérdések:
  - Miért pont 6 bolygó van? (→ szabadszemes)
  - Ezek miért olyan távolságra keringenek a Nap körül egymáshoz képest, mint ahogy keringenek?
  - Miért lassabbak a távolabbi bolygók a közelebbiekénél?
- Válasz: platóni testek geometriai elrendezettsége:



(Az egyes „szférák”  
közé beírhatók a  
tökéletes testek  
megfelelő sorrendben)

# A keresés „melléktermékei”: bolygómozgás-törvények

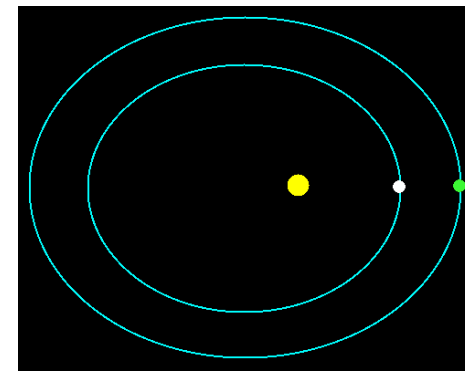
1. A bolygók nem kör-, hanem ellipszis-pályán keringenek a Nap körül, amely az egyik fókuszpontban áll.
2. A bolygót és napot összekötő szakasz egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrol  
⇒ a naphoz közelebb gyorsabban halad, mint távolabb  
(⇒ az egyenletes mozgás és a körmozgás elve megdől)
3. Az egyes bolygók keringési periódusainak négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint Naptól mért (maximális) távolságaik köbei  
(⇒ válasz a harmadik kérdésre)

  - + számos egyéb „harmónia”



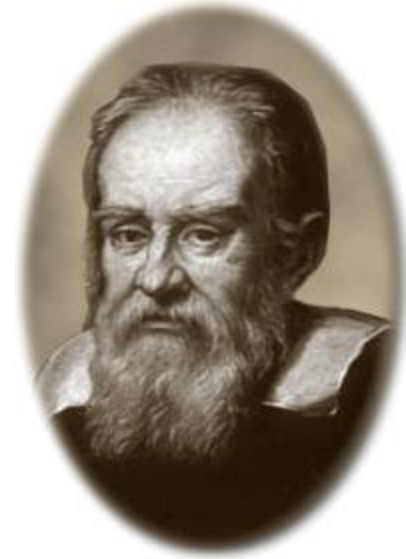
(Miért van ez így? Mert így rendezte el a Teremtő:  
matematikai minta alapján dolgozott)

(Ezzel már sokkal pontosabban előrejelezhetők a mozgások,  
mint Kopernikusz alapján  
→ Rudolf-táblázatok, 1627)





# Galileo Galilei



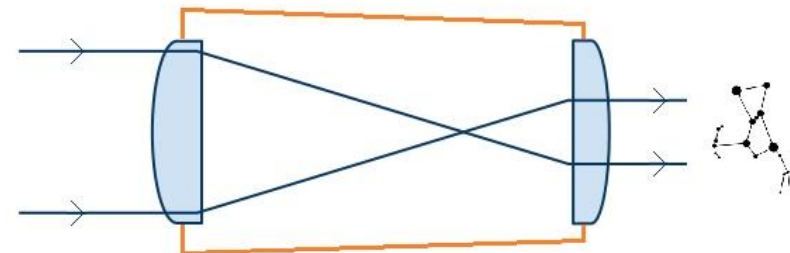
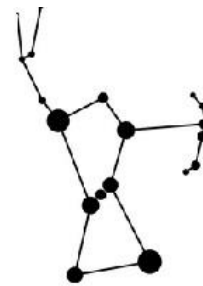
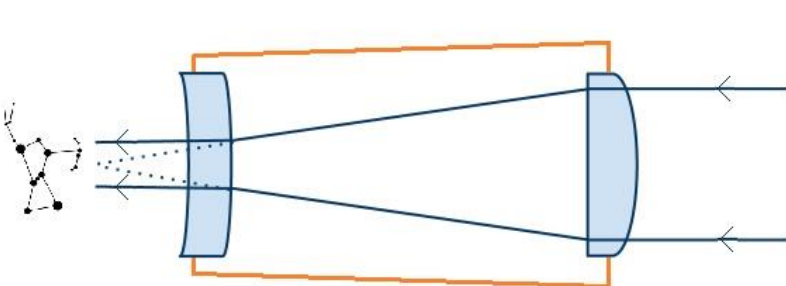
- 1608: a **távcső** megjelenik holland piacokon
- 1609: G. elkezdte használni csillagászati megfigyelésekre



→ nem az első távcsöves észlelő, de az elsők közül messze a legjelentősebb

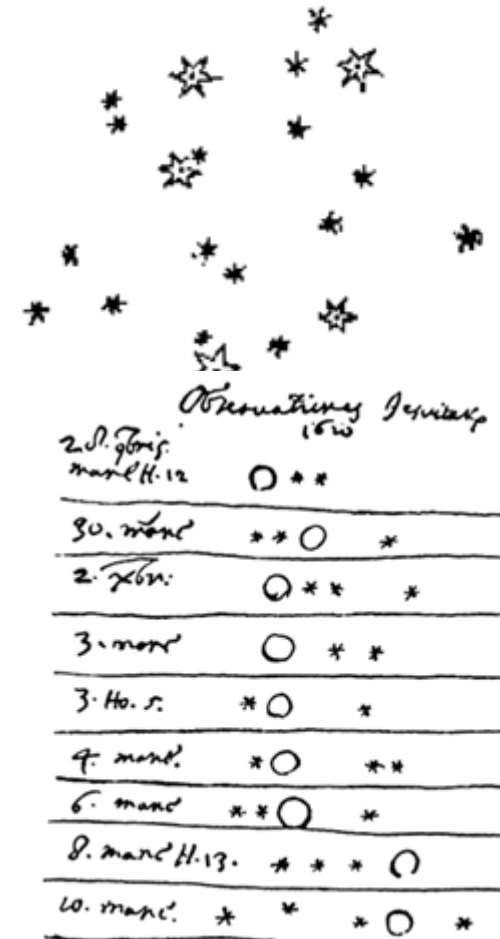
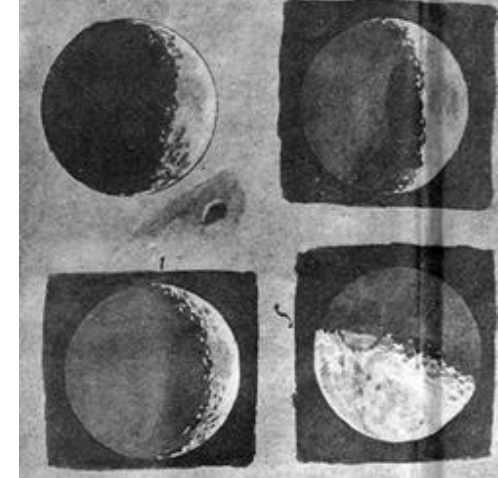
(Galilei-féle távcső, 1608)

(Kepler-féle távcső, 1611)



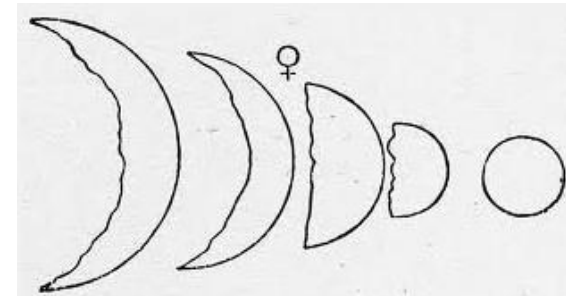
# Észlelések 1.

- Hold: felszíne a Földéhez hasonló
  - nincs különbség az égi és a földi régiók között
  - tengereket és szárazföldeket vél látni
- csillagok:
  - nagyon sokan vannak → végtelen univerzum felé
  - méretük távcsóval is pontszerű (nemúgy a bolygók)  
→ sokkal messzebb vannak a bolygóknál
  - a Tejút számtalan csillag tömörülése
- Jupiter: 4 hold kering körülötte
  - nincs egyetlen középpontja a mozgásoknak
  - a Föld nem kitüntetett bolygó a holdja miatt



## Észlelések 2.

- Szaturnusz: „fülei vannak”  
(először „holdak” → aztán eltűnnek → aztán gyűrű)
- Vénusz: fázisokat mutat
  - a Naptól kapja a fényét  
→ a bolygók nem saját fénnel ragyognak
  - a méret és a fázis összefüggése azt mutatja, hogy a Nap körül kering, nem a Nap előtt egy epiciklus-körön (mint a ptolemaioszi elméletben)
- Nap – kormozott üveggel takarva: napfoltok
  - nem tökéletes
  - a foltok változnak → van keletkezés és pusztulás
  - a foltok együtt vándorolnak → a Nap forog

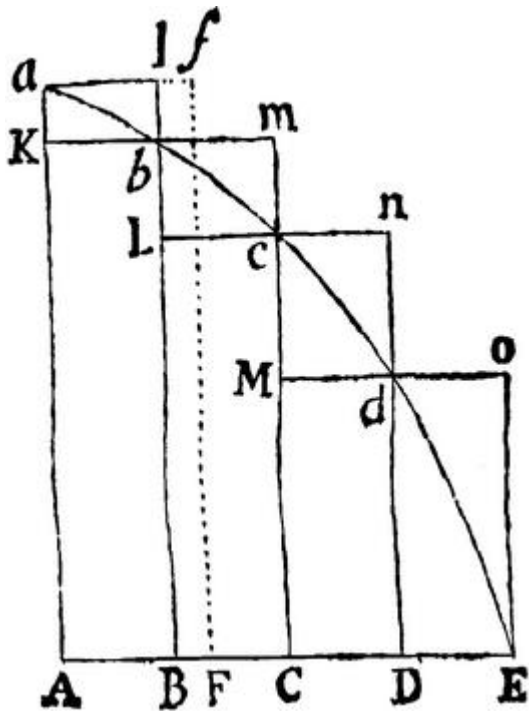


# Kopernikanizmus és per

- Nincs mese: Kopernikusznak igaza van → nyíltan felvállalja (1613)
- 1616: a Római Szentszék véleménye: Kopernikusz elmélete elfogadható *mint* számítási eszköz (modell), de *nem mint* a valóság igaz leírása (megj.: az ókor óta a csillagászat hivatalos feladata pont ez: eszköz)
- 1632: *Párbeszéd a két legnagyobb világrendszerrel*  
→ a kopernikuszi rendszer mellett valóságként érvel + kigúnyolja ellenfeleit
- 1633: tanai visszavonására ítélik + élete végéig háziőrizet  
(→ ezalatt megírta a *Beszélgetések*et, a modern mechanika alapjait)



# Isaac Newton



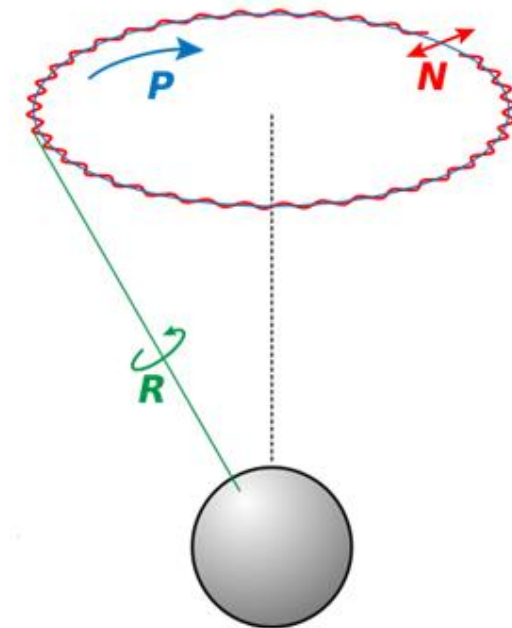
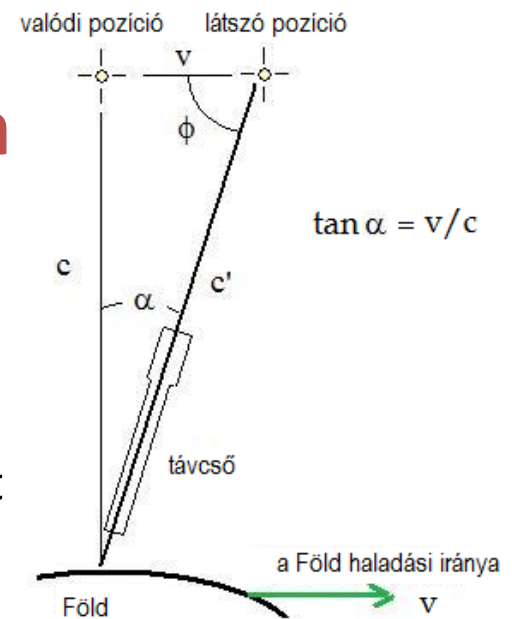
*Matematikai analízis:*  
integrál- és differenciál-  
számítás  
→ hatékonyabban  
leírhatók a mozgások

*Optika:*  
a színek és a fény  
természete  
→ tükrös távcső

*Természetfilozófia:*  
mozgásegyenletek +  
egyetemes gravitáció  
→ megszületik az  
„égi mechanika”:  
a mozgáspályák fizikája

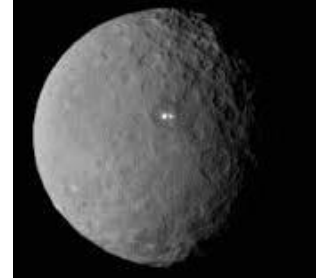
# Észlelőcsillagászat a 18. században

- James Bradley
  - aberráció: a Föld haladása miatt a csillagok képe ellipszis-pályát jár be az év mentén
  - nutáció: a Föld tengelye a precessziós mozgás mellett (-2. sz., Hipparkhosz) plusz imbolygást végez
- William Herschel
  - minden addiginál nagyobb és pontosabb távcsövek
  - felfedezi az Uránuszt (1781) és 2 holdját (1787)
  - csillagok térbeli eloszlása → a Tejút egy korong
  - a Nap sajátmozgása (környezetéhez képest)
  - osztályozza és katalogizálja a ködöket
  - katalogizálja a változókat és a kettősöket
  - felfedezi az infravörös sugárzást...



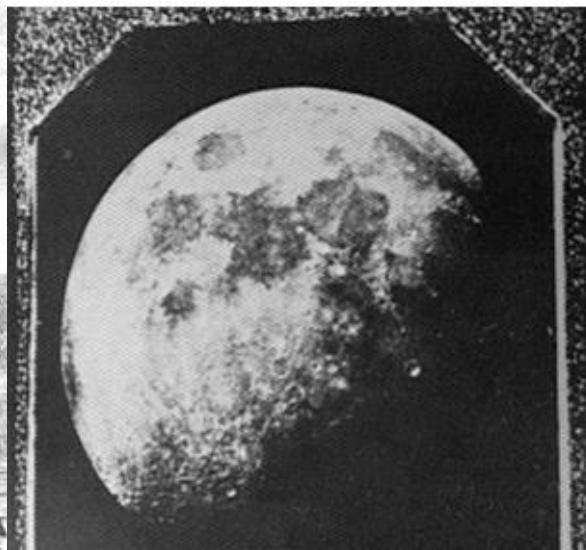
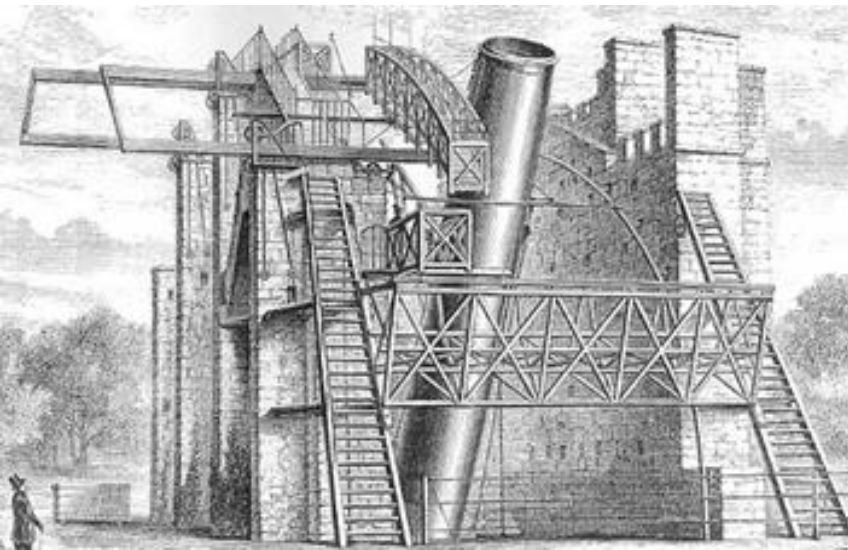
# Későbbi felfedezések a Naprendszerben

- Ceres, 1801. jan. 1: új bolygó? ↔ hamarosan több hasonló → 20. sz.: kisbolygó-öv, családok, stb.
- Neptunusz (1846): az Uránusz pályája egyre kevésbé stimmel → biztosan valami perturbálja → J.A. Adams, U. LeVerrier kiszámítják → ott van!
- Merkúr: nem stimmel a mozgása (perihélium-mozgás) → sokáig keresik a Vulkán bolygót: közte és a Nap között → 1915, A. Einstein: az ált. rel. elm. megmagyarázza
- Plútó (1930): sokáig a rég keresett 9. bolygóként tartják számon ↔ elmúlt évtizedek: szaporodnak a hasonló objektumok → 2006: törpebolygó



# Műszerek fejlődése

- Távcsövek: egyre inkább tükrös → 20. sz.: óriástávcsövek
- asztrofotózás: 19. sz. 2. fele → észlelési forradalom
- spektroszkópia: lehetővé válik a csillagok „kémiaiáját” nézni
- fotometria, radiometria, polarimetria, interferometria ...
- nem látható tartományok: IR, UV, rádió, röntgen, gamma...  
→ pulzárok, kvazárok, háttérsugárzás ...





# 20. sz.: Asztrofizika, kozmológia, űrkutatás...

