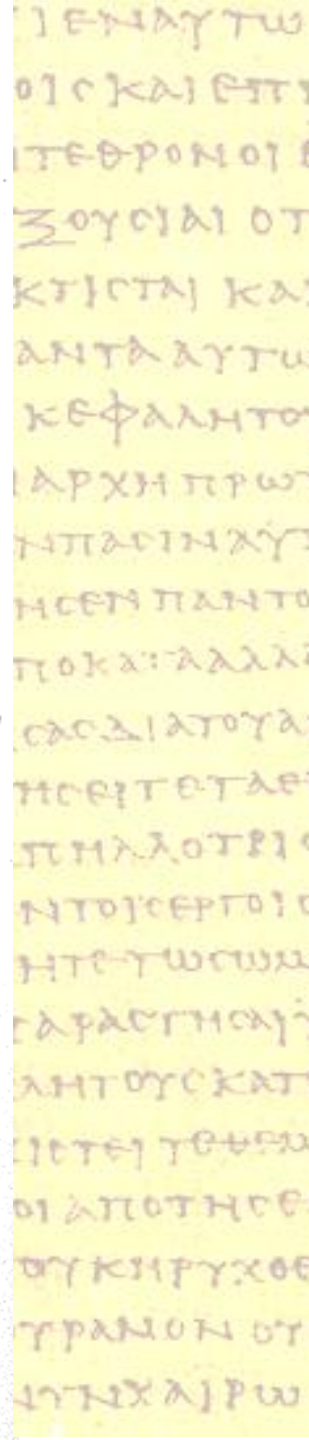


# A tudományos görög csillagászat kialakulása

A kopernikuszi fordulat,  
SZIK, 2015. február 17.



# A görög csillagászat kezdetei

- A korai görögök is rendelkeztek ún. népi csillagászattal:
  - naptárszámítás
  - az égbolt mitológiája és megszemélyesítése
  - kozmológiai és kozmogóniai világkép
- A korai szerzők (Homérosz, Hésziodosz, stb.) szövegei alapján a görögök szerint az égbolt félgömb alakú (és fémes), a föld egy korong, ami vízen úszik vagy vízzel van körülvéve, az ég és a föld között a levegő két rétege található (*aér* és *aithér*), és alul meghatározatlan mélységben (és inkább henger alakban) húzódik a Tartarosz



# A preszókratikus korszak

-6-5- sz.: megjelennek a különböző iskolák, nagyon eltérő nézetekkel:

## Ión iskola

(Thalész, Anaximandrosz, Anaximenész)

- az *arkhé*t keresik: a világ egységes anyagi elve és kezdete
- megjelenik egy kezdetleges geometriai „modell”
- csill-i alapjelenségek vizsgálata

## Püthagóreus iskola

- az *arkhé* a szám: a világ matematikai természetű → arányok, harmóniák
- **Philolaosz: a kozmosz közepe tűz, körülötte kering minden (Föld is)**

## Atomisták

(Lukipposz, Démokritosz)

- a kozmosz időben és térben végtelen üresség
- a testek oszthatatlan „atomok” ideiglenesen összetapadt csoportjai

## Anaxagorasz

- a Hold a Naptól kapja fényét
- az égitestek (pl. Nap) izzó kövek
- a fogyatkozások okai árnyékolások

Xenophanész  
Parmenidész  
Zénón

PÜTHAGORASZ  
Arkhütasz

DÉMOKRITOSZ  
Abderra

Sztageria

Athén

Iszamosz

ARISZT

Anaxagorasz

APOLLÓNIOSZ

THALÉSZ  
Anaximandrosz  
Anaximenész

Anaxagorasz  
Lukipposz  
Szókratész  
PLATÓN  
ARISZTOTELÉSZ

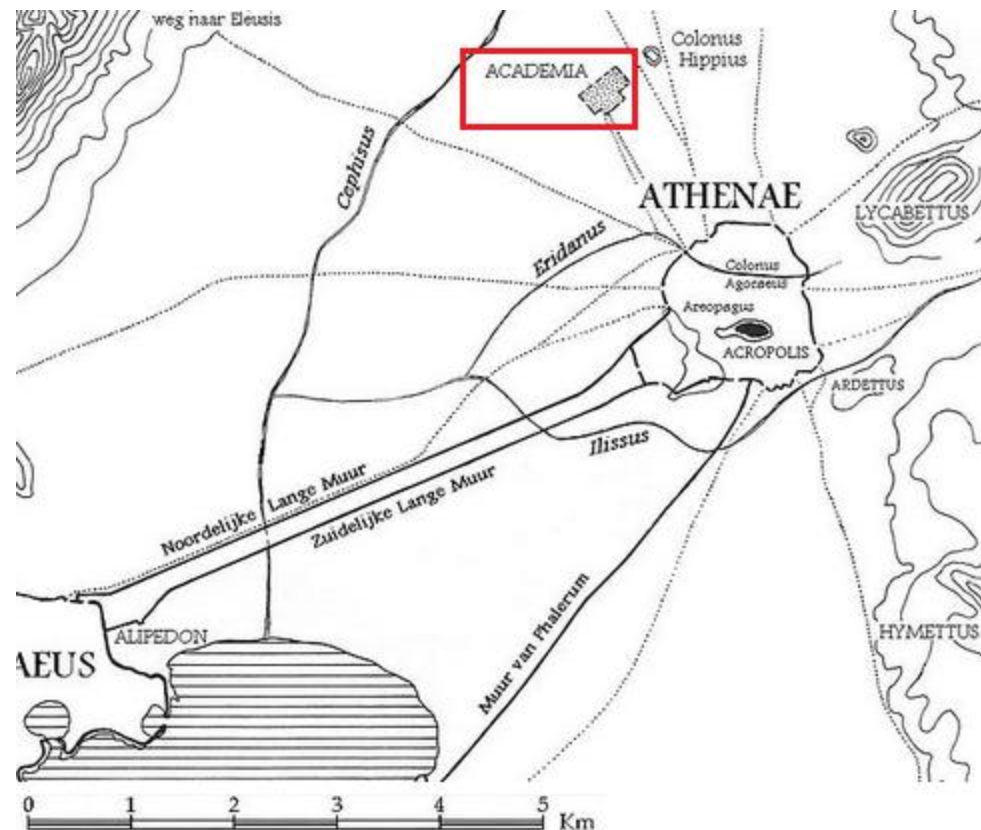
EUKLEIDÉSZ  
ERATOSZTHENÉSZ

Háron  
Diophantosz  
Papposz  
Ktészibiosz  
PTOLEMAIOSZ



# Az Akadémia

- I.e. 399: Szókratészt kivégzik → tanítványai később iskolákat alapítanak
- Platón: létrehozza az Akadémiát i.e. 387 körül
- Elit klub gazdag polgároknak, akik összejönnek filozofálni (ingyenes, de zárt)
- Később oktatnak is: filozófia, retorika, matematika, csillagászat, stb.
- A legenda szerint a bejárat feletti felirat:  
„Nem léphet be, aki nem ért a geometriához.”
- Itt dolgoztak a -4. sz. nagy matematikusai, csillagászhai, stb.
- Sokáig fennmarad: i.sz. 529-ben Justinianus bizánci császár záratta be (de kétséges, hogy addig folyamatosan működött-e)





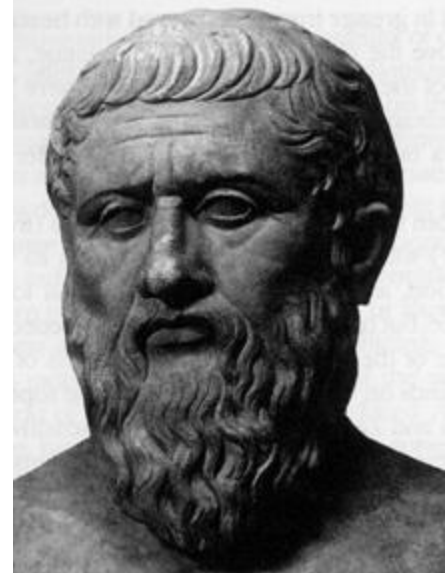
Raffaello híres freskója, „Az athéni iskola” a vatikáni Apostoli Palotában. Középen Platón és Arisztotelész eszmecsere, körülöttük további fontos bölcsek





Egy római mozaik az Akadémiáról

# Platón (i.e. 427-327)



- Az ókor egyik legmeghatározóbb gondolkodója
- Az első, akitől sok (kb. az összes) szöveg fennmaradt
- Bár műveiben nem foglalkozott behatóan csillagászzal, utalt csillagászati elméletekre és lefektetett csillagászati alapelveket: *Timaios* c. dialógus (kb. 25 dialógusból az egyetlen, ami természetfilozófiával foglalkozik, lásd Anaxagorasz perét)
- „Az istennek tehát az idő keletkezésére vonatkozó ilyen meggondolásából és szándékából [t.i. az örökkévalóság mintájára], hogy létrejöjjön az idő, megszületett a Nap, Hold és öt más csillag, melléknevük: bolygó, hogy az idő számait meghatározzák s megőrizték s mindegyiküknek testét megalkotva, az isten behelyezte őket azokba a körpályákba, melyekben a Más forgása halad, a hét pályába hetet...”
- A 7 mozgásirány közül (előre, hátra, jobbra, balra, fel, le, körbe) a körmozgás a legtökéletesebb, mert csak ez képes visszaadni az örökkévalóságot (a többi valahonnan valahova tart, véges ideig)

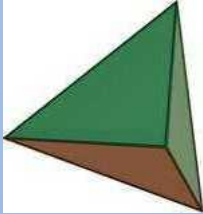
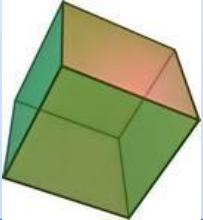
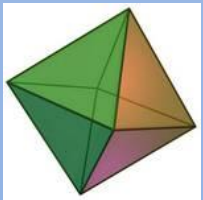


## A platóni program elemei:

- **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 mozgásukat
  - bizonyos égitestekre ez jól illik: csillagok naponta szabályos körökön
  - a Nap és Hold is részt vesz ebben, de ehhez képest egy év, ill. egy hónap alatt kb. szabályos körökön körbejár a csillagokhoz képest  
→ mozgásuk két körmozgás összetevődéseként magyarázható
  - másokra (a bolygók) ez problematikus: nem egyenletes a haladás, sőt néha vissza is fordulnak kicsit (hurkos mozgás)...
- **Jelenségek megőrzése:** addig kell bonyolítani a rendszert, míg képes megőrizni a jelenségeket, vagyis képes a modell megfelelni a valóságnak
  - ez nem jelenti azt, hogy a modell a valóság igaz leírása, hanem csak azt, hogy a számítások eredménye összhangban van a tapasztalattal (lásd ezt később)

Ez a program 2000 évig a nyugati csillagászati hagyomány gerincét képezte



# Kitérő

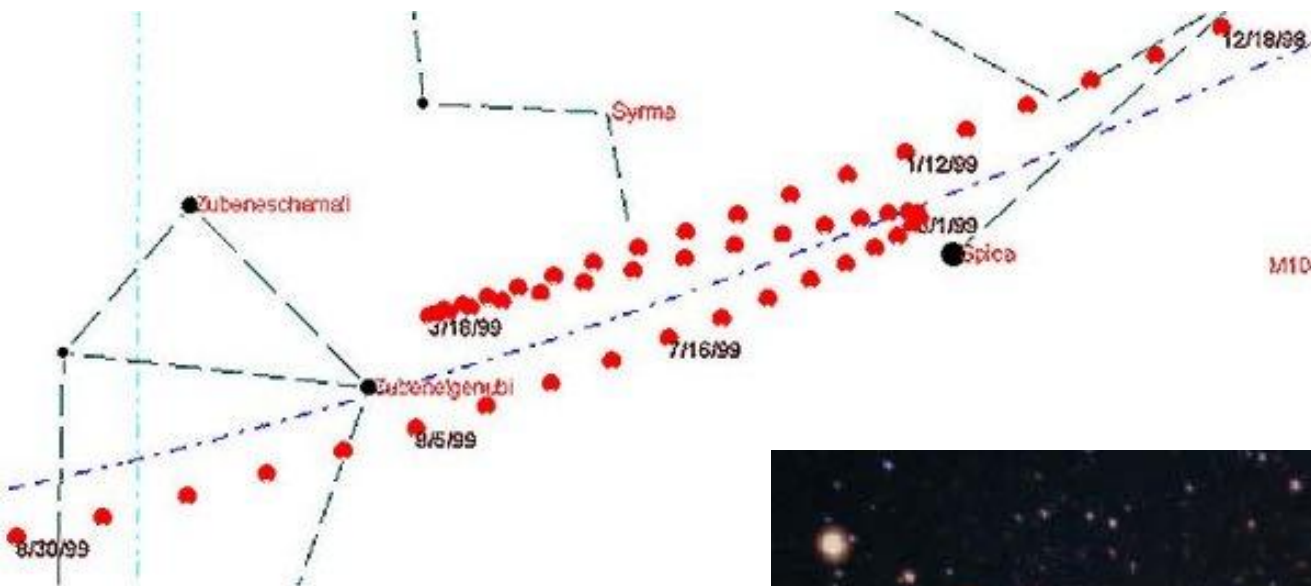
| Test                        | Ábra  | Elem     | Indok  |
|-----------------------------|---|----------|--|
| Tetraéder<br>(4 háromszög)  |    | Tűz      | -legkönnyebb<br>-a leghegyesebb<br>(→ „szúr”)                      |
| Kocka<br>(6 négyzet)        |    | Föld     | a legstabilabban<br>pakolható egymásra<br>(→ szilárdság)           |
| Oktaéder<br>(8 háromszög)   |    | Levegő   | a maradék a többi<br>háromhoz képest                               |
| Ikozaéder<br>(20 háromszög) |   | Víz      | leginkább hasonlít a<br>gömbre<br>(→ folyékonyság)                 |
| Dodekaéder<br>(12 ötszög)   |  | (Égbolt) | -a leginkább eltérő<br>-tikos (a püth-ok<br>szent ötszögeiből áll) |

- A Timaiosz ötvözi a püthagoreizmust: világ matematikai elemekből épül fel
- és az atomizmust: az anyagi testek kis testecskekből állnak
- és a négy elem tanát

Ezek szétbomolhatnak (amik háromszögekből állnak) és másképpen összeállhatnak: pl. 2 x tűz → 1 x levegő

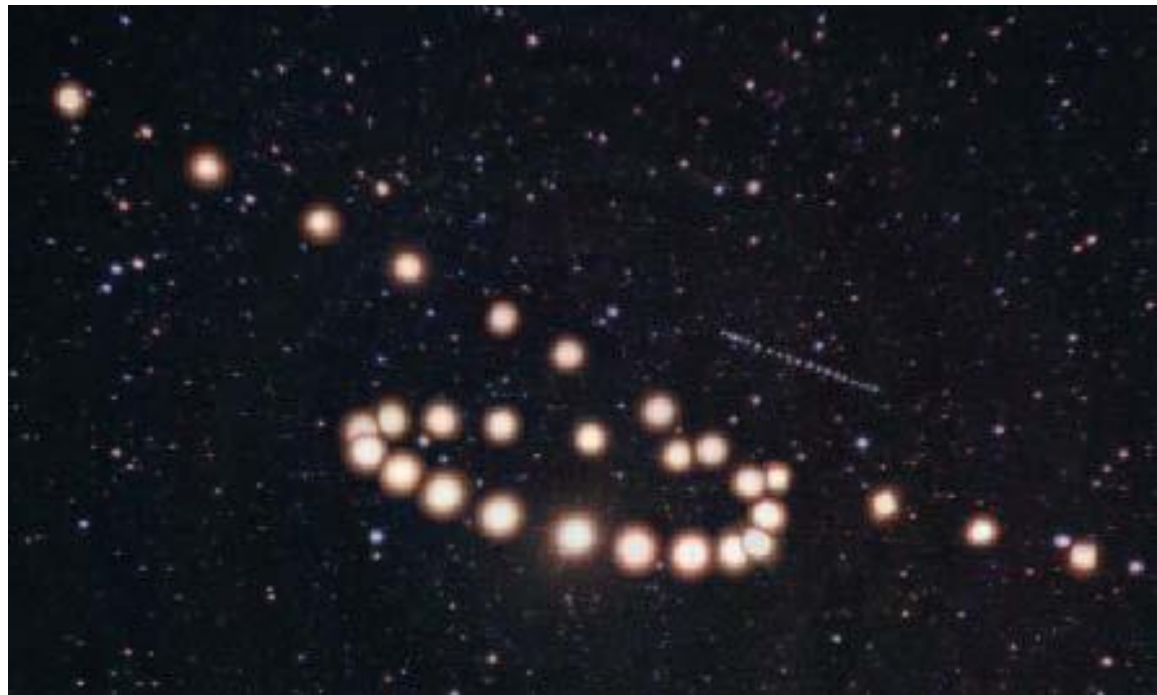
Eukleidész Elemek XIII. könyve e testeket írja le

# A bolygók retrográd („hátráló”) 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?

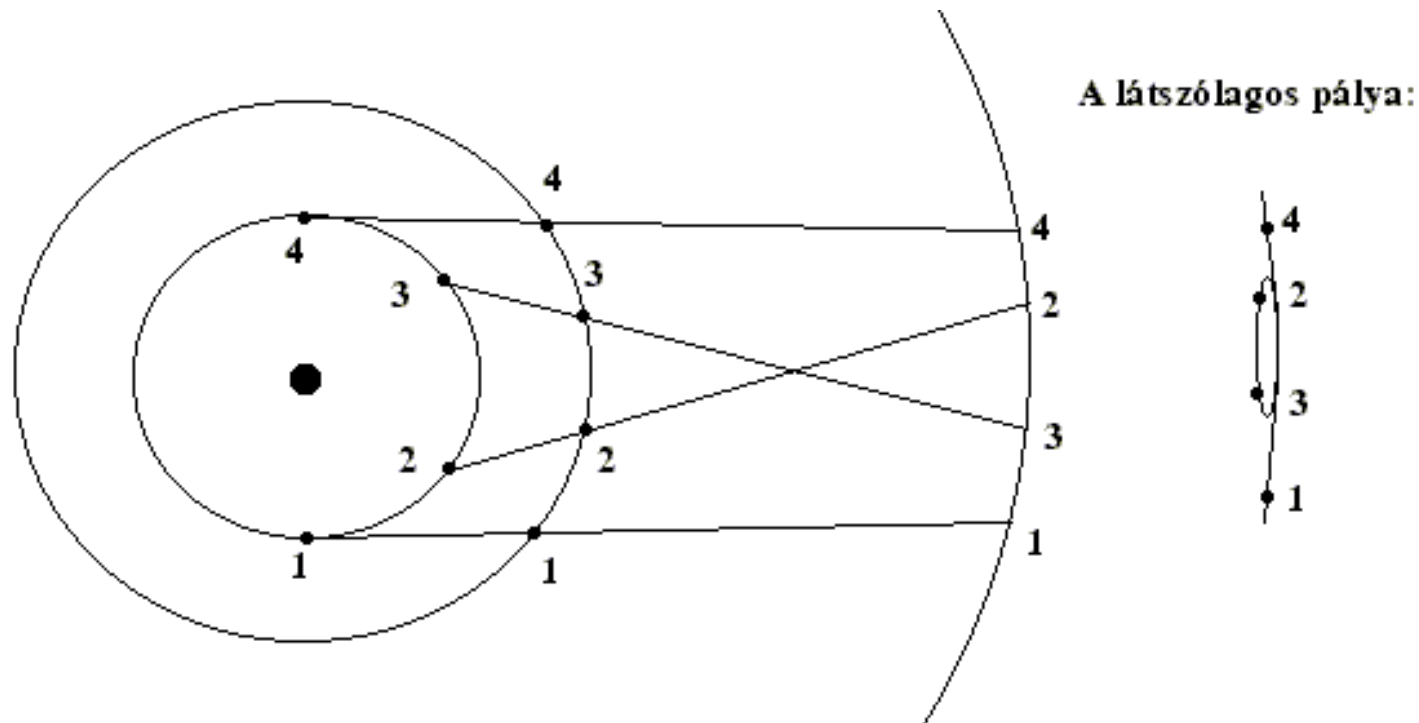




# (A retrográd mozgás a kopernikuszi modellben)

Egy külső (a Föld pályáján kívül keringő) bolygó esetén:

- Egyenletes időközönként ábrázoljuk, hogy a bolygó hol látszik lenni a csillagos és háttérén
- Bár a Föld és a bolygó is egyenletesen halad (közelítés), annak hatására, hogy a Föld belülről „leelőzi”, úgy tűnik, mintha egy ideig visszafelé haladna

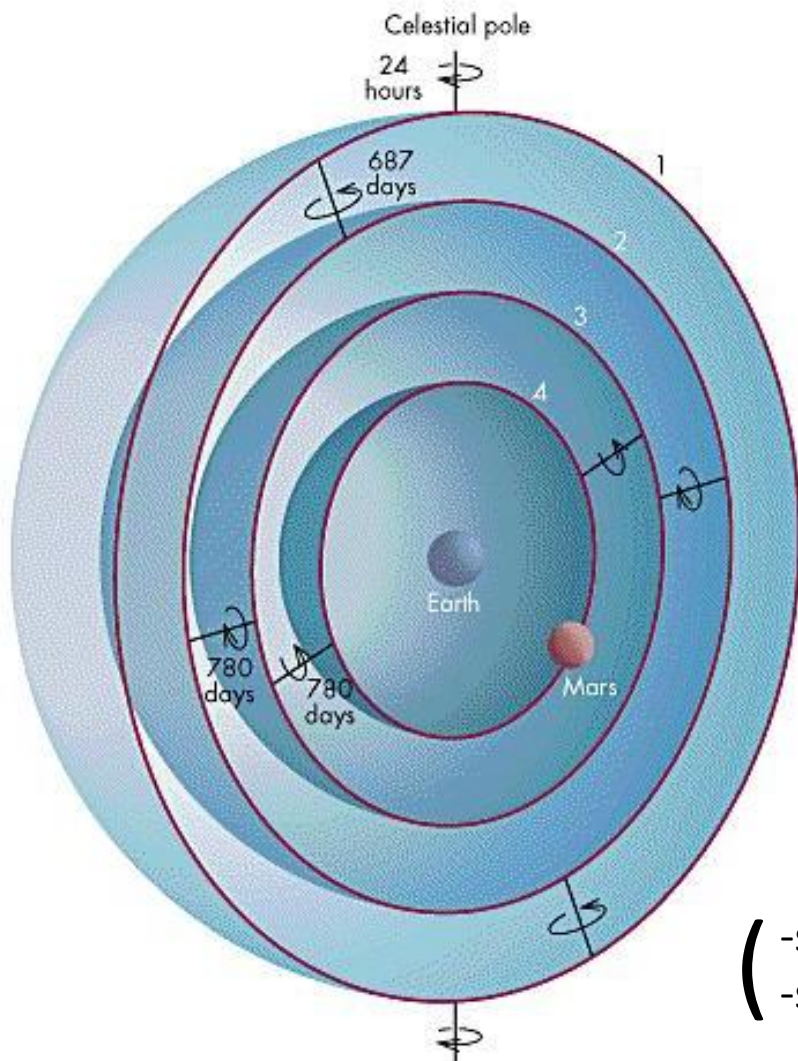


# Eudoxosz modellje

- Eudoxosz: az Akadémia talán legkitűnőbb matematikusa, Platón barátja
- Nevéhez fűződik Eukleidész *Elemekjének* V-VI. könyve: arányelmélet
  - ezzel megoldotta a számok (= természetes számok) és vonalszakaszok (= valós mennyiségek) közti kapcsolat problémáját, az ún. irracionalitás problémáját (→ 19. sz-ban születnek hasonló megoldások)
- Eredeti műve nem maradt fenn, de más szerzők (pl. Arisztotelész) összefoglalják a csillagászati megoldását:
  - homocentrikus szférák elmélete: az egyes égitestek mozgása több, közös középpont körül mozgó, de különböző periódussal és különböző tengelyek körül keringő gömbhéjak mozgásának eredőjeként magyarázható
  - a Nap és a Hold esetén 3, a bolygók esetén 4 szférára van szükség (ez összesen  $3 + 3 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 1$  (a csillagokra) = 27)
  - 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



Egy adott bolygó esetén:  
(a bolygó a legbelső szféra  
egyenlítőjén található)  
(példa az ábrán: Mars)



1. szféra:

- tengely: É-D (pólusokon át)
  - periódus: kb. 24 óra (siderikus nap)
- a napi körülfordulást adja vissza

2. szféra:

- tengely: 1-hez  $24^\circ$  (kb. az ekliptikus tengely)
  - periódus: bolygó siderikus keringési ideje
- a bolygó átlagos körüljárását adja vissza

3. szféra:

- tengely: 2-höz  $90^\circ$
- periódus: bolygó szinodikus keringési ideje

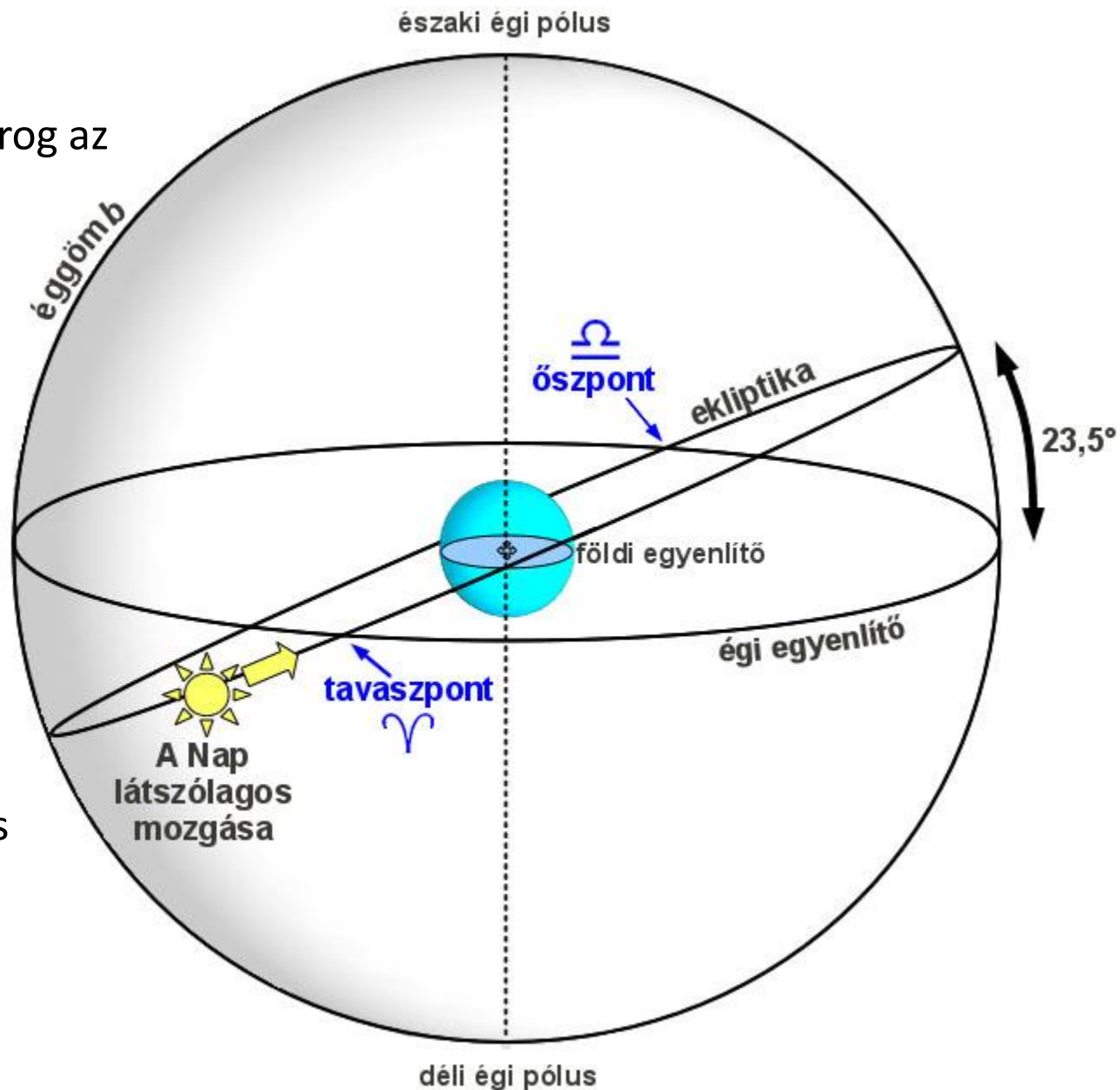
4. szféra:

- tengely: 3-hoz valamekkora, kisebb szög
- periódus: bolygó szinodikus keringési ideje, de 3-hoz képest visszafelé

( -siderikus periódus: a csillagokhoz képest ugyanoda )  
( -sinodikus periódus: a Naphoz képest ugyanoda )

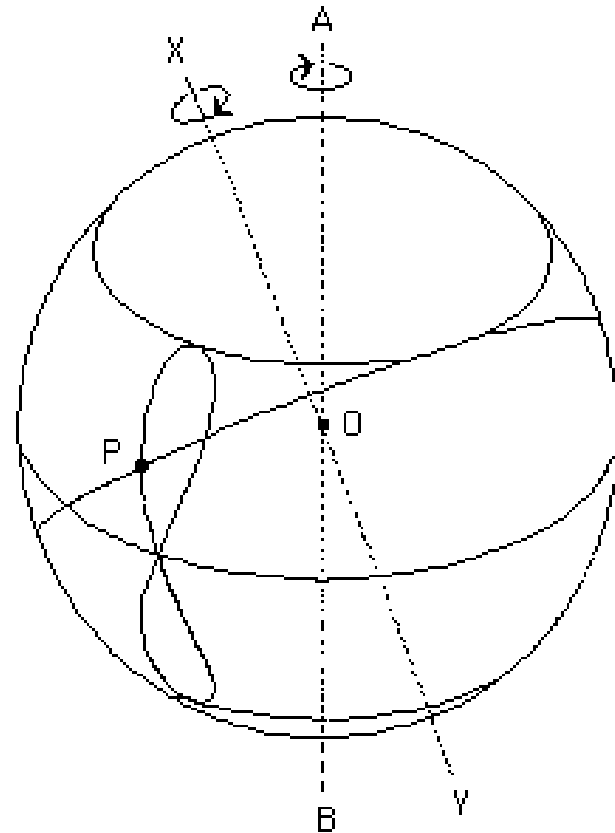
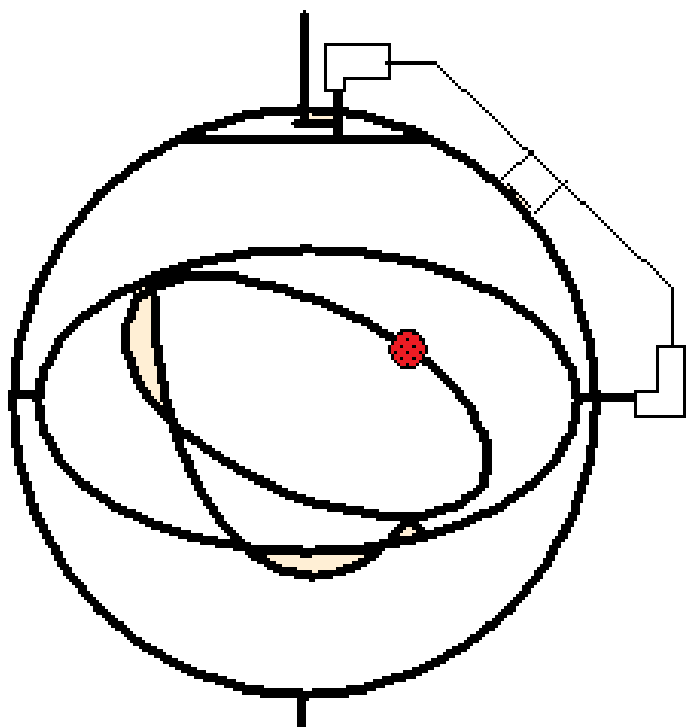
## Magyarázat:

- az égi pólusok körül forog az égbolt körbe naponta (→ egyenlítő köre)
- ehhez képest 24 (23,5) fokos szögben hajlik az a sík (ekliptika), ami mentén a Nap mozog évi útja során, és a Hold és bolygók is kb. ezen kör mentén mozognak
- e két mozgásért felelős az 1. és 2. szféra a fenti modellben





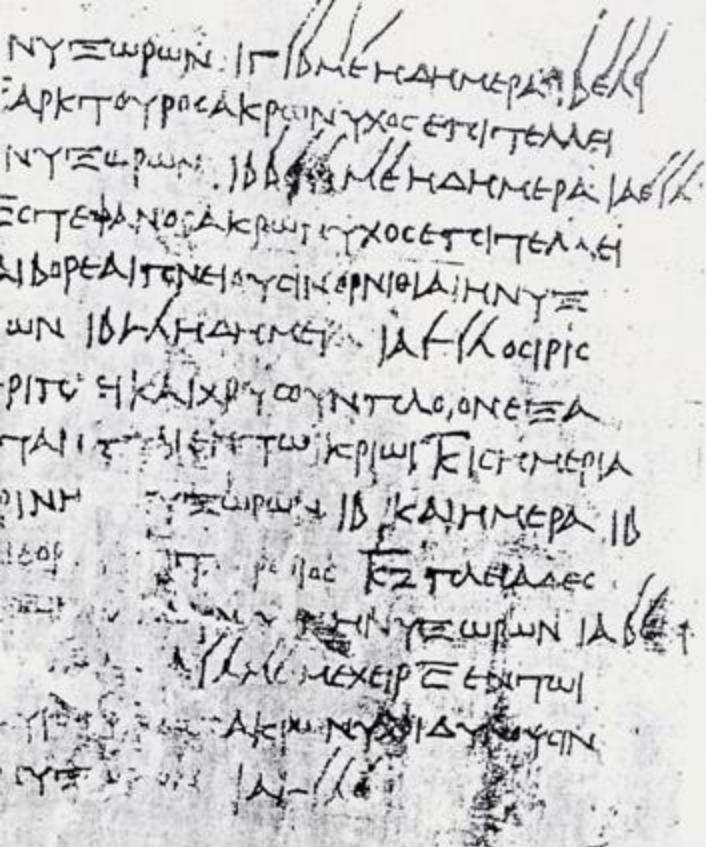
A 3.-4. szféra mozgásának eredője egy nyolcas alak: ez felelős azért, hogy a retrográd szakaszokat ráteszi a 2. szféra egyenletes forgására



A modell fizikailag megszerkeszthető, és valószínűleg meg is szerkesztették (egyfajta speciális armilláris szféra)

Animációkat pl. itt lehet megtekinteni:

<http://web.calstatela.edu/faculty/hmendel/Ancient%20Mathematics/Eudoxus/Astronomy/EudoxusHomocentricSpheres.htm>

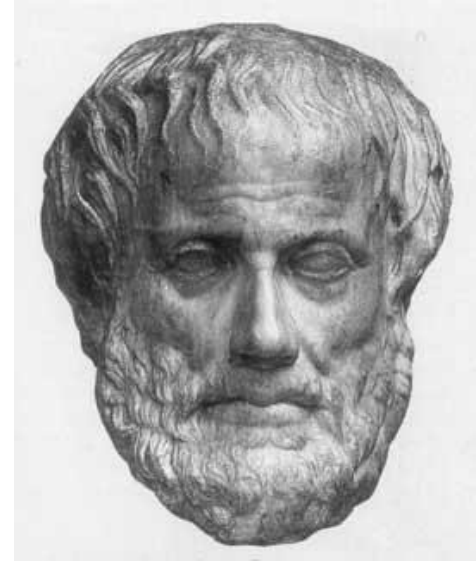


- 55 [ή] νύξ ὥρων ἰγίβ' μέ', ἡ δ' ἡμέρα ἰβ' ἔλ' ἄ.  
[ι]ξ Ἄρκτουρος ἀκρώνυχος ἐπιτέλλει,  
[ή] νύξ ὥρων ἰββ' ἔέ' μέ', ἡ δ' ἡμέρα ἰαθ' ἰλ'.  
[κ]ς Στέφανος ἀκρώνυχος ἐπιτέλλει  
[κ]αὶ βορέαι πνείουσιν ὀρνιθίαι, ἡ νύξ  
60 [ὥρ]ῶν ἰβλλ', ἡ δ' ἡμέρα ἰαγ' ἰλ'. Ὅσιρις  
[π]εριπλεῖ καὶ χρυσοῦν πλοῖον ἐξά-  
[γ]εται Τῦβι (ε) ἐν τῷ Κριῷ. κ ἰσημερία  
[ε]αρινή, [ή] νύξ ὥρων ἰβ καὶ ἡμέρα ἰβ,  
[κ]αὶ ἑορ[τ]ῆ Φιταρώιος. κς Πλειάδες  
65 [ἀκ]ρώνυχ[οι] δύνου[σ]ιν, ἡ νύξ ὥρων ἰαβ' ἔ' ἄ,  
[ή] δ' ἡμέρα [ι]βίλ' μέ'. Μεχειρ ε ἐν τῷ  
[Τ]αύρωι. Ἰάδες ἀκρώνυχοι δύνουσιν,  
[ή] νύξ ὥρων ἰαλίλ' ἔ',

A „P. Hib. i 27” (Hibeh Papyri) a feltehetőleg legrégebbi, eredetiben fennmaradt görög tudományos szöveg (Egyiptom, i.e. 300 körül). Egy efemerida részlete, melyet az eudoxoszi rendszer alapján számítottak.

- 55 The night is 13 12' 45' hours, the day 10 3" 5' 30' 90'.  
56 16th, Arcturus rises in the evening,  
57 the night is 12 3" 15' 45' hours, the day 11 9' 10' 30'.  
58 26th, Corona rises in the evening,  
59 and the north winds blow which brings the birds, the night  
60 is 12 2' 30' hours, the day 11 3' 10' 30'. Osiris  
61 circumnavigates, and the golden boat is brought  
62 out. Tybi 5th, the sun enters Aries. 20th, spring equinox,  
63 the night is 12 hours, and the day 12 hours  
64 and the feast of Phitorois. 27th, Pleiades  
65 set in the evening, the night is 11 3" 6' 90' hours,  
66 the day 12 10' 30' 45'. Mechir 6th, the sun enters  
67 Taurus. Hyades set in the evening,  
68 the night is 11 2' 10' 35' hours, . . .

# Arisztotelész



- I.e. 384-322
- Az Akadémia tanulója, Platón egyik legközelebbi tanítványa, Platón halála után saját iskolát alapít (Lükeion, peripatetikusok)
- Platón mellett a másik legnagyobb hatású görög filozófus, sok műve maradt fenn, a késő-középkori európai tudomány legfontosabb forrása
- Eudoxosz modelljét továbbfejleszti: nem a pontosítás végett, hanem azért, hogy az egyes égitestek mozgásáért felelős szféracsoportokat egyetlen szférarendszerben egyesítse
  - a legkülső szférából (állócsillagok) származik minden mozgás, és erre csatlakoznak sorra a belsőbb égitestek szféracsoportjai
  - kellenek „visszaforgató-szférák”, melyek lebontják a külsőbb égitestek szükségtelen mozgáskomponenseit, hogy azok ne öröklődjenek befelé
  - összesen 44 (vagy 56) szféra (de nem tudjuk, pontosan hogyan képzelte)



*Antirealista* vagy *instrumentalista* álláspont (pl. valószínűleg Eudoxosz):

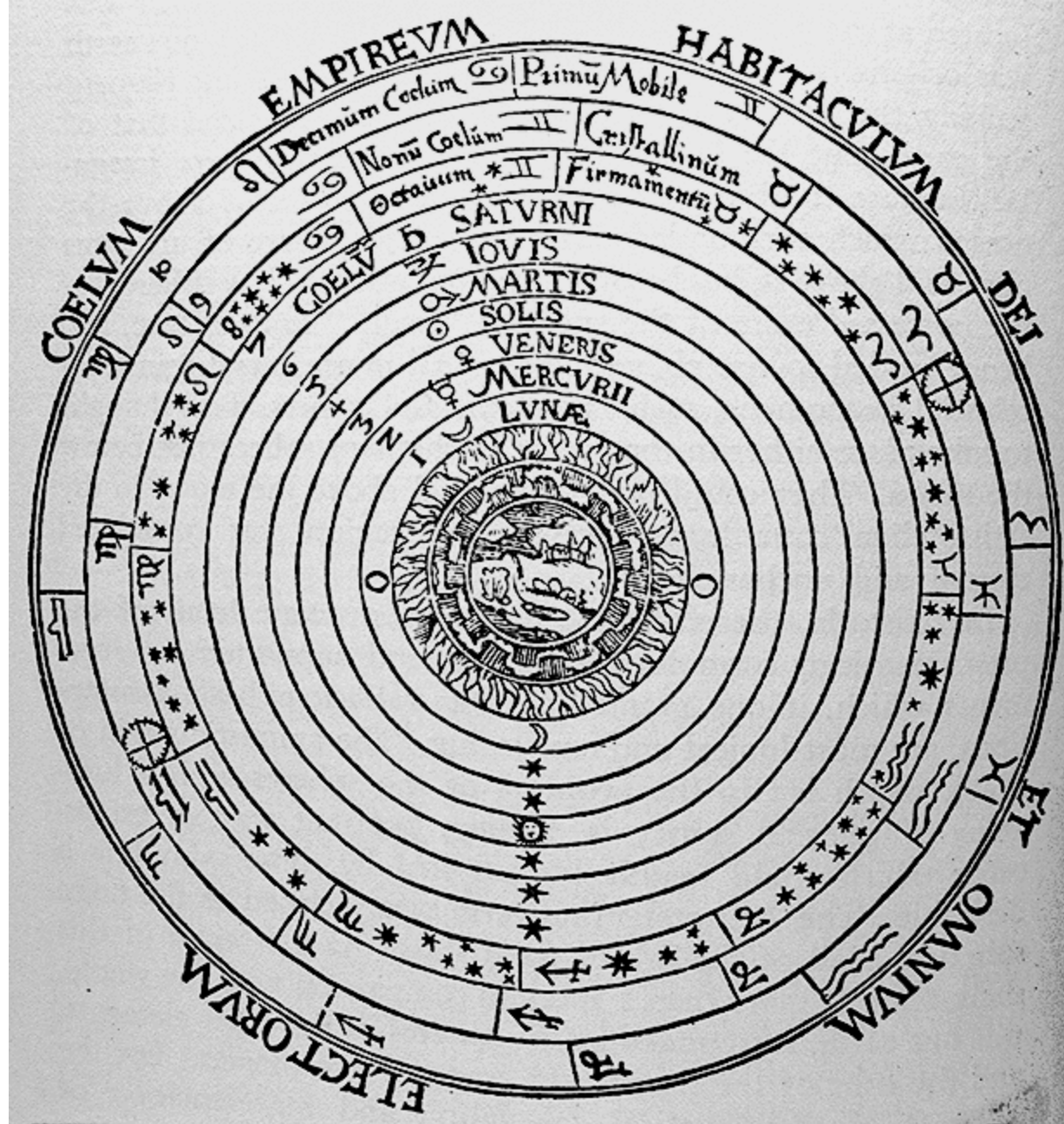
- a matematikai modell csak egy számítási *eszköz* a pozíciók előrejelzésére („a jelenségek megőrzése”)
- nem pedig a valóság igaz, hű leírása
- nem igazán földközéppontú: ha egy számítási eszközt akarunk adni, akkor természetes, hogy a megfigyelőt a középpontba helyezzük (hiszen az ő szempontjából számítunk), és nem merül fel, „valóban” mi van középen
- itt ezt alátámasztja, hogy mivel az eudoxoszi modellben nem változik az egyes égitestek megfigyelőtől mért távolsága (gömbök), ezért ez nem tud számot adni az égitestek (bolygók) fényességváltozásairól, csak a helyzetről

*Realista* álláspont (Arisztotelész):

- a matematikai modell egyben a *valóság* igaz leírása is
- a szférák (rendszerei) fizikai realitással bírnak, és bekapcsolódnak egy komplett természetfilozófiai magyarázatrendszerbe: ezek mozgatják az égitesteket, és egyéb funkcióik is vannak
- ezeket a szférákat a középkori tudomány is elismeri, sőt kicsit Kopernikusz is

## Az arisztotelészi kozmosz:

- a világegyetem tere egy zárt gömb
- ennek középpontjában a gömb alakú Föld (lásd majd a 4 elemet)
- ezt veszik körül a homocentrikus szférák
- (bár valójában több szféra kell egy-egy égitesthez, ezeket a csoportokat általában egyetlen szféraként kezelik)



Petrus Apianus: *Cosmographia* (1524!)

## Arisztotelész két régióra osztja a világot:

### Hold alatti (szublunáris):

- tökéletlen: szüntelen változás és káosz jellemzi
- mindenféle változásnak kitett:
  - helyváltató
  - 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
- 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 Hold feletti világ

- A világ térben véges, a csillagszférán kívül tér sem létezik
- Időben viszont végtelen: az anyag természete szerint örökkévaló
- A szférák anyaga: tökéletes (törhetetlen) kristály (később: folyadék, éter)
- A szférák összeérnek, közöttük nincs rés (lásd: *horror vacui*)
  - a szférák zenéje: a gömbök súrlódásából származik
- A szférák sorrendje kívülről befelé:  
csillagok → Szaturnusz → Jupiter → Mars → Nap → Vénusz → Merkúr → Hold
- A legkülső szférát a Mozdulatlan (vagy Első) Mozzgató mozgatja: egy olyan világszellem, amelyik az egész világot tervszerűen irányítja
  - később ezt azonosítják a keresztény Istennel
- A többi szféra mozgása ettől öröklődik:
  - mechanikai felfogás: a rendszer gépezetként mozog
  - teologikus felfogás: a szférák „intelligenciák”, melyek a legtökéletesebb létezőhöz (MM) akarnak hasonlítani (mely mozdulatlan), és mivel az anyag szükségképpen mozog, ezért az örökkévalóságot leginkább megjelenítő mozgást, a szabályos és változatlan körmozgást valósítják meg

# A Hold alatti világ: anyag

- A természet a mozgás és változás világa, az anyag a változás „szubsztrátuma”
- Mindent maradéktalanul kitölt az anyag (ez fent is igaz)
  - *horror vacui*: a természet irtózik az ürességtől, az anyag nélküli térrész ellentmondás volna (pl. mérete, alakja nem lehet a semminek)
  - az anyag mindig adott formában jelenik meg, sosem „üresen”: a létezők anyag és forma egységei
- Az anyag négy eleme:

| Tűz            | Levegő         | Víz            | Föld           |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| meleg + száraz | meleg + nedves | hideg + nedves | hideg + száraz |

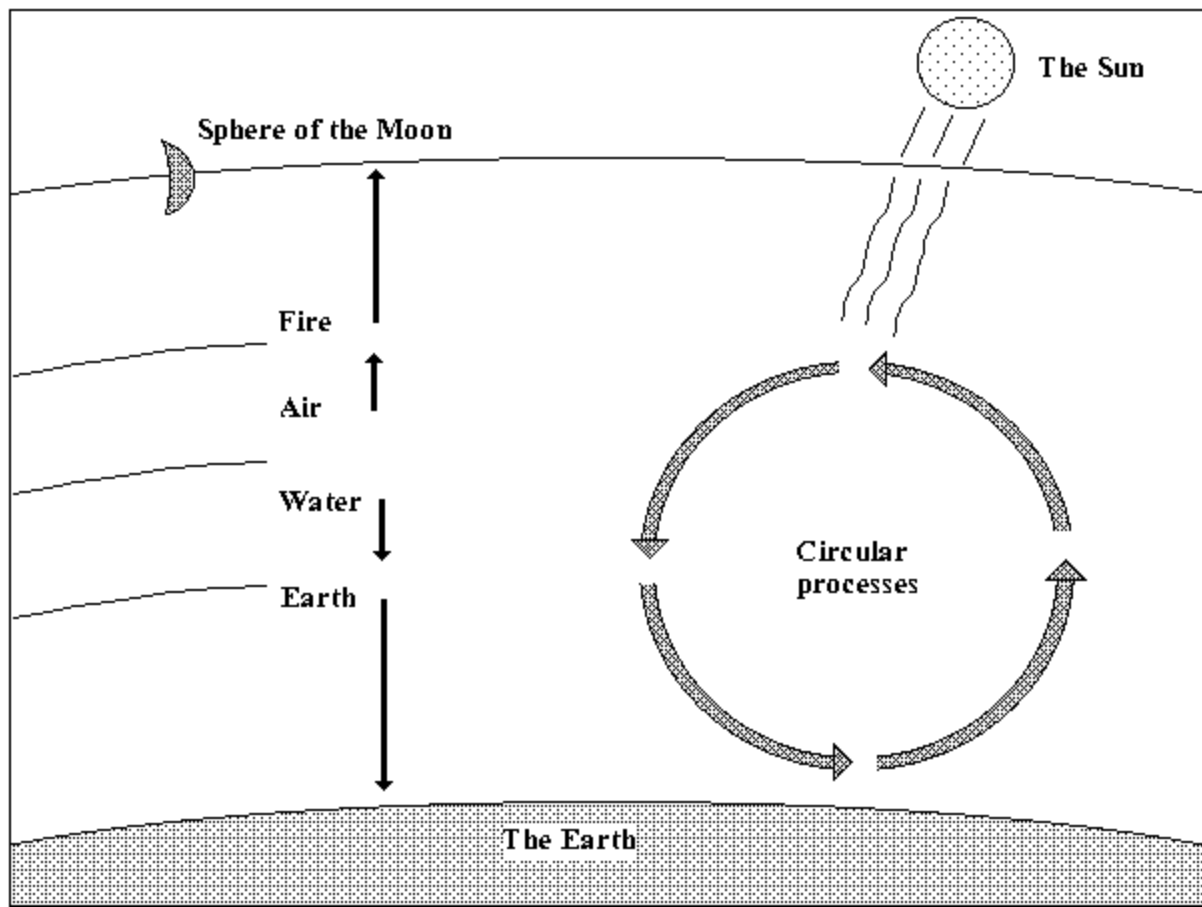
- ezek keverednek egymással, így alkotják a testeket
- képesek átalakulni egymásba
- mindnek megvan a maga „természetes helye” (lásd a köv. fólián)

# A Hold alatti világ: mozgás

- Mozgás (=változás): a potenciális aktuálissá válik (egy lehetőség beteljesül)
- Lehet természetes (pl. a tűz felfelé száll) vagy mesterséges (pl. egy pohár vizet felfelé emelünk)
- Elemek természetes törekvése:
  - tűz: erősen fel; levegő: gyengén fel; víz: gyengén le; föld: erősen le
  - felfelé: a világ széle felé; lefelé: a világ középpontja felé
  - magyarázat arra, miért a Föld van a világ közepén: anyagának természete
  - (az égi szférák anyaga szabályos körmozgásra törekszik)
- A mesterséges mozgás mindig egy mozgató hatására történik (nem spontán)
- Helyváltoztató mesterséges mozgás:
  - egy folyamat (nem pedig „állapot”), amely
  - addig marad fenn, amíg a mozgató hatás érvényesül (nincs „tehetetlenség”), és
  - mindig közegben történik, amely fékez (hiszen nincs vákuum)

Ha mindennek megvan a maga természetes törekvése, miért nem áll be egy nyugalmi állapot a világban?

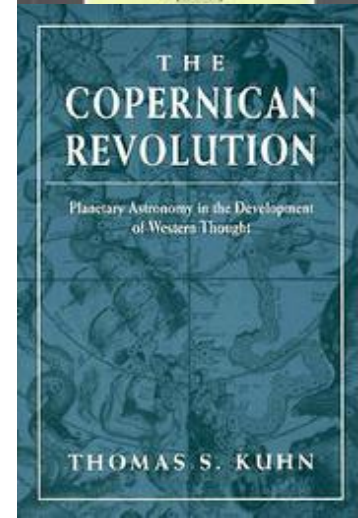
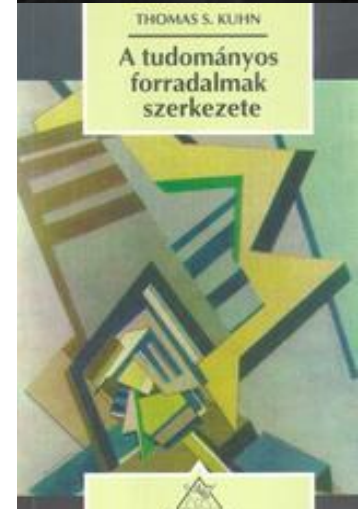
- a szublunáris elemek véges folyamatra törekednek (eljutni a kp-ba, ill. a szélére – a Hold szférája alá), de a szuperlunáris anyag végtelen folyamatra törekszik: örök körmozgás (MM örök hatására)
- a Nap örökös keringése folyamatosan felkavarja a földi „hőviszonyokat”
- a változó viszonyok hatására az elemek keverednek, egymásba alakulnak (lásd hideg-meleg ellentétpár)
- ez ciklikus, örökké fenntartott folyamatok sokaságát eredményezi
- ezért nem áll be az időben végtelen világban a „hőhalál” állapota (minden nyugalomban a helyén)





# Az arisztoteléliánus paradigma

- Thomas S. Kuhn (1922-1996): tudománytörténész
- *Paradigma*: a világlátás egy komplex, kultúrára jellemző módja
- A paradigmák váltják egymást a tudomány történetében, és ezek radikális váltások
  - mások a magyarázó módszerek
    - pl. a modern tudomány mindent matematizál, az arisztotelészi tudomány számára a matek csak az égi jelenségekre érvényes
    - a modern tudomány egyetemes természettörvényeket keres, az arisztotelészi általános, de nem egyetemes trendeket
  - mások a modelljelenségek, metaforák
    - modern tudomány: kiskocsik, ingák, rugók, stb.;
    - arisztotelészi: pl. ahogy egy makkból kinő egy fa
  - mások a természetfilozófiai háttérelképzelések
    - modern: apró anyagi testek mechanikus rendszere;
    - arisztotelészi: anyag és forma (tér) folyton változó egysége
    - más a tér, idő, anyag, mozgás stb. fogalma
- A modern paradigmából nehéz megértenünk a régit, inkább egy idegen nyelvhez hasonlít, amit nehéz munkával meg kell tanulni



# Arisztotelész hatása

- Fizikai-kozmológiai magyarázatrendszer, amely számos jelenségcsoportot képes értelmezni (tárgyak leesése, Föld központi helye, égitestek mozgása, stb.)
- Óriási tekintélynek örvend
  - a későbbi ókorban (görög, római)
  - az iszlám középkorban
  - a keresztény középkorban
  - a kora-újkori európai egyetemeken
- A modern tudomány születéséhez sorra le kell rombolni majd e világnép elemeit (Kopernikustól Newtonig és tovább)
  - szférák: Tycho Brahe
  - mozgáskonceptió: Galilei, Newton
  - elemek: 17. sz-i részecsketan
  - stb. stb.

