

ἴσαι εἰσίν, διπλασίονες ἄρα εἰσὶ τῆς  $\Delta N$ , ὥστε ἡ  $\Xi N$  τῆς  $\Delta N$   
 ἐλάσσων ἐστὶν ἢ δι-  
 πλῆ. ἐπεξεύχθωσαν  
 δὴ αἱ  $\Delta F$ ,  $\Gamma N$ , καὶ  
 5 διήχθω ἡ  $\Delta F$  ἐπὶ τὸ  
 $O$ . πολλῶν ἄρα ἡ  $\Xi N$   
 τῆς  $\Delta O$  ἐλάσσων ἐσ-  
 τὶν ἢ  $\beta$ . καὶ ἐπεὶ ἡ  
 $\Gamma A$  κάθετός ἐστιν ἐπὶ  
 10 τὴν  $B A$ , παράλληλος  
 ἄρα ἐστὶν τῇ  $\Xi N$ . ἴση  
 ἄρα ἐστὶν ἡ ὑπὸ τῶν  
 $\Delta \Xi N$  τῇ ὑπὸ τῶν  
 $\Gamma A N$  γωνία. καὶ ἴσ-  
 15 τιν ἴση μὲν ἡ  $N A$  τῇ  
 $\Delta E$ , ἡ δὲ  $\Delta F$  τῇ  $\Gamma N$ .  
 ὁμοίον ἄρα ἐστὶν τὸ  
 $\Xi N A$  τρίγωνον τῷ  
 $\Delta N F$  τριγώνῳ. ἴστιν  
 20 ἄρα, ὡς ἡ  $\Xi N$  πρὸς τὴν  
 $N A$ , οὕτως ἡ  $N A$  πρὸς  
 τὴν  $\Delta F$ . ἀλλ' ἡ  $N A$   
 πρὸς τὴν  $\Delta F$  μείζονα  
 λόγον ἔχει ἢ ὅν τὰ πθ  
 25 πρὸς τὰ με, τοῦτέστι,  
 τὸ ἀπὸ  $N A$  πρὸς τὸ  
 ἀπὸ  $\Delta F$  μείζονα λό-  
 γον ἔχει ἢ περ τὰ  
 $\zeta$  θικα πρὸς τὰ βκε  
 30 καὶ τὸ ἀπὸ  $\Xi N$  ἄρα  
 πρὸς τὸ ἀπὸ  $N A$  μεί-  
 ζονα λόγον ἔχει ἢ περ  
 τὰ  $\zeta$  θικα πρὸς τὰ βκε,  
 καὶ ἡ  $\Xi N$  πρὸς τὴν  $\Delta O$

# A Föld mozgása és a világ méretei

A kopernikuszi fordulat  
SZIK, 2015. február 24.



Fig. 31.

8. β] διπλή W      30. ΞN] τῆς ΞN W      31. NA] τῆς NA W

κέντρου τοῦ  $EZH$  κύκλου πρὸς τὴν ἐκ τοῦ κέντρου τοῦ  $\Theta AK$  κύκλου,  
 οὕτως ἡ  $BA$  πρὸς τὴν  $AG$ . ὡς δὲ ἡ ἐκ τοῦ κέντρου τοῦ  $EZH$  κύκλου  
 πρὸς τὴν ἐκ τοῦ κέντρου τοῦ  $MNE$  κύκλου, οὕτως ἐστὶν ἡ  $BO$  πρὸς  
 τὴν  $OD$ . καὶ ὡς ἄρα ἡ  $BA$  πρὸς τὴν  $AG$ , οὕτως ἡ  $BO$  πρὸς τὴν  
 5  $OD$ . καὶ διελόντι, ὡς ἡ  $BF$  πρὸς τὴν  $GA$ , οὕτως ἡ  $BA$  πρὸς τὴν



Fig. 19.

$\Delta O$ , καὶ ἐναλλάξ, ὡς ἡ  $BG$  πρὸς τὴν  $BA$ , οὕτως ἡ  $GA$  πρὸς τὴν  $\Delta O$ .  
 καὶ ἴστιν ἐλάσσων ἡ  $BG$  τῆς  $BA$ . κέντρον γὰρ ἐστὶ τὸ  $A$  τοῦ  $\Gamma A$   
 κύκλου. ἐλάσσων ἄρα καὶ ἡ  $AG$  τῆς  $\Delta O$ . καὶ ἐστὶν ἴσος ὁ  $\Theta KA$   
 κύκλος τῷ  $MNE$  κύκλῳ. ἐλάσσων ἄρα ἐστὶν καὶ ἡ  $\Theta A$  τῆς  $ME$  [  
 10 διὰ τὸ λῆμμα]. ὥστε καὶ ὁ περὶ διάμετρον τὴν  $\Theta A$  κύκλος  
 γραφόμενος, ὀρθὸς ὢν πρὸς τὴν  $AB$ , ἐλάσσων ἐστὶν τοῦ περὶ διά-  
 μετρον τὴν  $ME$  κύκλου γραφομένου, ὀρθοῦ πρὸς τὴν  $BO$ . ἀλλ' ὁ  
 μὲν περὶ διάμετρον τὴν  $\Theta A$  κύκλος γραφόμενος, ὀρθὸς ὢν πρὸς τὴν  
 $AB$ , ὁ διορίζων ἐστὶν ἐν τῇ σελήνῃ τὸ τε σκιερὸν καὶ τὸ λαμπρὸν,  
 15 ὅταν ὁ περιλαμβάνων κῶνος τὸν τε ἥλιον καὶ τὴν σελήνην τὴν

1. τοῦ EZH] EZH W      τοῦ ΘAK] ΘKA W      5. διελόντι] διαιρεθέντι  
 W, qui lacunam post καὶ οpe versionis Commandini expleverat

# A Föld mozgásának kérdése

- Elképzelések, melyek szerint a Föld nem áll mozdulatlanul a középpontban:
  - a legkorábbi időkben fel sem merült a kérdés
    - nem volt geometriai világmodell (pl. gömb alakú világ)
    - kerek, lapos Föld kevésbé alkalmas a kp-i helyre (mi van alatta?)
  - püthagoreizmus: a többi égitesttel együtt a kp-i tűz körül kering
  - atomisták: végtelen térben mozog/zuhan
- Az i.e. 4. sz-ban kialakuló „sztenderd” görög világbép szerint azonban a kozmosz gömb alakú, kp-ban a mozdulatlan Földdel
  - Eudoxosz: a megfigyelő szempontjából felépített modellje így működik
  - Arisztotelész: fizikai tartalommal tölti meg a szféra-modellt, és fizikai okai vannak a Föld helyének és mozdulatlanságának
  - empirikus érvek
    - nem tapasztaljuk fizikailag a Föld mozgását, ellentmond a józan észnek és a megfigyelt jelenségeknek (pl. testek függőleges zuhanása)
    - csillagászati jelenségekből kiinduló érvek: ➡

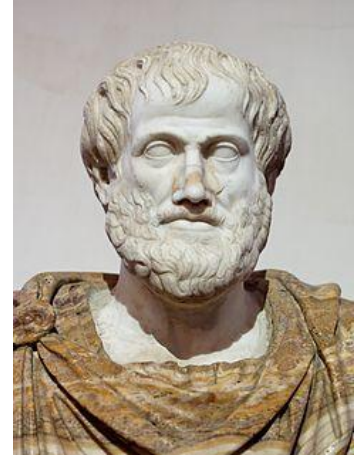
# Eukleidész



- A legnagyobb hatású görög matematikai mű, az *Elemek* összeállítója (i.e. 300 körül)
- + pl.: *Phaenomena*, egy szférikus csillagászati értekezés
- Érvei a Föld középponti helye mellett az Előszóban:
  - „Úgy látszik, az állócsillagok mindig ugyanott kelnek és ugyanott nyugszanak, és amelyek egyszerre kelnek, azok mindig is egyszerre kelnek, és amelyek egyszerre nyugszanak, azok mindig is egyszerre nyugszanak, és a kelte és nyugta közt leírt pályájukon mindig egyenlő távol maradnak egymástól, noha ez csupán a körben járó testek esetén lehetséges, amikor is a szem [a megfigyelő] mindenfelé egyenlő távol van a kör peremétől...”
  - „Továbbá, a Tejút és az Állatöv körei, melyek mindketten ferde szögben hajlanak a párhuzamos körkhöz és egymást is elvágják, úgy látszanak forogni, hogy a föld fölé mindig egy félkörük esik.”
  - „Az eddigieket alapul véve tehát állítsuk fel azt a hipotézisünket, hogy a kozmosz alakja gömb; ugyanis ha akár henger, akár kúp volna, a napéjegyenlőségi kört ferdén elmetsző körök csillagai úgy forognának, hogy közben nem a mindig egyenlő félköröket írnák le, hanem olykor a félgömbnél nagyobb, olykor pedig nála kisebb hányadokat.”

(A teljes Előszó: <http://hps.elte.hu/~kutrovatz/Euklcsill.htm>)

## Vissza Arisztotelészhez



„Mi pedig először is mondjuk meg, hogy mozog-e a Föld, vagy nyugalomban van. Hiszen, mint azt már említettük, vannak olyanok, akik a csillagok egyikévé teszik, mások ellenben a középpontba helyezik és azt mondják, hogy forog és a középén áthaladó tengely körül mozog. Ennek a lehetetlenségét világosan lehet látni akkor, ha azt vesszük kiindulópontnak, hogy akár a középpontban van a Föld, akár távol a középponttól, ha mozog, szükségképpen kényszerből végzi azt a mozgást, hiszen ez nem lehet magának a Földnek a mozgása. Ha ugyanis ez lenne, akkor minden egyes része így haladna, a valóságban azonban minden egyes része egyenes vonalban halad a középpont felé. Emiatt nem lehetséges, hogy örökkévaló legyen a mozgás, hisz kényszerű és természetellenes. A világrend elrendezése viszont örök.” (Az *Égbolt*, II. könyv 14. fej.)

- Ő fizikai, és nem megfigyelőcsillagászati okokkal cáfol
- Nem igaz, hogy a görögök többségének eszébe sem jutott a mozgó és a középpontból kimozdított Föld gondolata, csak különböző okokból elvetették

# Hérakleidész

- Akadémia tudósa, i.e. 4. sz. második fele
  - Nem maradt fenn szövege, csak két állítását idézik:
    1. A Föld naponta megfordul a tengelye körül (ezt biztosan állította)
- lehetséges érvei:
- mivel ez a mozgáskomponens Eudoxosz modelljében minden égitest számára közös (és ez az egyetlen ilyen mozgáskomponens, a többi független és égitest-specifikus), egyszerűbb feltételezni, hogy ez látszólagos mozgás, ami a megfigyelő napi fogsásának következménye
  - ezzel egy arisztotelészi modell is egyszerűsíthető, kevesebb szféra kell
- lehetséges ellenérvek:
- az eudoxoszi modellben nem az a kérdés, hogyan néz ki a világ, hanem hogy miként lehet a megfigyelő szempontjából leírni
  - ha a Föld forogna, akkor a mérete miatt (lásd később) hatalmas sebességgel haladna a felszín, de ezt nem tapasztaljuk
    - nem fúj folyamatos menetszél emiatt
    - a feldobott tárgyak alól nem fordul ki a megfigyelő, stb.

2. A Merkúr és a Vénusz nem a Föld, hanem a Nap körül kering (itt már bizonytalanabbak a forrásaink, kérdéses, hogy állította-e)

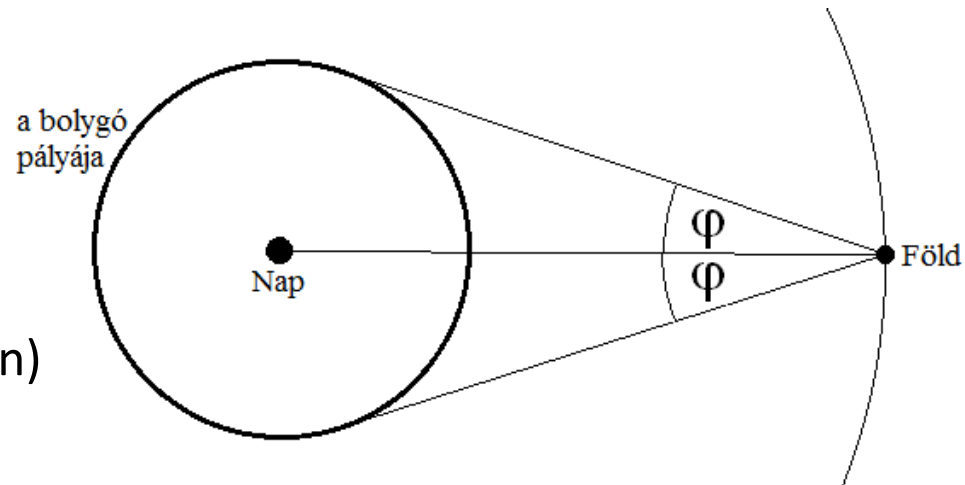
→ lehetséges érvei:

- ezek a bolygók mindig a Nap közelében maradnak: sosem távolodnak el tőle egy  $\varphi$  szögtávolságnál jobban (és  $\varphi$  szimmetrikus a két oldalon)

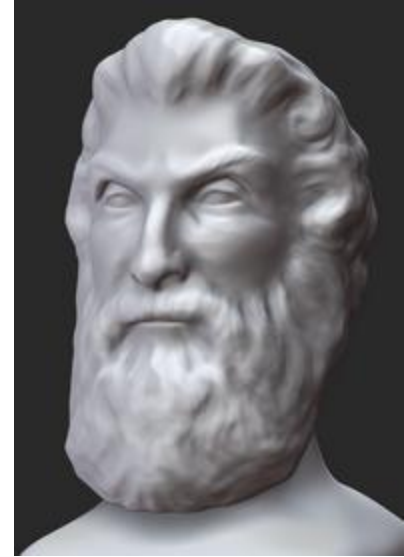
- fényességváltozások: a Nap körüli keringés gondolata összhangban van azzal, hogy milyen égi pozíció esetén mennyire fényes a bolygó (mert itt nem állandó a Földtől mért távolsága)

→ lehetséges ellenérvek:

- ha csak a pozíció előrejelzésére akarunk geometriai modellt, akkor fölösleges az egyes égitestek egymáshoz kötődését feltételezni
- ha fizikai modellt akarunk, akkor ez nem fér össze a szféraelmélettel: a Nap körüli keringés során a bolygónak (és szférájának) folyton át kellene hatolni a Nap szféráján



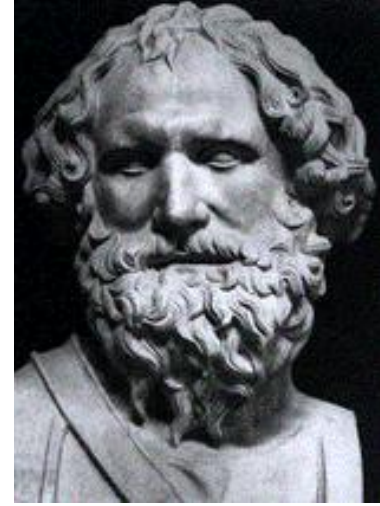
# Arisztarkhosz



- Kb. i.e. 310-230. Szamosz szigetéről származott, mint Püthagorasz, de Alexandriában tanult (lásd később)
- „Az ókor Kopernikusza” – állításai:
  - a Föld forog a tengelye körül
  - a Föld a Nap körül kering, a többi bolygóval együtt
  - a csillagok nagyon-nagyon messze vannak a Földtől
  - a csillagok távoli Napok
- Sajnos nem maradt ránk műve, amiben ezeket kifejténé, de ránk maradt a kortársak és későbbi ókori szerzők heves tiltakozása. Pl. Plutarkhosz, *Moralia*:

„Uram, ne vádolj minket istentelenséggel, mint ahogy Kleanthész hitte, hogy a görögöknek istentelenséggel kellene vádolni a szamoszi Arisztarkhoszt, aki megrángatta a Kozmosz Tűzhelyét, amikor azzal az elgondolással igyekezett megőrizni a jelenségeket, hogy az égbolt mozdulatlan, míg a Föld egy ferde kör mentén mozog és közben forog a tengelye körül.”

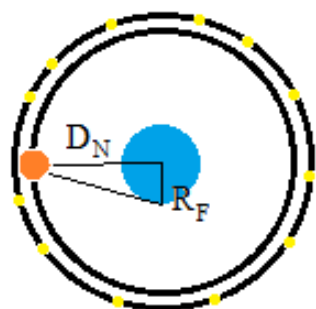
- Legkorábbi forrásunk: a nagy Arkhimédész (kb. i.e. 287-212).  
*Homokszámlálás* c. művének elejéből:



„A legtöbb csillagász a világot annak a gömbnek mondja, melynek középpontja a Föld középpontja, és melynek mérete egyenlő azzal az egyenes vonallal, amely a Nap és a Föld középpontjait összeköti, mivel ezeket a dolgokat hallhattad a csillagászok által írt bizonyítékokból. Ám a szamoszi Arisztarkhosz olyan hipotézist írt le, amelyből következik, hogy a világ sokszorosa annak, amit ma állítanak. Ő ugyanis felteszi, hogy az állócsillagok és a Nap mozdulatlanok, míg a Föld egy olyan kör peremén kering a Nap körül, amely középpont helyezkedik el, és hogy az állócsillagok szférája, melynek középpontja egyben a Nap középpontja, kiterjedésében oly hatalmas, hogy a Föld keringésének köre úgy aránylik az állócsillagok szférájához, mint ahogy egy gömb középpontja aránylik a felülethez. Ez viszont nyilvánvalóan lehetetlen, hiszen egy gömb középpontjának nincs kiterjedése, vagyis semmiféle arányban nem áll a gömb felszínével. Úgy kell ezt értenünk, hogy Arisztarkhosz ezt állítja: mivel szerintünk a Föld a világ középpontja, a Föld és az általunk leírt világ közti arány ugyanakkora, mint az általa gondolt gömb, amelyen a Föld mozgásának köre van, és az állócsillagok gömbje közti arány. Ő ugyanis bizonyításokat kínál az ide vonatkozó jelenségekre, és ezek alapján az a gömb, amelyen szerinte a Föld mozog, feltehetőleg akkora, mint az általunk leírt világ.”



Sztenderd világkép  
(pl. Arkhimédész):



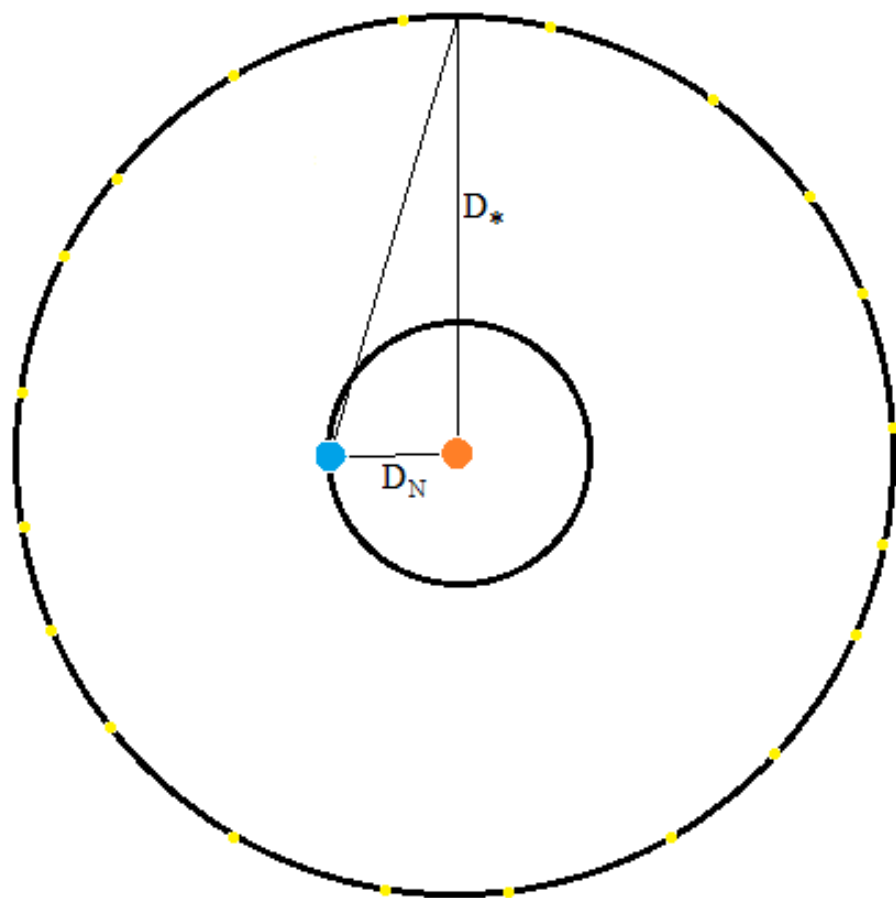
$$\frac{R_F}{D_N} = \frac{D_N}{D_*}$$

$R_F$ : a földgolyó sugara

$D_N$ : a Föld és a Nap távolsága

$D_*$ : a csillagok távolsága a Naptól  
(Arisztarkhosz szerint)

Arisztarkhosz világképe:

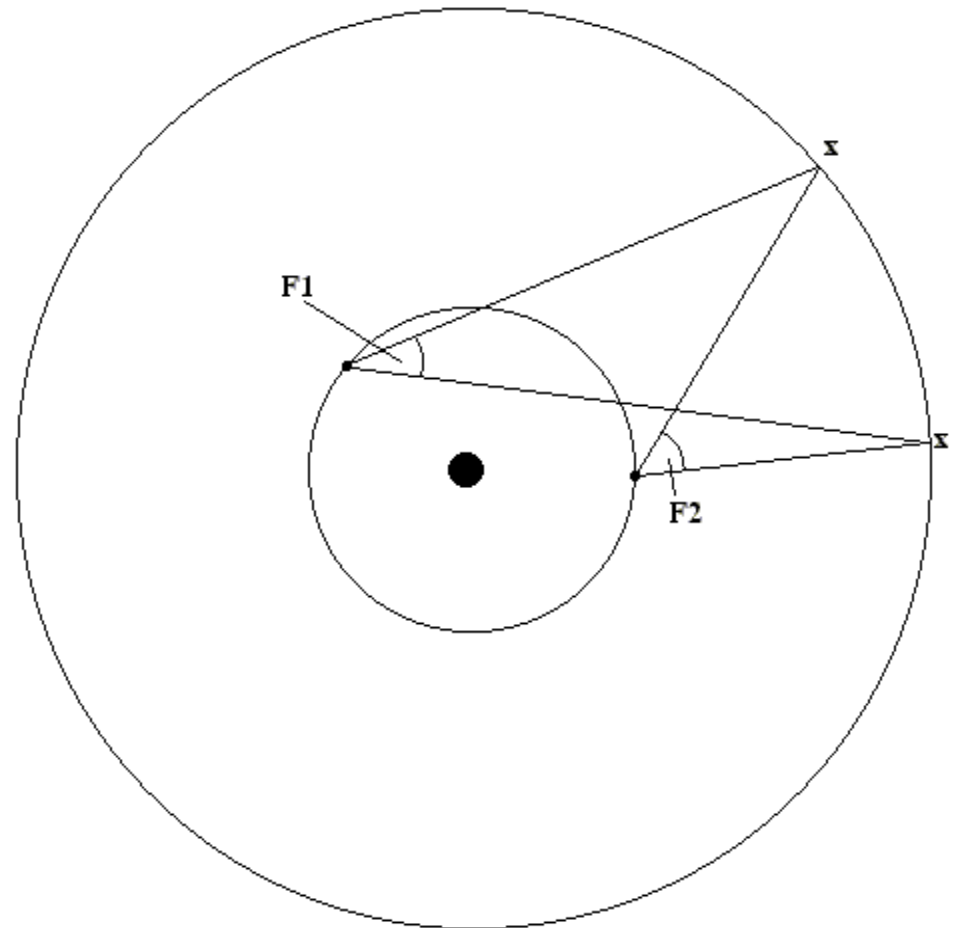


Mi az értelme az aránypárnak?

→ *Parallaxis* jelenségének a hiánya. Ha a Föld kering a nap körül, akkor a pályájának különböző pontjain más-más távolságra van egy-egy kiszemelt csillagtól, ezért változnia kellene az év mentén:

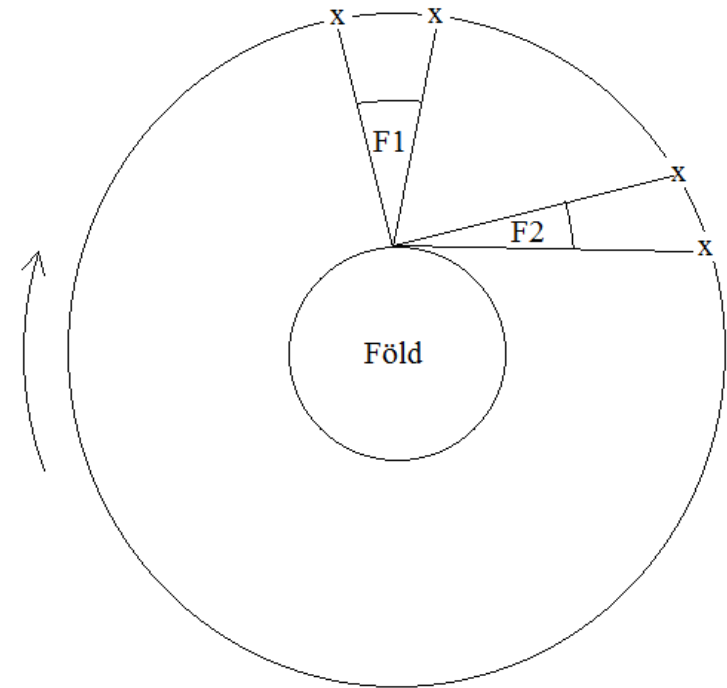
- a csillagok fényességének (a tőle mért távolságunk szerint)
- két szomszédos csillag egymáshoz képesti látszólagos távolságának ( $F1 < F2$ )

- Ez az ún. évi parallaxis
- Mivel ez szabad szemmel nem tapasztalható, erős empirikus érv a Föld keringése ellen
- Valódi mértéke olyan kicsi ( $< 1$  szögmásodperc), hogy csak a 19. sz-ban sikerült kimérni speciális távcsővel



→ csakhogy a parallaxisnak már a sztenderd világképben is jelentkeznie kellene:

- Mivel a megfigyelő a Föld felszín áll (tehát kimozdítva az égbolt középpontjából), a naponta körbeforduló égbolt egyes részei folyton változtatják a távolságukat a megfigyelőhöz képest
- $F1 > F2$ : két csillag látszó szögtávolsága a kulmináció pontján nem ugyanaz, mint lenyugvásukkor
- Ez az ún. napi parallaxis (forgó Földre is áll)



→ Arisztarkhosz érvelése az aránypárral:

Szerintetek nem kering a Föld, mert nem látszik az éves parallaxis. De a napi parallaxis sem látszik. Szerintetek azért nem, mert a Föld elhanyagolhatóan kicsi az ég gömbjéhez képest. Szerintem ugyanaz a helyzet: a Föld mozgásának köre elhanyagolhatóan kicsi a világ méretéhez képest. Pontosan annyiszor kisebb a földpálya a világ méreténél, mint ahányszor kisebb szerintetek a Föld a ti világotok méreténél!

→ De persze ehhez sokkal nagyobb világ kell, mint addig szinte bárki feltételezte...

# Kitérő 1: Mire jó ez Arkhimédésznek?

- A görög számírás nem helyiértékes és ún. alfabetikus: betűk jelölik a számokat
- A legnagyobb kifejezhető szám a 10 000 (M), ill. kis trükközéssel a 10 000 x 10 000, azaz a százmillió ( $10^8$ )
- Arkhimédészt az olyan nagy számok érdeklik, amiket így nem lehet kifejezni
- Ebben a művében megbecsüli, hogy hány homokszem fér be a világegyetembe
- Ehhez ki kell dolgozni egy nagy számok kifejezésére alkalmas módszert → effektíve kitalál egy helyiértékes elvet, ahol a helyiérték alapja a  $10^8$
- A műnek a módszer a lényege, nem a kérdésre adott válasz
- Azért veszi Arisztarkhosz rendszerét, mert ez sokkal nagyobb, ám ő ebben is meg tudja adni a választ:  $8 \times 10^{63}$  homokszem

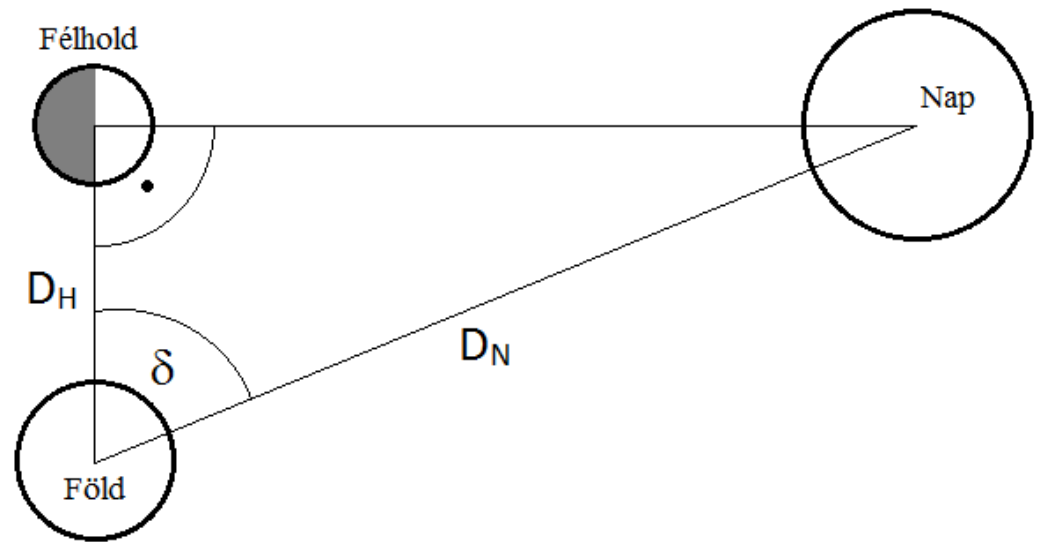
α', 1	ι', 10	ρ', 100	α, 1000
β, 2	κ, 20	σ, 200	β, 2000
γ, 3	λ, 30	τ, 300	γ, 3000
δ, 4	μ, 40	υ, 400	δ, 4000
ε, 5	ν, 50	φ, 500	ε, 5000
ς, 6	ξ, 60	χ, 600	ς, 6000
ζ, 7	ο, 70	ψ, 700	ζ, 7000
η, 8	π, 80	ω, 800	η, 8000
θ, 9	ϙ, 90	Ϡ, 900	θ, 9000

# „A Nap és a Hold méretéről és távolságáról”

- Arisztarkhosz egyetlen fennmaradt műve
- Ebben nem érinti a napközéppontúság kérdését, hanem kiszámolja mérések alapján a címben foglalt adatokat
- Az ókori matek egyik legelegánsabb fennmaradt munkája
- Ezek a számítások függetlenek attól, hogy a Nap vagy a Föld van-e a kp-ban
- De persze az jön ki neki, hogy a Nap sokkal nagyobb, mint a Föld
  - lehetett-e ez érv amellett, hogy a kicsinek kell keringeni a nagy körül?
  - egy newtoni gondolkodásban igen: megszoktuk, hogy így legyen
  - a görög gondolkodás szerint a Nap és a Föld anyaga egészen különböző: a földanyag természete a nehézség, a kp-ba törekvés, ám az ég anyaga éteri természetű, és keringésre törekszik
  - Ptolemaiosz később újravégzi a számításokat, nála még nagyobb a Nap a Földhöz képest, de nem zavarja abban, hogy a Földet teszi a kp-ba

# 1. Félhold jelensége

Ilyenkor a 3 égitestet összekötő vonalak egy derékszögű háromszöget alkotnak, a derékszög a Holdnál keletkezik.

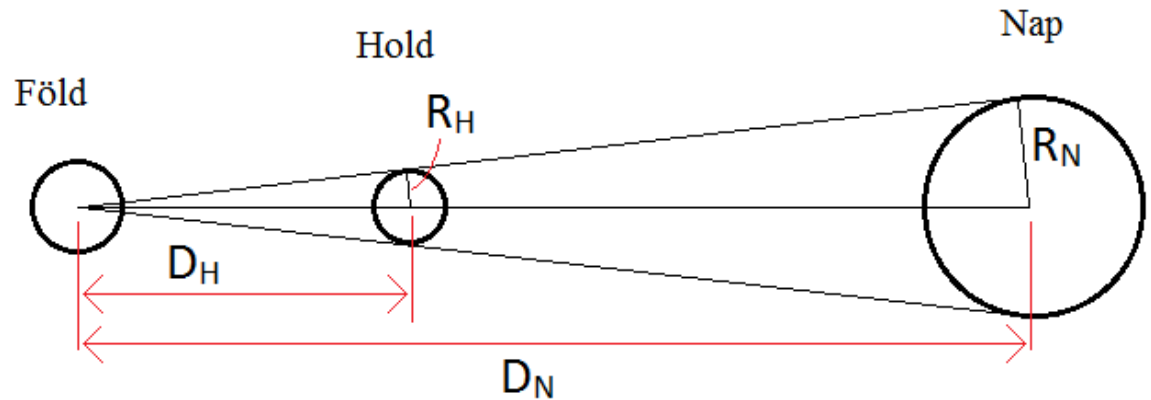


- Ha megmértem a Földről Nap és Hold szögtávolságát ( $\delta$ ), akkor kiszámíthatom a két égitest Földtől mért távolságának arányát:  $\cos \delta = D_H / D_N$ 
  - Elhanyagoljuk a Föld méretét, feltételezzük, hogy a megfigyelő a Föld kp-ban van. Ez jogos, mert az ábra erősen eltúlozza az égitestek méretét.
  - Ekkor még nem léteztek szögfüggvények, ezért A-nak geometriai úton kell bonyolultabban számítania. Ezt pontosan teszi. Ez az első ismert görög szögfüggvény-érték becslés.
- A. mérése:  $\delta = 87^\circ$   $\rightarrow$  Számítás:  $D_N / D_H = 18 \sim 20$
- A valódi érték:  $\delta = 89^\circ 51'$   $\rightarrow$   $D_N / D_H \approx 400$

- Hol szúrta el?
  - Nem a számítás téves, hanem a mérés, innen öröklődik a hiba
  - Bár a mérési hiba  $< 3^\circ$ , *cos* fv. esetén az számít, hogy mennyi a különbség  $90^\circ$ -hoz képest, és az itt éppen húszszoros eltérés, innen jön a hiba
  - De a klasszikus görögök nem nagyon törődtek a mérések pontosságával, hanem a számítások pontosságára koncentráltak: inkább matematikai játéknak tekintették (ki tud bonyolultabb problémákat kiszámolni)
    - A pontos szögmérésekre sem voltak eszközeik
    - Nem biztos, hogy A. konzultált egy naptárral, mikor van pontosan félhold, lehet, hogy csak kb. ránézésre csinálta
- A pontatlanság ellenére kvalitatíve jó az eredmény: a Nap sokkal messzebb van tőlünk, mint a Hold
  - Ez már ellentmond a sztenderd világgképnek, amely szerint az égi szférák a világ peremén, sűrűn összezsúfolva helyezkednek el
    - lásd Arkhimédész szövegét: a világ méretét a Nap-Föld távolságnak veszi, holott a sztenderd nézet szerint a Nap felett még egy csomó szféra van a csillagokig → ezek vastagságát elhanyagolhatónak kell tételeznie
  - Vagyis a Hold feletti világ sokkal-sokkal nagyobb a Hold alattinál

## 2. Napfogyatkozás jelensége

Napfogyatkozáskor  
a Hold kb. pontosan  
kitakarja a Napot  
→ a Földről nézve  
ugyanakkorának  
látszanak

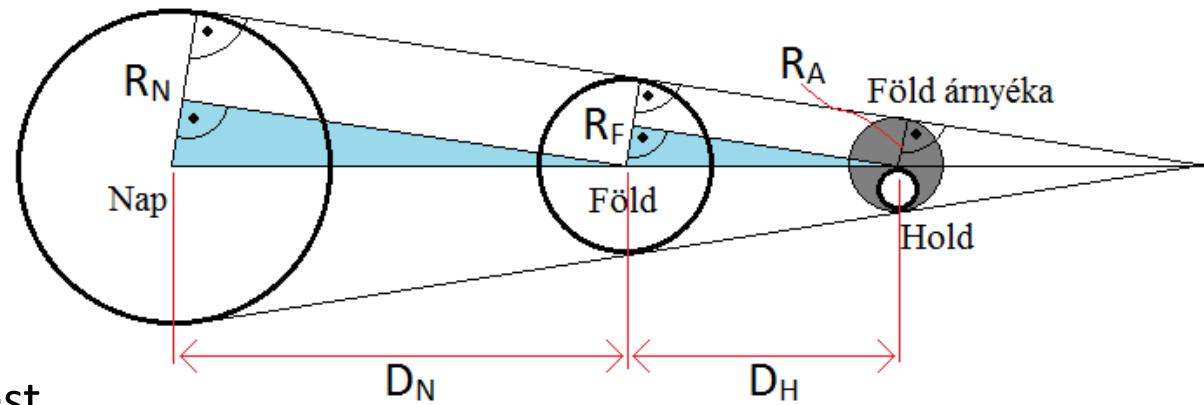


- Mivel a közös érintő derékszöget zár be a berajzolt égitest-sugarakkal,  $(D_H ; R_H)$  és  $(D_N ; R_N)$  két hasonló háromszög azonos arányban álló oldalai
- Ezért  $R_N / R_H = D_N / D_H = 18 \sim 20$
- Egyszerűbben megfogalmazva:
  - ha a Hold és a Nap ugyanakkorának látszanak
  - de a Nap hússzor messzebb van a Holdnál
  - akkor a Nap hússzor akkora, mint a Hold.
- (Az előző mérés hibája öröklődik, valójában kb. 400)



### 3. Holdfogyatkozás jelensége

Holdfogyatkozásakor a Föld árnyékkúpja rávetül a Holdra, és kb. kétszeres az árnyék mérete ott a Hold méretéhez képest

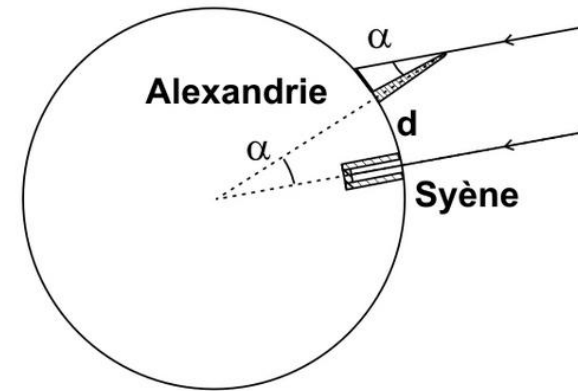


- Mivel a késsel satírozott háromszögek hasonló derékszögű háromszögek, ezért fennáll:  
$$\frac{D_N}{D_H} = \frac{R_N - R_F}{R_F - R_A} \quad \text{és ugye} \quad R_A = 2 R_H$$
- Így
  - $R_F / R_H \approx 3$
  - $19/3 < R_N / R_F < 43/6$  (vagyis a kb. 7x akkora, mint a Föld)
- Valójában inkább 109x akkora, de itt részben öröklődik a hiba az első mérésből, részben ez a mérés is hibás (a kettes faktor elég durva becslés)

# Eratoszthenész



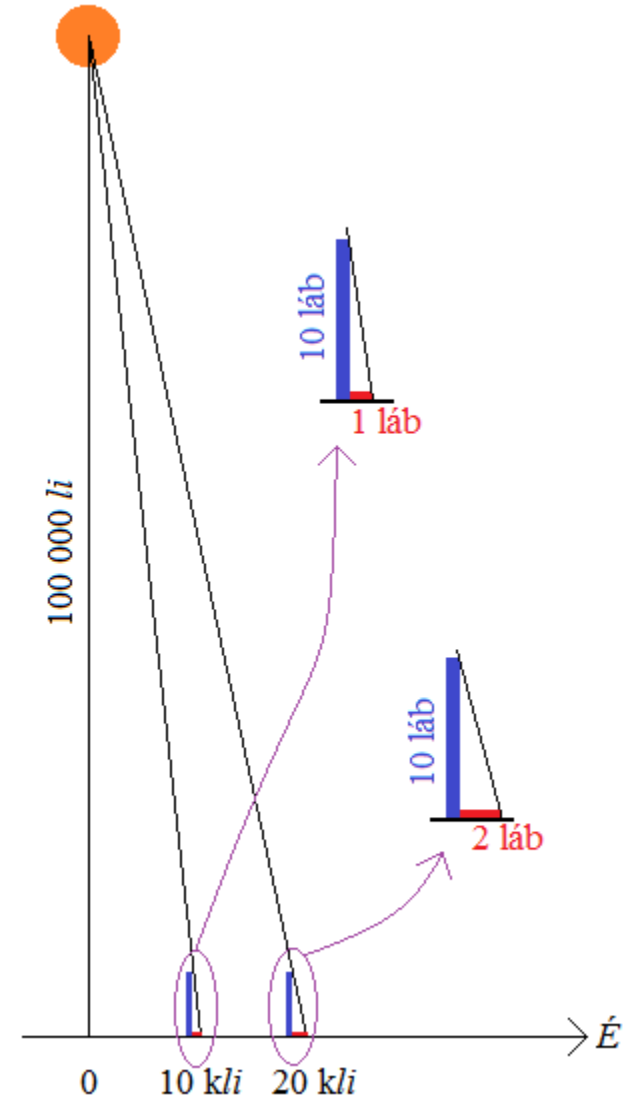
- Alexandriai sokoldalú tudós, i.e. 276-194
- Ahhoz, hogy az előbbi mérések abszolút méreteket adjanak, meg kell mérni az egyik égitest nagyságát → nyilván a Földét
- Megfigyelés:
  - Szüéné (ma Asszuán) városában a Nap a nyári napforduló delén pontosan besüt a kutak fenekére (→ függőlegesen süt, a Ráktérítőn)
  - Alexandriában ekkor a napsugarak eltérése a függőlegestől a teljes kör 1/50-ed része ( $\alpha=7,2^\circ$ )
- Így a Föld kerülete a két város távolságának (d) az ötvenszerese
- Ha egy tevekaraván 50 nap alatt ér oda, és naponta 100 sztadion utat tesz meg, akkor  $d = 5000$  sztadion, vagyis a Föld kerülete,  $K_F = 250\,000$  sztadion
- Hogy ez mennyire pontos, attól függ, mennyi egy sztadion, de ez városról városra eltért. Ha pl. kb. 150 m, akkor  $K_F = 37\,500$  km, ami meglepően pontos. De lehet 180 m is, és akkor pontatlanabb. Mindegy, a mérés elég felületes. 😊



## Kitérő 2: *Huaj-nan-ce*

I.e. 2. századi (Han-dinasztia) taoista klasszikus műből:

„Hogy kitaláljuk az égbolt magasságát, fel kell állítani két, 10 láb magasságú gnómónt olyan helyeken, melyek éppen 1000 *li* távolságra vannak egymástól egy észak-déli vonalon, és meg kell mérni az árnyékuk hosszát ugyanazon a napon. Ha az északabbi gnómón árnyéka 2 láb hosszú, akkor a délebbié 1 és 9/10 láb hosszú. Minden 1000 *li* délre egy hüvelyknyi csökkenést jelent az árnyék hosszában. 20 000 *li*-re délre nem lesz árnyék, mert ez a hely éppen a Nap alatt található. Ez azt is jelenti, hogy ha egy 10 lábnyi gnómónból indulunk ki 2 lábnyi árnyékkal, akkor délre haladva 1 lábnyi árnyék elvesztése 5 lábnyi gnómón-hossz növekedésnek felel meg. Így ha a délre mérhető *li*-k számát megszorozzuk öttel, megkapjuk, hogy az égbolt magassága 100 000 *li*.”

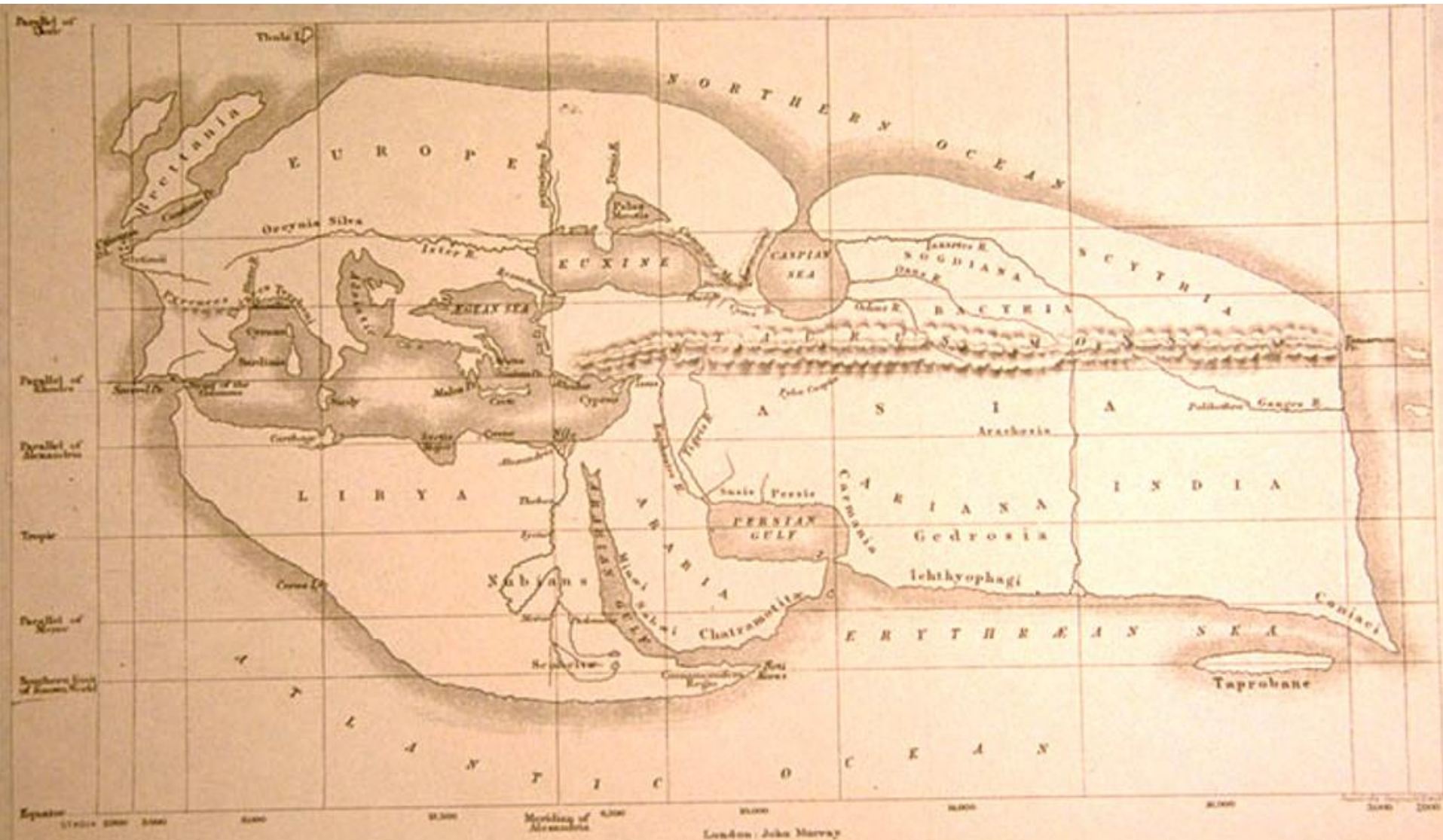


- A kínai mérés ugyanazokból az adatokból indul ki, mint Eratoszthenész (árnyékhossz változása adott pontok közt , és a pontok É-D-i távolsága), de egészen más előfeltevések alapján egész más adatokat kap

Kínai előfeltevések:	Eratoszthenész előfeltevései:
- a Föld lapos	- a Föld gömb alakú
- a Nap nincs túl messze, így	- a Nap nagyon messze van, így
- a Nap sugarai nem párhuzamosak	- a Nap sugarai párhuzamosak
Kínai eredmény:	Eratoszthenész eredménye:
- a Nap távolsága a Földtől	- a Föld kerülete

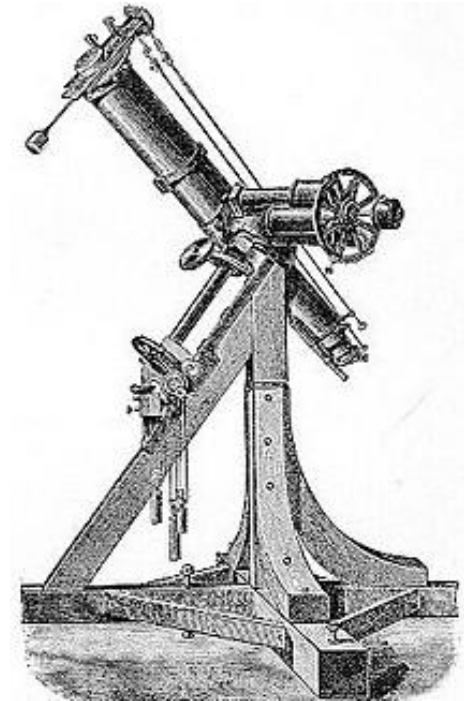
- Eratoszthenész tehát *nem* bizonyítja a Föld gömb alakját (néha tévesen állítják), hanem előfeltételezi
- Honnan tudja, hogy a Föld gömb alakú? Fő érve: holdfogyatkozáskor a Holdra vetülő Föld-árnyék kör alakú, bármerről is süti a Nap a Földet (v.ö. később: Ptolemaiosz érvei, Kopernikuszé mellett)

# Kitérő 3: Eratoszthenész világtérképe (Sztrabón szerint)



# Vissza a Föld mozgásához: mikor bizonyították?

- Forgás bizonyítéka:  
Foucault-inga. Párizs, 1851  
Mivel a Föld „kiforog” a nagyon hosszan lengő inga alól, úgy tűnik, mintha a lengés síkje lassan elforogna
- Keringés bizonyítéka:  
Heliométer, speciális távcső a parallaxis kimutatására.  
F. Bessel, Königsberg, 1838
- Az újkorban a 17. századtól az elfogadott nézet keringő és forgó Földet feltételezett, annak ellenére, hogy ezt csak kétszáz évvel később sikerült bizonyítani
- Ehhez kellett, hogy ennek megfelelő fizika is legyen, ami összeegyeztethető a mozgó Föld gondolatával



# Előretékiintés: Ptolemaiosz

„Ám némelyek úgy gondolják, hogy meggyőzőbb nézettel állnak elő, amikor a fentiekkel egyetértenek, hiszen semmit sem hozhatnak fel ellene, de szerintük nincs bizonyíték azon feltételezésük ellen sem, hogy az égbolt mozdulatlan, és a Föld nyugatról keletre forog ugyanazon tengely körül, és naponta körülbelül egyszer megfordul... De nem veszik észre, hogy bár talán semmi nem mond ennek ellent az égi jelenségek közül, legalábbis ami az egyszerűbb megfontolásokat illeti, abból, ami itt a Földön és a levegőben történik, látható, hogy egy ilyen elképzelés nevetséges... [A]z lenne az eredménye, hogy mindazoknak a tárgyaknak, melyek nem rögzülnek a Földhöz, ugyanezzel a látszólagos mozgással, a Föld mozgásával ellentétes irányúval kellene rendelkezniük – sem a felhőket, sem semmilyen repülő vagy hajított tárgyat soha nem láthatnánk keletre haladni, hiszen a Föld keletre tartó mozgása utolérné és leelőzné őket, így aztán minden tárgy esetén úgy tünne, mintha nyugatra, hátrafelé haladnának.” (*Almagest*, I. könyv 7. fejezet)



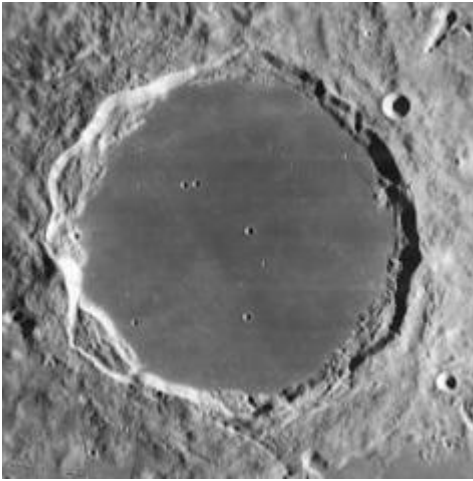
# Miért nem fogadták el a görögök a Föld mozgását?

Bár bizonyos értelemben segítheti a jelenségek megőrzését, de:

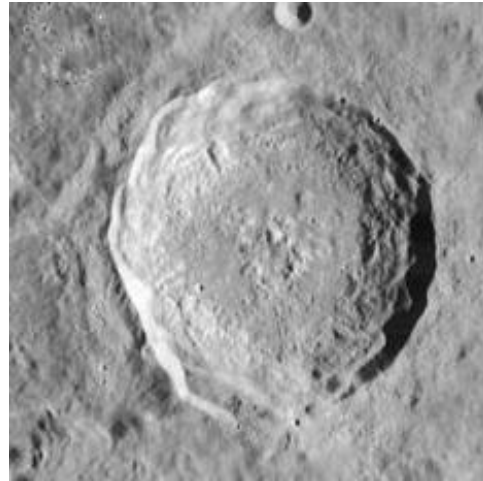
- Erős csillagászati érvek szólnak ellene:
  - Nem látjuk az éves parallaxist
  - A kp-ból kimozdítva mások lennének az észlelőcsillagászat alapjelenségei
- Erős fizikai érvek szólnak ellene:
  - Ellentmond a legelterjedtebb fizikai elméletnek, Arisztotelészének
  - Ellentmond a hétköznapi tapasztalatnak: nem maradnak le a tárgyak, a levegő, a felhők stb. amiatt, hogy a Föld kirohan alóluk
  - Nem létezett még az a fizika, ami kezelni tudja a mozgás relativitását (tehetetlenség, mozgásállapot, stb.)
- Teljesen ellentmond a józan észnek:
  - Mitől/hogyan mozogna egy ekkora test, az egész Föld mindennel együtt?
  - Ha így is tenne, ebből én miért nem veszek észre semmit?



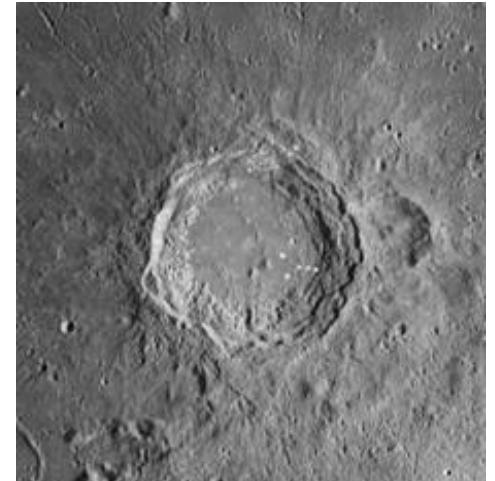
# Függelék: Az elmúlt két óra holdkráterekben



Plato (109 km)



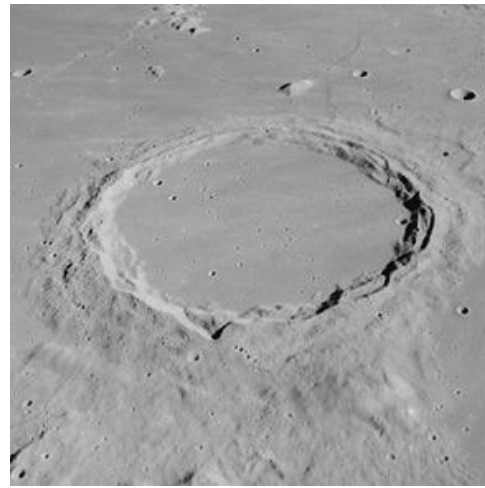
Eudoxus (67 km)



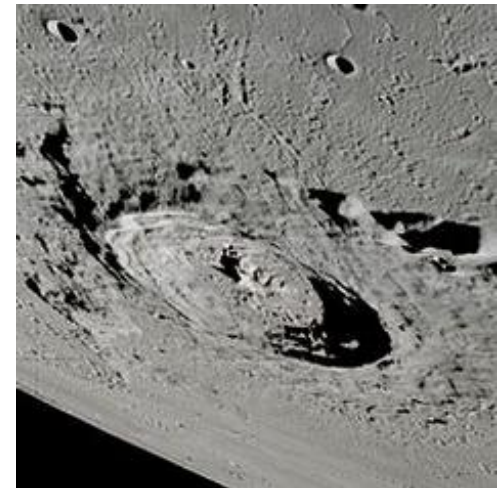
Aristoteles (87 km)



Aristarchus (40 km)



Archimedes (83 km)



Eratosthenes (58 km)