

Dr. Szücs László:

Egy ókori mérés mai szemmel

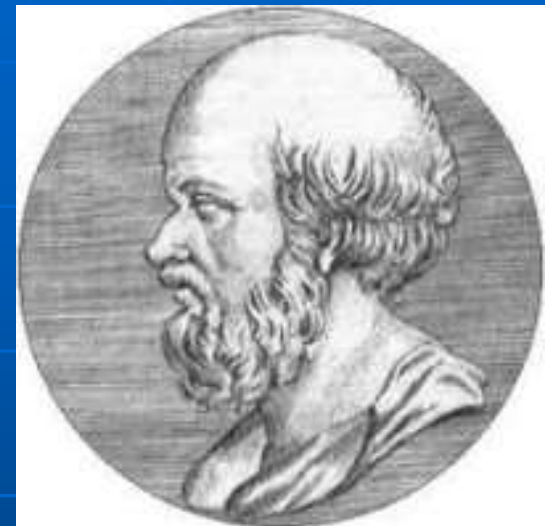
GISOPEN

2019. április 17.

Eratoszthenész

(i. e. 276 - 194)

- Alexandriában és Athénban tanult
- Az Alexandriai könyvtár igazgatója
- A fáraó gyermekeinek tanítója
- Orvos
- Költő
- Matematikus
- Csillagász
- Földrajztudós – 3 kötetes Geographica
- Ő az első, akiről tudjuk, hogy meghatározta a Föld sugarát.



A föld sugár mérését lehetővé tevő ókori ismeretek 1.

„Alapfeltevés az, hogy a **föld a tengerekkel együtt gömb alakú**, s egy és ugyanazon felszíne van a tengerekkel. A **föld kiemelkedései** ugyanis ilyen nagyság mellett, mint csekélységek, **észrevétlenül maradnak**, s figyelmen kívül hagyhatók, úgyhogy a gömbalakot nem úgy kell értenünk, mintha azt körzővel rajzolták volna...” (Strabón Kr.e.64-Kr.u.23 – az alapfeltevés Pithagórasztól származik)

Ehhez kapcsolódik a helyi függőleges értelmezése is: „**a súlyos tárgyak mozgása a középpont felé tart, e körül gömb alakúra összesűrűsödve áll a Föld...**” (Strabón)

A földugár mérését lehetővé tevő ókori ismeretek 2.



*„A **térítőnek** szükségképpen Syénénél kell lennie, mert itt a nyári napfordulat idején a napóra mutatójának délben nincs árnyéka...”.*
(Strabón)

Ráktérítő helye az ókori leírásokban

A földugár mérését lehetővé tevő ókori ismeretek 3.

„A syénei délkör pedig főképp a Nílus folyásirányába
esik Meroétól Alexandriáig...” (Strabón 1977. II.5.7) –

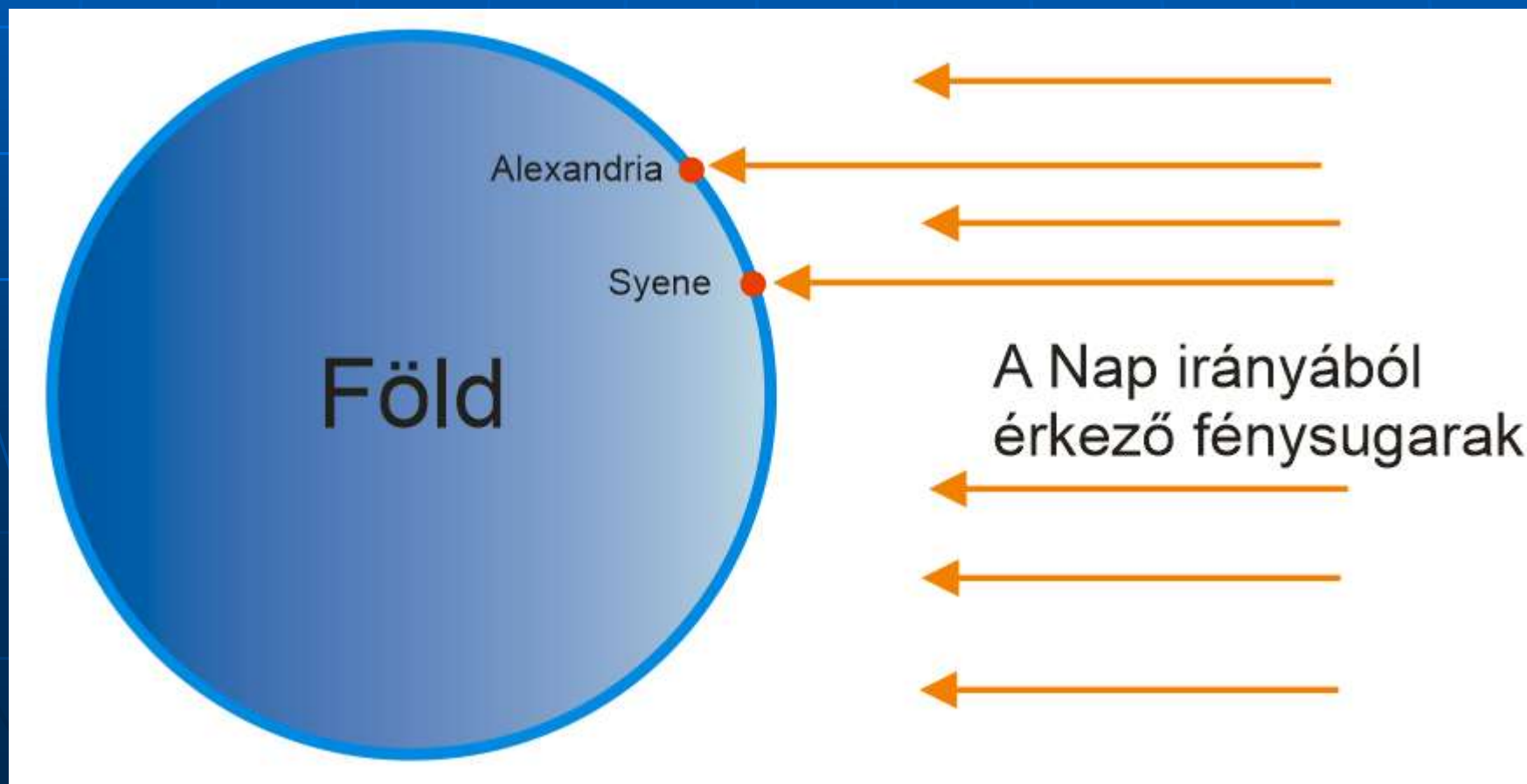


A syenei meridián az
ókori leírások alapján

A földugár mérését lehetővé tevő ókori ismeretek 4.

„A Nap küldötte fénysugarak a világ különböző részein egymással párhuzamosak...”

(Cleomedis (Ziegler) 1891. I.10).



A föld sugár mérésének elve

Elvileg:

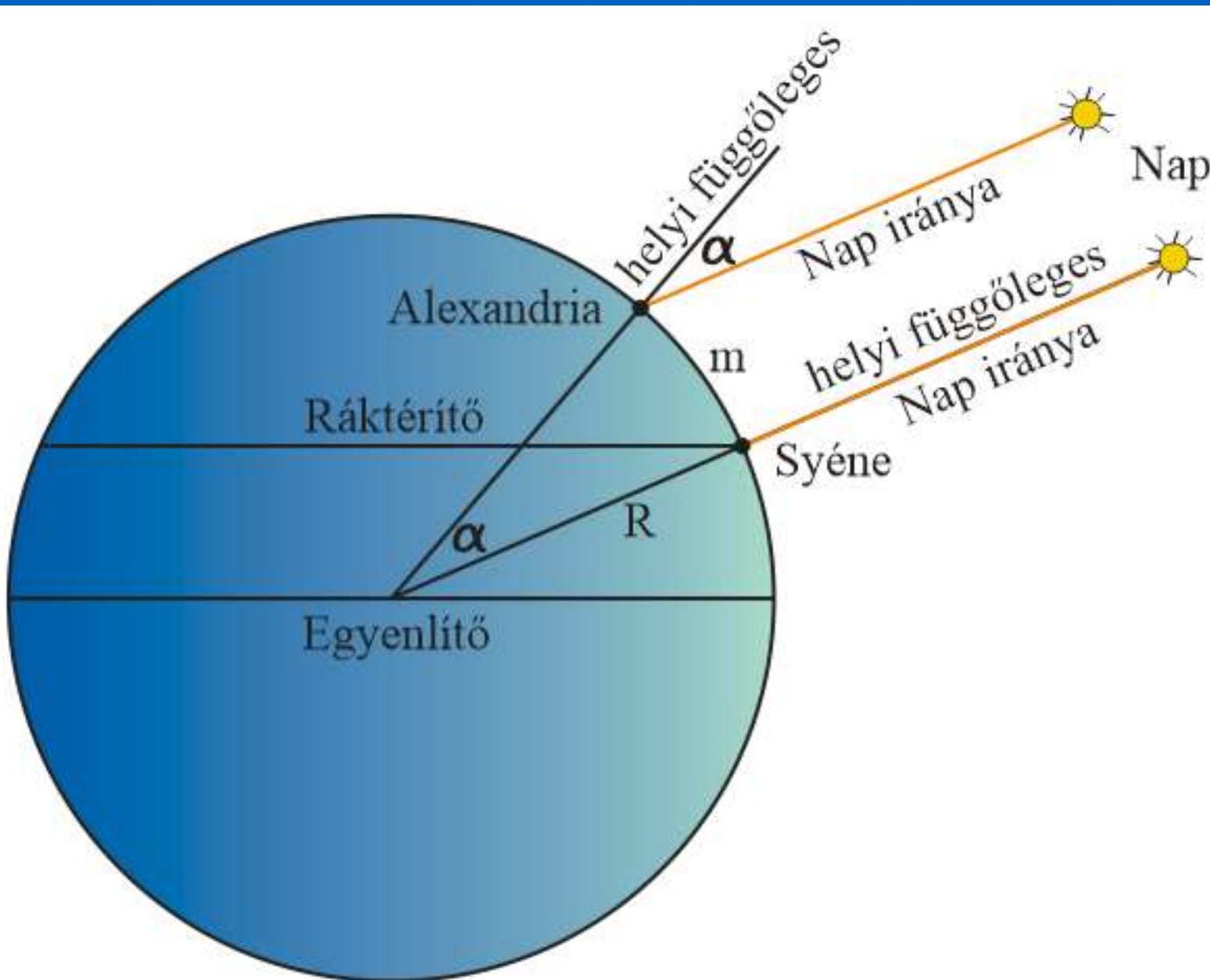
$$\frac{360^\circ}{\alpha} = \frac{K}{m}$$

Valóságban:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

$$K = n \cdot m$$

$$R = \frac{K}{2\pi}$$

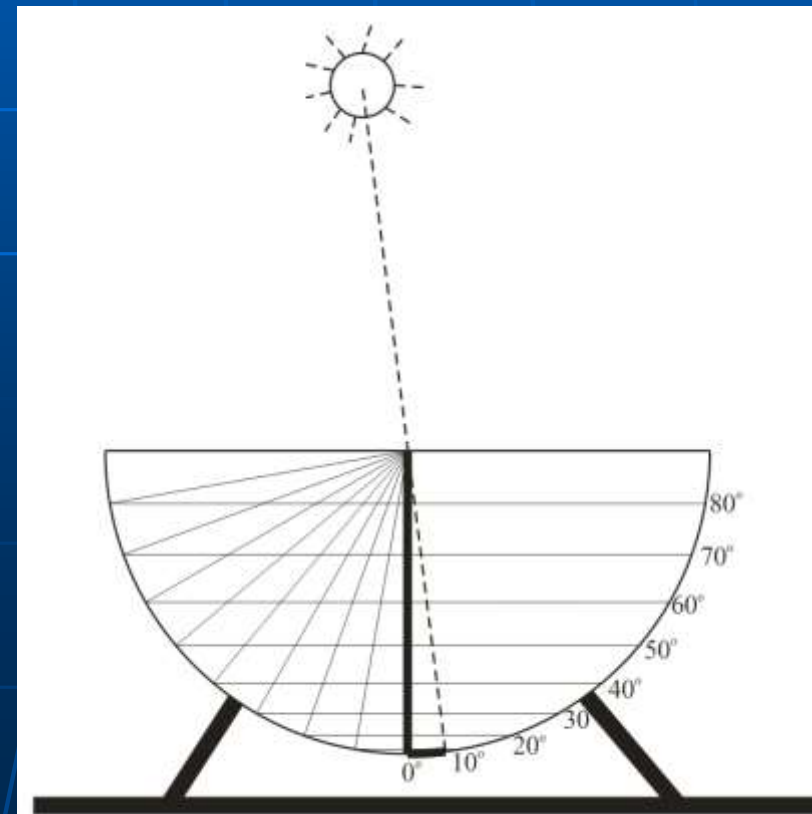


Az ókori zenitszög-mérés műszere Alexandriában



- Hibás a mese a bot árnyékáról és a trigonometriáról
- A napóra felhasználásával:

„a gnómon (mutató) árnyéka a nyári napforduló idején 1/50-ed része a mérőműszer gömbje területének. Ha ezt fokokban akarjuk kifejezni:
 $360^\circ/50 = 7,2^\circ$ ”
(Kleomedész 1891).



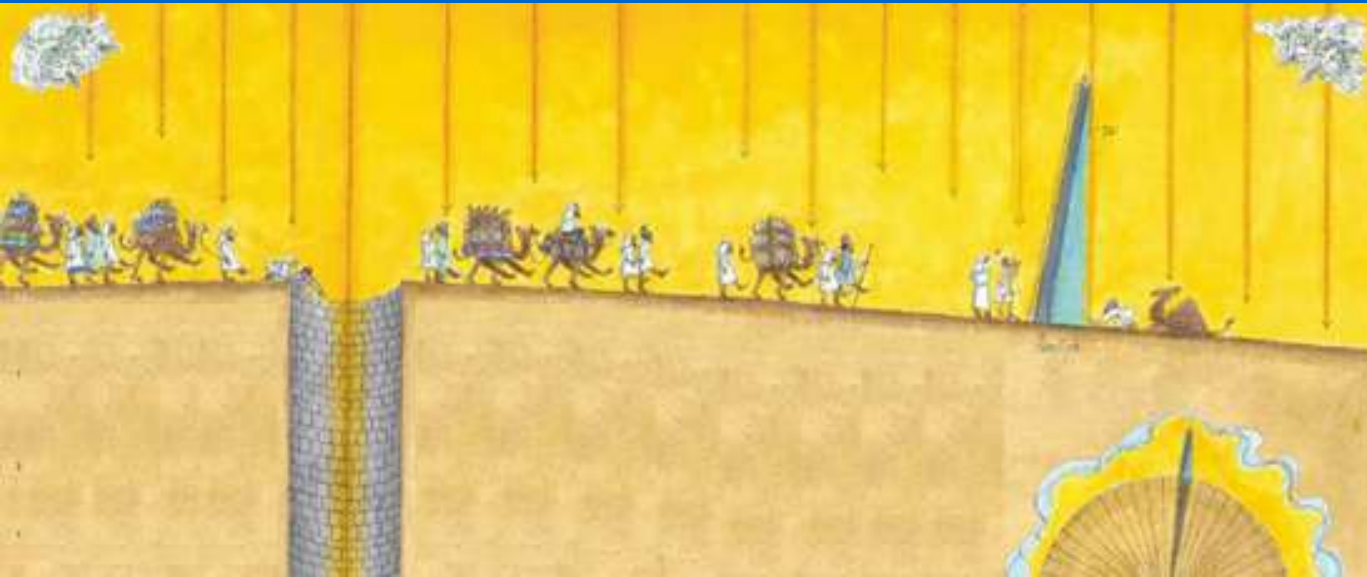
A szögmérés hibája

- Tehát Kleomedész alapján: $n=50$
- Kr.e. 230 körül a Rák-térítő földrajzi szélessége: $23^{\circ} 43'$
- Az Alexandriai könyvtár földrajzi szélessége: $31^{\circ} 12'$
- $\alpha = 7^{\circ} 29' = 7,48^{\circ}$
- eltérés Eratosthenésztől: $0,28^{\circ}$
- ebből: $n=48,128$

Az alexandriai könyvtár romjai



nében



Syénében nem történt mérés, mivel alapfeltevés volt, hogy a Ráktérítőn található. A nilométerben megcsillanó napfény története csak mese.



A fáraó palotája Syeneben



A távolság mérésének „műszere”



- Statisztika: egy karaván napi 100 stadion távolságot tud megtenni
- Statisztika: Syéne – Alexandria: 50 nap utazás
- Így a két város távolsága 5000 stadion



És hogyan számolt Eratoszthenész?

- A középponti szög $1/50$ -ed része a 360° -nak
- Ezért az ív hosszánál 50-szer nagyobb a Föld kerülete: 250 000 stadion
- 1° szélességnek egész számú stadion feleljen meg \Rightarrow 252 000 stadion
($1^\circ = 700$ stadion)
(ez $n = 50,4$ -nek felel meg!)
- Ebből a **Föld sugara: 40 107 stadion**

De mi is az a stadion?

Stadion fajtája	1 stadion méterben
Attikai	164 m
Olympiai	192 m
Delphoi	178,2 m
Görög és Római	185 m
Egyiptomi	157,2 m

A rómaiakat zavarta a sokféle „stadion”, ezért szabványosították az átváltásokat (Plinius, Censorinus). Innen tudjuk a hosszukat.

A távolság 1. kérdése

- Nem ismert, hogy melyiket stadiont használhatta. Mivel Athénban tanult és Alexandriában dolgozott, a görög-római valamint az egyiptomi a legvalószínűbb
- A művei Görög és Római közvetítéssel maradtak fenn, lehet, hogy akkor átváltották görögre?
- Google Föld alapján a távolság az alexandriai könyvtár és a syénei palota között 842 km.

Stadion fajtája	5000 stadion	Eltérés GF-től	Eltérés GF-től %
görög és római	925 km	83 km (hosszabb)	10,0 %
egyiptomi	786 km	56 km (rövidebb)	- 6,5 %

„Világtérkép”

Kr.e. 440

(Randall Stephens 2010)



A távolság 2. kérdése

- Eratoszthenész figyelembe vette-e a Nílus kanyarulatait?
- A Nílus menti karavánút hossza Google-ből 1080 km.

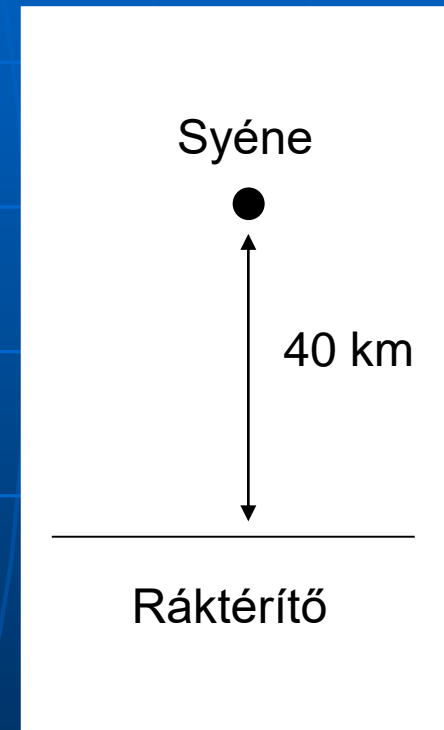
Stadion fajtája	5000 stadion	Eltérés GF útvonal-tervtől	Eltérés GF útvonal-tervtől %
görög és római	925 km	155 km (rövidebb)	14,4 %
egyiptomi	786 km	294 km (rövidebb)	27,2 %



Eratoszthenész távolsága sokkal jobban hasonlít a legrövidebb vonalhoz, így gyanítható, hogy figyelembe vette az útvonal alakját. Vagy ha nem, akkor a karavánok több, mint napi 100 stadiont tettek meg!

A 2. alapfeltevés hibája: térítő hiba

- Jelenleg Syéne a Ráktérítőtől kb. 70 km-re északra található. A mérés viszont a Ráktérítőt feltételezi, ez távolságmérési hibát okoz. (Syénében nem is volt zenitszög mérés)
- A planetáris precesszió hatására az ekliptika és az egyenlítő szöge változik, ezért a térítő helyzete az időben változó
- Kiszámítható a változás, Eratoszthenész idejében Syéne 40 km-rel volt a térítőtől északra.
- (i.e. 3835-ben volt a Ráktérítő Syénében, kb. 22 125-ben lesz megint ott)



A 3. alapfeltevés hibája: meridián hiba

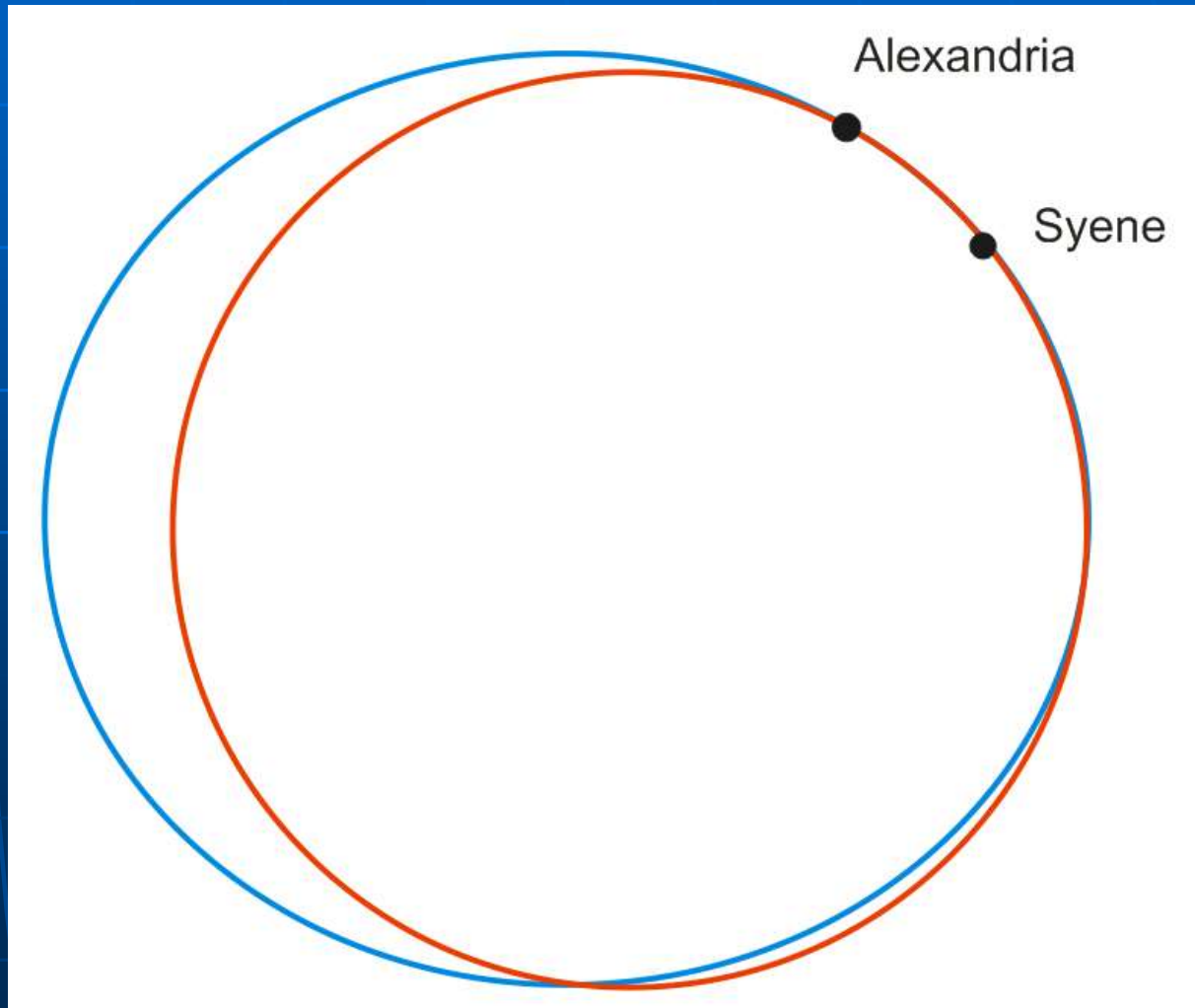
- Alapfeltevés hibája, hogy a két város azonos meridiánon van. Ez távolsági hibaként jelentkezik.

Az eredeti 5000 stadion így 4683 stadionra mérséklődne.



Mihez hasonlítsuk az eredményt?

- Nem szabad egy teljes „földi gömbhöz” hasonlítani, mivel csak egy rövid egyiptomi ívszakasz alapján lett meghatározva.
- Gyakorlatilag egy olyan gömbhöz kell hasonlítanunk, ami az Alexandria-Siene íven legjobban illeszkedik az ellipszoidhoz. **Ennek sugara = 6 350 km.**



Az eredmények értékelése

			Összehasonlítva a símulógömbbel	
	R görög (km)	R egyipt (km)	görög hiba %	egyiptomi hiba %
Símulógömb:	6350			
Eratosthenes kerekítve	7420	6305	-16,85	0,71
Eratosthenes eredeti	7361	6255	-15,92	1,50
Térítőhiba javításával	7679	6573	-20,93	-3,50
hiba hatása [km]:	-318	-318		
Meridiánhiba javításával	6894	5858	-8,57	7,74
hiba hatása [km]:	467	397		
Térítő és meridiánhiba közös javításával	7212	6176	-13,58	2,74
közös hatásuk [km]:	149	79		
Szögmérési hiba figyelembevételével	6942	5945	-9,33	6,38
hatása [km]:	419	310		

Az eredmények értékelése

- Figyelembe vehette a Nílus kanyarulatait a legrövidebb távolság meghatározására!
- Sokkal jobb eredményt ad, ha az egyiptomi stadiont használjuk. Mivel Eratoszthenész Alexandriában dolgozott, valószínű, hogy ezt használta, a görög fordítók pedig átvették tőle, átváltások nélkül!
- Nagy szerencséje, hogy a különböző hibák és kerekítések kiejtik egymást!

Eratoszthenész emléke

- Az ókori szerzők mindegyike átvette Eratoszthenész földrajzi eredményeit (a Föld sugarának ismeretében megadta több város távolságát is), amelyet még a középkorban is használtak
- Krátert neveztek el róla a Holdon



Eötvös 100 emlékévé



Eötvös Lóránd elnöki beszédéből (MTA, 1901. május 12.):

„Aristoteles korában azonban már általánosan elfogadott volt az a nézet, hogy a Föld gömbalakú, s e nézettel együtt megszületett a fokmérés feladata.”

...

„A történet bizonyossága szerint úgy látszik, hogy az alexandriai Eratosthenes volt az első a Kr. születése előtti harmadik században, aki a feladatot mai értelemben megoldotta.”

1848.júl.27 – 1919.ápr.8.

Felhasznált irodalom

- **Ball J** (1942): Egypt in the classical geographers. Government Press, Bulaq. Cairo. 203.
- **Eötvös L** (1901): Elnöki megnyitó beszéd. Akadémiai Értesítő, 1901, 261-269.
- **Forisek P** (2003): Censorinus és műve a De Die Natali. PhD értekezés, Debrecen.
- **Holland P** (1847): Pliny's Natural History. George Barclay. Cambridge. 718.
- **Joannis S G** (1810): Censorinus: Die Natali. Apud J.L.S. Lechner. Norimbergae. 216.
- **Kürti V** (1948): Az ókor mértékegységei. Geodéziai Közlöny, XIV, 11-12. füzet, 173-174.
- **Strabón** (1977): Geógraphika. Gondolat kiadó. Budapest. 1002.
- **U.S.** (1989): Naval Observatory, Nautical Almanac Office - H.M. Nautical Almanac Office. *The Astronomical Almanac for the Year 1990*. U.S. Govt. Printing Office. Washington. 551.
- **Varga J** (1988): Alaphálózatok I. (Vetülettan). Tankönyvkiadó. Budapest. 296.
- **Ziegler H** (1891).: Cleomedis: De motu circulari corporum caelestium libri duo. In Aedibus D.B. Teubneri. Lipsiae. 273.
- **Randall S** (2010): Roundup: Maps through Time.
<http://histsociety.blogspot.com/2010/03/roundup-maps-through-time.html>

Köszönöm a figyelmet