

# Fizikatörténet

## A newtoni mechanika

Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.0**

# Bevezetés

[AFKT 3.7.1](#)[AFKT 3.7.5](#)

## Mechanikai előzmények:

- Az arisztotelészi mechanika megingatása: Oresmius, Buridan, Stevin, Galilei.
- Relativitási elv: Oresmius, Galilei, Descartes, Huygens.
- A természetes állapot a mozgás, nem a nyugalom: Buridan, Beeckman, Galilei, Descartes.
- Az impetus fogalma: Buridan, Beeckman, Huygens.

## Matematikai előzmények: (Sajnos nincs időnk rá...)

- Descartes koordináta-geometriája.
- Differenciál- és integrálszámítás kezdetei (Newton, Leibnitz, Fermat, kiegészítő anyag: [AFKT 4.1.4](#))

# Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687)

## A nagy áttörés.

Saját ötlet: egy idő alatt  $m\underline{v}$  megváltozása az erő és az idő szorzata. Mai jelölésekkel:

$$\Delta(m\underline{v}) = \underline{F}\Delta t$$

Ez az impetus fogalmából indul ki, de átrendezhető arra az alakra, ahogy ma ismerjük:

$$\frac{\Delta(m\underline{v})}{\Delta t} = \underline{F} \quad \Rightarrow \quad m \frac{\Delta \underline{v}}{\Delta t} = \underline{F} \quad \Rightarrow \quad m \underline{a} = \underline{F}$$

(Majd Euler fogalmazza meg a mai alakban kicsit később.)

Érdekesség: főként geometriai bizonyítások, mert a differenciálszámítás még nem annyira közismert.

# A Principia eredményei

## Sikeresen megoldott problémák:

- Esés, hajítás.
- Bolygómozgás, egyetemes tömegvonzási törvény.
- Miért nem érezzük a Föld forgását?
- Inerciarendszerek vizsgálata.
- Lövedékek befúródási mértéke.
- Ütközési problémák.

# A Principia eredményei

## Sikeresen megoldott problémák:

- Esés, hajítás.
- Bolygómozgás, egyetemes tömegvonzási törvény.
- Miért nem érezzük a Föld forgását?
- Inerciarendszerek vizsgálata.
- Lövedékek befúródási mértéke.
- Ütközési problémák.

Egységes földi-égi dinamika: mesterséges holdak ötlete.

Következetes gondolkozás: "Hipotéziseket nem fabrikálok!"

Minimális számú okkal próbál mindent magyarázni.

Jellegében axiomatikus elmélet: kevés alapelv, rengeteg pontos következtetés.

# A bolygómozgás magyarázata

Newton megtalálta a Kepler-törvények magyarázatát:  
dinamika alaptörvényei + az általános tömegvonzás törvénye  
**Általános tömegvonzás:** Két test közt ható vonzóerő nagysága:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ahol  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$  SI-egység,  $r$  a testek távolsága.  
Ezekből levezette a Kepler-törvényeket és a bolygópályák lassú torzulásaira is magyarázatot adott.

# A bolygómozgás magyarázata

Newton megtalálta a Kepler-törvények magyarázatát:  
dinamika alaptörvényei + az általános tömegvonzás törvénye  
**Általános tömegvonzás:** Két test közt ható vonzóerő nagysága:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ahol  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$  SI-egység,  $r$  a testek távolsága.

Ezekből levezette a Kepler-törvényeket és a bolygópályák lassú torzulásaira is magyarázatot adott.

Ráadásul kiderült, hogy ugyanez az erő okozza a tárgyak esését a Föld közelében. (Newton almája.)

Elvi jelentőség: **Égi és földi mozgások azonos természetűek.**

# Az általános tömegvonzás: távolba hatás?

A kor felfogása szerint erőt csak közvetítő test adhat át.

Newton szerint a gravitációnak nincs közvetítője, ez egy **"távolba hatás"**.

Ezt nehezen fogadta el a közvélemény és maga Newton is.

Elméleti próbálkozások:

- a gravitációt kis repkedő részecskék elnyelése okozza
- a gravitáció valami finom, mindenütt jelen levő közeg áramlása okozza

Mindegyik csak részleges sikereket tudott elérni.

Newton: "Hipotéziseket nem fabrikálok."

(Majd Einstein adja meg a gravitáció működési módját.)



# Amivel Newton adós maradt

(Nem szép dolog erről beszélni, mert annyi eredményt ért el, de muszáj.)

## Adósságok, hiányok:

- Pontos matematikai alapozás a differenciál- és integrálszámításhoz még hiányzik.
- Csak tömegpontokkal foglalkozik, kiterjedt testekkel, közegekkel nem.
- Nem adja meg a közvetítő közeg nélküli gravitációs vonzás okát. (Sokan kritizálták érte, mert okkultnak tartották a távolba hatást.)

## Egyebek Newtonról

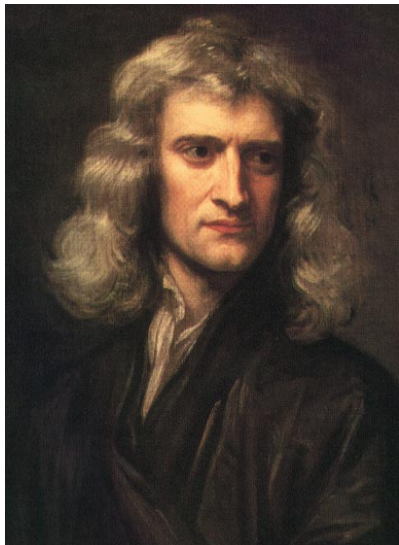
**Sikeres, sztárolt ember.** Politikai karrier, nemesi rang, nagy elismertség már életében.

**Széles érdeklődési kör.** Fizikai munkáin kívül (ld. később) aranycsinálással is próbálkozott, több vallási témájú írása is fennmaradt. (Hívő keresztény volt.)

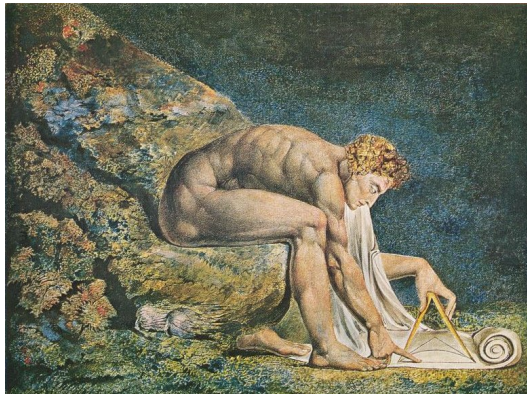
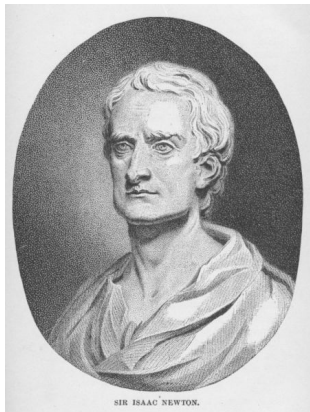
**Magánélet.** Szinte semennyi. Se felesége, se szeretője. Úgy tűnik, csak a tudomány érdekelte.

**Hatás a filozófiára.** Jelentős hatása volt a filozófiára. Pl. a newtoni elmélet szerint a jövő előre kiszámolható. Érdekesség: a materialista filozófusok kovácsolnak tőket természettudományi sikereiből.

# Hogy nézett ki Newton?



...



# Bevezetés

Newton lerakta az alapokat, de sok mindent kellett még megoldani.

- az elmélet használhatóbbá tétele
- folyadékok és gázok dinamikája
- kiterjedt testek mozgása
- ez az egyetlen lehetséges mechanikai elmélet?
- mi a tömegvonzás oka?
- ....

A sikerek és a megfigyelési pontosság miatt nemigen firtattak pár kérdést:

- Valóban állandó a testek tömege?
- A tér és az idő valóban eleve adott színtere a testek mozgásának?
- Van-e kitüntetett vonatkoztatási rendszer?

# Leonhard Euler (1701–1783)

## AFKT 4.2.2

### Fő mechanikai eredmények:

Sok fogalmat tisztáz: tömegpont, gyorsulás komponensei, logikus jelölések.

A Newton-törvények mai formáját Euler adja meg.

Folytonos közegek mozgásának alapjai.  
Pl. súrlódásmentes gázok alapegyenlete ma is "Euler-egyenlet".

Merev testek mozgása, pörgettyű.

Ő teszi igazán használhatóvá a newtoni mechanikát.



# Variációs elvek a mechanikában

**AFKT 4.2.3**, **AFKT 4.6.5** (Hamiltonra vonatkozó rész)

A newtoni mechanika szemlélete **differentiális** vagy **lokális** szemlélet:

A testnek egy időpontban van helye, sebessége, a rá ható erő meghatározza a sebességet, és ennek megfelelően a test továbbmegy valamerre valamilyen megváltozott sebességgel. **A mozgás kis helyen, pontról pontra dől el.**

# Variációs elvek a mechanikában

**AFKT 4.2.3**, **AFKT 4.6.5** (Hamiltonra vonatkozó rész)

A newtoni mechanika szemlélete **differenciális** vagy **lokális** szemlélet:

A testnek egy időpontban van helye, sebessége, a rá ható erő meghatározza a sebességet, és ennek megfelelően a test továbbmegy valamerre valamilyen megváltozott sebességgel. **A mozgás kis helyen, pontról pontra dől el.**

**Variációs szemlélet:** két pont között sokféle út lehetséges, és az valósul meg, mely mentén egy mennyiség összegyűjtött értékei a legkisebb vagy a legnagyobb értéket veszik fel. **A mozgás valamilyen globális optimumot keres.**



# Variációs elvek a mechanikában

**AFKT 4.2.3**, **AFKT 4.6.5** (Hamiltonra vonatkozó rész)

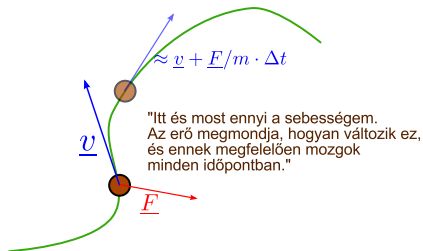
A newtoni mechanika szemlélete **differentenciális** vagy **lokális** szemlélet:

A testnek egy időpontban van helye, sebessége, a rá ható erő meghatározza a sebességet, és ennek megfelelően a test továbbmegy valamerre valamilyen megváltozott sebességgel. **A mozgás kis helyen, pontról pontra dől el.**

**Variációs szemlélet:** két pont között sokféle út lehetséges, és az valósul meg, mely mentén egy mennyiség összegyűjtött értékei a legkisebb vagy a legnagyobb értéket veszik fel. **A mozgás valamilyen globális optimumot keres.**

Lehetséges ez? Igen!

# A lokális és globális szemlélet



Lokális szemlélet



Globális szemlélet

A két felfogás teljesen más alapelvű.

# A mechanikai variációs elvek története

Pierre-Louis Maupertuis (1698–1759)

Minimális hatás elve:

$$\int_{P_1}^{P_2} (mv) ds = \text{szélsőért.}$$

# A mechanikai variációs elvek története

**Pierre-Louis Maupertuis** (1698–1759)

Minimális hatás elve:

$$\int_{P_1}^{P_2} (mv) ds = \text{szélsőért.}$$

Több hasonló elv az évek alatt. (Pl. D’Alambert, Lagrange).

**William Rowan Hamilton** (1805–1865):

$$\int_{t_1}^{t_2} L dt = \text{szélsőért.}$$

ahol  $L$  a “Lagrange-fgv.” Ez normál mozgásokra a mozgási és helyzeti energia különbsége.

# A variációs elvek jelentősége

Matematikai részletekbe nem tudunk menni. A lényeg:

- Kiderült, hogy a variációs elvek **matematikailag egyenértékűek a differenciális alakkal** ( $F = ma$ -val).
- Filozófiai nehézségek: most akkor mi az alaptörvény? Mit követ a természet?
- Sok esetben a variációs elvekkel lehetett jól feladatot megoldani.
- A kvantummechanika előkészítése.

# Az égi mechanika Newton után

## Elmélet:

Az alapokat Newton lerakta, de a konkrét problémák bonyolultak.

Számtalan pontos bolygómozgási elmélet (Laplace, Lagrange, Gauss): felhasználás a navigációban.

Neptunusz felfedezése (Le Verrier, Galle, 1846.), stb.

A korábban kritizált "távolbahatást" mindenki tényként fogadja el.

# A téma fontossága

Tudománytörténeti kulcsszerep: tekintsük át újra!

Sok ismételés, néhány új tény.

# A Föld gömb alakú

A görög tudósok egyértelműen a Föld gömb alakjában hittek.

- Föld görbületének megfigyelése tengeren. (Távolodó hajók.)
- A Föld árnyéka a Holdon mindig kör alakú.
- A gömb a "tökéletes alak".
- Eratoszthenész, Ptolemaiosz: a Föld kerülete 30–40 000 km.



# A Föld gömb alakú

A görög tudósok egyértelműen a Föld gömb alakjában hittek.

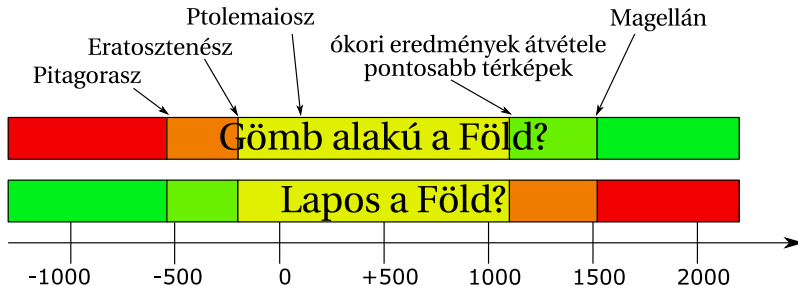
- Föld görbületének megfigyelése tengeren. (Távolodó hajók.)
- A Föld árnyéka a Holdon mindig kör alakú.
- A gömb a "tökéletes alak".
- Eratoszthenész, Ptolemaiosz: a Föld kerülete 30–40 000 km.

Középkor: átveszik a görög eredményeket. (És sejtik, hogy nem pontosan gömb alakú.)

Direkt bizonyíték: Magellán utazása (1519–).

Newton: A Föld forgása miatt lapul ki egy kicsit.

# Áttekintés



Jelölés:



# A Föld forgásának kérdése

Görögök: **Elvben lehetséges**, mert a Föld szabadon lebeg.  
**De ha forogna, éreznünk kellene.** (Peripatetikus dinamika.)

**Számoszi Arisztarkosz:** megméri, hogy a Nap nagyobb a Földnél,  
és ezért inkább azt tartja középpontnak.

Oresmius, Buridan és társaink:

- ellentmondások az arisztotelészi mechanikában
- mozgástan alapjai (hely-idő, sebesség-idő grafikonok, stb.)
- a Föld mozgása elképzelhető (fizikailag és teológiaiilag is)

# A Föld forgásának kérdése

**Kopernikusz:** a nap-középpontú rendszer, mint matematikai hipotézis.

**Tycho de Brahe:** pontos megfigyelések, mivel nem érezzük a Föld mozgását, ezért nem lehet ezt feltételezni.

**Kepler:** de Brahe mérései alapján pontosan felméri a bolygópályák valódi alakját.

Egyértelmű számára, hogy a Föld kering a Nap körül, bár ő sem tudja, miért nem érezzük a mozgást.

**Galilei:** Ellentmondások a peripatetikus dinamikában.

Új csillagászati felfedezések: valószínű, hogy a Föld forog és kering.  
(De nem tudja bizonyítani.)

# A Föld forgásának kérdése

**Newton:** a Föld forgásából **elhanyagolható gyorsulás** következik! (A gravitációs gyorsulás 2 ezreléke.)

Ráadásul ezt a Föld enyhe lapultsága nagyrészt kompenzálja.

**Ezért nem érezzük a Föld forgását.**

Hasonló a helyzet a Föld keringésével kapcsolatban is.

# A Föld forgásának kérdése

**Newton:** a Föld forgásából **elhanyagolható gyorsulás** következik! (A gravitációs gyorsulás 2 ezreléke.)

Ráadásul ezt a Föld enyhe lapultsága nagyrészt kompenzálja.

**Ezért nem érezzük a Föld forgását.**

Hasonló a helyzet a Föld keringésével kapcsolatban is.

Newton elmélete égi és földi mozgásokra egyaránt nagyon sikeres.  
Ez után senki sem kételkedik abban, hogy forog a Föld.

Történet vége? Nem! **Még hiányzik a direkt kísérleti bizonyíték.**

# A Föld keringésének közvetett bizonyítékai

- 1728, Bradley: aberráció.  
Föld kb.  $1/10000$  fénysebességgel kering, ezért a mozgásra merőleges irányban nézve kicsit eltolódni látszanak a csillagok. (Kb.  $20''$ -nyit.)
- 1838, Bessel: csillagparallaxis  
A földpálya miatt a közeli csillagok elmozdulni látszanak a távoliak háttére előtt.

Ezek fontos bizonyítékok, de még csillagászatiak, azaz nem felszíni mérések.

## Jelenségek a forgó Földön

Newton elmélete alapján megválaszolható: **Milyen speciális hatások következnek a Föld forgásából?**

Válasz: un. **tehetetlenségi erők**.

**Gaspard-Gustave Coriolis (1792–1843):** elmélet arról, mi is történik pl. a forgó Földön.

Coriolis-erő: a forgó vonatkoztatási rendszerekben az egyes pontok eltérő szögsebességéből származó látszólagos erő.

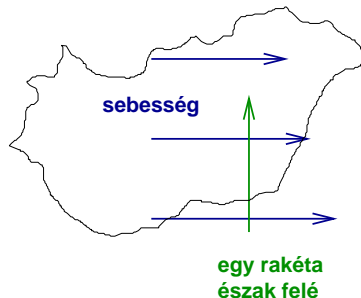
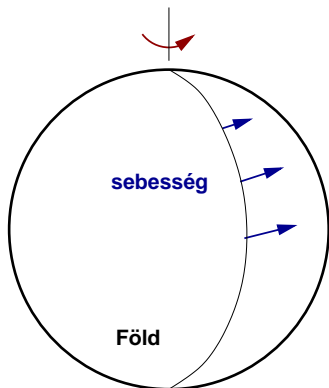
Ez nagyon kicsi erő. Pl. egy  $100 \text{ m/s} = 360 \text{ km/h}$  sebességű Forma-1-es autó esetén a súlyának  $0,1\%$ -a.

Az elmélet nem túl egyszerű, a kísérleti kimutatás nehéz.



# A testek jobbra kanyarodása

Szemléletes magyarázat:

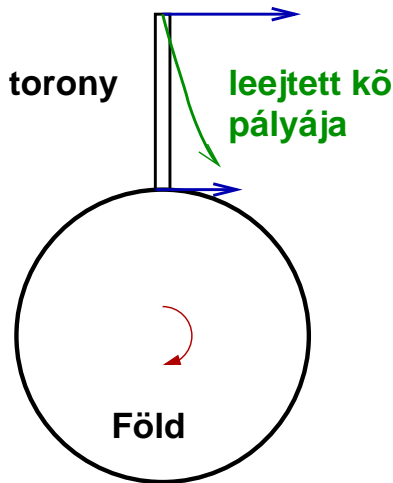


(Az első, több száz kilométeres rakétáknál tapasztalták.)

## A testek keletre esése

A magas torony teteje nagyobb sebességű, mint az alja. Ezért az eső test kicsit keletre tér el.

Nehéz kimérni. (Pl. a szél miatt.)



# A Foucault-inga

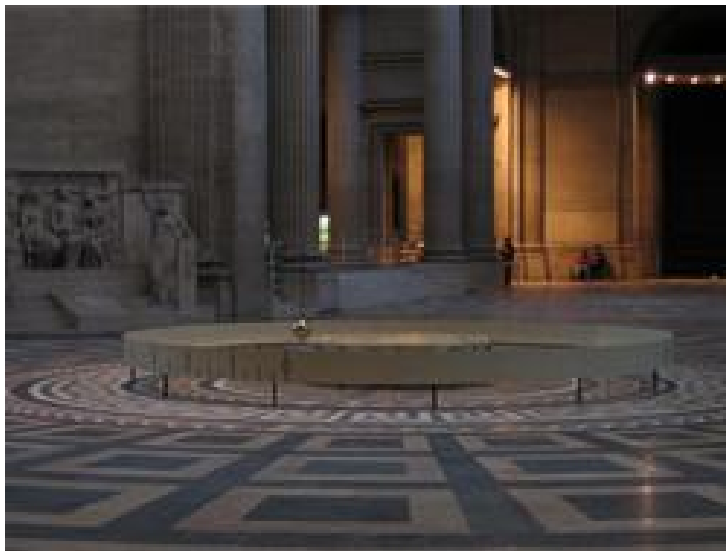
Léon Foucault (1819–1868)

Látványos, hatásos demonstráció a Föld forgásáról: 1851.

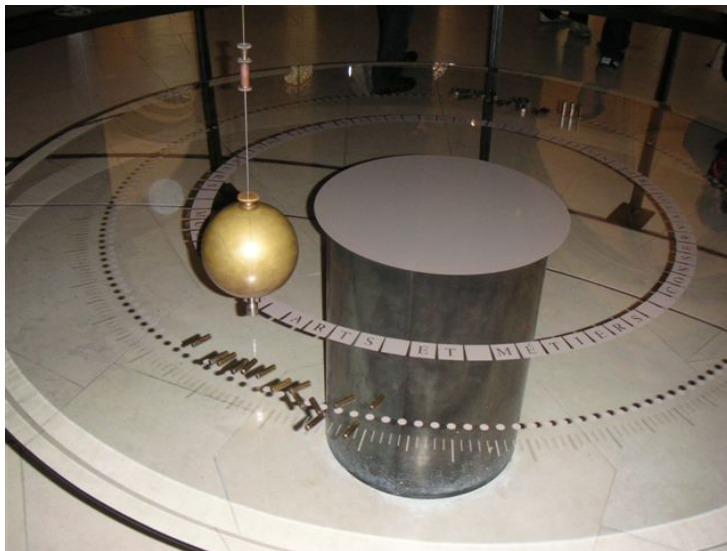
Lényeg: egy inga lengési síkja a Coriolis-erő miatt lassan elfordul.

Ez az első direkt bizonyítéka a Föld forgásának!

# Az eredeti Foucault-inga rekonstrukciója

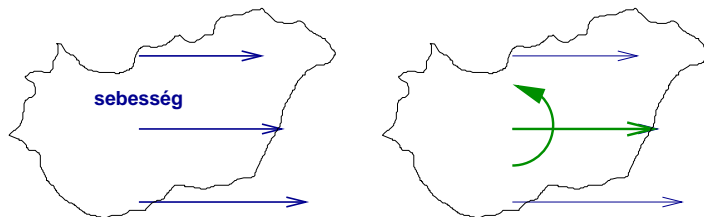


# Az eredeti Foucault-inga rekonstrukciója



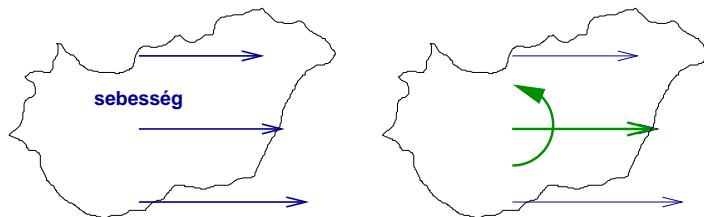
# A Foucault-inga elfordulásának oka

A Földdel együtt forgó rendszerben: a Coriolis-erő.  
Kívülről nézve: a felszín forog is, mert pontjai eltérő kerületi sebességgel mozognak.



# A Foucault-inga elfordulásának oka

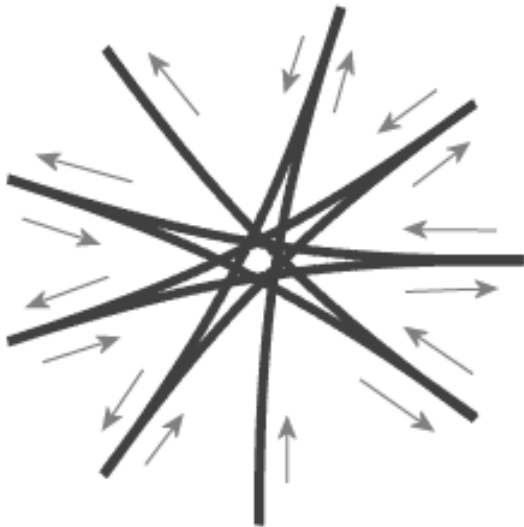
A Földdel együtt forgó rendszerben: a Coriolis-erő.  
Kívülről nézve: a felszín forog is, mert pontjai eltérő kerületi sebességgel mozognak.



Ez az északi és déli sarkon a legerősebb, ez egyenlítőn nem jelentkezik.

Minálunk ez egy kb. 33 óra periódusidejű forgásnak felel meg.

# A Foucault-inga mozgása





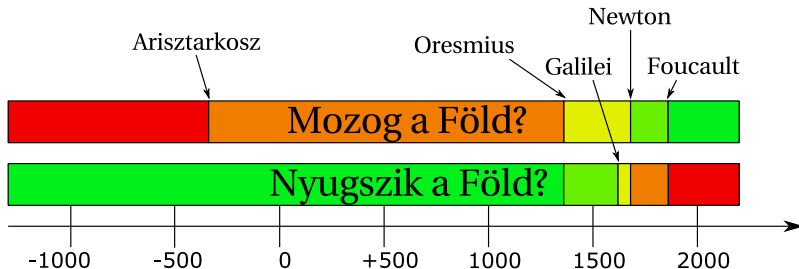
## Mi kell a sikeres kísérlethez?

- Nagy méret, tömör súly: a közegellenállás hatása lassan jelentkezzen.
- Minden irányban szabad felfüggesztés: ne befolyásolja a lengés síkját.
- Zárt tér: a szél ne zavarjon.
- Gondos indítás: oldalt ne imbolyogjon.

Ezek megoldhatók. (Igaziból már a görögök meg tudták volna csinálni...)

A Kutatók Éjszakáján mi is többször bemutattuk.

# Összefoglalás



# A newtoni mechanika “vége”

Az 1800-as évek végén több olyan mérés született, mely a newtoni mechanika alapján nem volt értelmezhető.

- mozgás a fény sebessége közelében
- atomi méretű testek mozgása
- nagy tömegű testek közelében való mozgás

Ezekből nőttek ki a **relativitáselmélet** és a **kvantummechanika** tárgyai. (Lásd később.)

## A newtoni mechanika “vége”

Az 1800-as évek végén több olyan mérés született, mely a newtoni mechanika alapján nem volt értelmezhető.

- mozgás a fény sebessége közelében
- atomi méretű testek mozgása
- nagy tömegű testek közelében való mozgás

Ezekből nőttek ki a **relativitáselmélet** és a **kvantummechanika** tárgyai. (Lásd később.)

Azért a newtoni mechanika nem dobandó ki:

- a gyakorlati esetek többségében jó közelítést jelent
- a relativitáselmélet és a kvantummechanika megmutatta pontos értelmezési körét