

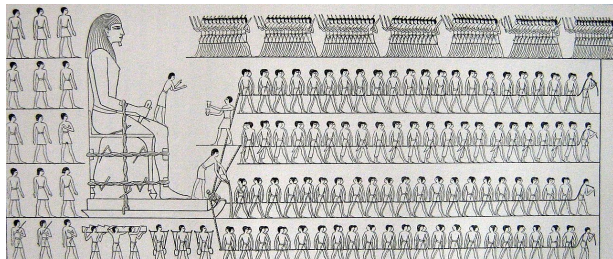
# Fizikatörténet

## Az ókori mechanika

Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.5**

# Bevezetés



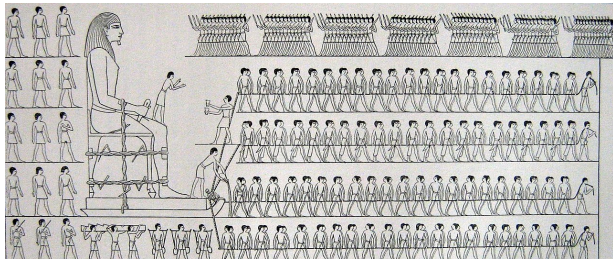
Az ókorban sok **gyakorlati problémát** jól oldottak meg.

Biztos, hogy volt érzékük a mechanikához.

A **mechanika elméleti része**:

- sok kultúráról nem maradtak fenn a mechanikai elméleteik
- görög kultúra: jó eredmények a statikában, de a mozgásokba belezavarodtak

## Bevezetés



Az ókorban sok **gyakorlati problémát** jól oldottak meg.

Biztos, hogy volt érzékük a mechanikához.

A **mechanika elméleti része**:

- sok kultúráról nem maradtak fenn a mechanikai elméleteik
- görög kultúra: jó eredmények a statikában, de a mozgásokba belezavarodtak

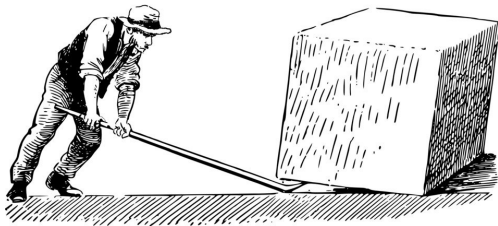
**Hiányok oka:**

- a problémakör nehéz
- matematikai alapok hiányosak
- nincs kellő motiváció a fejlődésre

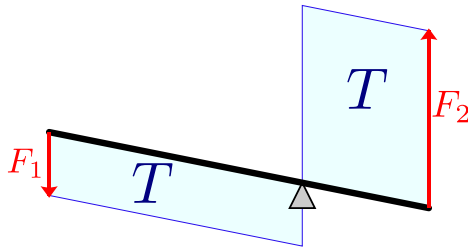
## Alapelvek

Statika **jól leírható geometriával**  $\Rightarrow$  Jelentős görög statikai eredmények.

**Kétkarú emelők:** őskortól ismertek.



Általános törvények: **Arkhimédész.**



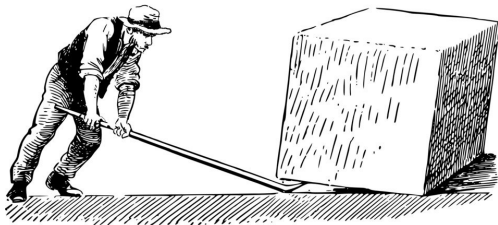
Emelőtörvény megfogalmazása geometriailag:

**Egyensúlyban az erő és az erőkar által meghatározott téglalap vagy paralelogramma területe azonos.**

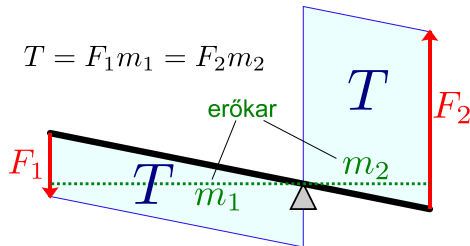
# Alapelvek

Statika jól leírható geometriával  $\Rightarrow$  Jelentős görög statikai eredmények.

**Kétkarú emelők:** őskortól ismertek.



Általános törvények: **Arkhimédész.**



## Emelőtörvény megfogalmazása geometriailag:

Egyensúlyban az erő és az erőkar által meghatározott téglalap vagy paralelogramma területe azonos.

(Ezt ma a forgatónyomatékok egyensúlyaként fogalmazzuk meg. Belátható: a forgatónyomaték a jelölt területtel arányos.)

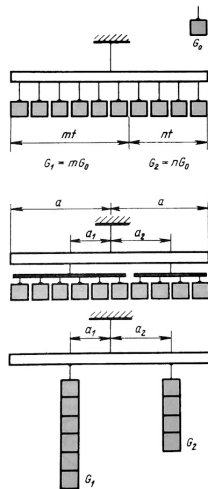
## Arkhimédész és az emelők

Arkhimédész felhasználja a korábbi eredményeket és egységes, axiomatikus rendszerbe foglalja össze.

Pontos részletek elvesztek. Későbbi kommentárok alapján az alapelvek:

1. Szimmetrikusan terhelt emelő egyensúlyban van.
2. A test súlyának ereje a felfüggesztés helyén hat.
3. Nem változik az egyensúly, ha egyenlő terheket egyenlő mértékben mozgatunk ellentétes irányban az emelőn.

Ezekből **Arkhimédész** rájön a ma “súlypont”-nak nevezett fogalomra!



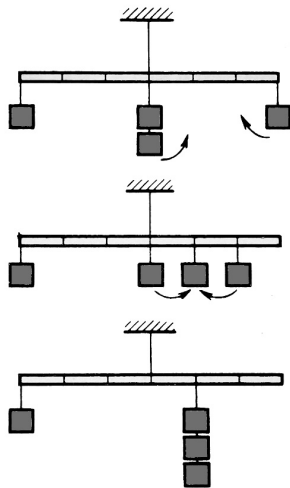
## Arkhimédész és az emelők

Arkhimédész felhasználja a korábbi eredményeket és egységes, axiomatikus rendszerbe foglalja össze.

Pontos részletek elvesztek. Későbbi kommentárok alapján az alapelvek:

1. Szimmetrikusan terhelt emelő egyensúlyban van.
2. A test súlyának ereje a felfüggesztés helyén hat.
3. Nem változik az egyensúly, ha egyenlő terheket egyenlő mértékben mozgatunk ellentétes irányban az emelőn.

Ezekből **Arkhimédész rájön a ma “súlypont”-nak nevezett fogalomra!**

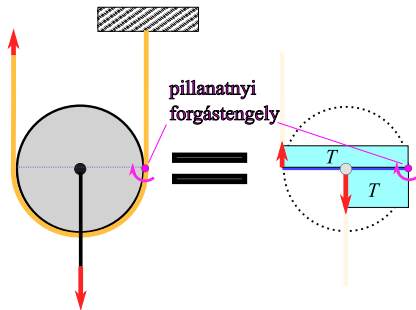
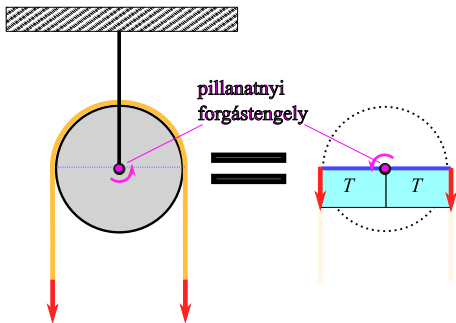


## Csigák elmélete

Csigákat korábban is használtak.

Arkhimédész zseniális meglátása:

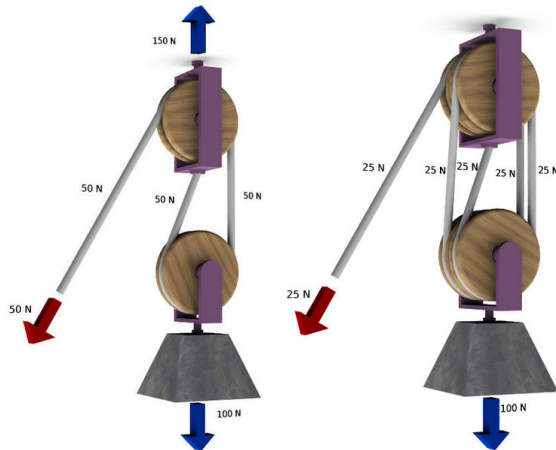
A csigák mozgása pillanatnyi forgástengelyek körül történik. Az emelőkhöz hasonlóan írhatók le az erők.





## Egyszerű gépek

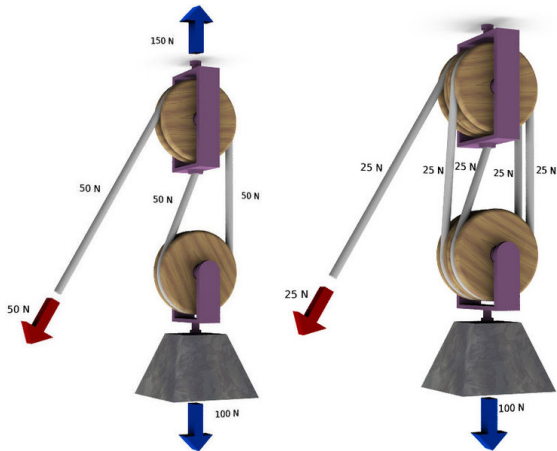
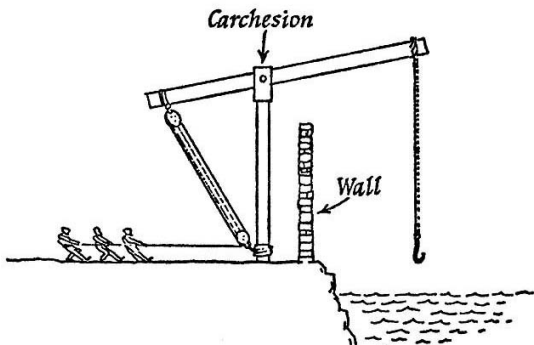
Csigákból komplett csigasorokat tervezett és épített: **Erősokszorozó gépek!**



## Egyszerű gépek

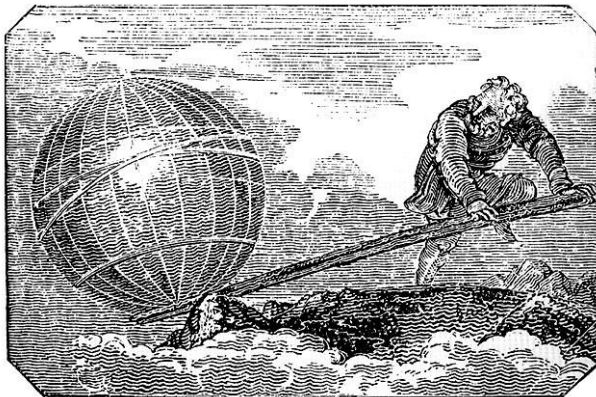
Csigákból komplett csigasorokat tervezett és épített: **Erősokszorozó gépek!**

Nevezetes felhasználás: tengerről ostromlott városból darukkal hajók elkapása és kiemelése a vízből.



## Egyszerű gépek

Arkhimédész: “Adjatok a földön kívül egy biztos pontot, és kifordítom sarkából a világot.”



Sok egyéb gép, pl. szivattyú, fogaskerék, ... is Arkhimédésztől származik.

# Ókori kinematika

## AFKT 1.2.3

A görögök nehezen tudták kezelni a mozgás fogalmát. (Geometriával nem tudták leírni.)

**Zénón** (i.e. 490–430) paradoxonjai: látszólagos ellentmondások a mozgás fogalmával kapcsolatban.

A kudarcok miatt feladták a mozgások megértését.

# Ókori kinematika

## AFKT 1.2.3

A görögök nehezen tudták kezelni a mozgás fogalmát. (Geometriával nem tudták leírni.)

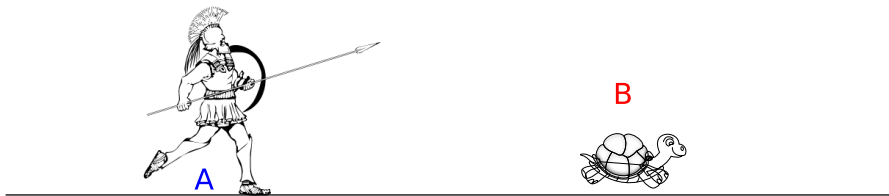
**Zénón** (i.e. 490–430) paradoxonjai: látszólagos ellentmondások a mozgás fogalmával kapcsolatban.

A kudarcok miatt feladták a mozgások megértését.

Szélsőséges példa: **Gorgiasz**: “Semmi sem létezik; de ha léteznék is, nem lenne megismerhető; de ha megismerhető lenne is, nem lenne közölhető.”

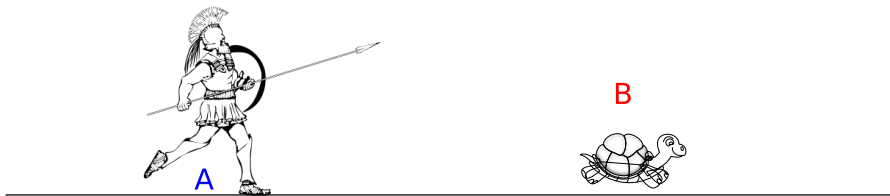
# Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

Állítás: A gyors Akhilleusz nem éri utol a teknősbékát, ha annak volt előnye kezdetben.



## Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

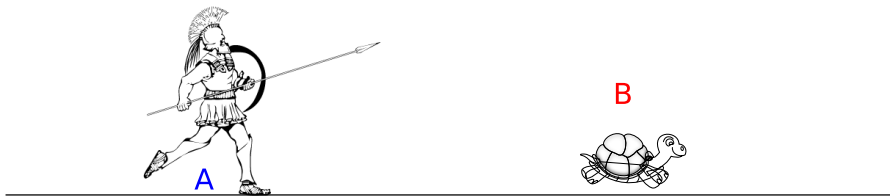
Állítás: A gyors Akhilleusz nem éri utol a teknősbékát, ha annak volt előnye kezdetben.



Akhilleusz először azt a pontot kell elérje, ahol a teknős kezdetben tartózkodott. Közben a teknős kicsit előrebbre ment.

## Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

Állítás: **A gyors Akhilleusz nem éri utol a teknősbékát, ha annak volt előnye kezdetben.**



Akhilleusz először azt a pontot kell elérje, ahol a teknős kezdetben tartózkodott. Közben a teknős kicsit előbbre ment. Most a teknős új helyét kell elérni, de közben a teknős megint haladt egy kicsit....



## Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

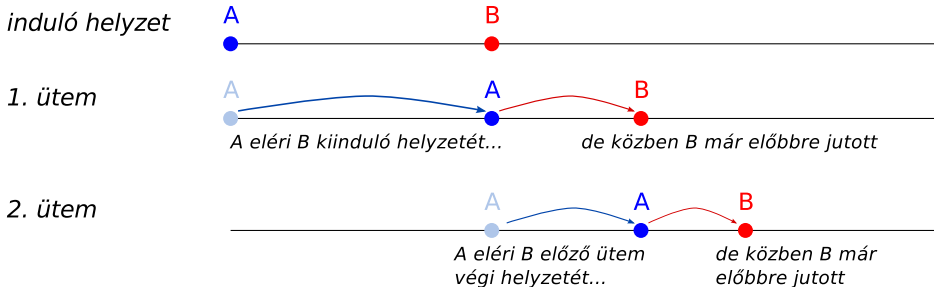
Állítás: A gyors Akhilleusz nem éri utol a teknősbékát, ha annak volt előnye kezdetben.



Akhilleusz először azt a pontot kell elérje, ahol a teknős kezdetben tartózkodott. Közben a teknős kicsit előbbre ment. Most a teknős új helyét kell elérni, de közben a teknős megint haladt egy kicsit.... És így tovább a végtelenségig.

# Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

Rajzban:



... és így tovább a végtelenségig?

Akhilleusz végtelenszer kell utolérje a teknős korábbi helyzetét.  
Végtelen sok időtartam összege meg csak végtelen lehet. (!?)

# Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

De azt tudjuk a gyakorlatból, hogy utoléri és le is előzi!

Zenon (és sok más filozófus): **a mozgás nem írható le a filozófia segítségével.**

## Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

De azt tudjuk a gyakorlatból, hogy utoléri és le is előzi!

Zenon (és sok más filozófus): **a mozgás nem írható le a filozófia segítségével.**

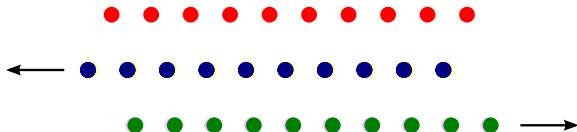
Magyarázat: (mai szemmel)

- **Zenon rossz kódolást használ.** Szövegesen jól hangzik, hogy “Végtelen sok időtartam összege csak végtelen hosszú lehet.”, csak nem igaz!
- Valójában **lehet végtelen sok darab szám összege véges**, ha elég gyorsan csökken a nagyságuk. Pl.  $1 + 0,1 + 0,01 + 0,001 + \dots = 1$ ,  $1,1111\dots = 10/9$ .
- A ugyan véges idő alatt utoléri B-t, de ezt **Zenon végtelen sok, egyre kisebbedő részre osztja az utolérés idejét.**

(Mai eszközök: hely-idő grafikon, mozgásegyenlet. Ezeket nem ismerték.)

## Mozgási paradoxonok: vonuló katonák

Katonai parádén 3 sor katona áll, majd a 2. sor balra, a 3. jobbra indul, az 1. állva marad.

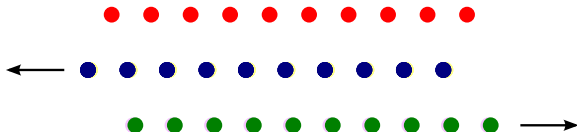


Áll, vagy mozog az 1. sor (piros)?

- A nézők szerint áll.
- A 2. sor katonái szerint jobbra mozog.
- A 3. sor katonái szerint balra mozog.

## Mozgási paradoxonok: vonuló katonák

Katonai parádén 3 sor katona áll, majd a 2. sor balra, a 3. jobbra indul, az 1. állva marad.



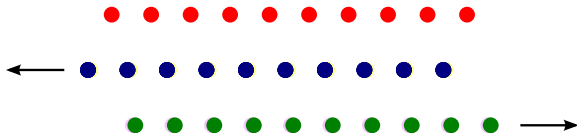
Áll, vagy mozog az 1. sor (piros)?

- A nézők szerint áll.
- A 2. sor katonái szerint jobbra mozog.
- A 3. sor katonái szerint balra mozog.

A mozgás szubjektív, személyfüggő, azaz látszólagos dolog, mint pl. a szépérvék?

## Mozgási paradoxonok: vonuló katonák

Katonai parádén 3 sor katona áll, majd a 2. sor balra, a 3. jobbra indul, az 1. állva marad.



Áll, vagy mozog az 1. sor (piros)?

- A nézők szerint áll.
- A 2. sor katonái szerint jobbra mozog.
- A 3. sor katonái szerint balra mozog.

**A mozgás szubjektív, személyfüggő, azaz látszólagos dolog, mint pl. a szépérzék?**

(Mai feloldás: a vonatkoztatási rendszerekkel. A megfigyelhető mozgás függ a megfigyelőtől, de ezt pontos, objektív törvények írják le.)

## Mozgási paradoxonok: repülő nyíl

Egyszerűsített elmondás:

Bármely pillanatban nézünk a repülő nyíltra, az egy adott helyen tartózkodik.

Tehát **minden egyes időpontban áll**, a tér egy megadott részét tölti ki.

Na de ha mindig áll, akkor **mikor mozog**?



## Mozgási paradoxonok: repülő nyíl

Egyszerűsített elmondás:

Bármely pillanatban nézünk a repülő nyíllra, az egy adott helyen tartózkodik.

Tehát **minden egyes időpontban áll**, a tér egy megadott részét tölti ki.

Na de ha mindig áll, akkor **mikor mozog**?

Alaphiba: az, hogy valami áll, nem is dönthető el egy időpont alatti megfigyelésből, csak egy 0-nál hosszabb időszakasz alatt figyelhető meg.

Könnyű ilyen hibát elkövetni és nehéz cáfolni a rossz kódolás miatt. **A szöveges leírás nem jó kódolás a mechanikában.**

(Mai megközelítés: kinematika, határérték- és differenciálszámítás.)

## A peripatetikus dinamika

AFKT 1.3.2, AFKT 1.3.4

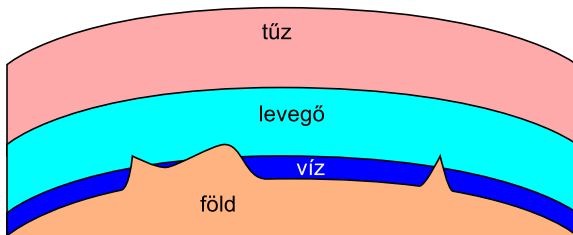
**Arisztotelész** (i.e. 384–322) rendszerezte a dinamikai ismereteket. Sétálás közben (=peripatetomai) tanította tanítványait és ők írták le azt.



## A peripatetikus dinamika alapgondolai

1. Az égi és a földi mozgások más természetűek: az égiek örökké tartanak, a földiek hamar megállnak.
2. A földi tárgyak természetes állapota a nyugalom.
3. A földi tárgyaknak megvan a természetes helye.

Az “egek” nem a 4 alapelemből, hanem egy ötödikből az “éterből” vannak.  
A földön a természetes helyet az alapelemek határozzák meg:



Miért esik le a felemelt, de elengedett kő? Mert vissza akarja állítani a természet rendjét! (A föld alapelemből áll nagyrészt.)

# Mozgástípusok a peripatetikus dinamikában

Mozgástípusok Arisztotelész szerint:

- 1) **Égi mozgások:** “örök rend” szerinti mozgások a tökéletes, azaz körpályán. A kör önmagába záródik, végtelenségig tarthat.
- 2) **Földi mozgások:**
  - 2a) Élőlények mozgása: minden földi mozgás forrása csakis élőlény lehet.
  - 2b) Természetes mozgás: a megzavart rend helyreállítására való törekvés.
  - 2c) Kényszerített mozgás: amikor egy mozgó tárgy kényszerít mozogni egy másikat.

Ezek az elvek az ókori ember tapasztalataival egybecsengtek!

## A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

A görögök szövegben fogalmaztak meg mindent.

“Egy test annál gyorsabban megy, minél nagyobb a rá ható kényszererő, és minél kisebb a mozgással szembeni ellenállás.”

Ma így írnánk le:

$$\text{sebesség} \approx \frac{\text{ható ok}}{\text{ellenállás}} \quad v \approx \frac{F}{R}$$

## A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

A görögök szövegben fogalmaztak meg mindent.

“Egy test annál gyorsabban megy, minél nagyobb a rá ható kényszererő, és minél kisebb a mozgással szembeni ellenállás.”

Ma így írnánk le:

$$\text{sebesség} \approx \frac{\text{ható ok}}{\text{ellenállás}} \quad v \approx \frac{F}{R}$$

Ez nem jó! Az igazit Newton adja meg kb. 2000 év múlva:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m}$$

A két törvény teljesen más szemléletű!

- Arisztotelész szerint az erő a **sebességet** határozza meg.
- Newton szerint az erő a **sebesség változási ütemét** (gyorsulást) határozza meg.

# A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

Mégis van valami igazság a  $v = F/R$ -ben!

Gyorsító állandó  $F$  erő + a sebességgel egyenesen arányos,  $R \cdot v$  nagyságú fékezőerő eredője Newton szerint:

$$F_e = F - Rv$$

## A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

Mégis van valami igazság a  $v = F/R$ -ben!

Gyorsító állandó  $F$  erő + a sebességgel egyenesen arányos,  $R \cdot v$  nagyságú fékezőerő eredője Newton szerint:

$$F_e = F - Rv$$

Végsebesség: az eredő erő 0:  $F_e = 0$ .

Ekkor  $F = Rv_e$ , azaz  $v_e = F/R$ .



## A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

Mégis van valami igazság a  $v = F/R$ -ben!

Gyorsító állandó  $F$  erő + a sebességgel egyenesen arányos,  $R \cdot v$  nagyságú fékezőerő eredője Newton szerint:

$$F_e = F - Rv$$

Végsebesség: az eredő erő 0:  $F_e = 0$ .

Ekkor  $F = Rv_e$ , azaz  $v_e = F/R$ .

A közegellenállásos mozgás **végsebesség**ére vonatkozik Arisztotelész törvénye!

Pillanatnyi sebesség fogalma: Nem tudják kezelni.

# Szabadesés

Az eleje világos: a kő a föld alapelemből van, ezért ha felemelem, de elengedem, igyekszik a természet rendjét visszaállítani és leesik.

**A nehéz vagy a könnyű kő esik gyorsabban?**

Arisztotelész: Ha a méretük egyforma, akkor a rájuk ható ellenállás azonos, de akkor a kétszer nehezebb kétszer akkora sebességgel mozog.

**A nehezebb kő gyorsabban esik.**

# Szabadesés

Az eleje világos: a kő a föld alapelemből van, ezért ha felemelem, de elengedem, igyekszik a természet rendjét visszaállítani és leesik.

**A nehéz vagy a könnyű kő esik gyorsabban?**

Arisztotelész: Ha a méretük egyforma, akkor a rájuk ható ellenállás azonos, de akkor a kétszer nehezebb kétszer akkora sebességgel mozog.

**A nehezebb kő gyorsabban esik.**

Mikor igaz ez? Ha a közegellenállás hatása dominál.

A mozgás kezdetén teljesen hamis! Közegellenállás nélkül egyszerre esnének a testek!

Ez a probléma még sokszor visszaköszön.

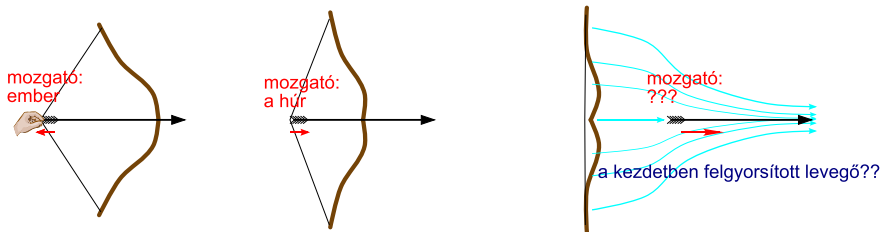
## Miért repül a kilőtt nyílvessző?

A nyílvessző anyaga főként föld és víz alapelem, ezért ha hagyjuk, mindenképp leesik. Amikor kilövöm, akkor én, az élőlény hozom mozgásba az íjat is, ez kényszeríti a nyílvesszőt mozogni.

**De miért repül több száz métert a vessző, miután kilőttem?**

(Ma már tudjuk: a természetes állapot az egyenletes mozgás, ezért természetes, hogy repül előre, csak a föld vonzása és a közegellenállás téríti el.)

## Miért repül a kilőtt nyílvessző?



Arisztotelész: az íj kilövésakor a környező levegőt is mozgásba hozza és ez sodorja tova a nyílvesszőt!

**Teljesen téves, erőltetett magyarázat!**

A levegő tényleg mozgásba jön, de egyszerű kísérlettel meg lehetett volna győződni róla, hogy ez közel sem biztosít kellő erejű hatást.

(Miért nem gyorsul fel egy nyílvessző, mely mellett közvetlenül ellőnek egy másikat?)

## A peripatetikus dinamika hiányosságai

Ma már tudjuk, hogy a fenti alapelvek rosszak.

Akadályok a hibák felismerése előtt:

- matematikai alapok hiánya, a szöveg rossz kódolás
- túlzott hit az axiomatikus rendszerekben, azaz világosnak tűnő alapelvekből történő tisztán logikai “építkezésben”
- a megfigyelési tények nem kellő tisztelete

Az ókori dinamika nem volt alkalmas a mozgások leírására.

## A testek úszása és a fajsúly

Hieron király gyanakodott, hogy új koronáját nem színaranyból készítették. Megbízta Arkhimédészt, hogy állapítsa meg, keverték-e mást az aranyhoz, de a koronán a legkisebb karcolás sem eshetett.

## A testek úszása és a fajsúly

Hieron király gyanakodott, hogy új koronáját nem színaranyból készítették. Megbízta Arkhimédészt, hogy állapítsa meg, keverték-e mást az aranyhoz, de a koronán a legkisebb karcolás sem eshetett.

- A súlyt mérlegekkel könnyű volt mérni.
- Azonos súlyú ezüst és aranytömbök közül az előbbi nagyobb térfogatú.
- **Hogyan viszonyul a korona térfogata a vele egyező súlyú aranyéhoz?**

A korona alakja bonyolult!



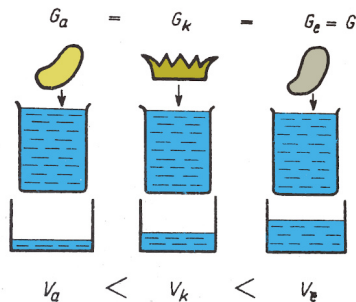
## A testek úszása és a fajsúly

Hieron király gyanakodott, hogy új koronáját nem színaranyból készítették. Megbízta Arkhimédészt, hogy állapítsa meg, kevertek-e mást az aranyhoz, de a koronán a legkisebb karcolás sem eshetett.

- A súlyt mérlegekkel könnyű volt mérni.
- Azonos súlyú ezüst és aranytömbök közül az előbbi nagyobb térfogatú.
- **Hogyan viszonyul a korona térfogata a vele egyező súlyú aranyéhoz?**

A korona alakja bonyolult!

Arkhimédész térfogat-mérési ötlete: vízzel teli tartályba merítve egy testet, a térfogatának megfelelő mennyiségű víz csordul túl.



## A testek úszása és a fajsúly

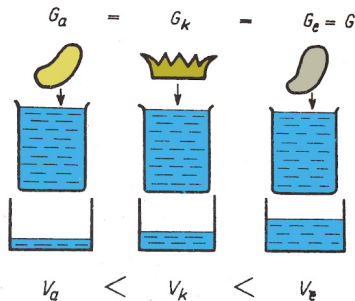
Hieron király gyanakodott, hogy új koronáját nem színaranyból készítették. Megbízta Arkhimédészt, hogy állapítsa meg, kevertek-e mást az aranyhoz, de a koronán a legkisebb karcolás sem eshetett.

- A súlyt mérlegekkel könnyű volt mérni.
- Azonos súlyú ezüst és aranytömbök közül az előbbi nagyobb térfogatú.
- **Hogyan viszonyul a korona térfogata a vele egyező súlyú aranyéhoz?**

A korona alakja bonyolult!

Arkhimédész térfogat-mérési ötlete: vízzel teli tartályba merítve egy testet, a térfogatának megfelelő mennyiségű víz csordul túl.

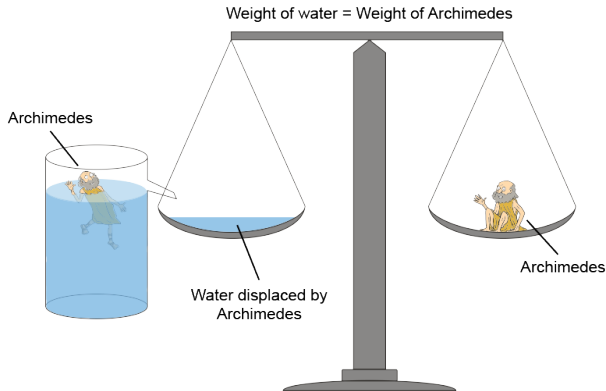
A korona nem színaranynak bizonyult! (A király elszámolt az ötvösökkel...)



## A testek úszása és a fajsúly

Közvetett és közvetlen tanulságok:

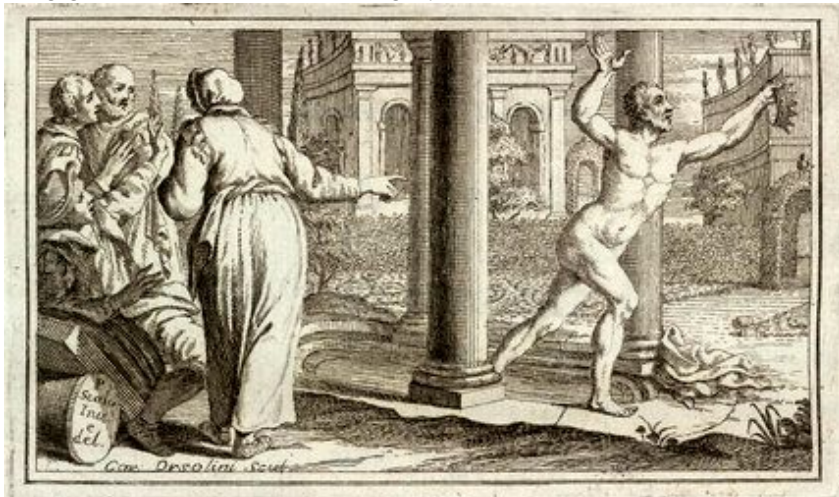
- **Térfogat-mérési módszer:** vízbe merítés, túlcsorduló víz mérése.
- **Egy adott anyagnál a súly és a térfogat aránya állandó.** (mai név: fajsúly)
- **A vízbe nyomott testekre felhajtóerő hat.** (ez egy “mellékes” eredmény volt)
- **A felhajtóerő mértéke a kiszorított víz súlyával egyezik meg.** (“Arkhimédész törvénye”)



Egy vicces illusztráció az internetről.

## Heuréka!

**Heuréka!** (Kiáltotta Arkhimédész, amikor fürdés közben rájött a felhajtóerőre, majd meztelenül végigrohant az utcán. Állítólag...)



# Tanulság

Jellemző történet (még ha félig legenda is):

- A nagy filozófus **magától nem gondolkozott volna a kérdésen.**
- Királyi megbízás: a konkrét, gyakorlati probléma megoldása korszakalkotó elméleti felfedezéshez vezetett.
- A felfedezés után Arkhimédész észrevette, hogy sok másra is alkalmazható.
- Továbbgondolás: Helyes törvényt vezetett le arra, milyen hajó-keresztmetszetek stabilak.

# Tanulság

Jellemző történet (még ha félig legenda is):

- A nagy filozófus **magától nem gondolkozott volna a kérdésen.**
- Királyi megbízás: a konkrét, gyakorlati probléma megoldása korszakalkotó elméleti felfedezéshez vezetett.
- A felfedezés után Arkhimédész észrevette, hogy sok másra is alkalmazható.
- Továbbgondolás: Helyes törvényt vezetett le arra, milyen hajó-keresztmetszetek stabilak.

---

Egy fontos ok, miért rekedt meg a görög tudomány fejlődése:

**Nem volt szerves kapcsolat az elméleti tudósok és a gyakorlati problémák között.**

Amikor mégis létrejött (királyi megbízása, háború, ...), nagy újítások történtek.

## Ókori gépek

Alexandriai Heron (10–70):  
Egyszerű gőzgép



**Nem ismerték fel ezek jelentőségét!**

Nem indult el a technikai forradalom, pedig elindulhatott volna.

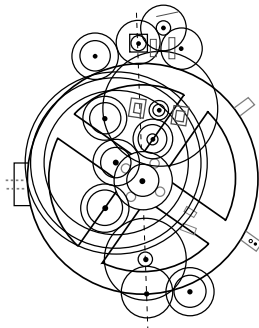
Miért nem lett ókori, komoly gőzgép?

**Lehetséges okok:**

- A mozgásokat magyarázó elmélet hiányzott.
- Sok technikai probléma (illesztések szigetelése, tengely kenése) az igazi alkalmazások útjában.
- Gyenge motiváció: emberi, állati erővel és egyszerű gépekkel is meg tudták oldani, amit akartak.

## Az antiküthériai szerkezet: ókori “célszámítógép”

1902-ben hozzák fel 40 m mélységből, egy hajó roncsai közül. Kor: i.e. 150–100.



Sok (kb. 70) fogaskerék, alkalmas volt a főbb égitestek pozícióit kiszámolni.  
(A részleteket még kutatják...)



## Megtorpanás az elméletben

Arkhimédészrt római katonák ölik meg Szirakúza elfoglalásakor (i.e. 212).  
Szimbolikus esemény: röviddel utána a görög kultúra csak mint a Római Birodalom vezető szellemisége él tovább.

**Arkhimédész után jelentős új elméleti eredmény nem születik a fizikában.**  
(Itt kezdődik a természettudomány fejlődésének lassulása, nem a középkorban!)

Sok mindent pontosítgatnak, érdekes gépeket szerkesztenek.  
Ezek azonban nem nyernek széles körű alkalmazást, nem épül rájuk ipar, így a lehetőségek kihasználatlanok maradnak.