

Fizikatörténet

Az ókori mechanika

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.0

Bevezetés

Az ókorban sok **gyakorlati problémát** jól oldottak meg.
(Piramisépítés, csatornázás, szekerek építése, stb.) Biztos, hogy
volt érzékük a mechanikához.

Bevezetés

Az ókorban sok **gyakorlati problémát** jól oldottak meg.
(Piramisépítés, csatornázás, szekerek építése, stb.) Biztos, hogy volt érzékük a mechanikához.

Az **elmélet** terén azonban más a helyzet:

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

(Emlékezzünk: a fizikáról beszélünk, nem a filozófiáról!)

Bevezetés

Az ókorban sok **gyakorlati problémát** jól oldottak meg.
(Piramisépítés, csatornázás, szekerek építése, stb.) Biztos, hogy volt érzékük a mechanikához.

Az **elmélet** terén azonban más a helyzet:

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

(Emlékezzünk: a fizikáról beszélünk, nem a filozófiáról!)

Mi **a hiányok oka?**

- a problémakör nehéz
- matematikai alapok hiányosak
- nincs kellő motiváció a technika fejlődésére

Alapelvek

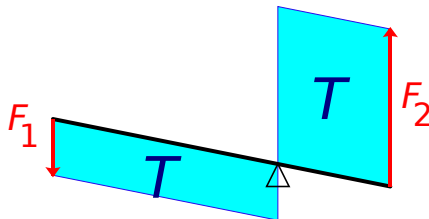
A statika elég **jól leírható geometriával**, amit a görögök jól ismertek.

⇒ Jó eredmények statikából.

Az őskorban is ismerték és használták a kétkarú emelőket.

Törvény: Arkhimédész.

Ezek törvényének megfogalmazása geometriailag: az erő és az erőkar által meghatározott téglalap vagy parallelogramma területe azonos, ha egyensúly van.

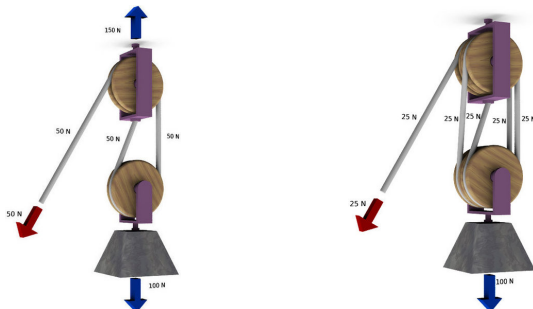


Erre támaszkodva Arkhimédész lényegében felfedezi a súlypont fogalmát és bonyolult egyensúlyi problémákat old meg.

Egyszerű gépek

Arkhimédész fedezi fel, hogy a csigák ugyanúgy írhatók le, mint az emelők.

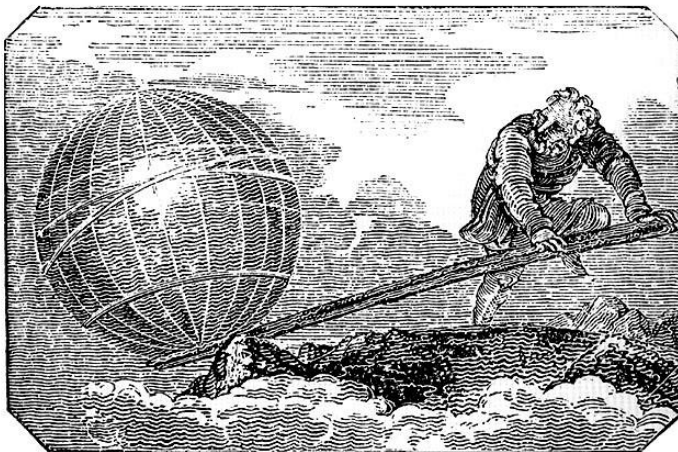
Felhasználás: csigasorok, erő-többszörözés.



Látványos alkalmazások. (Pl. hajó kiemelő csigasor.)

Egyszerű gépek

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



Egyszerű gépek

Sok egyszerű gép, pl. szivattyú, fogaskerék Arkhimédésztől származik.

Alexandriai Heron: Egyszerű gőzgép:



Nem ismerték fel ezek jelentőségét!

Nem indult el a technikai forradalom, pedig elindulhatott volna.

Ókori kinematika

AFKT 1.2.3

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

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 megfogni.)

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 előrebbre 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 előrebbre ment. Most a teknős új helyét kell elérni, de közben a teknős megint haladt egy kicsit.... És így tovább a végtelenségig.

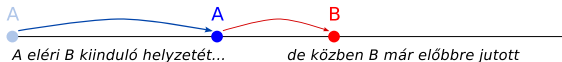
Mozgási paradoxonok: Akhilleusz és a teknősbéka

Rajzban:

induló helyzet



1. ütem



2. ütem



... 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!

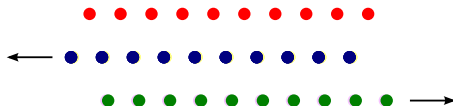
Zenon (és sok más filozófus): a mozgás nem írható le a filozófia segítségével.

Mai magyarázat:

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

Mozgási paradoxonok: vonuló katonák

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

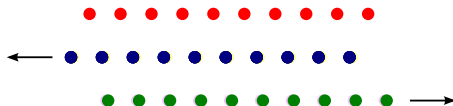


Áll, vagy mozog az 1. sor (piros)?

- 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.



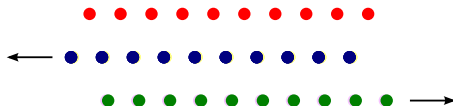
Áll, vagy mozog az 1. sor (piros)?

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

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

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.

Tehát 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 nyílra, 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 nyílra, 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, 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.

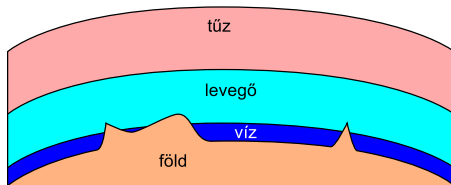


A peripatetikus dinamika alapgondolai

- Az égi és a földi mozgások más természetűek: az égiek örökké tartanak, a földiek hamar megállnak.
- A földi tárgyak természetes állapota a nyugalom.
- 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!

Mozgástípusok a peripatetikus dinamikában

- 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 első pillantásra az ókori ember tapasztalataival egybeesengtek.

A peripatetikus dinamika mozgástörvénye

Szövegesen valahogy így hangzik: “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

Szövegesen valahogy így hangzik: “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 ellentétes 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!

Ha a testre a gyorsító F erőn kívül egy, a sebességével egyenesen arányos, $R \cdot v$ nagyságú fékezőerő hat, akkor Newton szerint a rá ható erők eredője:

$$F_e = F - Rv$$

$F_e = 0$, lesz, ha $F = Rv$, azaz a sebesség elég nagy. A $v = F/R$ tehát a közegellenállásos mozgás **végsebességére** vonatkozik!

Az arisztotelészi mechanika a pillanatnyi sebesség fogalmával nem bír mit kezdeni.

Szabadesés

Az eleje világos: a kő a föld alapelemből van, 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, 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 nyílvésző?

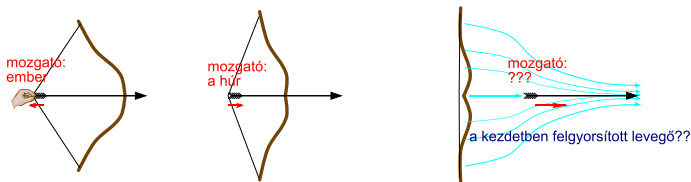
A nyílvésző anyaga főként föld és víz alapelem, ezért ha hagyjuk, mindenképp leesik.

Amikor kilövöm, akkor én, az élőlény hozom mozgásba az íjat is, ez kényszeríti a nyílvészőt mozogni.

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

Ma már tudjuk: a természetes állapot az egyenletes mozgás, 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 vesszőt!

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.

Pl. miért nem gyorsul fel egy nyílvessző, emly 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 csak logikai építkezésben
- a megfigyelési tények nem kellő tisztelete

Sajnos, 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.

Arkhimédész rájött, hogy...:

- egy adott anyagnál **a súly és a térfogat aránya állandó** (ez a fajsúly)
- a **térfogatot** könnyen és pontosan tudja **mérni**, ha teli edénybe meríti a koronát, és méri a kifolyt víz mennyiségét
- (mellékesen) a vízbe nyomott testekre épp akkora **felhajtóerő** hat, mint az általuk kiszorított víz súlya.

A korona nem színaranynak bizonyult, de ez teljesen lényegtelen.

Tanulság

Jellemző történet (még ha félig legenda is):

A nagy filozófus magától nem gondolkozott volna a kérdésen. A konkrét, gyakorlati probléma megoldása korszakalkotó felfedezéshez vezetett.

A felfedezés után Arkhimédész észrevette, milyen érdekes is ez, és pl. bonyolult, de jó feltételt vezetett le a hajók stabilitási feltételeire.

Tanulság

Jellemző történet (még ha félig legenda is):

A nagy filozófus magától nem gondolkozott volna a kérdésen. A konkrét, gyakorlati probléma megoldása korszakalkotó felfedezéshez vezetett.

A felfedezés után Arkhimédész észrevette, milyen érdekes is ez, és pl. bonyolult, de jó feltételt vezetett le a hajók stabilitási feltételeire.

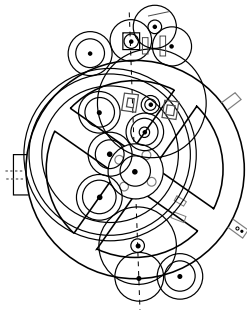
Talán itt érhető tetten egy fontos ok, miért rekedt meg a görög tudomány fejlődése:

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

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

Az antiküthérai szerkezet

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



Sok (30–70?) fogaskerékből állhatott, és alkalmas volt a főbb égitestek pozícióit kiszámolni. Pontos felhasználása még ismeretlen. (Navigációs szempontból lényegtelen dolgokat is kiszámolt.)

Megtorpanás az elméletben

Arkhimédészt római katonák ölik meg. Jellegzetes mozzanat: röviddel utána a görög kultúra csak mint a Római Birodalom vezető szellemisége él tovább.

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

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