

A biofizika fizikai alapjai

4. előadás 2023. 09. 14.

Orosz Ádám

Mechanika – Munka és energia

1. Munka és energia

- Munkatétel
- Gyorsítási munka és mozgási energia
- Emelési munka és helyzeti energia
- Nyújtási munka és rugalmas energia
- Energiafajták

2. Teljesítmény

3. Energiamegmaradás

4. Tömeg-energia ekvivalencia

Erő és munka

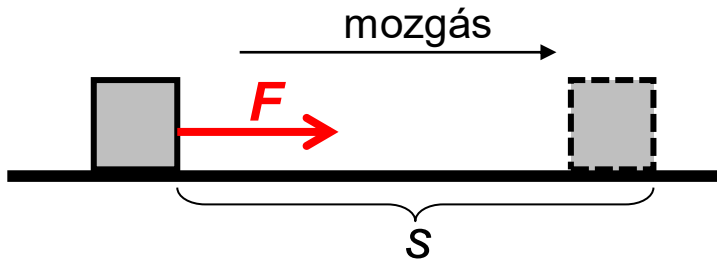
Hogyan írhatjuk le pontosan az alábbi kölcsönhatást?



- A versenyző **kölcsönhatás**ba lép a tűzoltóautóval és **megváltoztatja** a **mozgásállapotát**.
- Az **F erővel** megadhatjuk, hogy a férfinak **milyen erősen** kell húznia a tűzoltóautót.
- Ennek az erőnek a nagysága azonban változatlan marad, attól függetlenül, hogy 2 méteren vagy 20 méteren át kell húzni a rohamkocsit.
- A férfi viszont kevésbé lesz fáradt, ha csak 2 méteren át kell erőlködni.
- Tehát a férfi és a tűzoltóautó kölcsönhatását **nem tudjuk kizárólag az erő fogalmával leírni**. Új fizikai mennyiségre van szükségünk, ami azt is figyelembe veszi, hogy **milyen hosszú úton „működik” a kölcsönhatás** → „**Munka**”.

Munka

Ha a **mozgás** és az **erő iránya megegyezik**:

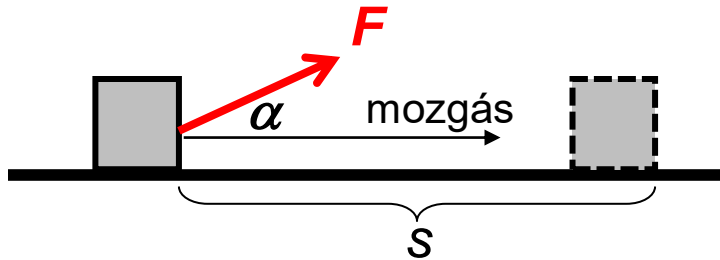


$$\text{munka (W): } W = F \cdot s \quad (\text{N} \cdot \text{m} = \text{J})$$

skaláris

joule
(az energia
mérték-
egysége is)

Ha a **mozgás** és az **erő iránya α szöget** zárnak be egymással:



$$\text{munka (W): } W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

skaláris

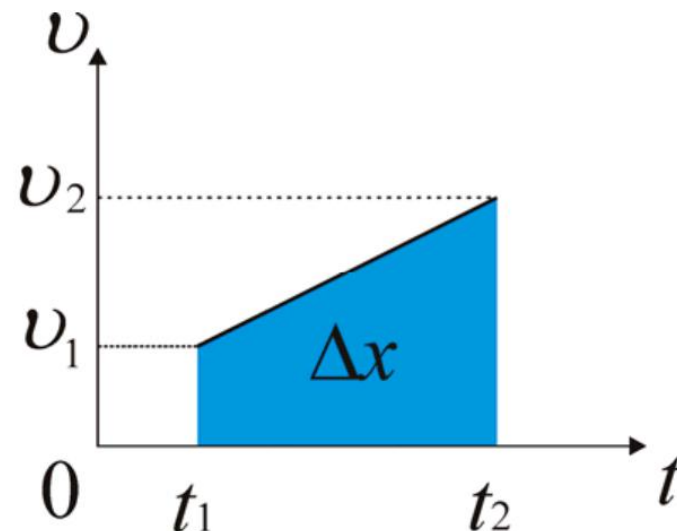
Számolja ki a férfi által végzett munkát, ha tűzoltóautót vízszintesen húzza 30 m-en át, 1400 N erő kifejtése mellett!



A munkatétel

Ha az erő állandó (és $\alpha = 0$):

Az elmozdulás $\Delta x = v\Delta t$ lenne,
de v is változik:



Mozgási vagy kinetikus **energia** (E_{kin})
A munkavégzés eredménye nagyobb E_{kin}

$$\sum_{i=1}^n W = \Delta E_{kin}$$

Munka és energia



- A férfi munkát végez a tűzoltóautón.
- Eközben energiát ad át neki.
- A férfi tehát energiát veszít, a tűzoltóautó energiát nyer.



- A férfi munkát végez a súlyon az emelés közben.
- Eközben energiát ad át a súlynak.
- A férfi tehát energiát veszít, a súly energiát nyer.



- A nő az ideg meghúzása közben munkát végez az íjon.
- Eközben energiát ad át az íjnak.
- A nő tehát energiát veszít, az íj energiát nyer.
- Ez az energia az íjban tárolásra kerül.
- Lövés közben az íj munkát végez a nyílvesszőn, ami így energiára tesz szert.

Munka \equiv „energia**átadás**” – „energia**változás**”

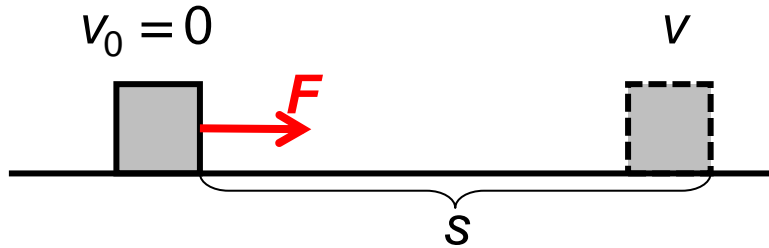
Energia \equiv „**elraktározott** munka” – „munkavégző **képesség**”

A **munka** egy folyamatot ír le, az **energia** ezzel szemben egy állapotot.

Az energiát sem létrehozni, sem megsemmisíteni nem lehet.
Lehetőségek: az egyik rendszer **átadhatja** a másiknak, illetőleg az egyik energiaforma a másik energiaformába **alakulhat át**.

Gyorsítási munka és mozgási (kinetikus) energia

Egy test 0-ról v sebességre történő felgyorsítása közben végzett munkát **gyorsítási munkának** nevezzük



$$W = F \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$$

A végzett munka **mozgási** - idegen szóval - **kinetikus energiaként** jelenik meg :

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$$

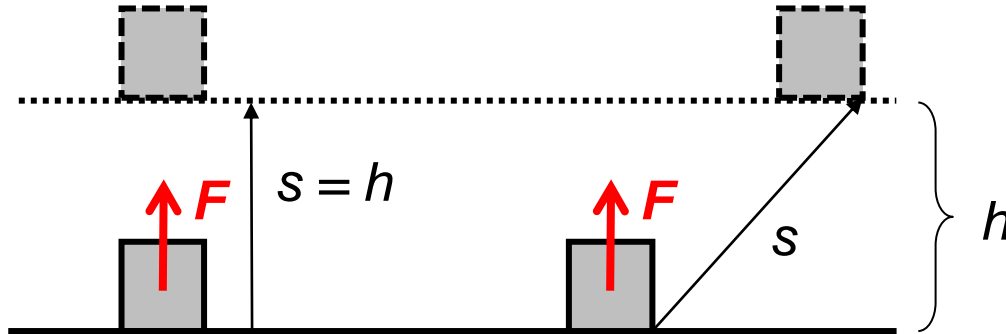


Az elraktározott mozgási energia különféle módokon alakulhat át:



Emelési munka és helyzeti (potenciális) energia

Egy test h magasságba történő felemelése közben, a **nehézségi erő ellenében** végzett munkát **emelési munkának** nevezzük



$$W = F \cdot s = mgh$$

A munkavégzés eredménye „eltárolható”.
A végzett munka **helyzeti** - idegen szóval -
potenciális energiaként tárolódik:

Nehézségi erőterben:

$$\Delta E_{\text{pot}} = mg\Delta h$$

- A nulla magasságot önkényesen választhatjuk meg.

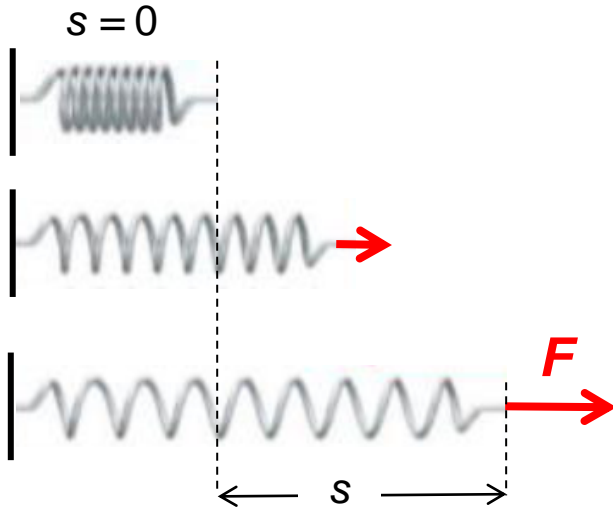


Az elraktározott helyzeti energiát
különböző célokra lehet felhasználni:



Feszítési munka és rugalmas (elasztikus) energia

Egy rugó megnyújtása (vagy egy íj megfeszítése) esetén végzett munkát **nyújtási** vagy **fesztítési munkának** nevezzük :



$$W = F \cdot s = \frac{1}{2} D s^2$$

A végzett munka mint **rugalmas energia** tárolódik:

$$W = \Delta E_{\text{pot}} \quad E_{\text{rug}} = \frac{1}{2} D s^2$$

Mennyi energiát tárol az Achilles-ín 2 mm-es megnyúlásnál, ha rugóállandója $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}$:



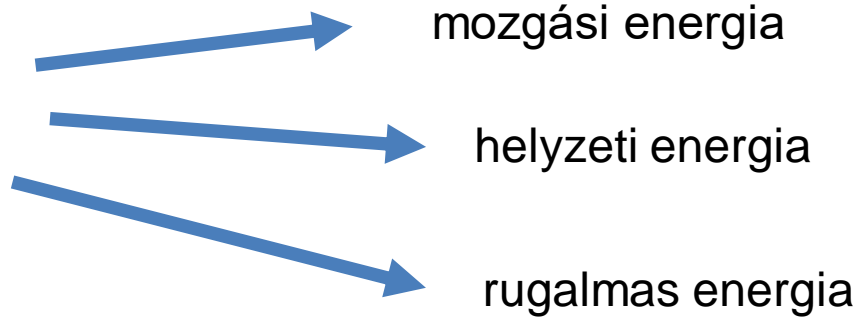
Az elraktározott rugalmas energiát különféle célokra lehet felhasználni:



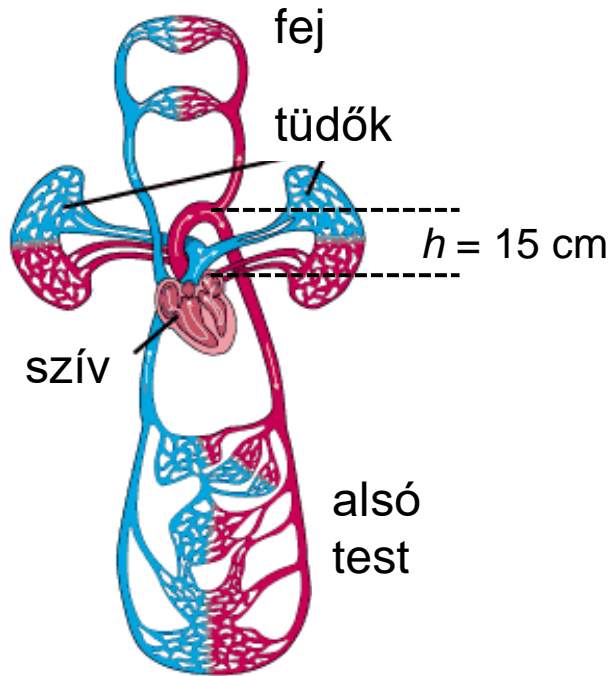
Az energia fajtái

Sokféle energiatípussal találkozhatunk:

- Mechanikai energia
- Belső energia
- Termikus energia (hő)
- Elektromos energia
- Mágneses energia
- Kémiai energia
- Magenergia
- ...



Feladat



Az emberi szív bal kamrájának összehúzódása a vért 40 cm/s áramlási sebességre gyorsítja és az aortaívig 15 cm -rel magasabbra emeli meg. Egy szív-összehúzódás során 60 g vér kerül kipumpálásra. Számítsa ki

a) a gyorsítási munkát

b) az emelési munkát

c) a szív teljes munkáját egy összehúzódás során!

Teljesítmény



- Hogy **milyen erősen** kell a férfinak húznia a tűzoltóautót, megadhatjuk **F** nagyságú **erővel**. Hogy **mekkora munkát** végez, ha s hosszúságú úton húzza maga után, azt pedig a **W** nagyságú **munkával**.
- Az erő és a munka ugyanakkora marad akkor is ha a távolságot 2 perc alatt vagy pedig 20 perc alatt teszi meg
- Szükségünk van még egy mennyiségre, ami az **időbeliséget** is figyelembe veszi → „**Teljesítmény**”.

Teljesítmény

$$\text{teljesítmény (P): } P = \frac{W}{t} \left(\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right)$$

A munkavégzés „sebessége”

Watt

A korábbi feladat folytatása: Számítsa ki a bal kamra izomzatának teljesítményét, ha az összehúzódás ideje 0,2 s!

A korábbi feladat folytatása: Számítsa ki a férfi teljesítményét, ha a tűzoltóautót 41 s alatt 30 m-re képes elhúzni.

Energiamegmaradás

Az energiamegmaradás törvénye (általánosan):

Az energiát sem létrehozni, sem megsemmisíteni nem lehet.
Lehetőségek: az egyik rendszer átadhatja a másiknak, illetőleg az egyik energiaforma a másik energiaformába alakulhat át.



Ha elhanyagolhatjuk a súrlódást (és más elektromos és mágneses jelenségeket sem veszünk figyelembe), akkor az **energiamegmaradás törvénye** egy *zárt rendszerben* az alábbi módon érvényesül a **mechanikai energiafajtákra**:

$$\sum E_i = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{rug}} = \text{állandó}$$

Vagyis:

1. időpontban: $E_{\text{pot},1}$

$E_{\text{kin},1}$

$E_{\text{rug},1}$

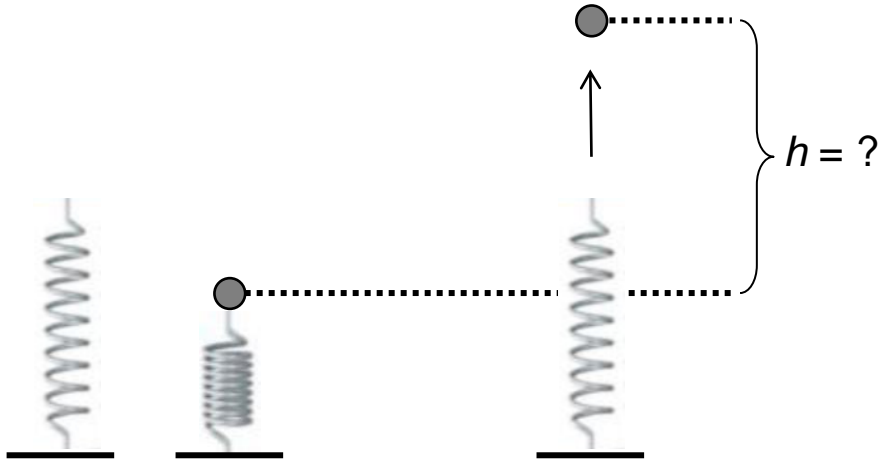
2. időpontban: $E_{\text{pot},2}$

$E_{\text{kin},2}$

$E_{\text{rug},2}$

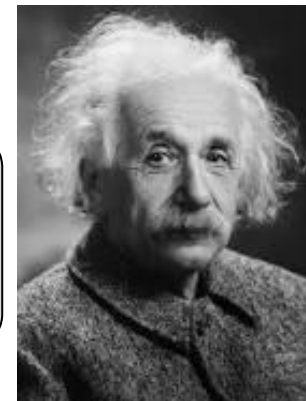
$$E_{\text{pot},1} + E_{\text{kin},1} + E_{\text{rug},1} = E_{\text{pot},2} + E_{\text{kin},2} + E_{\text{rug},2}$$

Feladat



Milyen erősen kell összenyomnunk a 2000 N/m állandójú csavarrugót, hogy a 30 g tömegű golyó 10 m magasra repüljön?

Tömeg-energia ekvivalencia



A relativitáselmélet értelmében a **tömeg és az energia egyenértékűek** a következő összefüggés szerint:

$$E = m \cdot c^2$$

a tömeghez tartozó energia

egy részecske tömege

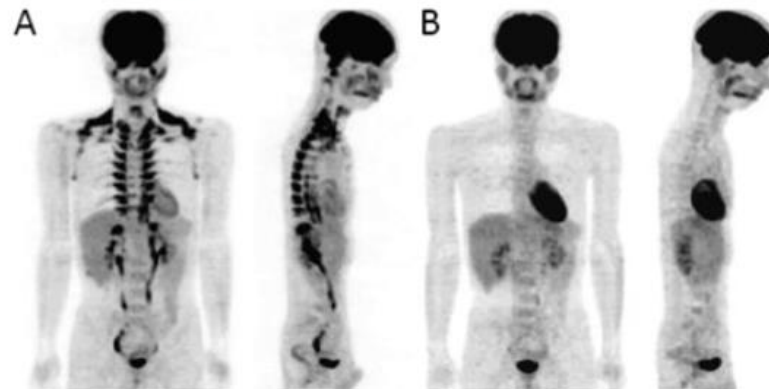
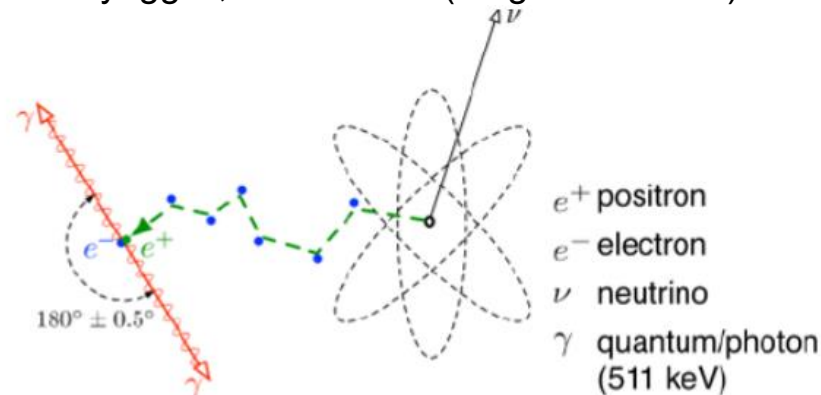
Fénysebesség (vákuumban): $3 \cdot 10^8$ m/s

Az összefüggést olyan jelenségek esetében használhatjuk, amelyek során részecskék tűnnek el, mialatt tömegük energiává alakul át, vagy amikor energiából új részecskék jönnek létre.

Példák: **pároképződés** – nagy energiájú γ -foton kölcsönhatása anyaggal, **annihiláció** (megsemmisülés) - PET

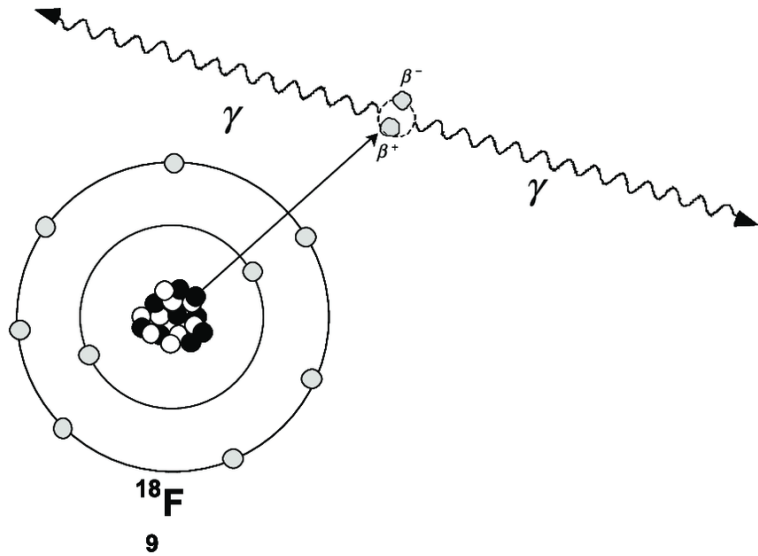
Annihiláció

- A **pozitron emissziós tomográfia (PET)** esetében β pozitív részecskéket (pozitron) kibocsátó izotópot juttatunk a testbe.
- Az izotópok bomlása során keletkező **pozitron** antirészecske.
- A **pozitron** rövid úton **egyesül egy elektronnal** és mindkettő **energiává alakul** (annihiláció – megsemmisülés). Két **γ -foton** jelenik meg, amelyeket aztán detektálni tudunk.
- Mindkét γ -foton **511 keV** energiával rendelkezik.



Feladat

Miért éppen 511 keV az annihiláció során keletkező γ -fotonok energiája?





Házi feladat: 5. fejezet