

# A biofizika fizikai alapjai

4. előadás 2021. 09. 16.

Orosz Ádám

Mechanika – Munka és energia

## 1. Munka és energia

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

## 2. Teljesítmény

## 3. Energiamegmaradás

## 4. Tömeg-energia ekvivalencia

1

## Munka és energia

Hogyan írhatjuk le pontosan az alábbi kölcsönhatást?



- A versenyző feladata, hogy lépjen kölcsönhatásba a tűzoltóautóval és változtassa meg 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**”.

2

## Munka és energia



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



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



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

Munka  $\equiv$  „energiaátadás” – „energiaátvitel”

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

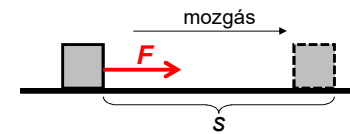
A **munka** egy folyamatot ír le, az **energia** ezzel szemben egy állapotot.

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

3

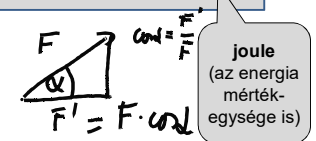
## Munka

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

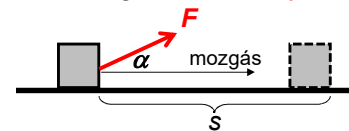


munka ( $W$ ):  $W = F \cdot s$  ( $N \cdot m = J$ )

skaláris



Ha a **mozgás** és az **erő** **iránya  $\alpha$  szöget** zárnak be egymással:

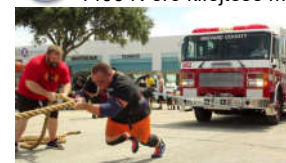


munka ( $W$ ):  $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

skaláris



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



$$W = F \cdot s = 1400 \cdot 30 = 42000 \text{ J} = 42 \text{ kJ}$$

$$5359 \text{ cal (mérték)} = 5359 \cdot 4.184 = 22416.5 \text{ J}$$

$$\frac{42000}{22416.5} = 1.87 \approx 1.9$$

4

## Az energia fajtái

Sokféle energiatípusal találkozhatunk:

• Mechanikai energia

• Belső energia

• Termikus energia (hő)

• Elektromos energia

• Mágneses energia

• Kémiai energia

• Magenergia

• ...

helyzeti energia

mozgási energia

rugalmas energia

## A munkatétel

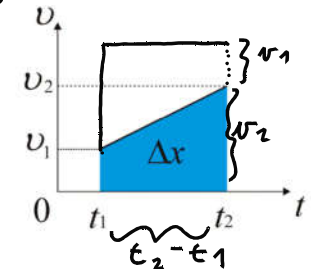
Ha az erő állandó (és  $a = 0$ ):  $W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$   
 $F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$   $s = x$

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

$$\Delta x = \frac{(v_1 + v_2)(t_2 - t_1)}{2}$$

$$W = m \cdot a \cdot \Delta x = m \cdot \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{(v_1 + v_2)(t_2 - t_1)}{2} = m \cdot \frac{(v_2 - v_1)(v_1 + v_2)}{2}$$

$$W = m \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = E_{kin,2} - E_{kin,1} = \Delta E_{kin}$$



**Mozgási** vagy kinetikus **energia** ( $E_{kin}$ )

A munkavégzés eredménye nagyobb  $E_{kin}$

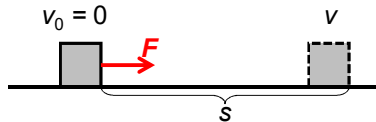
$$\sum_{i=1}^n W = \Delta E_{kin}$$

5

6

## Gyorsítási munka és mozgási (kinetikus) energia

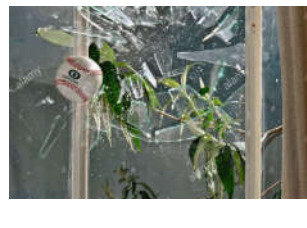
Egy test 0-ról  $v$  sebességre történő felgyorsítása közben végzett munkát **gyorsítási munkának** nevezzük



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



Az elraktározott mozgási energia  
 különféle módokon alakulhat át:



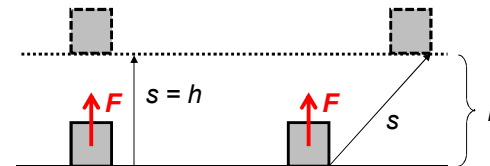
A végzett munka **mozgási** - idegen szóval - **kinetikus energiaként** jelenik meg:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$$

7

## Emelési munka és helyzeti (potenciális) energia

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



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



Az elraktározott helyzeti energiát  
 különféle célokra lehet felhasználni:



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

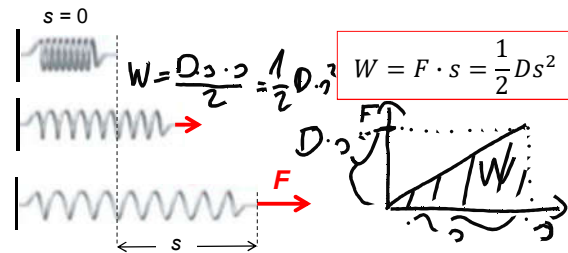
Nehézségi erőterben:  $\Delta E_{pot} = mg \Delta h$

- A nulla magasságot önkényesen választhatjuk meg.

8

## Feszítési munka és rugalmas (elasztikus) energia

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



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

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



Az elraktározott rugalmas energiát különféle célokra lehet felhasználni:



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

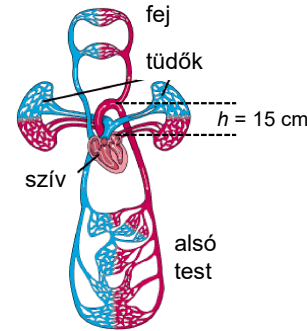
$$E = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 10^5 \cdot 0,002^2 = 0,24 \text{ J}$$

## 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**”.

## 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

$$v = 40 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad m = 60 \text{ g} = 0,06 \text{ kg}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,06 \cdot 0,4^2 = 0,0048 \text{ J}$$

b) az emelési munkát

$$h = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$W = m \cdot g \cdot h = 0,06 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 0,0883 \text{ J}$$

c) a szív teljes munkáját egy összehúzódás során!

$$W_t = 0,0931 \text{ J}$$

## 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!

$$W_t = 0,0931 \text{ J}$$

$$P = \frac{W}{t} = 0,466 \text{ W}$$



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

$$W = 1400 \cdot 30 = 42000 \text{ J}$$

$$P = \frac{W}{t} = 1024 \text{ W}$$

## 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**:

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

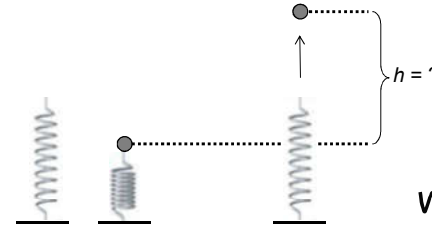
Vagyis:

1. időpontban:	$E_{\text{pot},1}$	2. időpontban:	$E_{\text{pot},2}$
	$E_{\text{kin},1}$		$E_{\text{kin},2}$
	$E_{\text{rug},1}$		$E_{\text{rug},2}$

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

13

## Feladat



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

$$D = 2000 \text{ N/m} \quad m = 0,03 \text{ kg} \quad h = 10 \text{ m}$$

$$W = m \cdot g \cdot h = 0,03 \cdot 9,81 \cdot 10 = 2,94 \text{ J}$$

$$2,94 = W_{\text{rug}} = \frac{1}{2} D \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot x^2$$

$$x = 0,054 \text{ m}$$

$$F = D \cdot x = 2000 \cdot 0,054 = \underline{\underline{108,5 \text{ N}}}$$

14

## Tömeg-energia ekvivalencia

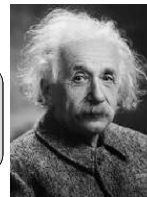
A relativitáselmélet értelmében a **tömeg és az energia egyenértékűek** a következő összefüggés szerint:

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

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

a tömeghez tartozó energia

egy részecske tömege

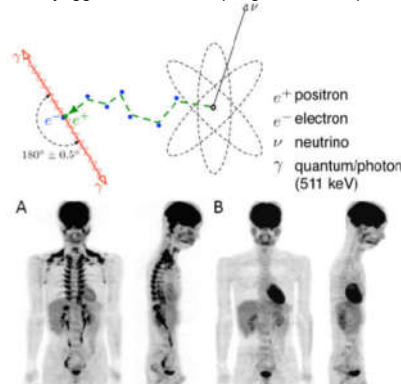


Az összefüggést olyan jelenségek esetében használhatjuk, amelyek során részecskék tűnnek el, mialatt tömegük energiává alakul át, vagy amikor energiából új részecskék jönnek létre.

Példák: **párképződés** – nagy energiájú  $\gamma$ -foton kölcsönhatása anyaggal, **annihiláció** (megsemmisülés) – PET

### Annihiláció

- A **pozitron emissziós tomográfia (PET)** esetében  $\beta$  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  $\gamma$ -foton jelenik meg, amelyeket aztán detektálni tudunk.
- Mindkét  $\gamma$ -foton **511 keV** energiával rendelkezik.



15

## Feladat

Miért éppen 511 keV az annihiláció során keletkező  $\gamma$ -fotonok energiája?

$$1 \text{ e} \quad 1 \text{ V} \quad \frac{1}{c} = V$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad C \cdot V = J$$

$$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \leftarrow 1 \text{ eV}$$

$$E = m_e \cdot c^2 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 8,199 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad 1 \text{ eV}$$

$$8,199 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad ? \text{ eV}$$

$$\frac{8,199 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 51243750 \text{ V} = 51243,75 \text{ keV}$$

16



Házi feladat: 5. fejezet