

Dinamika

Mozgás, alakváltozás és ennek háttere

Newton: a **mozgás** természetes állapot.

A témakör egyik kulcsfontosságú fizikai mennyisége az **impulzus** (p), vagy **lendület**, vagy **mozgásmennyiség**.

Klasszikus esetben ez a test **tömegének** (m) és **sebességének** (v) szorzata.

$$p = mv$$

vektormennyiség

Newton törvényei

II. Az **impulzus megváltoztatásához erő** (F) szükséges.

$$\Delta p = \Delta mv = F\Delta t$$

vagy

$$\frac{\Delta mv}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$$

Ha nincs erőhatás (ill. ha 0)

$$\Delta mv = 0, \text{ azaz } p = mv = \text{állandó.}$$

I. Az **impulzus megmaradó mennyiség** (impulzus megmaradás)
a **tehetetlenség törvénye**

III. $F = -F_{\text{ellen}}$ kölcsönhatás

Az erő és ellenerő mindig különböző testre hat.

hatás, ellenhatás törvénye

Alkalmazások pl.:

a szétsugárzás vagy annihiláció magyarázatakor
(lásd a 2. szemeszterben **PET**).

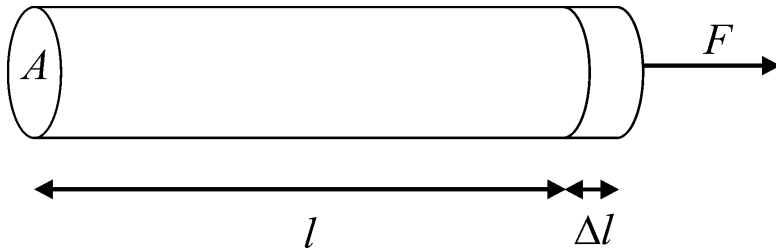
De

az **erő** alakváltozást (deformációt) is eredményezhet.

A legegyszerűbb alakváltozás a **megnyúlás**.

relatív megnyúlás: $\Delta l/l$.

Hooke-törvény



$$F = AE \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta l}{l}$$

F/A a **mechanikai feszültség** (húzófeszültség), de

lehet nyomófeszültség vagy **nyomás** ($p[\text{Pa}]$)

Az együttható: rugalmassági, vagy Young modulus ($E[\text{Pa}]$)

Pl.

Kollagén rost 0,3–2,5 GPa, **csont** 10–20 GPa

Hasonló a rugó esetéhez: $F_{\text{kitérítő}} = Dx$ (ha $x \equiv \Delta l$, és $D \equiv AE/l$)

Általánosabban (összenyomás):

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V}$$

K a **kompressziómodulus**,

$1/K = \kappa$ a **kompresszibilitási együttható** (pl. $\kappa_{\text{acél}} = 0,006 \text{ GPa}^{-1}$)

Newton törvényei forgó mozgás esetében

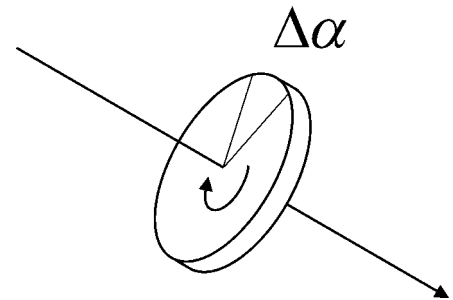
az impulzus, vagy lendület ($m\mathbf{v}$) mintájára bevezethető az **impulzusmomentum**, vagy **perdület** ($\Theta\omega$) ahol

Θ a **tehetetlenségi nyomaték**, a forgó test tehetetlenségének mértéke,

ω a **szögsebesség**,

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

periódusidő (T), **frekvencia** (f)
(ω **körfrekvencia**)



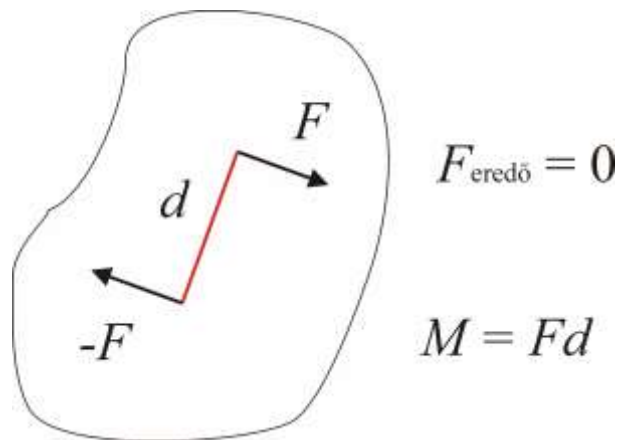
I. $\Theta\omega = \text{állandó}$ (perdület megmaradás; lásd: **forgó jégtáncos**)

II. Megváltoztatásához **forgatónyomaték** (M) szükséges

$$\frac{\Delta\Theta\omega}{\Delta t} = M$$

Egyensúly csak akkor, ha

$F_{\text{eredő}} = 0$ **és** $M_{\text{eredő}} = 0$
egyszerre teljesül.



Ekkor: $m\mathbf{v} = \text{állandó}$ és $\Theta\omega = \text{állandó}$

Illetve **Sztatika** (statika)

Egyenletes körmozgás

Csak a **sebességvektor** (ill. az impulzusvektor) **iránya változik**.
A test **gyorsul** (a_{cp} [m/s²]), de nem nő a sebessége.

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Dinamikai feltétele: $\mathbf{v} \perp \mathbf{F} = m\mathbf{a}_{cp}$

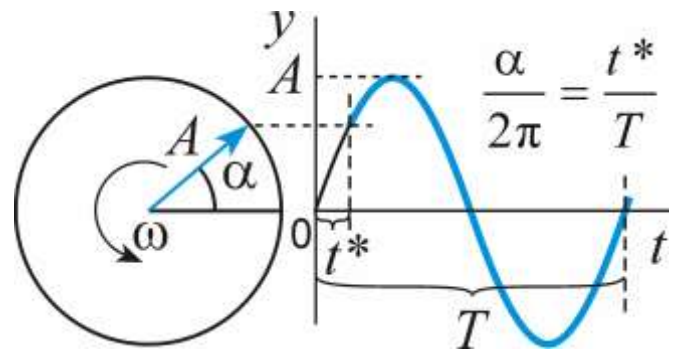
Harmonikus rezgőmozgás

Az egyenletes körmozgás vetülete
($\alpha = \omega t = 2\pi t/T = 2\pi f t$)

$$y = A \sin \omega t$$

Dinamikai feltétele: $\mathbf{F} = -D\mathbf{x} = m\mathbf{a}$

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

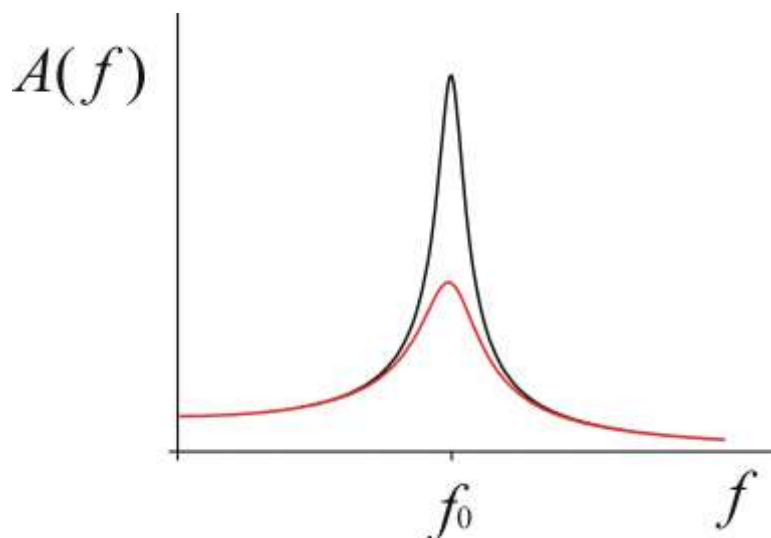


Kényszerrezgés, rezonancia

($\omega = 2\pi f$)

$$A(f) \sim \frac{1}{(f - f_0)^2 + K}$$

K a csillapítás mértékét fejezi ki



Alkalmazások pl.: a különböző spektrumok

(ESR, NMR) értelmezésekor, az AFM, az **MRI** működésének magyarázatakor (lásd a 2. szemeszterben).

Hullám

A rezgési állapot tovaterjedése.

(Hullámozó tenger vagy unatkozó nézők a stadionban.)

$$y = A \sin \omega t \qquad y = A \sin (\omega t + \varphi) \qquad y = A \sin (\omega t + kx)$$

A **fázis** (szög, φ) nemcsak az időtől (t), de a helytől (x) is függ

Két fontos paraméter: **hullámhossz** (λ), periódusidő (T)

$$\varphi(x) = \frac{2\pi}{\lambda} x = kx \qquad \varphi(t^*) = \frac{2\pi}{T} t^* = \omega t^*$$

Hányadosuk

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

a hullám **terjedési sebessége** (fázissebesség).

A hullámokkal kapcsolatos legfontosabb jelenség az **interferencia**.
(A fizikai optika részben részletesebben beszélünk róla).

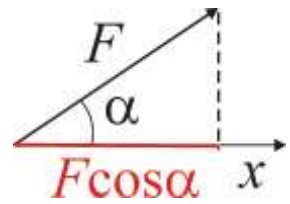
Alkalmazások pl.: a különböző sugárzások

UH, EMS megbeszélésekor (lásd a 2. szemeszterben).

Munka

A **munka** (W) az **elmozdulás** (Δx) és az erő (F) elmozdulás irányába eső vetületének szorzata

$$W = \Delta x F \cos \alpha \quad [\text{Nm}] \text{ vagy } [\text{J}]$$



Tartós erő kifejtés elmozdulás nélkül ($\Delta x = 0$);
vagy $\alpha = \pi/2$ (azaz $\cos \alpha = 0$), akkor $W = 0$ (a mechanikában)

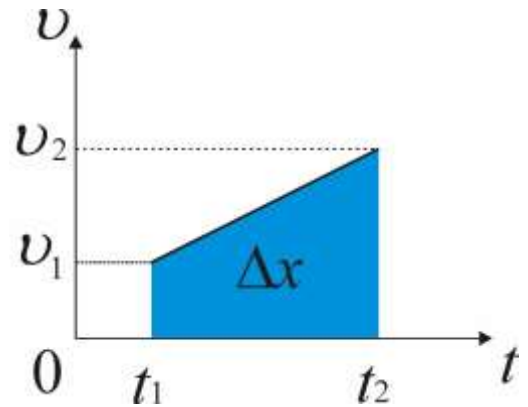
Munkatétel

Ha az erő állandó (és $\alpha = 0$).

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

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

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



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

$$W = m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = E_{\text{kin}2} - E_{\text{kin}1} = \Delta E_{\text{kin}}$$

mozgási vagy kinetikus **energia** (E_{kin})

A munkavégzés eredménye nagyobb E_{kin} .

Alkalmazások pl.: a röntgenső vagy az elektronmikroszkóp megbeszélésekor (lásd a 2. szemeszterben).

Munkavégzés másik erő ellenében

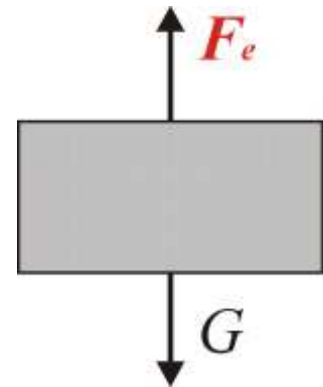
Pl. emelésnél, a **nehézségi erő** (G) ellenében
(g a nehézségi gyorsulás)

A munkavégzés eredménye „eltárolható”.

helyzeti, vagy potenciális **energia** (E_{pot})

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

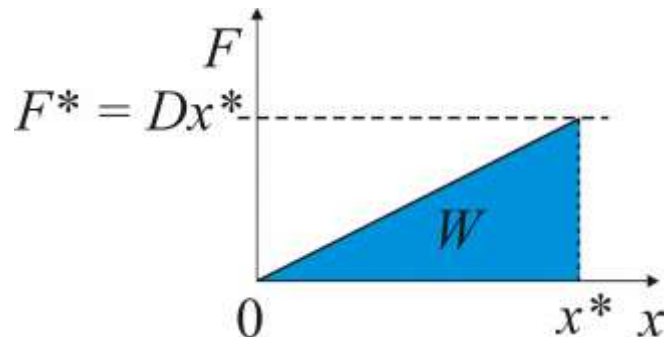
$$F_e = G = mg$$



A rugó potenciális energiája

$$\Delta E_{\text{pot}} = W$$

$$W = \frac{Dx^* x^*}{2} = \frac{1}{2} D(x^*)^2$$



Pl. rugalmas erek

(mechanikai energia megmaradás)

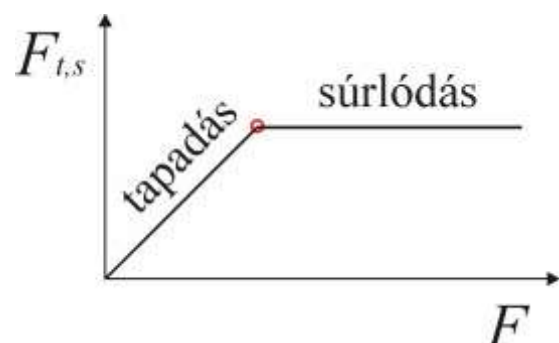
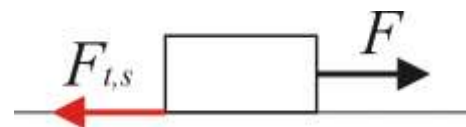
A munkavégzés „sebessége”
a **teljesítmény** (P):

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad [W] = [J/s]$$

Tapadás és súrlódás

Nincs energia megmaradás?

(lásd **termodinamika**)



Mi a helyzet **folyadékok** ill. gázok esetében?

Nyugvó folyadékok (és gázok) → **hidrosztatika**

Pascal törvénye

Folyadékokban a nyomás gyengítetlenül tovaterjed, mert „összenyomhatatlanok” (inkompresszibilisek) ($\kappa_{\text{víz}} = 0,5 \text{ GPa}^{-1}$) (fékek működése, hidraulika)

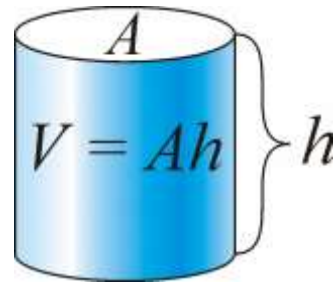
Hidrosztatikai nyomás (a folyadék súlyától származik)

Nyugalomban, földi körülmények között (a legegyszerűbb esetben):

$$mg = V\rho g = Ah\rho g = F_{\text{súly}}$$

(ρ a közeg sűrűsége)

$$p = F_{\text{súly}}/A = \rho gh$$



Ennek következménye a felhajtó erő (F_f):

Archimédész törvénye (minden vízbe mártott test...)

$$F_f = \rho_{\text{közeg}} g V$$

Termodinamika

(**hőtan**)

Előzmények: a mechanikai energia megmaradás (munkatétel)

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2$$

$$W = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \Delta E_{\text{mozg.}}$$

Hová lesz az energia rugalmatlan ütközés (vagy súrlódás) esetén?

„Felmelegíti a testet” (emelkedik a hőmérséklete)

„Hővé alakul”

$$W = \Delta E_{\text{belső}}$$

A témakör kulcsfontosságú fizikai mennyisége a

belső energia ($E_{\text{belső}}$)

az atomi **részecskék** rendszertelen **hőmozgásával** és

az egymás közötti **kölcsönhatásaikkal** kapcsolatos.

Termikus kölcsönhatás

Új makroszkopikusan kölcsönhatás (a mechanikai mellett),
ami **hőközlés** formájában valósul meg

$$Q = \Delta E_{\text{belső}}$$

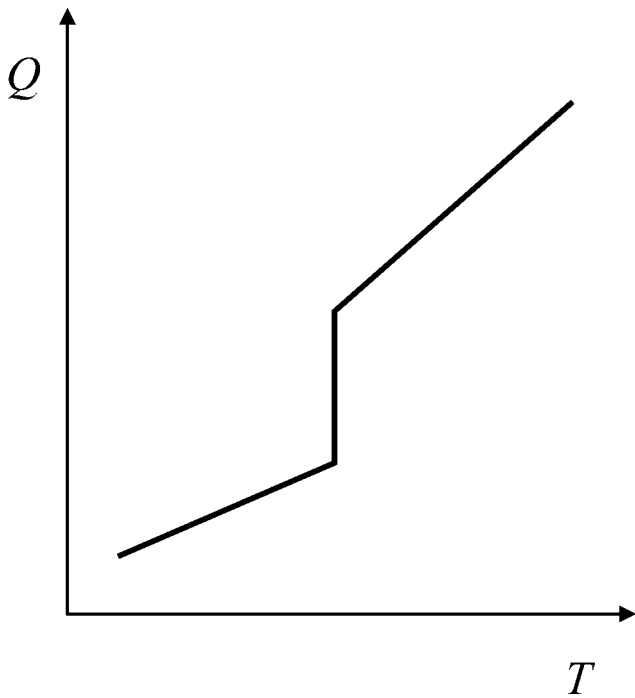
Két újabb mennyiség: **hő** (Q) és **hőmérséklet** (T)

Hőközlés hatására mi történhet?

A test **felmelegszik**, azaz nő a hőmérséklete (de nem mindig),

kitágul, azaz nő a térfogata (de nem mindig)

Mennyire melegszik?



Hőkapacitás (egy testé):

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Fajhő vagy fajlagos hőkapacitás (egy anyagé):

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

Mólhő vagy moláris hőkapacitás (egy anyagé):

$$C_v = \frac{\Delta Q}{\nu\Delta T}$$

Olvadáshő, forráshő $Q = L m$

Hőtágulás (*szabadon*), kis változások

hőtágulási együtthatók

Szilárd anyagokra (lineáris):

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l\Delta T}$$

Folyadékokra (térfogati):

$$\beta = \frac{\Delta V}{V\Delta T}$$

Gázok: összenyomhatók ($\kappa \approx 10^4 \text{ GPa}^{-1}$)

$$pV = NkT, \quad \text{vagy} \quad pV = \nu RT$$

$$kN_A = R$$

$$N/N_A = \nu$$