Kísérleti fizika

Vígh Máté

2019. 02. 08. – előadás

Kísérleti fizika tárgya, módszerei

- „physis” = természet(tan)
- folyamatok vizsgálata, melyben az anyagi összetétel változatlan
- pl.: vasrúd → melegítés, felmelegítés → fizika
↘ rozsdásodás → kémia
- kísérleti fizika: indukció (általánosítás) módszere
- elméleti fizika: dedukció (specializáció) módszere

Mérés

- kísérlet → kvalitatív (minőségi) eredmény
↘ kvantitatív (mennyiségi) eredmény
- mérés: kísérleti úton kvantitatív összefüggések megállapítása fizikai mennyiségek között
- mindig összehasonlítás, korábban elfogadott etalonokhoz (standardokhoz) képest

Hossz, tömeg, idő (mérték)egysége

- fizikai mennyiség → számérték / mérőszám
↘ mértékegység
- mértékegységek etalonjai mindenki számára hozzáférhető, időben állandó

1960. – SI (system international)

- 6 alapegység:
  - hosszúság (m)
  - tömeg (kg)
  - idő (s)
  - hőmérséklet (K)
  - áramerősség (A)
  - fényerősség (cd)

Hosszúság

- történeti fejlődés:
  - 1120: $yard$ – király orra és kitárt keze közti táv
  - XIV. Lajos: $láb$ – lába hossza
  - 1799. Párizs: $méter$ – Északi-sark és Egyenlítő távolságának ($^1/_{10^6}$) milliomod része
  - 1960. Párizs: $méter$ – platina-iridium rúd hossza
  - jelenleg: $méter$ – vákuumban fény által megtett út $^1/_{299\,792\,458}\ s$ alatt → $c = 299\,792\,458\ ^m/_s$
- tipikus hosszúságok:
  - fényév: $9{,}46 \cdot 10^{15}\ m$
  - Nap-Föld táv: $1{,}5 \cdot 10^{11}\ m$
  - Egyenlítő hossz: $4 \cdot 10^{7}\ m$
  - Föld sugár: $6{,}37 \cdot 10^{6} m$
  - inch: $2{,}54\ cm$
  - sejt méret: $10^{-5} m$
  - H-atom: $10^{-10}\ m\ (= \text{Å})$
  - atommag: $10^{-14}\ m$
  - proton: $10^{-15}\ m$

http://htwins.net/scale2/

Idő

- történeti fejlődés:
  - nap hossza, hónapok: $másodperc$ – nap $\left(\frac{1}{60}\right) \cdot \left(\frac{1}{60}\right) \cdot \left(\frac{1}{24}\right)$-ed része
  - holdhónap (Kijri-naptár)
  - jelenleg: $másodperc$ – Cs-133 (cézium) atom bizonyos típusú rezgési periódus idejének 9 192 631 770-szerese (atomóra)
- tipikus idők:
  - Föld kor: $1{,}3 \cdot 10^{17} s$
  - hallgató kor: $6{,}3 \cdot 10^{8}\ s$
  - év: $3{,}2 \cdot 10^{7}\ s$
  - nap: $8{,}6 \cdot 10^{4}\ s$
  - hanghullám: $10^{-3}\ s$

Tömeg

- történeti fejlődés:
  - 1887. – 2019. május: kg – Pt-Ir tömegetalon
  - jelenleg: kg – úgy kell megválasztani, hogy a Planck-állandó értéke $h = 6{,}626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34} kg \frac{m^2}{s}$
- tipikus tömegek:
  - Nap tömeg: $1{,}99 \cdot 10^{30}\ kg$
  - Föld tömeg: $5{,}98 \cdot 10^{24}\ kg$
  - H-atom: $1{,}67 \cdot 10^{-27}\ kg$
  - elektron: $9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg$

Prefixumok

10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	piko	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	mikro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^{1}	deka	dk
10^{2}	hekto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	mega	M
10^{9}	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E
10^{21}	zetta	Z
10^{24}	yotta	Y

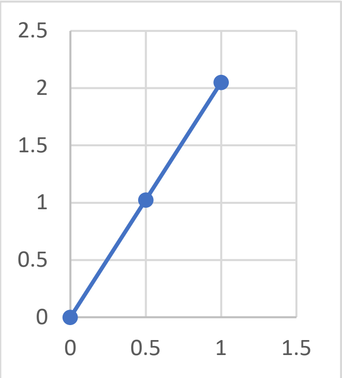
Dimenzióanalízis

- csak azonos mértékegységű mennyiségek összeadhatók
- egyenlet 2 oldalán csak azonos mértékegységű (dimenziójú) mennyiség állhat

Fonálinga

- pl.: fonálinga: $[m] = kg \quad [g] = {}^{m}/_{s^2} \quad [l] = m \quad [T] = s$
- periódusidő:
  - $[T] = s$
  - $[T] \sim [m^\alpha \cdot l^\beta \cdot g^\gamma]$
  - $s = kg^\alpha \cdot m^\beta \, . \, {}^{m^\gamma}/_{s^{2\gamma}}$
  - $s = kg^\alpha \cdot m^{\beta+\gamma} \cdot s^{-2\gamma}$
  - $\rightarrow \alpha \neq 0, \;\; \gamma = -\frac{1}{2}, \;\; \beta = -\gamma = \frac{1}{2}$
  - $T + \sqrt{{}^{l}/_{g}}$
  - látható lesz: $T = 2\pi\sqrt{{}^{l}/_{g}}$
- kísérlet:

$l(m)$	$10T\ (s)$	$T(s)$
1	20,5	2,05
0,75	…	…
0,5	…	…



<u>2019. 02. 15. – előadás</u>

Pontosság, értékes jegyek száma

- matekban: $0{,}12 = 0{,}12000 \ldots. = \frac{6}{50}$
- fizikában: $0{,}12 \neq 0{,}1200$
- pl.: korong sugara 60 cm
  - $(5{,}9\ cm < r < 6{,}1\ cm)$
  - $r = (6{,}0 \pm 0{,}1)\ cm$ – 2 db értékes jegy
- értékes jegyek száma: kiírt számjegyek száma – szám elején álló 0-k szám a
- pl.:
  - 0,0075 – 2 db értékes jegy
  - 7,500 – 4 db értékes jegy
  - $1{,}5 \cdot 10^4$ – 2 db értékes jegy
  - $1{,}50 \cdot 10^4$ – 3 db értékes jegy
  - 200 átírás
    - $= 2{,}00 \cdot 10^2$ – 3 db értékes jegy
    - $= 2 \cdot 10^2$ – 1 db értékes jegy

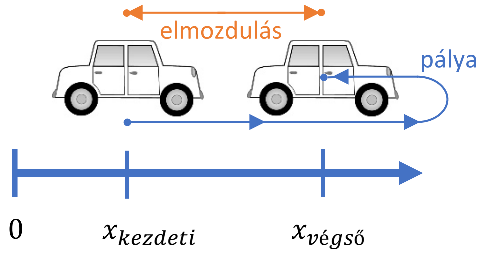
Műveletek

- szorzatban/hányadosban: eredmény értékes jegyeinek száma = kisebb értékes jegyű tényező értékes jegyei
  - pl.: $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (6{,}0\ cm)^2 = 113, \ldots cm^2 \approx 1{,}1 \cdot 10^2\ cm^2$
- összegben/különbségben: kiírt tizedesjegyek száma = kisebb tizedesjegyű szám tizedesjegyei
  - pl.: $0{,}24\ s + 8{,}1\ s = 8{,}34\ s \approx 8{,}3\ s$

Egyenesvonalú mozgások kinematikai jellemzése

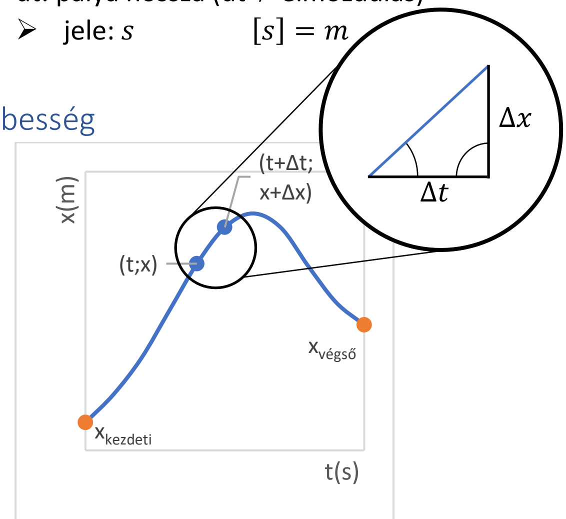
- kinematikai = hogyan, nem miért mozog

Hely jellemzése



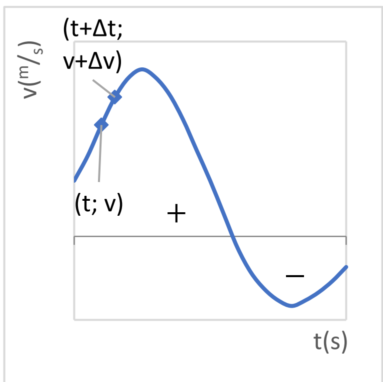
- helykoordináta: $x(t)$ $[x] = méter$
- elmozdulás: $\triangle x = x_{végső} - x_{kezdeti}$
- pálya: anyagi pont által befutott pontsorozat
- út: pálya hossza (út $\neq$ elmozdulás)
  - jele: s $[s] = m$

Sebesség



- sebesség: hely változási üteme
- $v = \frac{\text{kis elmozdulás}}{\text{eltelt rövid idő}}$
- $v = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle x}{\triangle t}$ (tan α: az $x(t)$ grafikonja adott pontbeli érintőjének meredeksége)
- $[v] = \frac{m}{s}$ $\quad 1\frac{m}{s} = 1\frac{10^{-3}\ km}{\frac{1}{60}\cdot\frac{1}{60}\ h} = 3600 \cdot 10^{-3}\frac{km}{h} = 3{,}6\frac{km}{h}$
- átlagsebesség:
  - $< |v| \geq v_{átlag} = \frac{s_{összes}}{t_{összes}}$
  - mindig ≥ 0

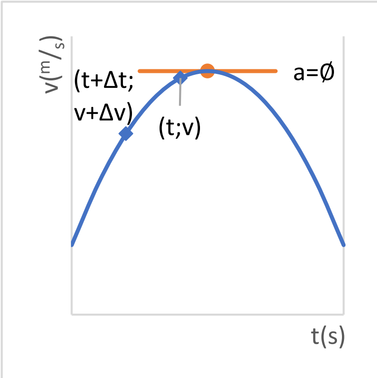
Elmozdulás és sebesség kapcsolata



- $v(t) \cdot \triangle t \approx \frac{\triangle x}{\triangle t} \cdot \triangle t = \triangle x$
- teljes elmozdulás:
  - $\triangle x_{teljes} = \sum v(t) \triangle t$
  - $\triangle x_{teljes} = \int_0^{t_{vég}} v(t)dt$
- elmozdulás: $v(t)$ grafikon és t tengely által közrezárt terület előjeles összege

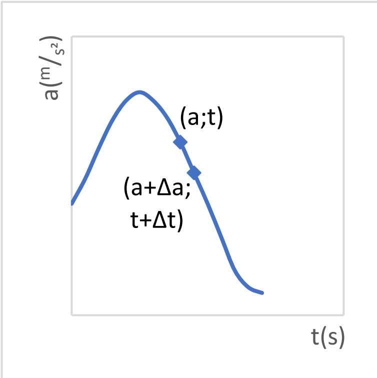
Gyorsulás

- gyorsulás: sebesség változási üteme
- $a = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle v}{\triangle t}$
- $[a] = \frac{m}{s^2} = \frac{\frac{m}{s}}{s}$
- $v(t)$ diagram érintőjének adott t idő pillanatbéli meredeksége



Sebesség változás és gyorsulás kapcsolata

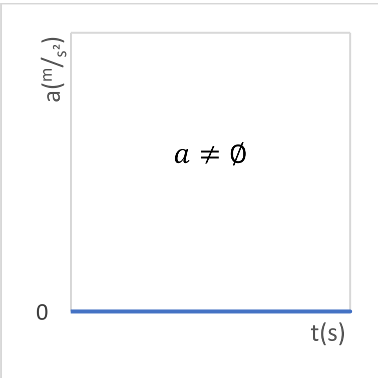
- $a \cdot \triangle t = \frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot \triangle t = \triangle v$
- teljes mozgás:
  - $\triangle v_{teljes} = \sum a(t) \triangle t$
  - $\triangle x_{teljes} = \int_0^{t_{vég}} a(t)dt$
- sebességváltozás: $a(t)$ grafikon és t tengely által közrezárt terület

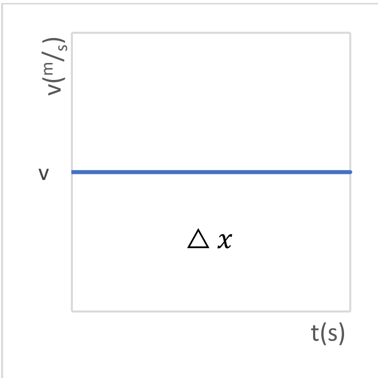


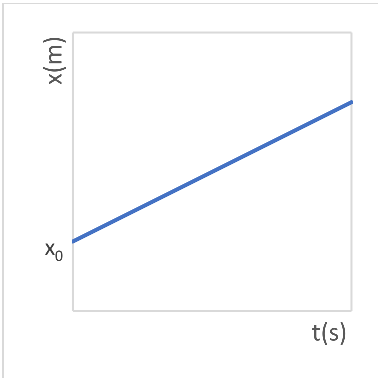
Speciális egyenes vonalú mozgások

Egyenes vonalú egyenletes mozgás

- sebesség: $v =$ állandó
- kezdeti helyzet: $x(t = 0) = x_0$



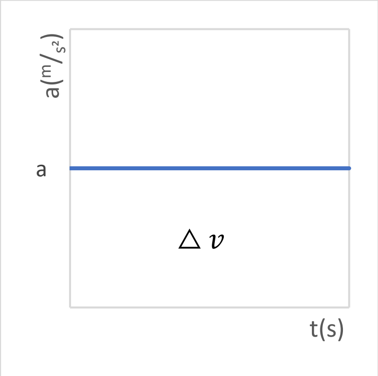


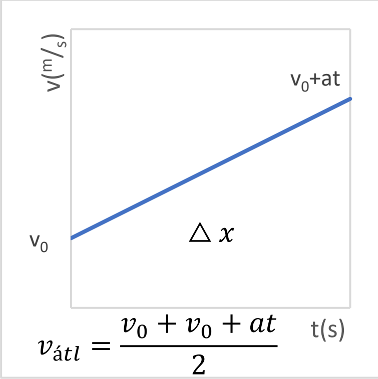


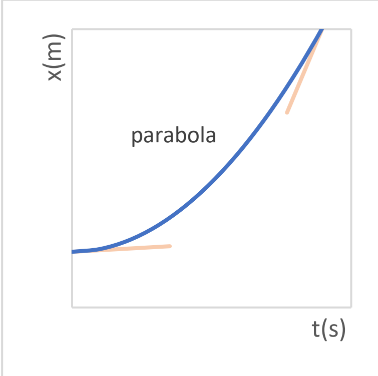
- elmozdulás t idő alatt: $\triangle x = v \cdot t$
- helykoordináta: $x(t) = x_0 + \triangle x = x_0 + v \cdot t$
- kísérlet: Mikola-cső, kocsi vízszintes légpárnás sínen

Egyenletesen változó mozgás

- gyorsulás: $a =$ állandó
- kezdeti helyzet: $x(t=0) = x_0 \qquad v(t=0) = v_0$

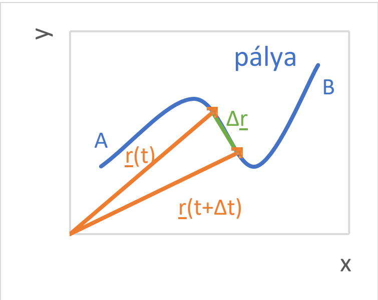


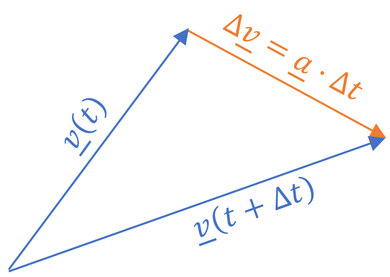




- sebesség: $v(t) = v_0 + \triangle v = v_0 + a \cdot t$
- elmozdulás: $\triangle x = \frac{v_0+v_0+a\cdot t}{2} \cdot t = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} t^2$
- helykoordináta: $c(t) = x_0 + \triangle x = x_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$
- kiegészítés: $v(x) = ?$
  - kezdeti feltétel: $x_0 = \emptyset\, v_0 = \emptyset$
  - $v(t) = a \cdot t \rightarrow t = \frac{v}{a}$
  - $x(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2$
  - $x(v) = \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{v^2}{2a}$
  - $v(x) = \sqrt{2a \cdot x}$

Mozgások 3 dimenzióban

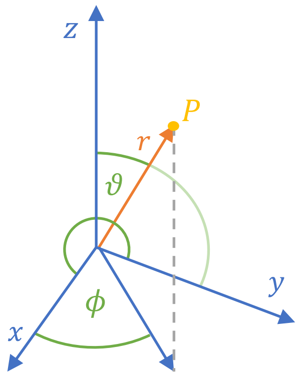




- helyvektor: $\underline{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$
- elmozdulásvektor: $\triangle \underline{r} = \underline{r}(t + \triangle t) - \underline{r}(t)$
- sebességvektor: $\underline{v} = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle \underline{r}}{\triangle t} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix}$ pl.: $v_x = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle x}{\triangle t}$
- gyorsulásvektor: $\underline{a} = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle \underline{v}}{\triangle t} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$ pl.: $a_x = \lim\limits_{\triangle t \to 0} \frac{\triangle r_x}{\triangle t}$

Helyvektor megadásának módja

- Descartes-féle koordináta rendszer
- Gömbi polárkoordináta rendszer:
  - ϑ: polárszög
  - φ: azimutszög
  - analóg $\longleftrightarrow$ földrajzi hosszúság/szélesség



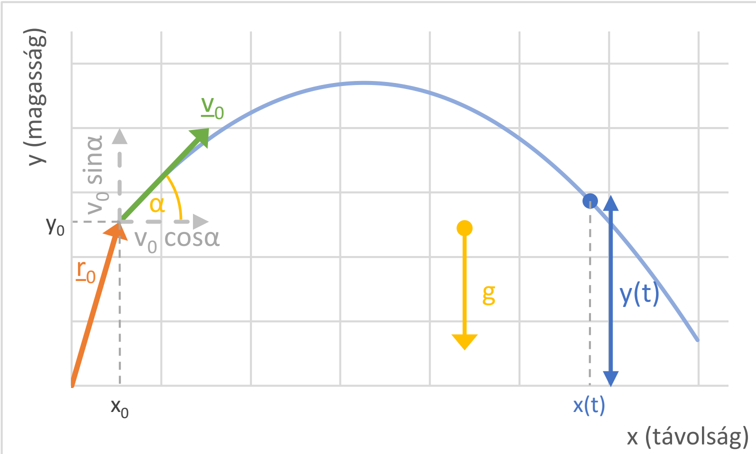
<u>2019. 02. 22. – előadás</u>

Kinematika

Ferde hajítás

- $\underline{a} = \underline{g} = 9{,}81\,\frac{m}{s^2} = \text{állandó}$
- $\underline{r}_0 = (x_0 y_0)$
- $\underline{a} = (0, -g)$
- $\underline{v}_1 = (v_0 \cdot \cos\alpha\,, v_0 \cdot \sin\alpha)$
- mozgások függetlenségének elve (kísérlet)
- $\underline{v}(t) = \begin{pmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \cdot \cos\alpha \\ v_0 \cdot \sin\alpha - gt \end{pmatrix} \rightarrow$

  $\underline{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 + \overbrace{v_0 \cdot cos\alpha \cdot t}^{\text{elmozdulás}} \\ y_0 + v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{g}{2}t^2 \end{pmatrix}$

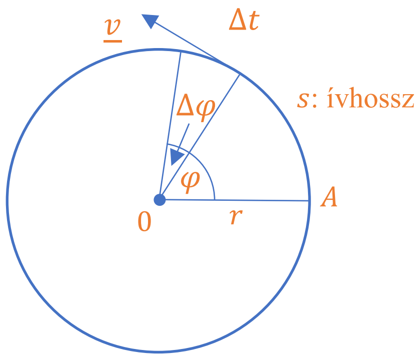


- pálya alakja:
  - legyen: $x_0 = \emptyset \quad y_0 = \emptyset$
  - paraméteres egyenlet:
    - $x(t) = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$
    - $y(t) = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$
  - kanonikus egyenlet:
    - $t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha}$
    - $y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cdot \cos\alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}$
    - $y = -\frac{g}{2\,v_0^2 \cdot \cos^2\alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan\alpha$

Körmozgások jellemzői

Hely jellemzése

- $\gamma = \frac{s}{r} \qquad [\gamma] = rad$
- $\pi rad = 180° \qquad 1rad = \frac{180°}{\pi}$

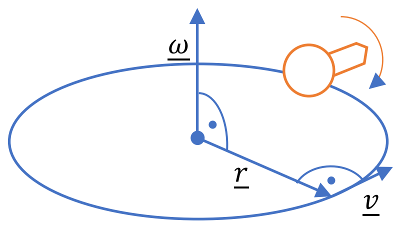


Mozgás gyorsasága

- szögsebesség: $\varpi = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\gamma}{\Delta t}\ [\varpi] = \frac{1}{s}$
- kerületi sebesség: $v_k = |\underline{v}| = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{r\Delta\gamma}{\Delta t} = r\varpi$

Szögsebességvektor

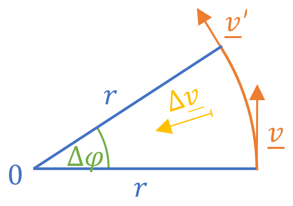
- $\underline{v} = \underbrace{\underline{\varpi}}_{\text{1. vektor}} \ x \ \underbrace{\underline{r}}_{\text{2. vektor}}$
- $|\underline{v}| = \varpi \cdot r \cdot \sin 90° = \varpi r$

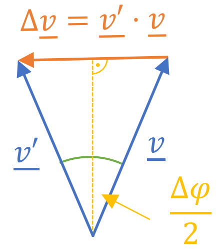


Fordulatszám, periódusidő

- $f = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\frac{\Delta\gamma}{2\pi}}{\Delta t}$ $\quad\leftarrow$ Δt idő alatt hány fordulat $\rightarrow f = \varphi/2\pi$ $\quad [f] = \frac{1}{s} = Hz$
- egyenletes körmozgás (ω állandó):
  - $f = \frac{1}{T}$ $\quad T \coloneqq$ periódusidő $\rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$

Centripetális gyorsulás

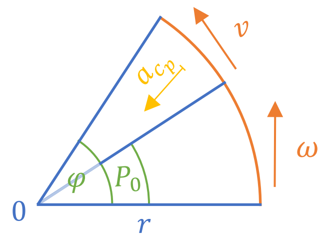




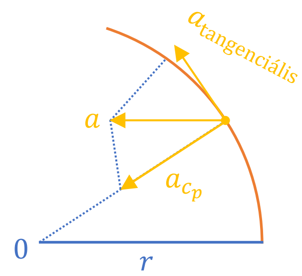
- $|\underline{v}| = |\underline{v}'|$
- $|\underline{a}| = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta\underline{v}|}{\Delta t} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{2\pi \cdot \sin\frac{\Delta\varphi}{2}}{\Delta t}$
- $|\underline{a}| = v \cdot \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{2 \cdot \sin\frac{\Delta\varphi}{2}}{\Delta t} = v \cdot \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$
- $a_{c_p} = |\underline{a}| = v\omega = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$
- mindig a kör középpontja felé mutat

Speciális körmozgások

- egyenletes körmozgás: $\quad$ ($\omega =$ állandó)
  - $\varphi(t) = \varphi_0 + \Delta\varphi = \varphi_0 + \omega t$
  - $v(t) = r\omega =$ állandó
  - $|\underline{a}| = a_{c_p} = r\omega^2 = \frac{v^2}{r} =$ állandó



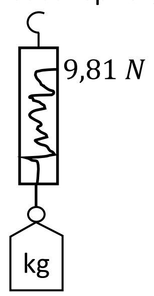
- egyenletesen változó körmozgás:
  - $\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \beta =$ állandó (szöggyorsulás) $\quad [\beta] = \frac{1}{s^2}$???
  - $\omega(t) = \omega_0 + \beta t$
  - $\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2$
  - $a_t = r\beta$



Dinamika alapjai

Erő fogalma, mérése

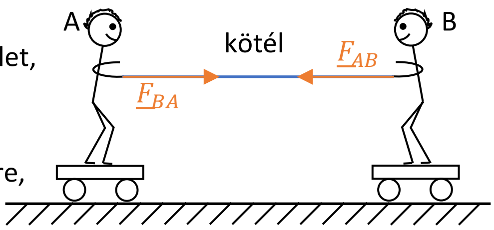
- egymással kapcsolatba kerülő testek, kölcsönhatásba lépnek, ennek leírása az erőt használjuk
- mérési utasítás:
  - alakváltoztató hatás – rugós erőmérés
  - mozgásállapotváltoztató hatás
- jele, mértékegysége:
  - $\underline{F}$ $\quad [F] = N = kg\frac{m}{s^2}$
- kalibrálás →



Newton 2. törvénye

- tapasztalat szerint: $\underline{a} \sim \underline{F}$
- hányados állandó:
  - $m = \frac{|\underline{F}|}{|\underline{g}|} \coloneqq$ állandó (tömeg)
  - $[m] = \frac{N}{\frac{m}{s^2}} = \frac{kg\frac{m}{s^2}}{\frac{m}{s^2}} = kg$
- Newton 2. törvénye: (több erőhatás esetén: $\sum^{+}\underline{F}$) $\underline{F} = m \cdot \underline{a}$

Newton 3. törvénye



- kísérlet: 2 kocsin álló hallgató tart egy kötelet, ha az egyik húzza a kötél végét a másik is elmozdul
- erő mindig kölcsönhatás
- Newton 3. törvénye: ha egy A test erővel hat egy B testre, akkor a B test is erőt fejt ki az A testre; ez a 2 erő egyenlő nagyságú, párhuzamos és ellentétes irányú
- $\underline{F}_{AB} = -\underline{F}_{BA}$

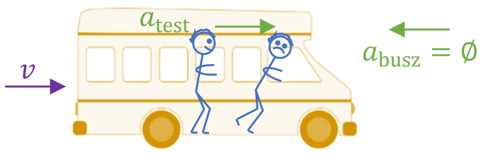
<u>2019. 03. 01. – előadás</u>

Newton 1. törvénye – tehetetlenség törvénye

- 2. törvény alapján: ha 1 testre nem $\sum \underline{F} = \underline{\emptyset} \rightarrow \underline{a} = \underline{\emptyset} \rightarrow \underline{v} =$ állandó, azaz a test egyenes vonalú, egyenletes mozgást végez / nyugalomban marad
  - mihez képest nyugalomban → vonatkozási rendszer?

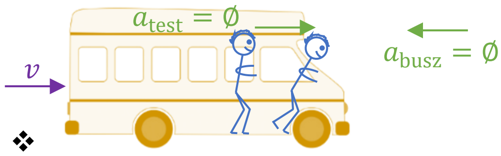
Megfigyelés

- busz vonatkoztatási rendszere:



  - $a_{busz} = \emptyset \qquad a_{test} \neq \emptyset$
    $\sum \underline{F} = \underline{\emptyset}$
  - Newton 1. törvénye nem igaz

- talajhoz viszonyított vonatkozási rendszer:



  - $a_{busz} \neq \emptyset \qquad a_{test} = \emptyset$
    $\sum \underline{F} = \underline{\emptyset}$
  - Newton 1. törvénye igaz

Értelmezés

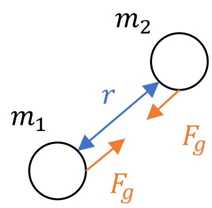
- Newton 1. törvénye a 2. és 3. törvény érvényességi körét rögzíti
- vagyis: Newton 1. törvénye inerciarendszerekben érvényes
- inerciarendszer: vonatkozási rendszer, melyben érvényes Newton 1. (s többi) törvénye

Erőtörvények

- erők → erőtörvénnyel leírható
- ↘ kényszererők (nyomóerő, fonálerő)

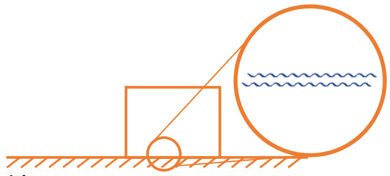
Gravitációs állandó (Newton-féle)

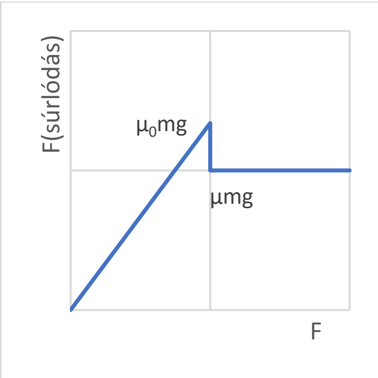
- $F_g = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$
- gravitációs állandó: $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\, N \frac{m^2}{kg^2}$
- gravitációs gyorsulás: $F_g = \gamma \frac{m_{Föld} \cdot m}{R^2} = m g_0 \approx \overbrace{10 \frac{m}{s^2}}^{g_0} \cdot \overbrace{m}^{tömeg}$
- földi g kisebb g_0-nál
- g: nehézségi gyorsulás

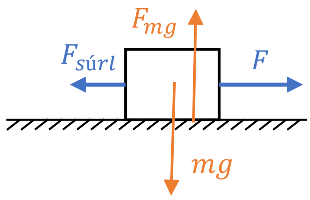


pont-/gömbszerű testek

Csúszási és tapadási súrlódási erő



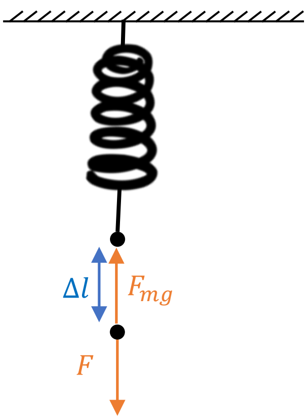
- oka: érintkező testek egyenetlenségei (recék)
- csúszási súrlódás:
  - felületek egymáshoz képest mozognak ($v_{rel} \neq \emptyset$)
  - iránya: v_{rel}-lel ellentétes
  - $F_{cs} = \underbrace{\mu}_{\text{csúszási, súrlódási tényező}} \cdot \underbrace{F_{ny}}_{\text{nyomóerő}}$
- tapadási súrlódás:
  - felületek egymáshoz képest nem mozognak ($v_{rel} = \emptyset$)
  - iránya: többi erő határozza meg
  - $F_{tap} \leq \underbrace{\mu_0}_{\text{tapadási, súrlódási tényező}} \cdot \underbrace{F_{ny}}_{\text{nyomóerő}}$
- demonstráció:
  - 

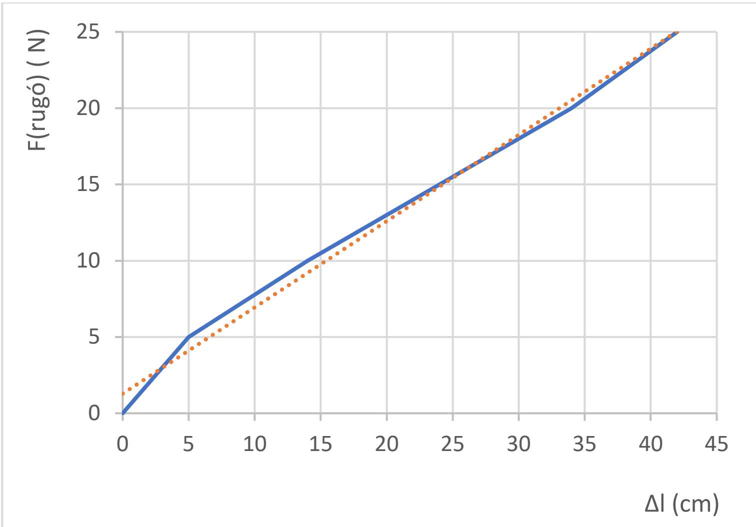


Rugóerő

- kísérlet:

$F_{rug}\ (N)$	5	10	15	20	25
$\Delta l\ (cm)$	5	14	24	34	42

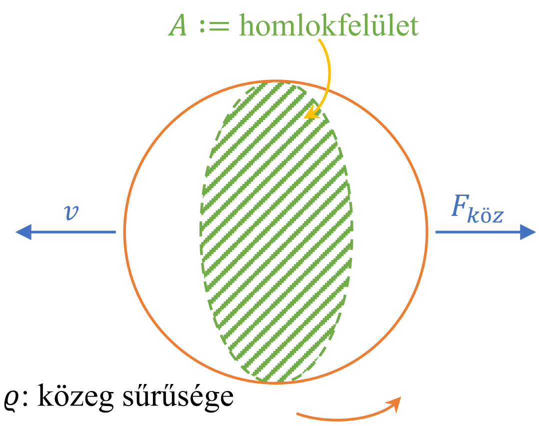




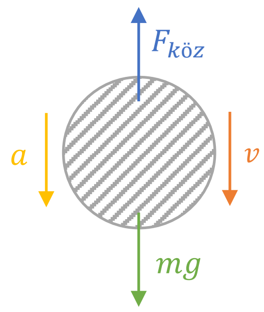
- Hooke-törvény: $F_{rug} = D \cdot \Delta l$
- rugóállandó: $[D] = \frac{n}{m}$

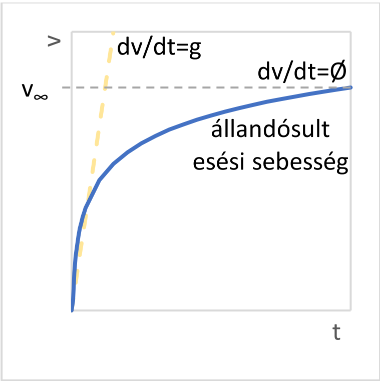
Közegellenállási erő

- közegellenállás:
  - gázokban, folyadékokban
  - relatív sebességgel ellentétes
  - $F_{köz} = \underbrace{C}_{\text{alaktényező}} \cdot \varrho \cdot A \cdot v^2$



- esés közegellenállással:
  - Newton 2.: $mg - \overbrace{C\varrho A v^2}^{F_{köz}} = m\overbrace{\frac{dv}{dt}}^{a}$
  - $\frac{dv}{dt} = g - \frac{C\varrho A}{m} v^2$
  - $v_\infty = \sqrt{\frac{mg}{C\varrho A}}$

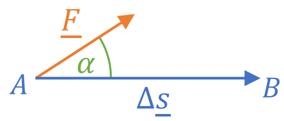




  -

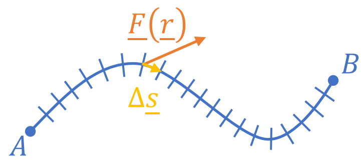
Munka fogalma – energetika

Egyenes vonalú mozgás



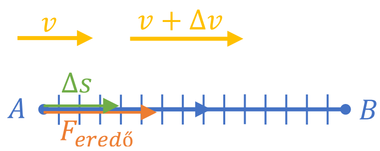
- $F =$ állandó
- munka: $w = \underline{F} \cdot \Delta\underline{s} = |\underline{F}| \cdot |\Delta\underline{s}| \cdot \cos\alpha$
  - ha $\alpha = 90° \rightarrow w = \emptyset$
  - ha $\alpha = 0° \rightarrow w = F \cdot \Delta s$
  - ha $\alpha > 90° \rightarrow w < 0$
- $[w] = N \cdot m = J$ (Joule)

Nem egyenes vonalú mozgás



- $F \neq$ állandó
- darabokra osztással: $w_{teljes} = \sum_A^B \underline{F} \cdot \Delta\underline{s}$

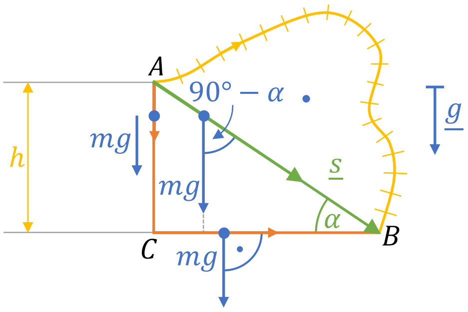
Munkatétel, mozgási energia



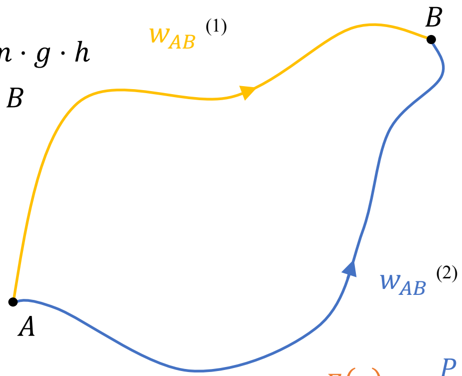
- eredő erő elemi munkája:
  - I.: $w = F_{eredő} \cdot \Delta s = F_{eredő}\ \underbrace{v \cdot \Delta t}_{\Delta s}$
  - II.: $F_{eredő} = m \cdot a = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$
  - I. & II.: $w_{elemi} = \overbrace{m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}}^{F_{eredő}} \cdot v \cdot \Delta t = m \cdot v \cdot \Delta v$
  - $\Delta(v^2) = (v + \Delta v)^2 - v^2 = 2v \cdot \Delta v + (\Delta v)^2$
  - $v \cdot \Delta v = \frac{1}{2}\Delta(v^2)$
- összefoglalva:
  - $w_{elemi} = m \cdot \frac{1}{2}\,\Delta(v^2)$
  - $w_{teljes} = \sum w_{elemi} = \frac{m}{2}\sum\Delta(v^2) = \frac{m}{2}\left(v_{végső}^2 - v_{kezdeti}^2\right)$
- munkatétel:
  - $w_{teljes}^{eredő} = \underbrace{\frac{1}{2}m\,v_{végső}^2}_{E_{kis}^{végső}} - \underbrace{\frac{1}{2}m\,v_{kezdeti}^2}_{E_{kis}^{kezdeti}} = \Delta E_{kin}$ (kinetikus mozgási energia)

2019. 03. 08. – előadás

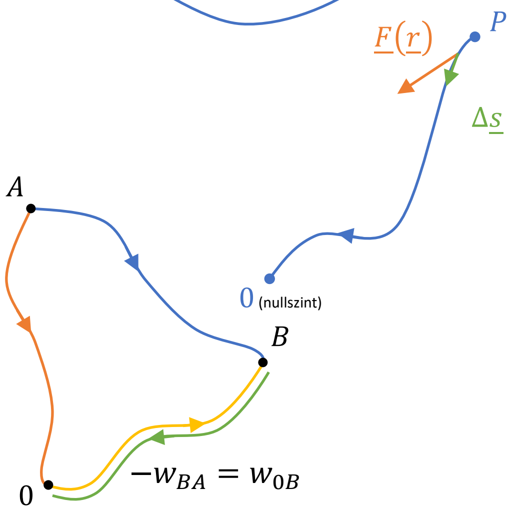
Konzervatív erőtér, potenciális energia



- nehézségi erő munkája:
  - $w_{AB} = m \cdot \underline{g} \cdot \underline{s} = m \cdot g \cdot s \cdot \cos(90° - \alpha)$
    $= m \cdot g \cdot s \cdot \sin\alpha$
  - $w_{ACB} = w_{AC} + w_{CB} = m \cdot g \cdot \underbrace{h}_{s \cdot \sin\alpha} \cdot \underbrace{\cos 0°}_{1} + \emptyset$
    $= m \cdot g \cdot s \cdot \sin\alpha$
- belátható: $m \cdot \underline{g}$ munkája tetszőleges $A \to B$ útvonalon $m \cdot g \cdot h$
- definíció: erőtér akkor konzervatív, ha tetszőleges A és B pontok között munkája független a pálya alakjától
- nem konzervatív pl.: súrlódás, közegellenállás

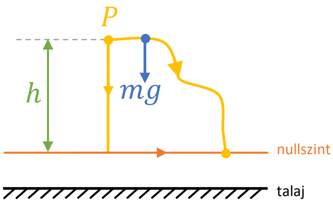


Helyzeti (potenciális) energia



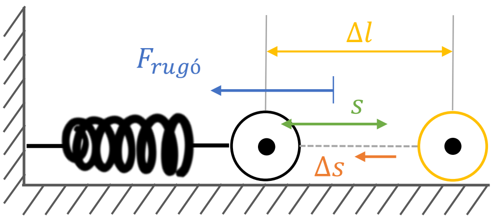
- legyen:
  - $\underline{F}(\underline{r})$ konzervatív erőtér
  - nullszint: 0 kezdőpontot
- definíció: tetszőleges P pont helyzeti energiája:
  - $E_{pot} = \sum_P^0 \underline{F} \cdot \Delta\underline{s}$
  - azaz az a munka, mit az erőtér a testen végez, mialatt azt a P ponttól a nullszintre visszük
  - $w_{AB} = w_{A0} + W_{0B} = E_{pot}^A - E_{pot}^B$

Nehézségi erőtér potenciális energiája

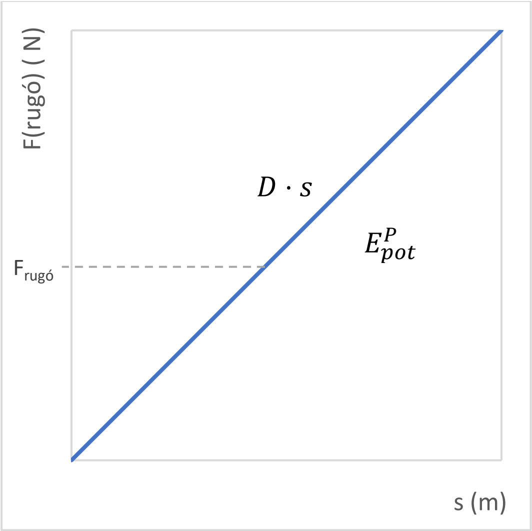


- nehézségi erőtérben:
  - $E_{pot}^p = m \cdot g \cdot h (= W_{P0})$
  - $E_{pot} > 0$,ha $h > 0$ (nullszint felett)
  - $E_{pot} < 0$, ha $h < 0$ (nullszint alatt)

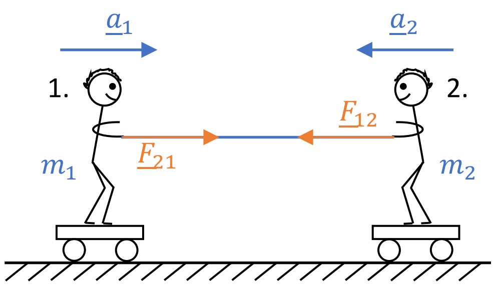
Rugalmas potenciális energia



- rugó munkavégzése a $P \to 0$ vonalon
  - $E_{pot}^p = \sum_P^0 \underline{F}_{rugó} \cdot \Delta\underline{s} = \sum_P^0 F_{rugó} \cdot \Delta s$
  - $F_{rugó} = D \cdot \overbrace{s}^{\text{megnyúlás}}$
  - $E_{pot}^p = \frac{1}{2}(D \cdot \Delta l) \cdot \Delta l = \frac{1}{2} D (\Delta l)^2$

- 

Impulzus, lendület fogalma



- 2 test kölcsönhatása (erő-ellenerő)
- Newton 2. törvénye:
  - $\underline{F}_{21} = m_1 \cdot \underline{a}_1 = m_1 \cdot \frac{\Delta \underline{v}_1}{\Delta t}$
  - $\underline{F}_{12} = m_2 \cdot \underline{a}_2 = m_2 \cdot \frac{\Delta \underline{v}_2}{\Delta t}$
- Newton 3. törvénye:
  - $\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21} \rightarrow \underline{F}_{12} + \underline{F}_{21} = \underline{\emptyset}$
  - $m_1 \cdot \frac{\Delta \underline{v}_1}{\Delta t} + m_2 \cdot \frac{\Delta \underline{v}_2}{\Delta t} = \underline{\emptyset}$
  - $\frac{\Delta(m_1 \underline{v}_1 + m_2 \underline{v}_2)}{\Delta t} = \emptyset \rightarrow m_1 \underline{v}_1 + m_2 \underline{v}_2 =$ állandó

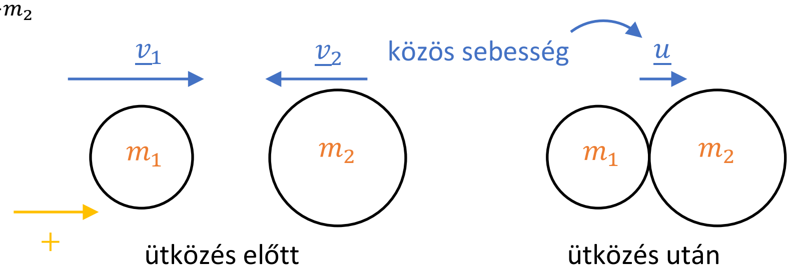
Impulzus

- $\underline{p} = m \cdot \underline{v}$
- irány megegyezik: $p_{\text{irány}} = v_{\text{irány}}$
- mértékegység: $[p] = kg\frac{m}{s}$
- impulzus megmaradás törvénye: 2 testre külső erő nem hat $\underline{p}_1 + \underline{p}_2 =$ állandó

Ütközések (1D)

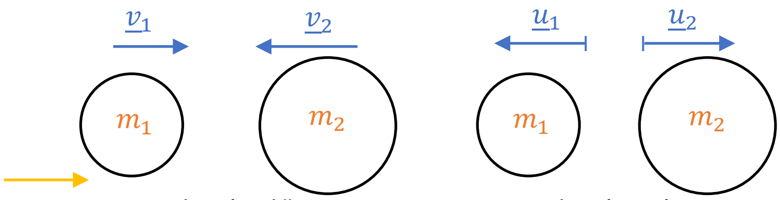
Tökéletesen rugalmatlan ütközés

- testek összetapadnak
- mechanikai energiamegmaradás nem teljesül
- impulzus megmarad:
  - $m_1 \underline{v}_1 + m_2 \underline{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \underline{u}$
  - közös sebesség: $\underline{u} = \frac{m_1 \underline{v}_1 + m_2 \underline{v}_2}{m_1 + m_2}$



Rugalmas ütközés

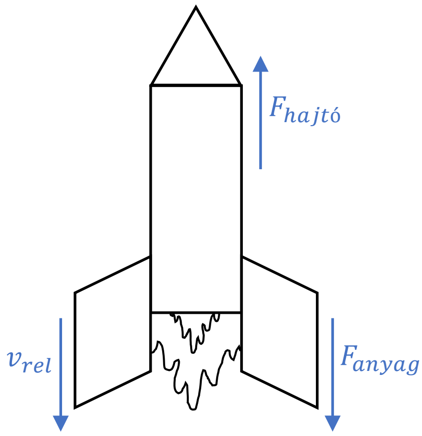
- mechanikai energia megmarad $E_{kin} + E_{pot} = E_{mech}$
- impulzus megmarad
- nincs összetapadás
- pl.: billiárd golyók ütközése



ütközés előtt ütközés után

- impulzus megmarad: $\underbrace{m_1v_1 - m_2v_2}_{P_{kezdeti}} = \underbrace{m_2u_2 - m_1u_1}_{P_{végső}}$
- mechanikai energia: $\underbrace{\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2}_{E_{mech}^{kezdeti}} = \underbrace{\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2}_{E_{mech}^{végső}}$

Impulzustétel



- Newton 2. törvénye:
  - $\sum \underline{F} = m \cdot \underline{a}_{(tömegkp)} = m \cdot \frac{\Delta \underline{v}}{\Delta t}$
  - $\sum \underline{F} = \frac{\Delta (m \cdot \underline{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta \underline{p}}{\Delta t}$
- rakétahajtóerő:
  - másodpercenként kiáramló gáz tömege: $\mu \left(\frac{kg}{s}\right)$
  - $F_{hajtó} = F_{anyag} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\mu \cdot \Delta t \cdot v_{rel}}{\Delta t}$

Perdületmegmaradás

- kiterjedt testek mozgása: haladó mozgás + forgómozgás

	haladó mozgás	**forgómozgás**
tehetetlenség	m	$\sim$ (tehetetlenségi nyomaték)
gyorsaság	v	ω
megmaradó mennyiség	$P = m \cdot v$	$N = \sim \cdot \omega$ (perdület)

2019. 03. 29. – előadás

Hőtan

Bevezetés

Newtoni és statisztikus leírás

- Newton-törvény: egyetlen részecske mozgás leírása
- egy szobában lévő $\approx 10^{27}$ db részecske mozgása nyomonkövethetetlen → statisztikus fizika
- mikroszkopikus leírás
  - részecskék
  - sebességek, ütközések
- makroszkopikus leírás
  - állapotjelzők
  - hőmérséklet, nyomás, térfogat

Extenzív s intenzív állapotjelzők

- extenzív:
  - rendszer méretével együtt nő
  - 2 rendszer egyesítésekor összeadódnak
  - pl.: térfogat, mólszám, belső energia, tömeg
- intenzív:
  - rendszer méretétől független
  - 2 rendszer egyesítésekor kiegyenlítődnek
  - pl.: nyomás, hőmérséklet, sűrűség

Hőmérsékleti skála

- értékelésen alapuló mindennapi tapasztalat
- objektív mérések: hőmérsékletfüggő tulajdonságon alapszik (pl.: higanyos hőm., platina ellenálláshőmérő)

Celsius-skála

- víz fagyáspontja: $0°C$
- víz forráspontja: $100°C$ (normál nyomás)

Kelvin-skála

- abszolút $0\ K = -273{,}15°C$
- $\Delta T = 1°C = 1\ K$

Fahrenheit-skála

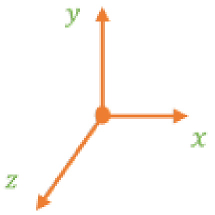
- víz fagyáspontja: $32°F$
- víz forráspontja: $212°F$

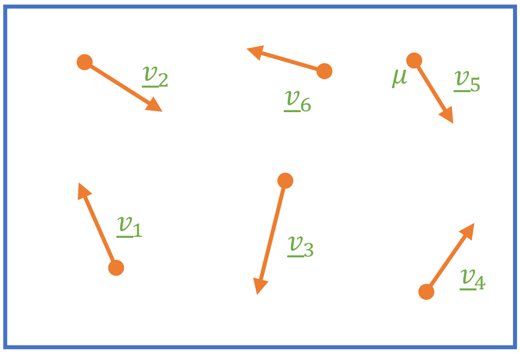
Hőmérséklet statisztikus értelme

Ideális gáz fogalma

- gáz: legegyszerűbb sokrészecske-rendszer, részecskék közti kölcsönhatás kicsi
- ideális gáz:
  - részecskék mérete elhanyagolható a tartály méretéhez képest
  - részecskék között nincs távolható kölcsönhatás
  - részecskék között csak (rugalmas!) ütközések vannak (kontakt kölcsönhatás)
- valódi gázok: jól közelíthetők ideális gázzal, ha nem túl nagy a sűrűség

Gáz részecskék sebességeloszlása

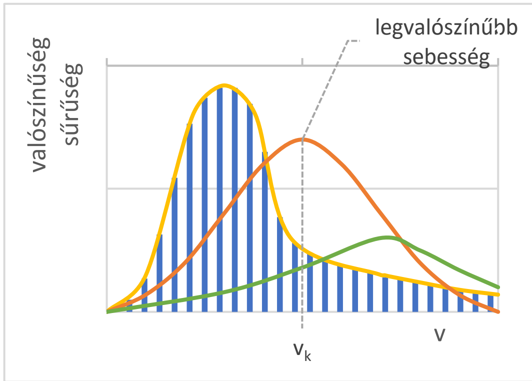




- $\mu :=$ 1 db részecske tömege
- $< \underline{v} > = \underline{0} \leftarrow$ sebességvektor átlaga
- $< |\underline{v}| > = ?$ $\qquad < \underline{v}^2 > = ?$

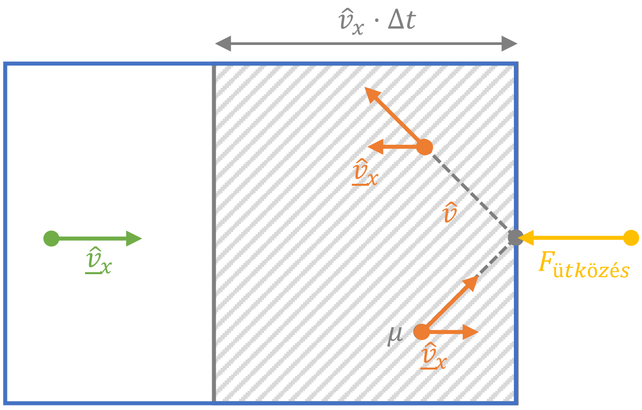
Maxwell-Boltzmann sebességeloszlás

- $T_1 < T_2 < T_3$
- $v * \sim \sqrt{T}$



Kinetikus gázelmélet

- tfh ∀ részecske a négyzetes átlagsebességgel mozog: $\hat{v} = \sqrt{< \underline{v}^2 >}$
- $\underline{p} = \mu \cdot \underline{v}$
- $\hat{v}^2 = \hat{v}_x{}^2 + \hat{v}_y{}^2 + \hat{v}_z{}^2 = 3\hat{v}_x{}^2$
- részecske impulzusváltozása ütközés alatt:
  - $\Delta p_{részecske} = 2\mu \cdot \hat{v}_x$
  - $\mu\hat{v}_x - (-\mu\hat{v}_x)$
- Δt idő alatt ütköző részecskék száma:
  - $\Delta N = \frac{1}{2} N \cdot \frac{A \cdot \hat{v}_x \cdot \Delta t}{V}$
  - N: összes részecske száma
  - V: tartály térfogata
- fal által kifejtett átlagos erő:
  - $F = \frac{\sum \Delta p}{At} = \frac{\Delta p_{1_{részecskéi}} \cdot \Delta N}{\Delta t} = \frac{2\mu\hat{v}_x \cdot \frac{1}{2} N \cdot \frac{(A\hat{v}_x \cdot \Delta t)}{V}}{\Delta T}$
  - $F = A \cdot \frac{N}{V} \cdot \mu \underbrace{\hat{v}_x^2}_{\frac{1}{3}\hat{v}^2} = \frac{2}{3} \cdot A \cdot \frac{N}{V} \cdot \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \mu\hat{v}_x^2}_{\text{mozgási energia 1 részecskére}}$
  - $*$



Szabadsági fok – f

- 1 részecske független energiatárolási lehetőségeinek száma
- 1 atomos gázra: $f = 3$
- 2 atomos gázra: $f = 5$
- több atomos gázra: $f = 6$

Ekvipartíció tétel

- (azonos részesedés)
- 1 részecske $\forall$ szabadság fokára $\frac{1}{2}kT$ energia jut
- T: abszolút hőmérséklet (K)
- k: Boltzmann-állandó $\quad k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
- segítségével 1 db részecske energiája: $\frac{1}{2}\mu\hat{v}^2 = \frac{1}{2}\mu\left(\underbrace{\hat{v}_x^2 + \hat{v}_y^2 + \hat{v}_z^2}_{3\hat{v}_x^2}\right) = 3 \cdot \frac{1}{2}kT$
- $* = F = A \cdot \frac{2}{3}\frac{N}{V} \cdot \frac{3}{2}kT$
- nyomás: $p = \frac{F}{a} = \frac{N}{V} \cdot kT \rightarrow pV = NkT$

<u>2019. 04. 05. – előadás</u>

Ideális gázok állapotegyenlete

- ismert: $p = \frac{NkT}{V} \rightarrow pV = NkT$
- $p \coloneqq$ nyomás $= \frac{\text{nyomás}}{\text{nyomott felület}}$, $[p] = \frac{N}{m^2} = Pa$ (pascal)
- $k \coloneqq$ Boltzmann-állandó, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
- $T \coloneqq$ abszolút hőmérséklet, $[T] = K$

Más alakok

- mólszám (anyagmennyiség) $n = \frac{N}{N_A}$, ahol $N_A = 6{,}0 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$ (Avogadro-állandó)
- sűrűség: $\rho = \frac{m}{V}$, $[\rho] = \frac{kg}{m^3}$
- $pV = N_A n \cdot kT = n \cdot \underbrace{N_A k}_{R} \cdot T$
- $R \coloneqq$ egyetemes gázállandó $R = 8{,}31 \frac{J}{mol \cdot K}$
- $pV = nRT$
- $pV = \underbrace{\frac{m}{M}}_{n} RT \rightarrow p = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{M} = \rho \cdot \frac{RT}{M}$ $\quad$ [$M \coloneqq$ moláris tömeg]
- általános gáztörvény: $\frac{pV}{T} =$ állandó

Hőtan 1. főtétele

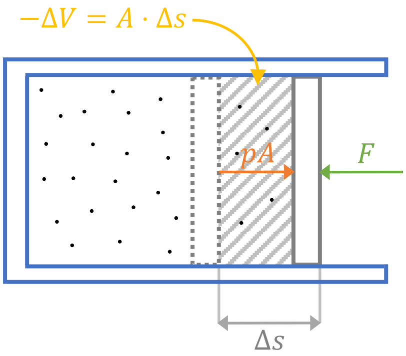
Gázok belső energiája

- ismétlés: 1-1 molekula mozgási energiája:
  - $\epsilon_{kin} = \epsilon_{haladó} + \epsilon_{forgás}$

Ekvipartíciós tétel

- $\epsilon_{kis} = 3 \cdot \frac{1}{2}kT + (f - 3) \cdot \frac{1}{2}kT$
- $\epsilon_{kis} = \frac{f}{2kT}$
- f: szabadsági fokok száma:
  - 1 atomos: $f = 3$
  - 2 atomos: $f = 5$
  - 3 atomos: $f = 6$
- teljes belső energia: $E_{belső} = N\frac{f}{2}kT = \frac{f}{2}NkT = \frac{f}{2}nRT = \frac{f}{2}pV$

Gázon végzett munka



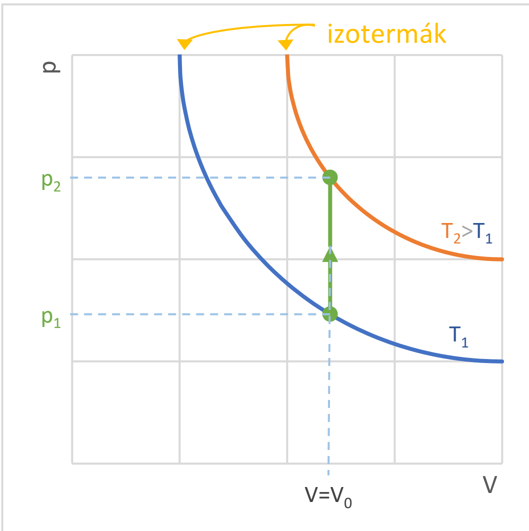
- dugattyú Δs-sel való benyomásakor végzett munka:
  - $\Delta W_{tömeg} = F \cdot \Delta s \cdot \underbrace{\cos 0°}_{1} = p \underbrace{A \cdot \Delta s}_{-\Delta V} = -p\Delta V$
- környezet munkája:
  - $\Delta W_{körny} < 0$, ha a gáz tágul
  - $\Delta W_{körny} > 0$, ha a gáz összenyomódik
  - $W_{körny} = \sum \Delta W_{körny} = \sum -p\Delta V \rightarrow \int_{v_1}^{v_2} p(v)dV \leftarrow$ $p(v)$ görbe alatti terület (-1)-szerese
- gáz munkája:
  - $W_{környy} + W_{gáz} = \Delta E_{kin}^{(\text{dugattyú})} = \emptyset \rightarrow W_{gáz} = -W_{körny} = -\int_{v_1}^{v_2} p(v)dV$

1. főtétel

- gáz belső energiája energiaközléssel vagy -elvonással változtatható meg – 2 módja:
  - gázzal hőközlés (Q) ← rendezetlen mód
  - gázon munkavégzés $(W_{körny})$ ← rendezett mód
- hőtan 1. főtétele: $\Delta E_{belső} = Q + W_{körny}$
- megjegyzés: $W_{környy} = -W_{gáz} \rightarrow Q = \Delta E_{belső} + W_{gáz}$

Folyamatok ideális gázokkal

Izochor (állandó térfogatú) folyamat



- adott: p_1, p_2, V_0, n, f
- $p = \frac{nRT}{V} \rightarrow T =$ állandó $\quad T_1 = \frac{p_1V_0}{nR}, T_2 = \frac{p_2V_0}{nR}$
- belsőenergia-változás:

$$\Delta E_{belső} = \frac{f}{2} nR \overbrace{(T_2 - T_1)}^{\Delta T} = \frac{f}{2}(p_2 - p_1)V_0$$

- környezet munkavégzése:

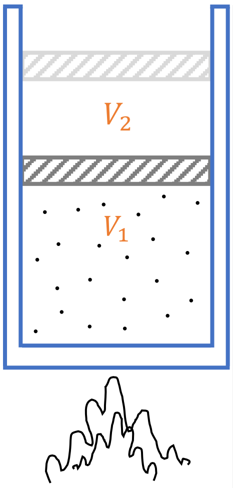
$$W_{környy} = -\int_{v_1}^{v_2} p(V)dv = \emptyset$$

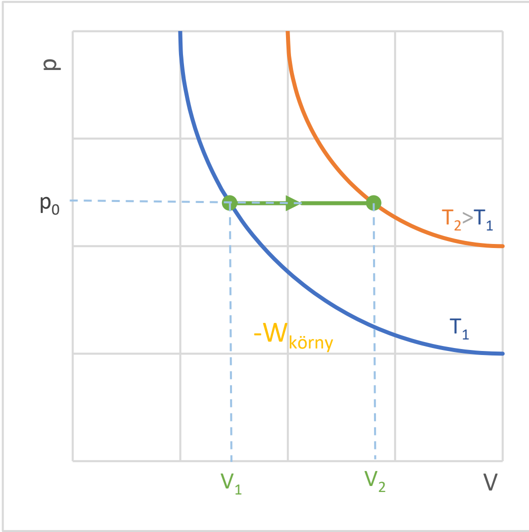
- közölt hő:

$$Q = \Delta E_{belső} - W_{környy} = \Delta E_{belső} = \frac{f}{2} nR(T_2 - T_1)$$

Izobár (állandó nyomású) állapotváltozás

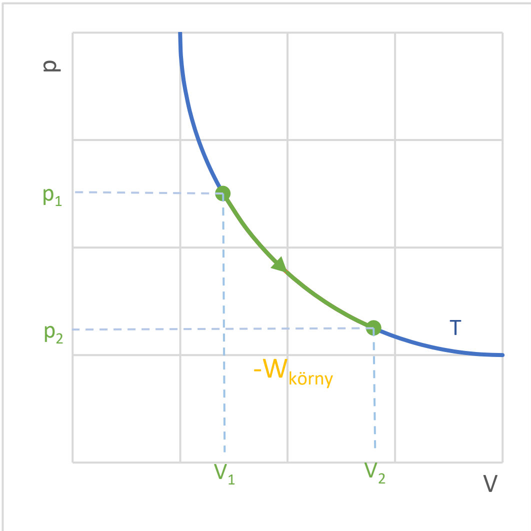
- adott: p_0, v_1, v_2, n, f
- $T_1 = \frac{p_0 V_1}{nR}, T_2 = \frac{p_0 V_2}{nR}$
- belsőenergia-változás: $\Delta E_{belső} = \frac{f}{2} nR \overbrace{(T_2 - T_1)}^{\Delta T} = \frac{f}{2} p_0 (V_2 - V_1)$
- munkaenergia: $W_{körny} = -$görbe alatti terület $= -p_0 (V_2 - V_1)$
- közölt hő: $Q = \Delta E_{belső} - W_{körny} = \frac{f}{2} p_0 (V_2 - V_1) + p_0 (V_2 - V_1) = \frac{f+2}{2} \overbrace{p_0 (V_2 - V_1)}^{nR(T_2 - T_1)}$

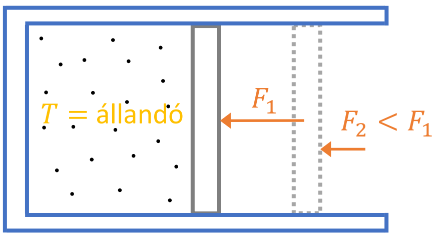




Izoterm (állandó hőmérséklet) folyamat

- adott: p_1, V_1, V_2, n, f
- belsőenergia-változás: $\Delta E_{belső} = \frac{f}{2} nR\Delta T = \emptyset$
- munkavégzés: $W_{körny} = -\int_{v_1}^{v_2} p(V) dV = -\int_{v_1}^{v_2} \frac{\overbrace{nRT}^{\text{állandó}}}{V} \cdot dV = -nRT[\ln V]_{v_1}^{v_2} = \overbrace{-nRt}^{p_1 V_1 = p_2 V_2} \ \ln \frac{V_2}{V_1}$
  - ➢ $W_{körny} = -p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$
- hő: $Q = \underbrace{\Delta E_{belső}}_{\emptyset} - W_{körny} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$





Folyamatfüggő mólhő

Fajhő

- jele: c
- $c \coloneqq \frac{Q}{M \cdot \Delta T} \leftarrow 1\ kg$ gáz $1K$-nel való felmelegítéséhez mennyi hőközlés szükséges
- $[c] = \frac{J}{kg\&dot\ K}$
- $c \coloneqq \frac{1}{M} \cdot \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$
- mólhő: C_M
- $[C_M] = \frac{J}{mol \cdot K}$
- izochor folyamat: $C_{M,V} = \frac{Qv}{n\Delta T} = \frac{f}{2} \cdot R$
- izobár folyamat: $C_{M,P} = \frac{Qp}{n\Delta T} = \frac{f+2}{2} \cdot R$
- Robert-Mayer egyenlet: $C_{M,P} - C_{M,C} = R$

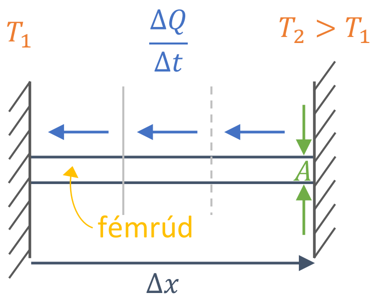
Hő terjedésének módja

Hővezetés

- szilárd anyagok, folyadékok, gázok
- arányos a hőmérsékletkülönbséggel

Fourier-törvény

- hővezetési tényező: κ (nagy, ha jó a hővezetés)
- keresztmetszet: A
- $\underbrace{\frac{\Delta Q}{\Delta t}}_{\text{hőáram}} = -\underbrace{\kappa}_{hővezetési\ tényező} \cdot \underbrace{A}_{keresztmetszet} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$
- $\left[\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right] = \frac{J}{s} = W\ (watt)$
- $\kappa = \frac{\frac{J}{s}}{m^2 \cdot \frac{K}{m}} = \frac{J}{s \cdot m \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K}$

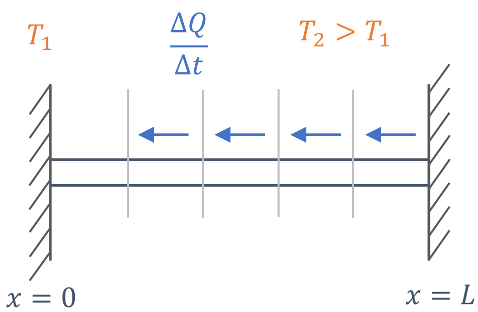


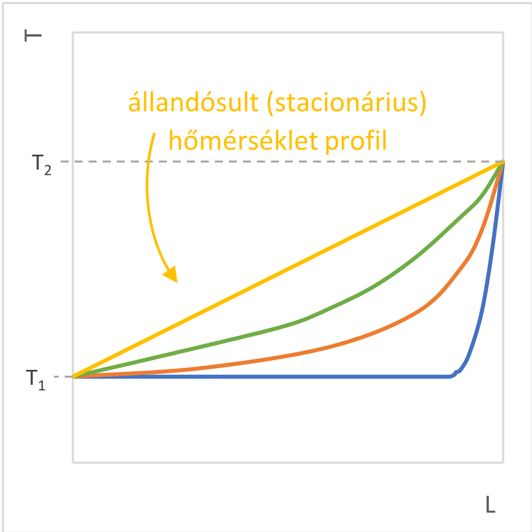
<u>2019. 04. 12. – előadás</u>

Hő terjedésének módjai

Hővezetés

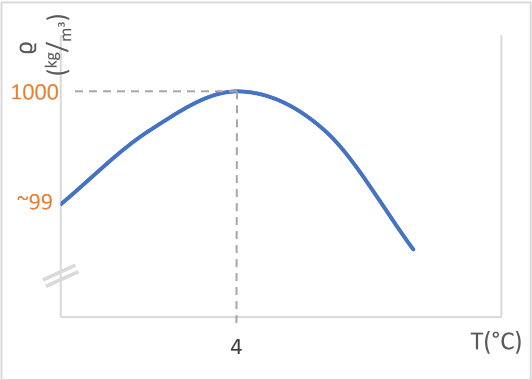
- Fourier-törvény: $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\kappa A \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} = -\kappa A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x}$
- κ ≔ hővezetési tényező
- $[\kappa] = \frac{W}{m \cdot K}$ $\quad\quad$ $\left[\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right] = \frac{J}{s} = W$ (watt)
- κ nagy: fémre $\quad\quad$ κ kicsi: gázra, fára, hungarocellre
- hőmérséklet rúd mentén:

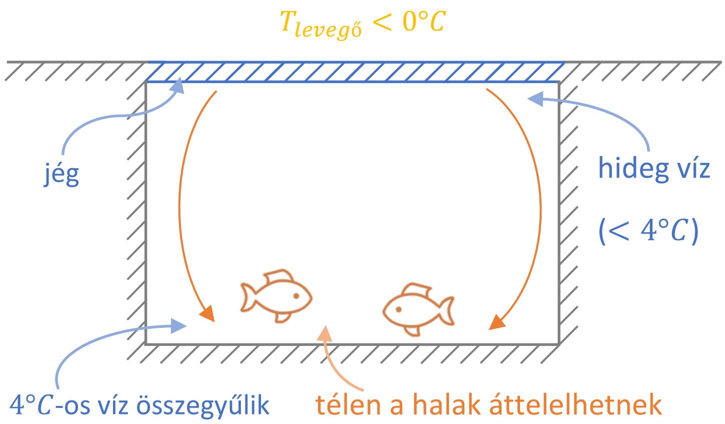




Hőáramlás

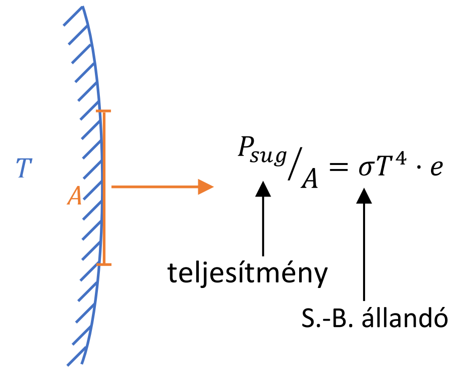
- folyadékok és gázok
- kell hozzá:
  - hőmérsékletfüggő sűrűség
  - nehézségi erőtér
- melegebb levegő sűrűsége kisebb, így felszáll, helyébe hideg levegő lép
- pl.:
  - radiátor + papírkígyó
  - hőáramlás tűzhelyen lévő fazékban
- víz sűrűségének hőmérsékletfüggése



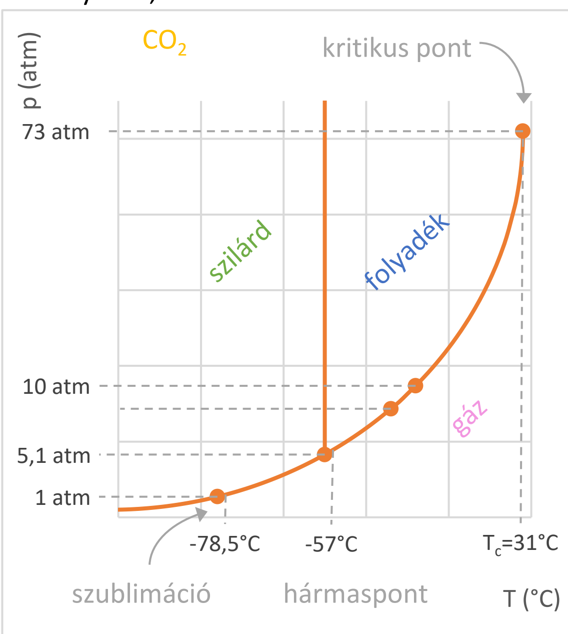


Hősugárzás

- közeg nem szükséges hozzá (fotonok: energiát szállítják)
- abszolút fekete test: test, ami ∀ ráeső sugárzást teljesen elnyel
- Stefan-Boltzmann törvény:



  -
  - σ: Stefan-Boltzmann állandó $\quad \sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$
  - e: emisszivitás (kisugárzási tényező) $\quad e \leq 1$
- a: abszorpciós (elnyelési) tényező $\quad 0 \leq a \leq 1$
  - adott testre eső sugárzási teljesítmény a-szorosát nyeli el, többi visszaverődik
- állítás: $a = e$
- N_2 forráspontja $1\ atm$-án $-196°C$
- $pV = nRT \rightarrow V = \frac{m}{M}\frac{RT}{p} = \frac{4{,}1g}{44\frac{g}{mol}} \cdot \frac{8{,}31 \cdot \frac{J}{mol\,K} \cdot 300K}{10^5 Pa}$
- $V = 0{,}0023\ m^3 = 2{,}3\ l$



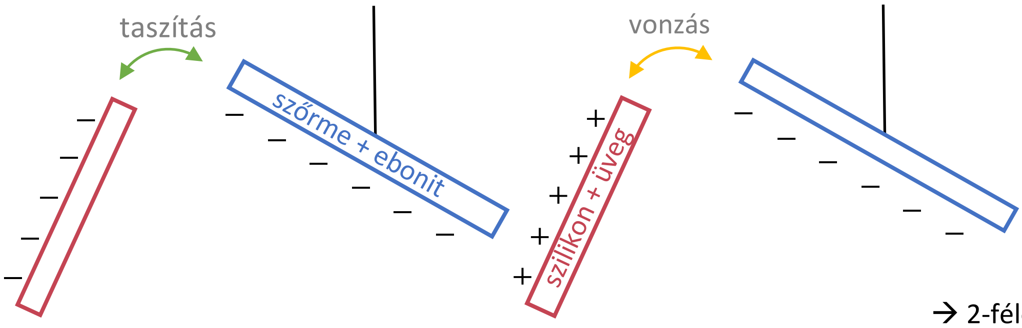
<u>2019. 04. 26. – előadás</u>

Elektrosztatika

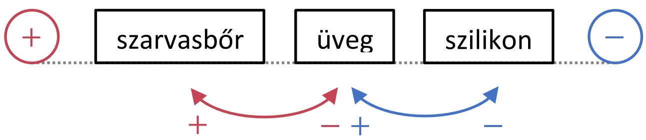
Dörzselektromosság, alapjelenségek

Kísérletek

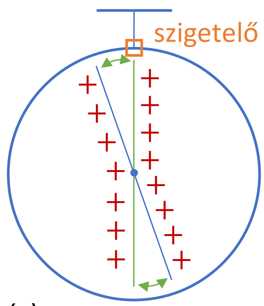
- vodka + szőrmével dörzsölt ebonit = vonzás, majd taszítás
- vatta + szőrmével dörzsölt üvegrúd = vonzás, majd taszítás
- alufólia + töltött rúd = vonzás, majd rögtön taszítás



- → 2-féle töltés
- LED-es töltésjelző 2-féle töltést kimutat
- összedörzsölt anyagoktól a függ a töltés
  - dörzselektronos sor szerint:

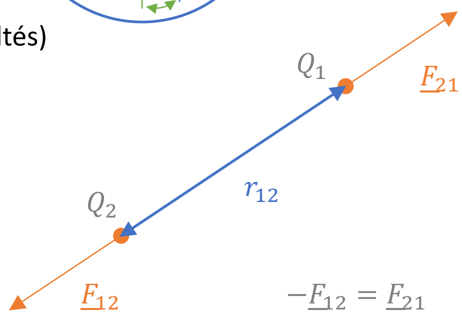


- elektroszkóp, elektrométer:
  - csak töltés nagyságot mér (előjelet nem)
  - elektroszkóp + skála = elektrométer

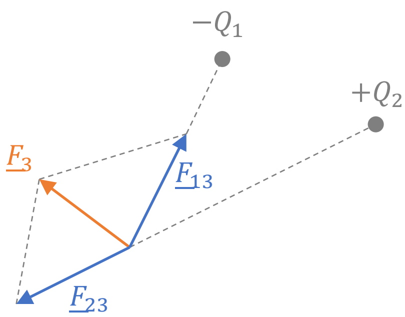


Matematikai megfogalmazás

- tapasztalat (Coulomb mérései):
  - Coulomb-törvény: $|\underline{F}_{12}| = |\underline{F}_{21}| = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r_{12}^2}$ (Q: töltés)
  - Coulomb-állandó: $k = \underbrace{8{,}99}_{9} \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$
  - mértékegységek: $[Q] = C$ (coulomb)
    elektron töltése definiálja

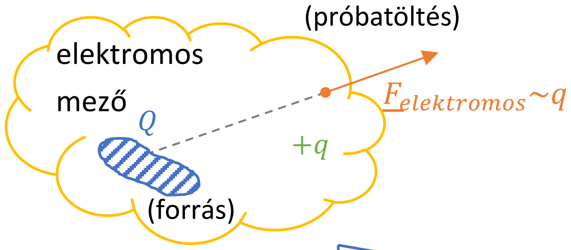


- szuperpozíció (erőhatások függetlensége):



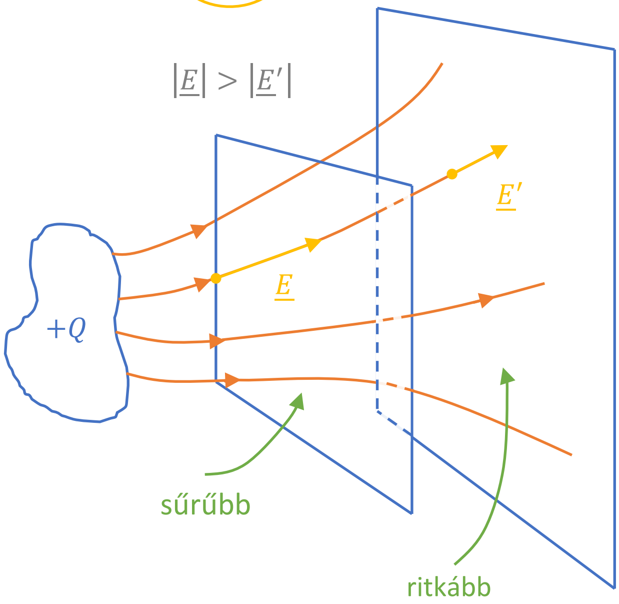
  - több töltés együttes hatása az erők vektori összegeként számolható

- elektromos térerősség:
  - $\underline{E} = \frac{F_{elektromos}}{q}$
  - $[E] = \frac{N}{C}$
  - üzenet: forrás létrehoz elektromos mezőt, ami próbatöltés nélkül is jelen van; e mező töltésmegragadó képességét jellemzi (pontról pontra) a térerősség

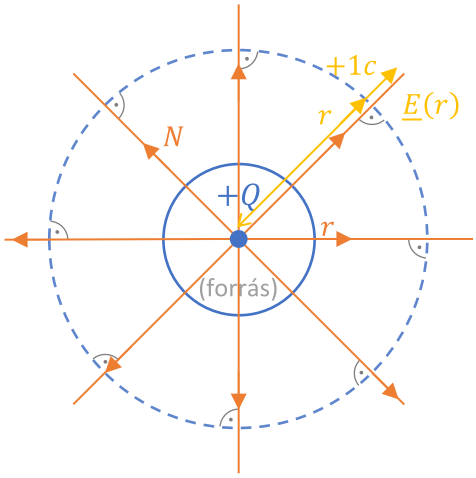


Elektromos mezők szemléltetése (erővonalak)

- bármely pontban az $\underline{E}$ vektor az erővonalak érintőjének irányába mutat
- erővonalak sűrűsége (egységnyi merőleges felületen áthaladó erővonalak száma) arányos $|\underline{E}|$-vel
- erővonalak mindig a pozitív töltésről (vagy végtelenből) indulnak és negatív töltésen (vagy végtelenben) végződnek



Ponttöltés elektromos mezője



-
- $\underline{E}(r) = {F_{elektromos}}/{1\,C}$
- $|\underline{E}(r)| = \frac{k \cdot Q \cdot 1C}{r^2} / 1\,C$ ←Coulomb-törvény
- $|\underline{E}(r)| = k \cdot \frac{Q}{r^2}$
- erővonalak sűrűsége: $\frac{N}{4\pi r^2} \sim \frac{1}{r^2} \sim E$

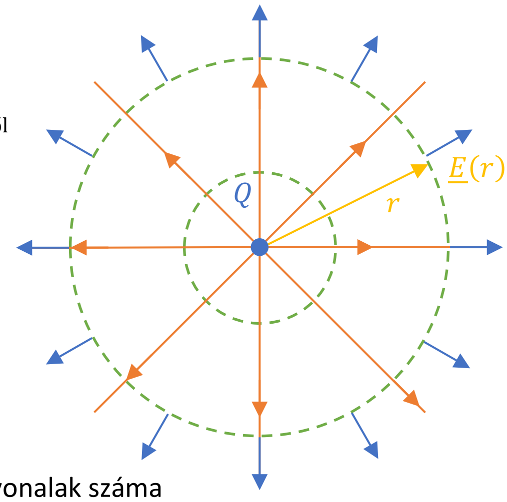
<u>2019. 05. 03. – előadás</u>

Coulomb-törvény (ismétlés)

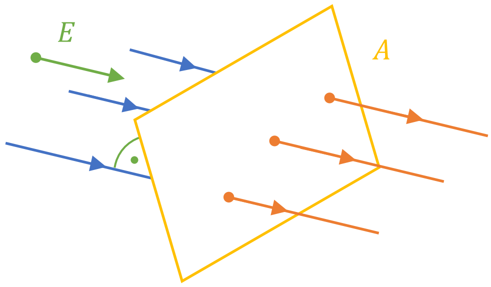
- $\mathrm{E(r)} = \mathrm{k}\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{r}^2}$
- $\mathrm{F_q} = E(r) \cdot q = k\frac{Qq}{r^2}$

Gauss-törvény

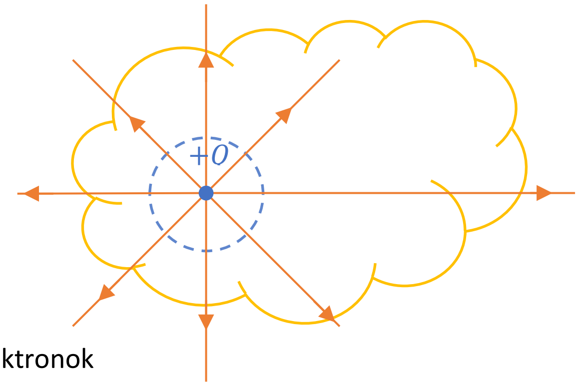
- észrevétel:
  - $E \cdot A = E(r) \cdot \underbrace{4\pi r^2}_{\text{gömb } A \text{ felülete}} = k\frac{Q}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = \underbrace{4\pi k \cdot Q}_{\text{független } r\text{-től}}$



- elektromos fluxus:



  - $\underbrace{\psi}_{\text{(psi)}} = \underbrace{E}_{\sim\ \text{erővonalak sűrűsége}} \cdot A$~arányos a felületen átmenő erővonalak száma
  - $[\psi] = \frac{N}{C} \cdot m^2$
- kimondása:
  - $\psi_{zárt} = \underbrace{4\pi k Q}_{\psi_{gömb}}$
  - fluxus → $\psi_{zárt} = \frac{1}{\varepsilon_0} Q_{bezárt}$

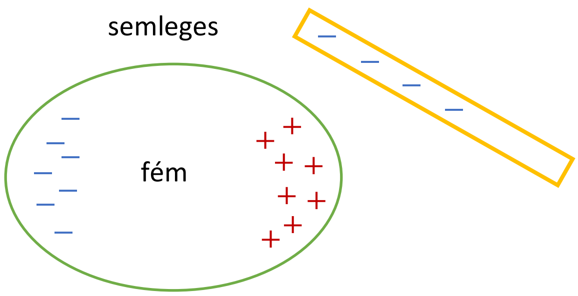


Elektromos mező fémek közelében

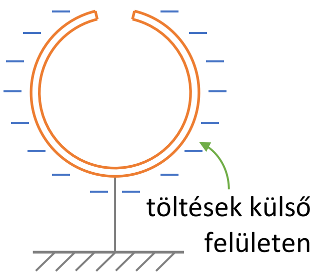
- fémek: vezetők, bennük szabad töltéshordozók, elektronok

Kísérletek

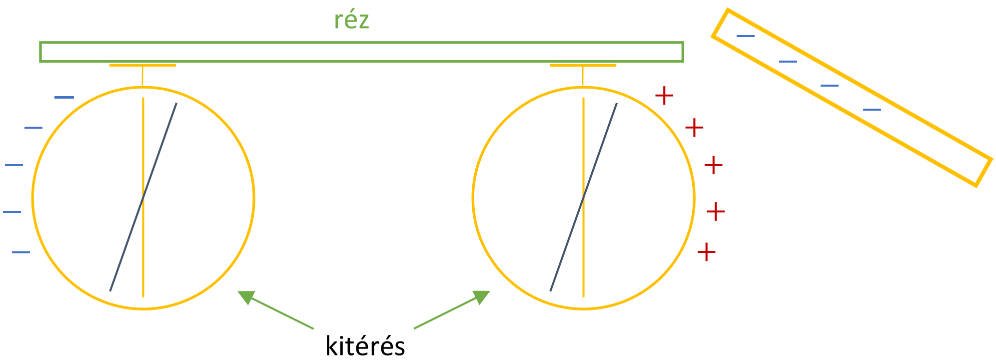
- megosztás:

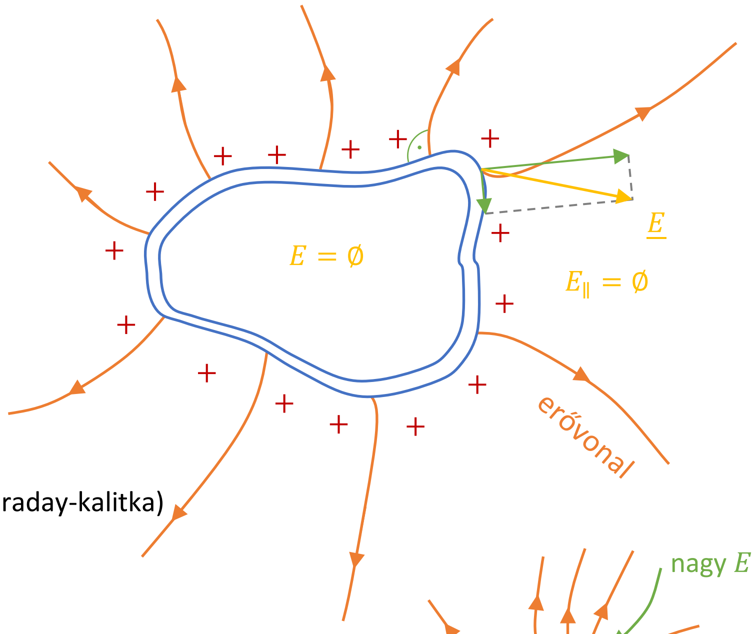


- lyukas gömb:
  - töltések fémek esetén a felületre kerülnek



- elektroszkóp feltöltető ebonitrúddal pozitívra megosztással:



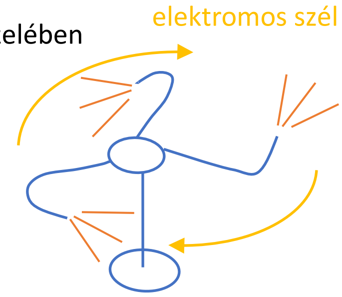


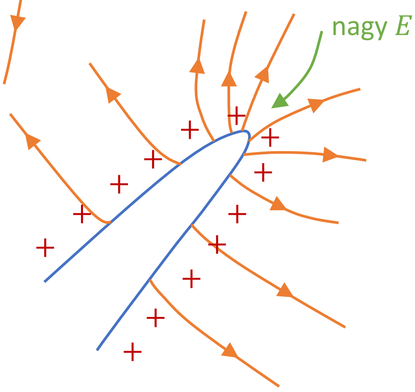
Következtetések

- anyagok:
  - fémek (vezetők)
  - szigetelők
- töltések a felületen
- fém belsejiben: $E = \emptyset$
- $\underline{E}$ merőleges a fém felületére
- alkalmazás: fémhálóval árnyékolás (Faraday-kalitka)

Csúcshatás

- kísérletek:
  - gyertyaláng töltött fémcsúcs közelében „remeg” – elektromos szél
  - Segner-kerék forog $\underline{E}$-térben
  - töltött fémcsúcs füstszemcséket eltávolítja a levegőből
- alkalmazás: villámhárító

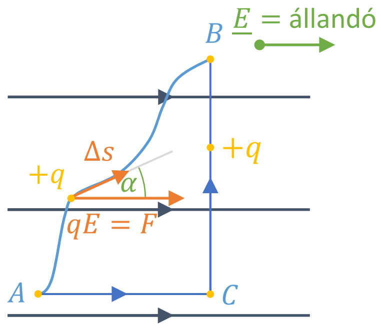




Feszültség, potenciál

- megfigyelés: kísérleti testek mozgásba jövetele → $\underline{E}$-tér munkavégző képességgel rendelkezik

Homogén tér



- $W_{AB}^{mező} = \sum \underline{F} \cdot \Delta \underline{s} = \sum \overbrace{F}^{qE} \cdot \Delta s \cdot \cos\alpha$
- $W_{AB}^{mező} = qE \cdot \sum \underbrace{\Delta s \cdot \cos\alpha}_{\text{tér irányú elmozdulás}}$
- $W_{AB}^{mező} = W_{ACB}^{mező}$

(Általános) következmény

- $\underline{E}$-tér munkája 2 pont között pályától független
- $\underline{E}$-tér konzervatív erőtér → mechanikai energia megmarad
- $\underline{E}$-térben van potenciális energia
- $W_{AB}^{mező} = E_{pot}^{A} - E_{pot}^{B}$

Feszültség fogalma

- definíció: $U_{AB} = \frac{-W_{AB}^{mező}}{q} = \frac{W_{BA}^{mező}}{q}$
- W_{AB}: egységnyi, pozitív töltésen mező munkája a $B \to A$ útvonal (munkavégzőképesség)
- mértékegység: $[U_{AB}] = \frac{J}{C} = V\ (volt)$