

Termodinamika (Hötan)

Termodinamika

A **hőtan** nagyszámú részecskéből (pl. gázmolekulából) álló makroszkópikus rendszerekkel foglalkozik. A nagy számok miatt érdemes a **mólt** bevezetni, ami egy **Avogadro-számnyi** ($6,022 \cdot 10^{23}$ db) részecskét jelent (12-es tömegszámú szénatomok száma 12 gramm szénben).

Ennek megfelelően az atomi tömegegység a 12-es tömegszámú szénatom tömegének 1/12-ed része: $1 \text{ ATE} = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

A végbemenő folyamatok **kvázisztatikusak**, a rendszert leíró mennyiségek a folyamat során minden pillanatban ki vannak egyenlítődvé (egyensúlyi állapotokon keresztüli „lassú” változás).

A rendszert leíró makroszkópikusan mérhető mennyiségek az **állapothatározók**.

Extenzív állapothatározók: a rendszer egészére jellemzők, és több rendszer egyesítésekor ezek összeadódnak (pl. térfogat, részecskeszám, tömeg, energia).

Intenzív állapothatározók: pontról pontra mérhetők, több rendszer egyesítésekor ezek kiegyenlítődsre törekednek (pl. nyomás, hőmérséklet, sűrűség, energiasűrűség).

Fenomenologikus elmélet: leírás csak az állapothatározókon keresztül.

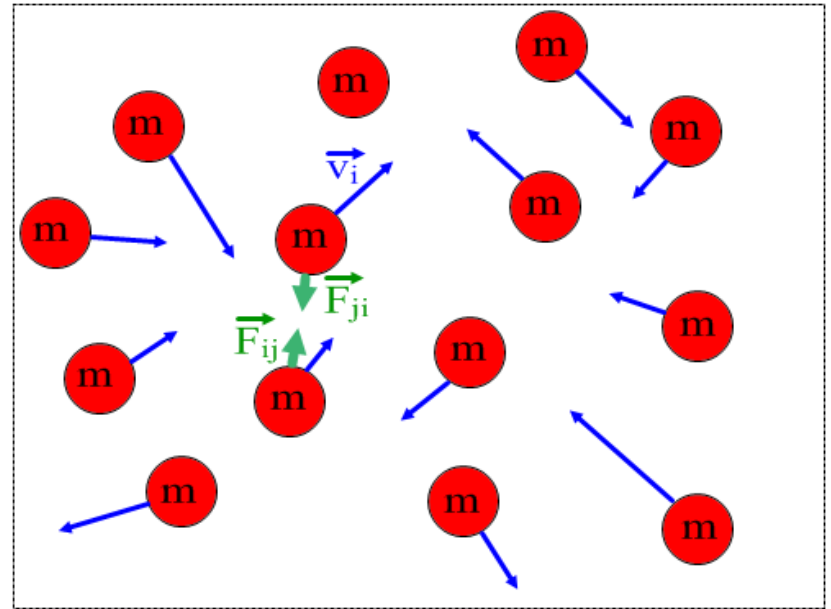
Statisztikus elmélet: a nagyszámú részecskére statisztikai törvényszerűségek alkalmazása.

Belső energia

A rendszer **belső energiája** a részecskék egymáshoz (rendszer tömegközéppontjához) képesti rendezetlen mozgásából származó **kinetikus energia** és a részecskék közötti Van der Waals kölcsönhatáshoz tartozó **potenciális energia**.

$$N \text{ db részecskére: } E_b = \sum_{i=1}^N E_{Ki} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N E_{Pij}$$

Brown-mozgás: A kálium-permanganát (KMnO_4) oldódása vízben azt mutatja, hogy a víz részecskéi nagy sebességgel ütköznek a festék rögöcskéikkel. A részecskéknek tehát sebességük, és így mozgási energiájuk van. Mivel számuk igen nagy, ez az energia jelentős.



Bizonyos esetekben a részecskék közötti kölcsönhatások (rugalmas ütközéseket leszámítva) elhanyagolhatók (ideális gázok), ekkor a második tag nulla.

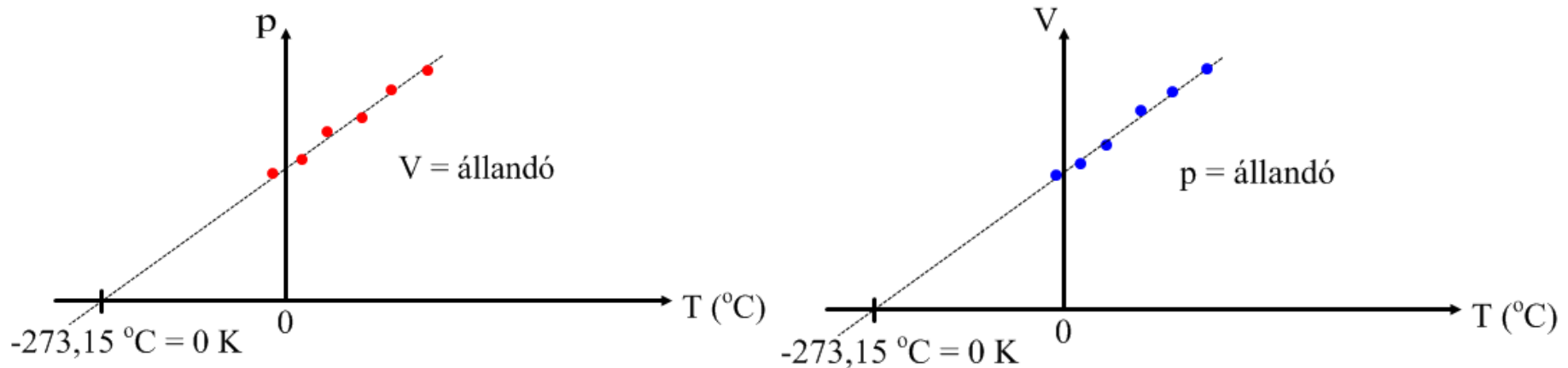
Magasabb hőmérsékleten a mozgás intenzívebb, így a belső energia nagyobb.

Rendezett mozgás mechanikai energiája disszipáció során (pl. súrlódás, közegellenállás) belső energiává alakulhat, növelve a test hőmérsékletét

Abszolút hőmérsékleti skála

Ideális gáz térfogatát tanulmányozva állandó nyomáson, vagy nyomását tanulmányozva állandó térfogaton, mindkét esetben a hőmérsékletnek lineáris függvénye az eredmény.

A gáz térfogata illetve nyomása lineárisan nullához tart csökkenő hőmérséklet esetén.



Abszolút nulla: ahol a lineáris extrapoláció egyenese metszi a hőmérséklet tengelyt.

$T = -273,15 \text{ °C} = 0 \text{ K}$ (Kelvin) - A hőmérséklet SI mértékegysége.

Az olvadó jég hőmérséklete (0 °C): 273 K (kerekítve)

A forrásban lévő víz hőmérséklete (100 °C): 373 K (kerekítve)

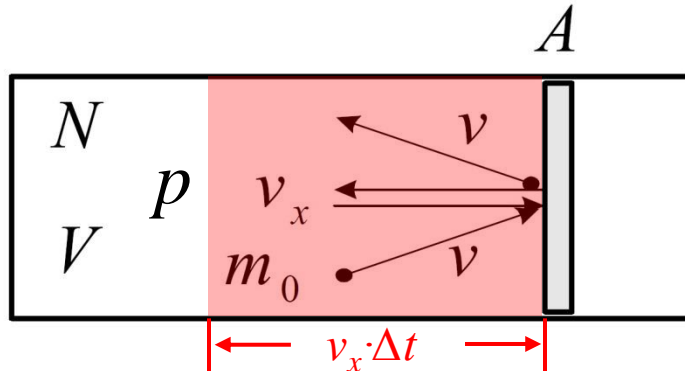
A különbség tehát kelvinben is ugyanannyi, mint Celsius fokokban!

Egyatomos ideális gáz nyomása

Ideális gáz:

1. az összes részecske sajátterfogata elhanyagolható a tartály térfogatához képest
2. a részecskék közötti kölcsönhatás vonzóereje elhanyagolható
3. a rendszertelen mozgás során a részecskék a fallal és egymással ütköznek, ez utóbbi igen ritka
4. a részecskék (atomok vagy molekulák) ütközését teljesen rugalmasnak tételezzük fel

Jelen esetben vizsgáljunk **egyatomos ideális gázt** (pontoszerű golyócskák):



N : részecskék száma

V : henger térfogata

p : bezárt gáz nyomása

m_0 : részecskék (atomok) tömege

A : dugattyú keresztmetszete

v : részecske sebessége, v_x : a sebesség x komponense

- A térfogategységben lévő atomok száma: $n = N / V$
- Egy atom falra (dugattyú) merőleges lendületváltozása: $\Delta p_{ax} = 2m_0 \cdot v_x$
- Adott Δt idő alatt a $v_x \cdot \Delta t \cdot A$ térfogattól származó golyók ütközhetnek a fallal.

Az ütköző atomok száma: $n \cdot v_x \cdot \Delta t \cdot A$, tehát a teljes lendületváltozás: $\Delta p_x = 2m_0 \cdot v_x \cdot n \cdot v_x \cdot \Delta t \cdot A$

A dugattyúra kifejtett erő: $F = \frac{\Delta p_x}{\Delta t} = 2m_0 v_x^2 n A$

Tehát a nyomás: $p = \frac{F}{A} = 2m_0 v_x^2 n$

Belső energia és nyomás kapcsolata egyatomos ideális gáz esetén

A nyomásra tehát: $p = 2m_0v_x^2n$ (ha minden atomnak ugyanaz a v_x sebessége lenne)

A valóságban azonban a részecskék v_x^2 sebessége különböző, ezért vegyük az N részecskére vett átlagot: $\overline{v_x^2}$

Továbbá csak a részecskék egyik fele megy a dugattyú felé, a másik ellentétesen, így osztanunk kell kettővel:

$$p = m_0\overline{v_x^2}n$$

Az atomok azonos valószínűséggel mozognak a tér mindhárom irányába, ezért:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

A teljes sebesség négyzetére tehát: $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}$ vagyis: $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$

Ezt felhasználva a nyomás: $p = m_0\overline{v_x^2}n = m_0\frac{1}{3}\overline{v^2}n = m_0\frac{1}{3}\overline{v^2}\frac{N}{V} = \frac{1}{3}\frac{N}{V}2\frac{1}{2}m_0\overline{v^2}$

Egy atom átlagos mozgási energiája: $\overline{\varepsilon} = \frac{1}{2}m_0\overline{v^2}$ Teljes belső energia: $E_b = N\overline{\varepsilon}$

Beírva a belső energiát a nyomás kifejezésébe és a V térfogattal beszorozva:

$$pV = \frac{2}{3}N\frac{1}{2}m_0\overline{v^2} = \frac{2}{3}N\overline{\varepsilon} = \frac{2}{3}E_b$$

A belső energia: $E_b = \frac{3}{2}pV$

Térfogati munka

A **térfogati munka** a környezet által a gázon (rendszeren) végzett munka, miközben annak térfogata változik.

Egy könnyen mozgó dugattyún végzett elemi munka a környezet által, miközben azt dx távolsággal beljebb nyomja: δW

A szükséges erő p nyomású gáz esetén: $F = pA$.

Tehát az elemi munkára: $\delta W = pA dx$
Mivel $A dx = -dV$

$$\delta W = -pdV$$

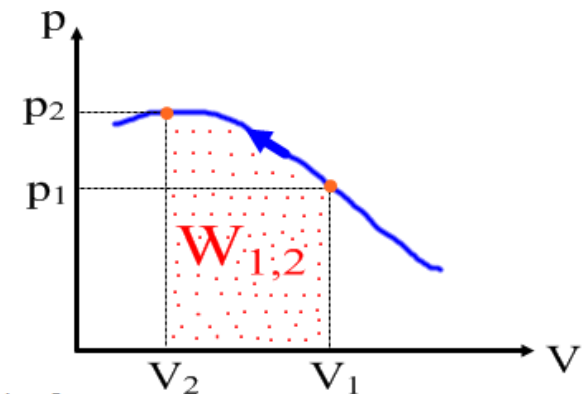
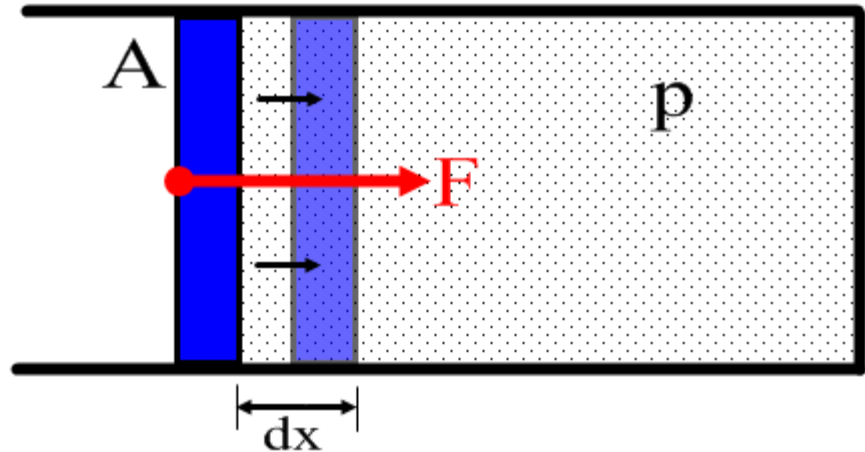
Eközben a gáz által végzett munka negatív, mert a gáz kifelé nyomja a dugattyút (az erő ellentétes az elmozdulás irányával): $\delta W_g = -\delta W$

Tágulás esetén viszont: $\delta W < 0$ és $\delta W_g > 0$

Egy véges térfogatváltozás esetén a

nyomás általában változik, ezért integrálni kell: $W_{1,2} = - \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$

A munkát a p - V diagramon a görbe alatti terület reprezentálja.



ha a nyomás állandó:
 $W_{1,2} = -p(V_2 - V_1)$

Hőközlés

A test belső energiája úgy is nőhet, ha egy magasabb hőmérsékletű test energiát ad neki. Ez a makroszkopikus mozgás (munkavégzés) nélkül átadott energia a **hő**.

Jele: Q (az energia amit a rendszer a környezettől kap). Mértékegysége: J (Joule)

A rendszer (test, folyadék, gáz) által a környezetnek leadott energia pedig: $Q_{le} = -Q$

Hőközlés fajtái:

- **hővezetés** (a test anyagában vagy testek között érintkezés útján - pl. főzőlap)
- **konvekció** (a közeg áramlik és ezáltal az energiát is viszi magával - pl. központi fűtés)
- **hősugárzás** (mindenféle közeg nélkül, elektromágneses hullám formájában – pl. Nap)

Hőkapacitás: A rendszer hőmérsékletének 1 fokkal emeléséhez szükséges hő:

$$Q = C \cdot \Delta T \quad \text{Mértékegysége: } [C] = \text{J/K vagy J/}^\circ\text{C}$$

A hőkapacitás a rendszer egészét jellemzi, az anyagi minőségtől és mennyiségtől is függ.

Fajhő: a rendszer egységnyi tömegű részének hőkapacitása:

$$C = c \cdot m \quad \text{vagyis} \quad Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad \text{Mértékegysége: } [c] = \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \text{ vagy } \text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

Mólhő: a rendszer egy mólnyi részének hőkapacitása:

$$C = c_M \cdot n \quad \text{ahol } n \text{ a mólok száma vagyis } Q = c_M \cdot n \cdot \Delta T$$

$$\text{Mértékegysége: } [c_M] = \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \text{ vagy } \text{J}/(\text{mol} \cdot ^\circ\text{C})$$

A fajhő és mólhő már csak az anyagi minőségtől függő mennyiségek!

A belső energia a rendszer egy állapotát jellemzi, míg a munka és a hő egy folyamatot.

Kalorimetria

Kalorimetria: A hőmennyiség és a fajhő mérésére szolgáló eljárás.

Kaloriméter: Egy ismert hőkapacitású hőszigetelt tartály, benne ismert hőkapacitású folyadékkal.

Eljárás alapja: A rendszerben idővel kiegyenlítődik a hőmérséklet, **termikus egyensúly** áll be.

Zárt rendszer belső energiája állandó

Ha Q_i az i -edik test által kapott hőmennyiség:

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 0$$

Q lehet:

$cm\Delta T$ (melegedés vagy hűlés)

$-mL_e$ (égés során leadott hő)

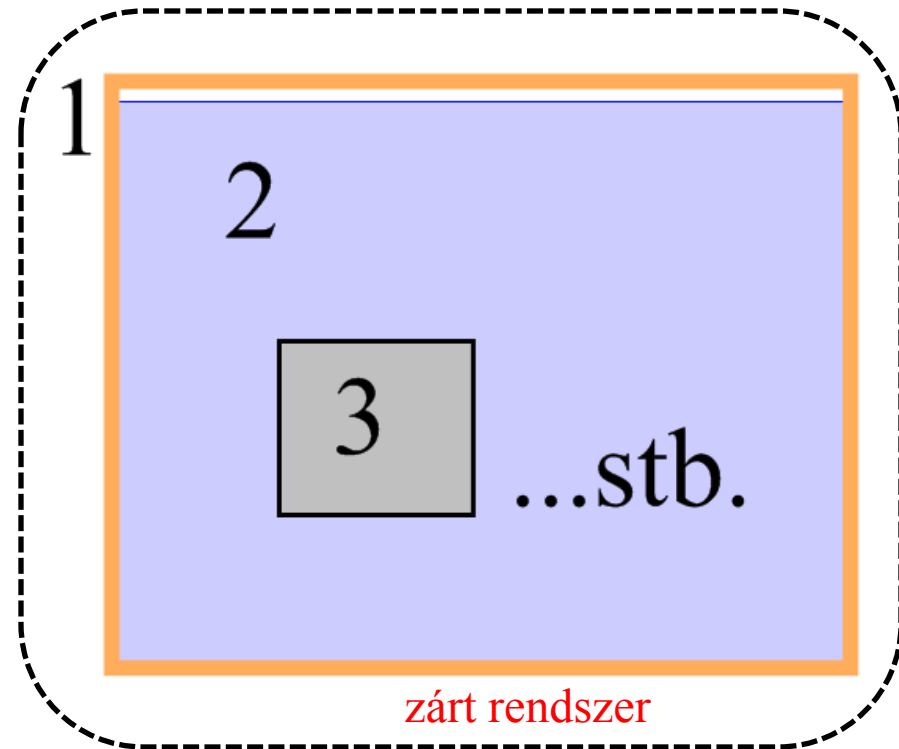
mL_o (olvadás során felvett hő)

$-mL_o$ (fagyás során leadott hő)

mL_f (forrás során felvett hő)

$-mL_f$ (lecsapódás során leadott hő)

fázisátalakulás során a hőmérséklet nem változik amíg az anyag egésze át nem alakul (olvadás- és forráspont).



Például három test esetén: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$

ha nincs fázisátalakulás:

$$c_1 m_1 (T_k - T_1) + c_2 m_2 (T_k - T_2) + c_3 m_3 (T_k - T_3) = 0$$

Ha az egyik mennyiség (pl. c_3) ismeretlen, akkor az az egyenletből meghatározható.

A hőtan első főtétele

A **hőtan első főtétele** kimondja, hogy egy rendszer belső energiájának megváltozása egyenlő a **rendszerrel közölt hő** és a **rendszeren végzett munka** összegével:

$$\Delta E_b = Q + W$$

A munka a környezet által végzett térfogati munka.

A hő a környezettől kapott hő (lehet például súrlódás által disszipált mechanikai energia).

Mivel a belső energia a rendszer állapotára jellemző mennyiség, annak megváltozása egy A és B állapotok között nem függ attól, hogy milyen folyamat során történt a változás:

$$\Delta E_b = E_b(B) - E_b(A)$$

Bármilyen körfolyamat (A -ból kezdve és A -ban végződve) során természetesen:

$$\Delta E_b = E_b(A) - E_b(A) = 0$$

A tétel differenciális alakja: $dE_b = \delta Q + \delta W$

