

A biofizika fizikai alapjai

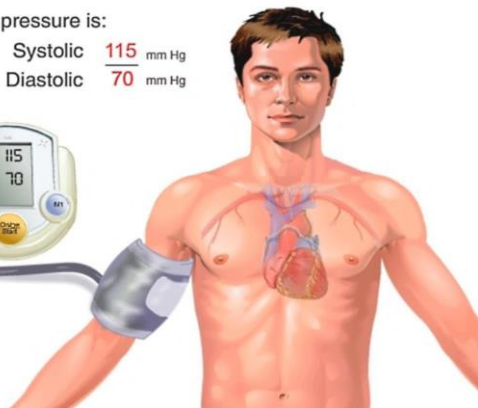
5. előadás 2023. 09. 18.

Orosz Ádám

Nyomás, hidrosztatika

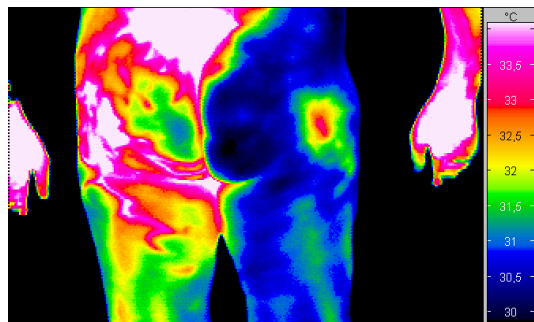
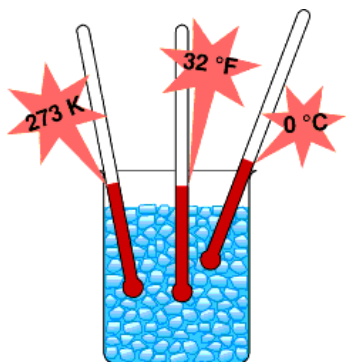
Normal blood pressure is:

Systolic $\frac{115}{70}$ mm Hg
Diastolic



1. Nyomás
2. Sűrűség
3. Hidrosztatikai nyomás
4. Hidrosztatikai paradoxon és Pascal törvénye
5. Arkhimédész törvénye és a felhajtóerő
6. Gázok nyomása
7. Parciális nyomás
8. Vérnyomásmérés

Hőtan



1. Termikus kölcsönhatás
2. Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák
3. Hő
4. Hőkapacitás és fajlagos hőkapacitás
5. Halmazállapotok
6. Fázisátalakulás és átalakulási hő
7. Az ideális gázmodell

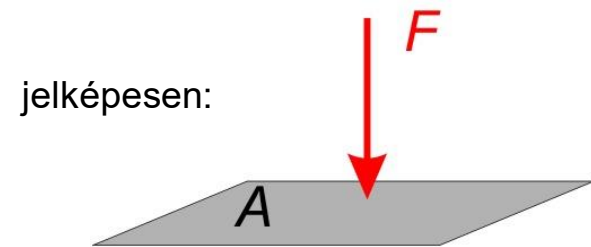
Ismétlés - Nyomás



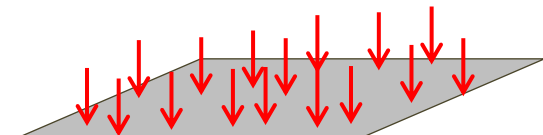
- Egy test deformációja nem csak a rá ható erőtől függ, hanem attól is, hogy mekkora felületet ér az erőhatás.
- Az erő önmagában nem mindig elegendő a kölcsönhatás leírására. A fizikai mennyiség, ami a felületet is figyelembe veszi. → „nyomás”.

$$\text{nyomás } (p): p = \frac{F}{A} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$$

Pascal



valójában:



(egyenletes eloszlás)

Egyéb gyakran használt mértékegységek:
bar (bar) = 100 kPa, atmoszféra (atm) = 101, 325 kPa,
higanymilliméter (mmHg) = 133,3 Pa

Feladat

Mekkora nyomást fejt ki egy álló helyzetben lévő 80 kg-os ember az alatta lévő földre ha

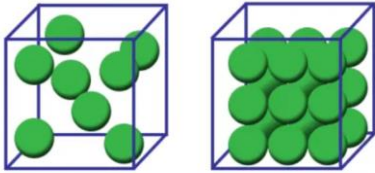
a) nincs a lábán semmi? (két talpának együttes felülete 200 cm^2)

b) ha síel? (a két síléc együttes felülete 3300 cm^2)

c) ha korcsolyázik? (a élének felülete 4 cm^2)

Sűrűség

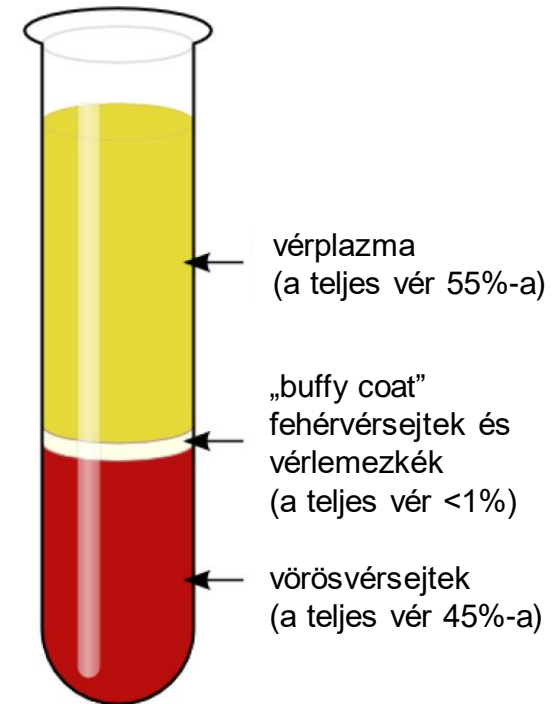
$$\text{sűrűség } (\rho): \quad \rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$



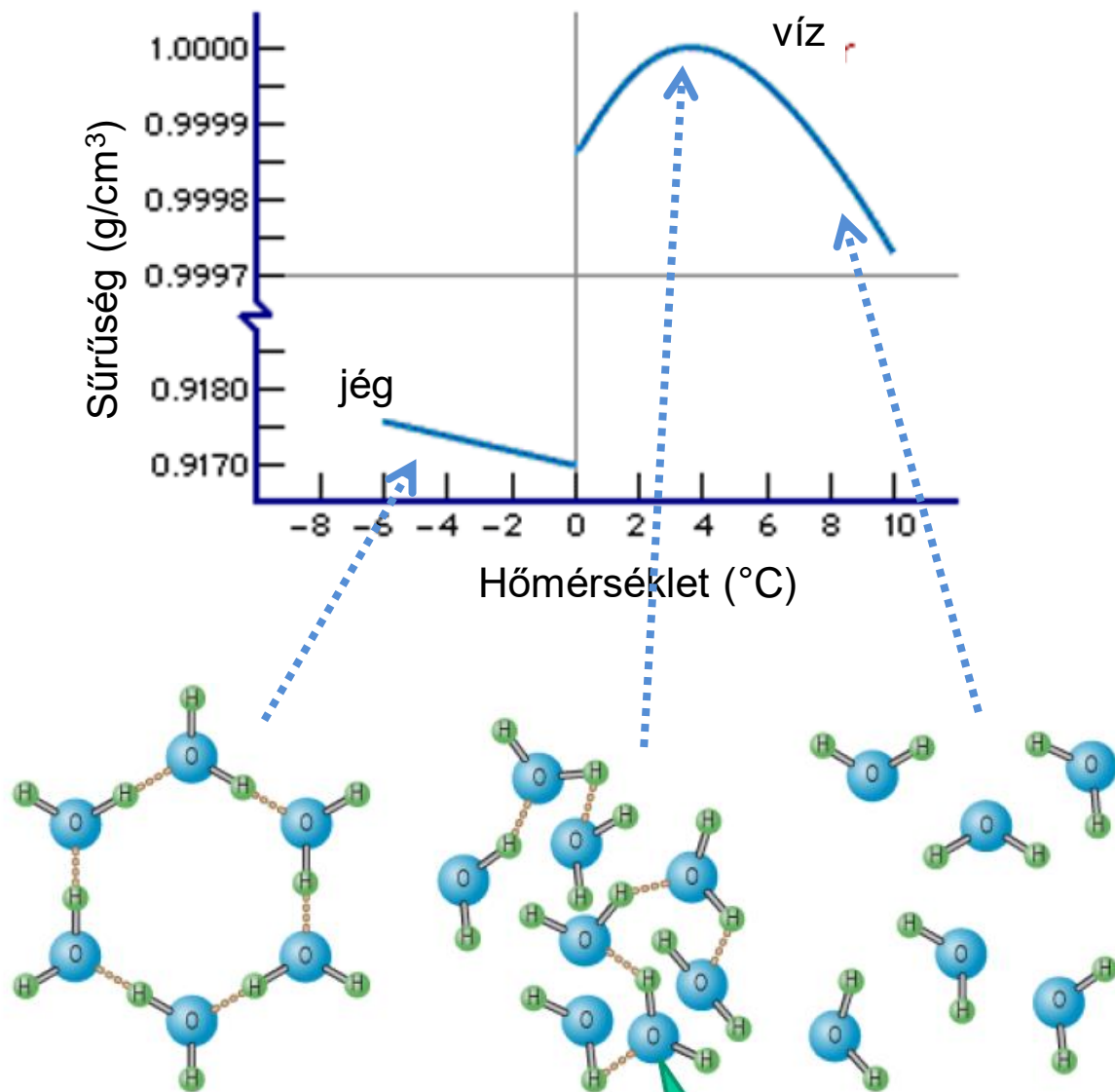
- Egy test **sűrűsége** függ:
 - **anyagi minőség**
 - **nyomás**
 - **hőmérséklet**

| Anyag | ρ (g/cm ³) |
|----------------------------|-----------------------------|
| levegő (0°C, 101 kPa) | 0,00129 |
| víz (4°C) | 1 |
| zsírszövet | ≈ 0,9 |
| vér | ≈ 1,05 |
| csontok | ≈ 1,8 |
| testszövet (átlagérték) | ≈ 1,04 |
| arany (Au) | 19,3 |
| higany (Hg) | 13,6 |

Ha alvadésgátolt vért centrifugába tesszük, az összetevők különböző sűrűségének következtében három elkülönülő frakciót kapunk: vörösvérsejtek; fehérvérsejtek és vérlemezkék; vérplazma:

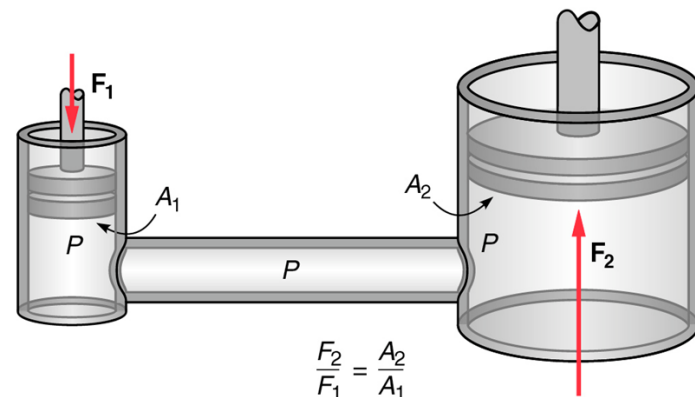


A víz sűrűsége

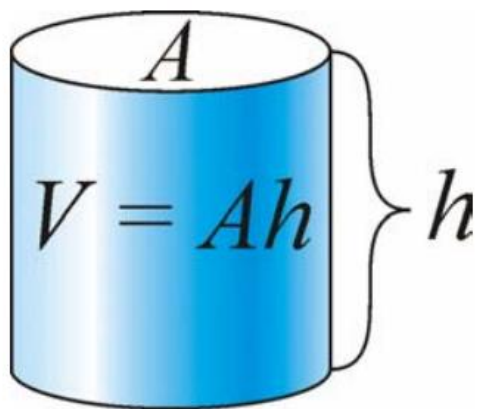


Nyugvó folyadékok - hidrosztatika

Pascal törvénye: Zárt térben lévő folyadékokban a külső erő okozta nyomás minden irányban gyengítetlenül tovaterjed, mert „összenyomhatatlanok” (inkompresszibilisek) ($\kappa_{\text{víz}} = 0,5 \text{ GPa}^{-1}$) (fékek működése, hidraulika)



Hidrosztatikai nyomás: A folyadék súlyából származik.
Nyugalomban, földi körülmények között (legegyszerűbb esetben):



Hidrosztatikai paradoxon: a hidrosztatikai nyomás csak az edény töltöttségi szintjétől függ, az edény alakjától, a benne lévő folyadék térfogatától nem.



A nyomás mérése

A gázokban és folyadékokban a nehézségi erő miatt fellépő nyomás :

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Megjegyzés:

A nyomás tehát a mélység függvényében lineárisan nő. Ez azonban csak összenyomhatatlan folyadék, tehát állandó sűrűség mellett igaz.

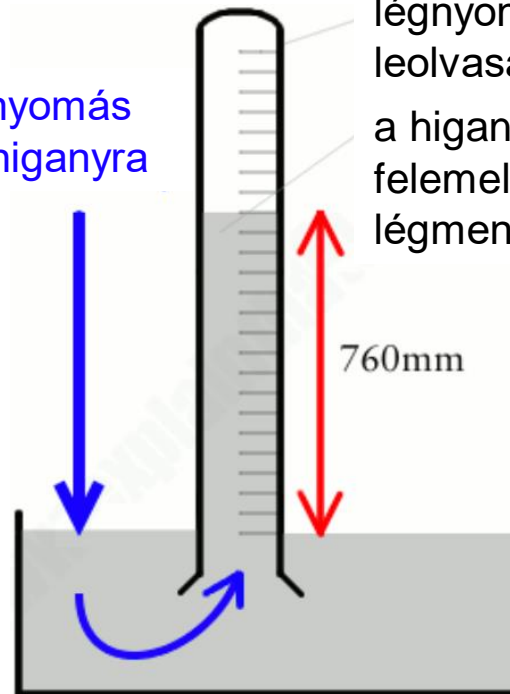
Adja meg az 1 mm magas higanyoszlop által kifejtett nyomást!



$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$$



a légköri nyomás
hatása a higanyra

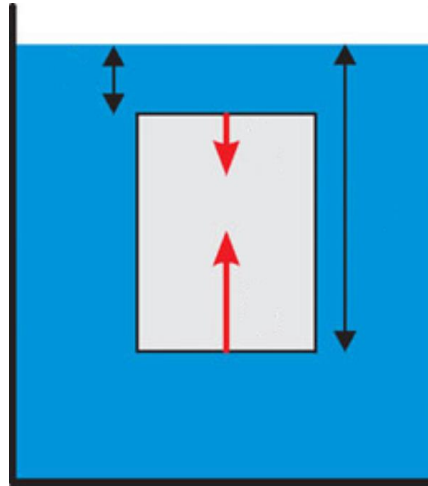


skála a
légnymomás
leolvasásához
a higany
felemelkedik a
légmentes csőben

**Evangelista Toricelli
Barométer (1643)**

A hidrosztatikai nyomás következménye: felhajtóerő

Arkhimédész törvénye: Minden folyadékba vagy gázba merülő testre felhajtóerő hat, amelynek nagysága egyenlő a test által kiszorított folyadék vagy gáz súlyával. „Minden vízbe mártott test a súlyából annyit vesz, amennyi az általa kiszorított víz súlya”.



lebegés

($v = 0$)

$a = 0$

$$\sum F = F_{neh} - F_f = 0$$

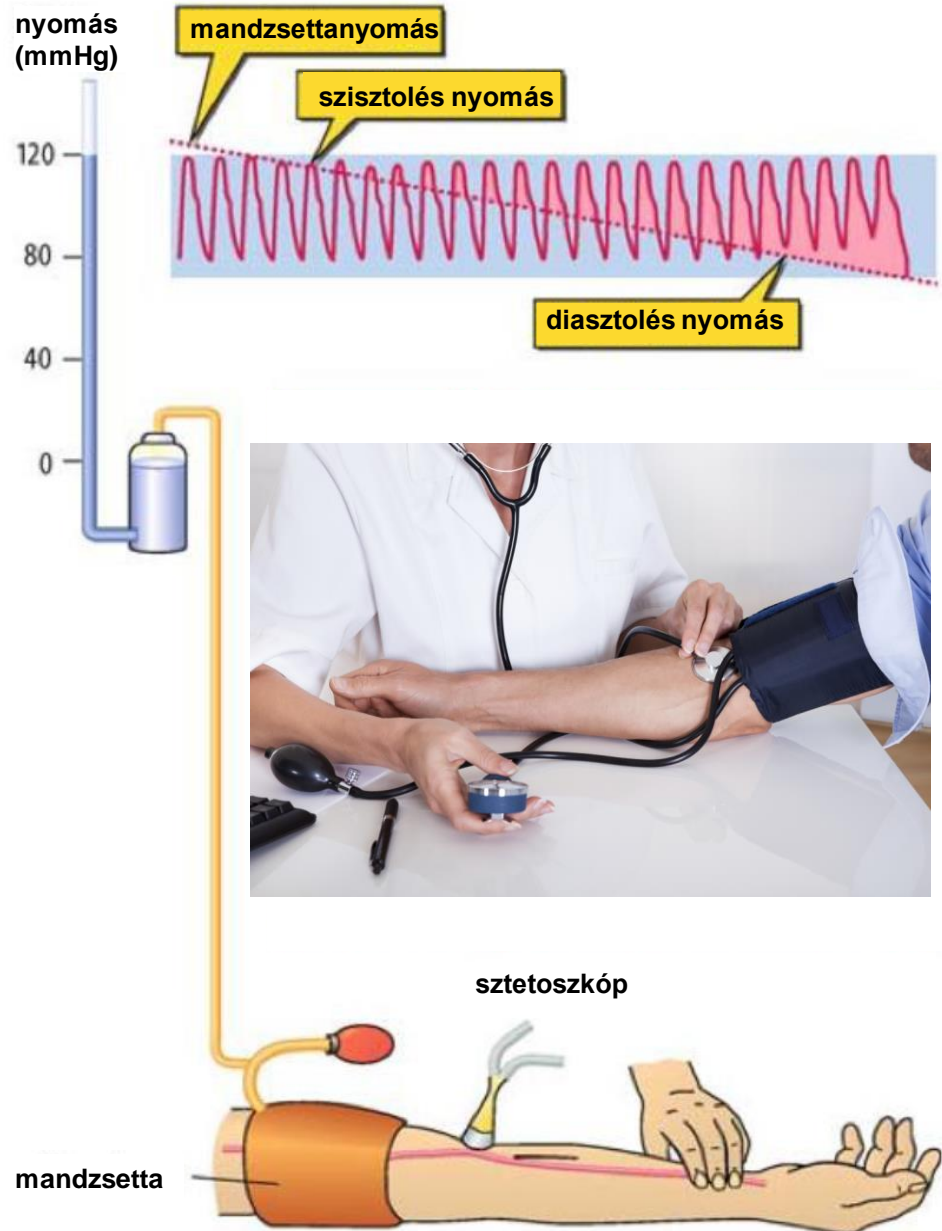
$$F_{neh} = F_f$$

Vérnyomás és annak mérése

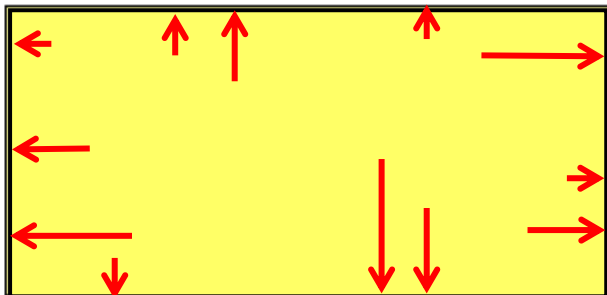
- A mandzsettát egészen addig fújjuk fel, amíg a nyomása kb. 20 mmHg-rel meg nem haladja az *Arteria brachialis*-ban uralkodó nyomást.
- Ekkor nem folyik vér a karba (és ki sem).
- A sztetoszkópot az *A. brachialis* fölé helyezzük és lassan csökkenteni kezdjük a mandzsetta nyomását.
- Amint a mandzsettanyomás **éppen a szisztolés nyomás alá csökken**, a vér újra áramlani kezd, ekkor hangokat hallunk = **Korotkov-hangok**
- Amíg a mandzsettanyomás a szisztolés és a diasztolés érték közt van hallhatjuk a hangokat, mert a **vér áramlása** ebben a tartományban **turbulens** lesz.
- Ha elértük a diasztolés értéket, a hanghatás – és a turbulens áramlás – megszűnik.

Megjegyzés:

A mért nyomásérték túlnyomás (= a normál légköri nyomás feletti nyomás).



Gázok nyomása



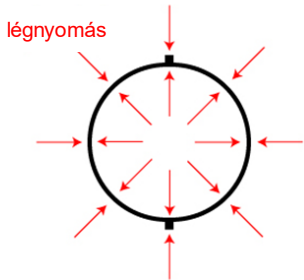
- A gázcsepscsek **termikus energiájuk** következtében tetszőleges irányba mozognak (a termikus energia **kinetikus energiává** alakul).
- A gázcsepscsek **ütköznek a tartály falával**, az ideális gázmodell szerint **rugalmas ütközések sorozata** következik be.
- A részecsek fallal való **ütközésekor impulzusváltzás** történik, ami Newton II. törvénye szerint **rövid idejű erőlkéseket eredményez**. Az ütközések során a falra kifejtett erőlkésekből adódik össze a gáz nyomása.
- Figyelembe véve az **ütközések nagy számát** ($N \sim 6 \cdot 10^{23}$), **falra ható átlagos erő és a fal felületének hányadosa** megadja **nyomást**.

$$pV = NkT$$

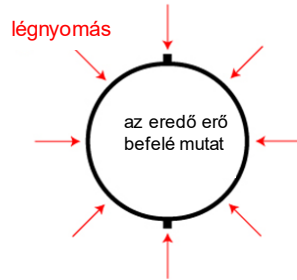
Légköri nyomás (légnymomás)

Otto von Guericke kísérlete
„a magdeburgi félgömbök”:

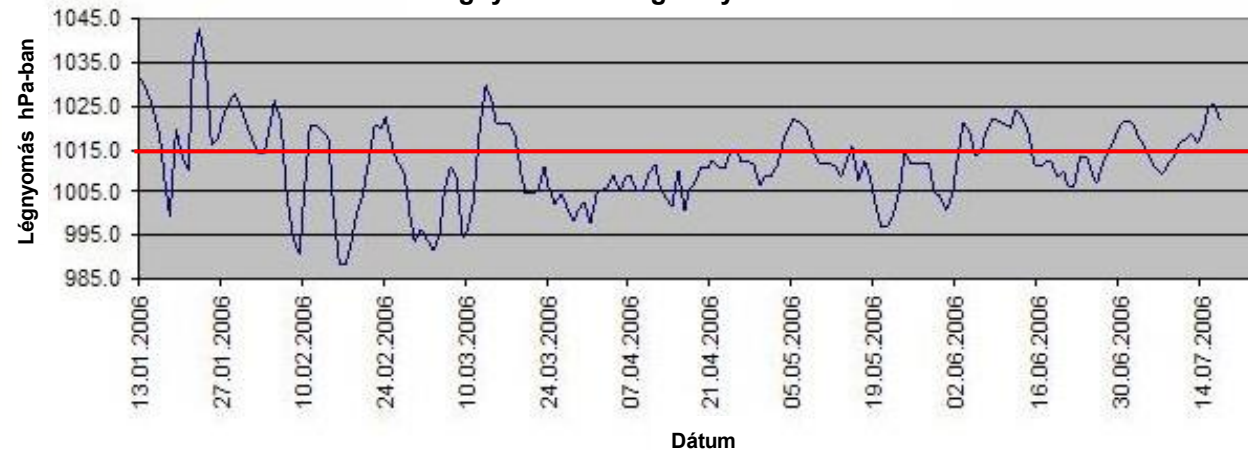
levegővel teli rézgömb



a levegőt kipumpálták a gömbből



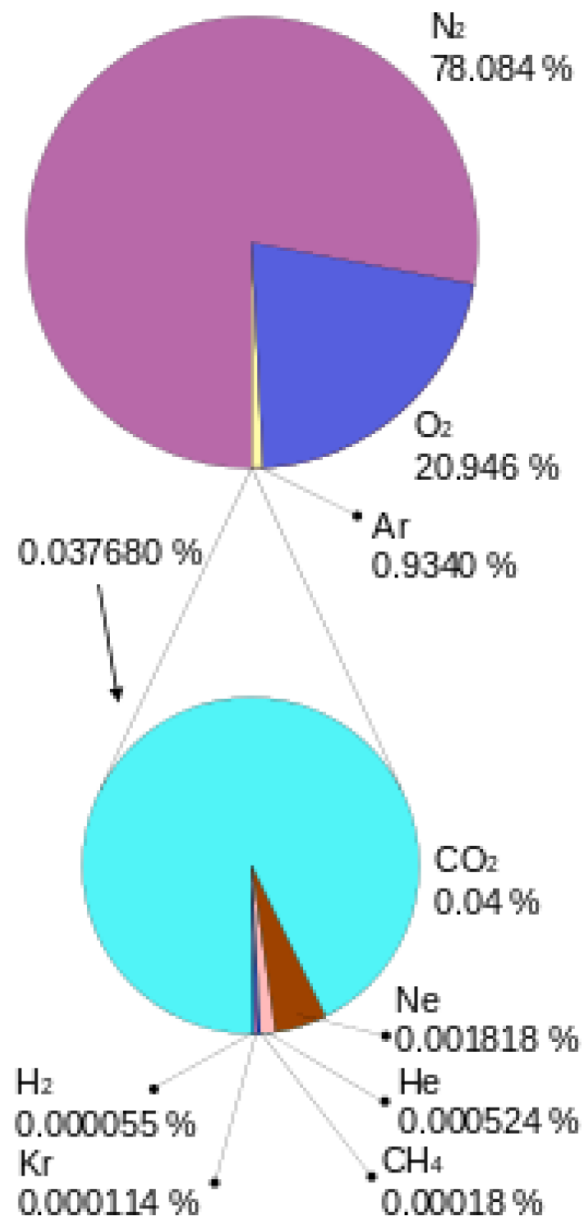
Légnymomás – átlagos nyomásérték



Normál légköri nyomás =
101 kPa = 1010 hPa

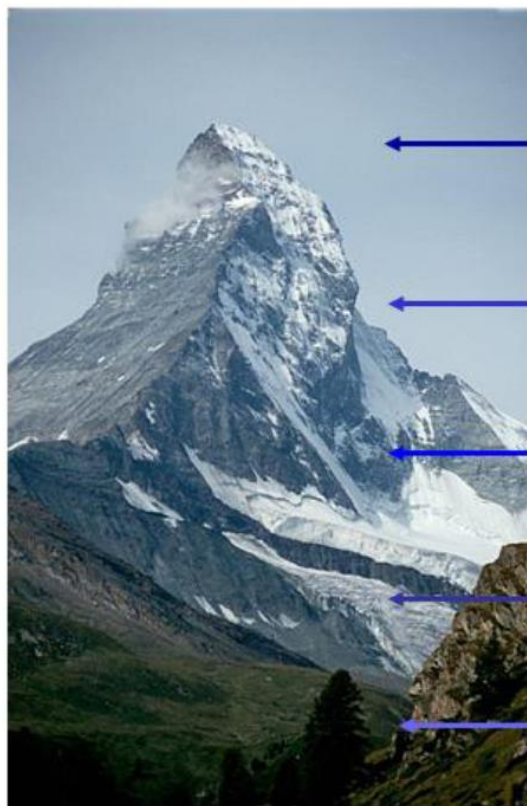
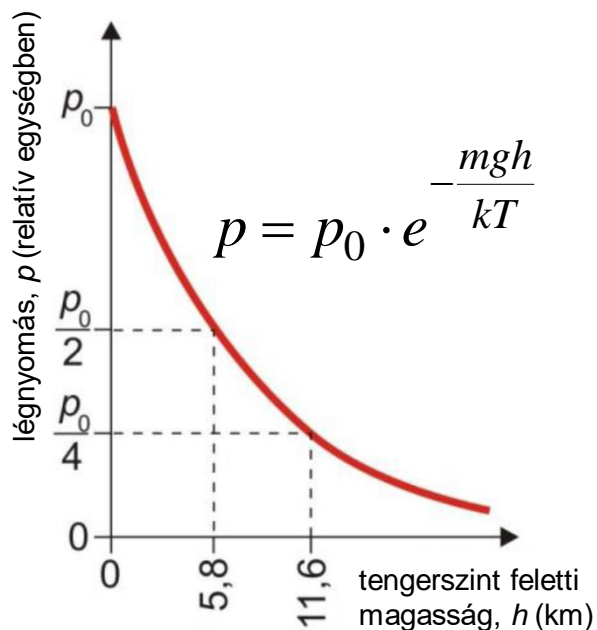
Parciális nyomás (résznyomás)

- Gázelegeknél értelmezhető
- A levegő gázelegy (nitrogén, oxigén, széndioxid,...)
- A gázelegy minden komponense bizonyos részben hozzájárul a teljes gáznyomáshoz.
- A **parciális nyomás** megfelel annak a nyomásnak, amelyet a gázelegy valamelyik komponense akkor fejtene ki, ha egyedül töltene ki a rendelkezésre álló teljes térfogatot.
- A komponensek parciális nyomásának összege adja a gáz nyomását.
- Példa: az O_2 aránya $\sim 21\%$, így a teljes 101 kPa nyomásból 21,2 kPa az O_2 parciális nyomása.



Légköri nyomásváltozás

magaslati levegő és „hipoxia”



| magasság (m) | p levegő (hPa) | p O ₂ (hPa) | O ₂ (%) |
|-----------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 4.000 | 616 | 129 | 20,9 |
| 3.000 | 701 | 147 | 20,9 |
| 2.000 | 795 | 166 | 20,9 |
| 1.000 | 898 | 188 | 20,9 |
| NN | 1.013 | 212 | 20,9 |

- A levegő százalékos összetétele nem változik a tengerszint feletti magassággal.
- Mégis nehezzé válik a légzés a magasság növekedésével, a teljesítőképességünk lecsökken. (→ magaslati edzés - a teljesítmény fokozása)
- A jelenség oka a **csökkenő légnyomás**, ami az **oxigén parciális nyomásának csökkenését** is jelenti. Ez befolyásolja a test oxigénfelvételét és leadását.
- A szervezet képes alkalmazkodni – hemoglobin ill. vörösvértest mennyisége növekszik

Hőtan - Termodinamika

Ismétlés: 1. Mechanikai energiamegmaradás

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

2. Munkatétel

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

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**.

Ez összefüggésben áll: 1. az atomi részecskék rendszertelen **hőmozgásával**
2. a részecskék az egymás közötti **kölcsönhatásaival**

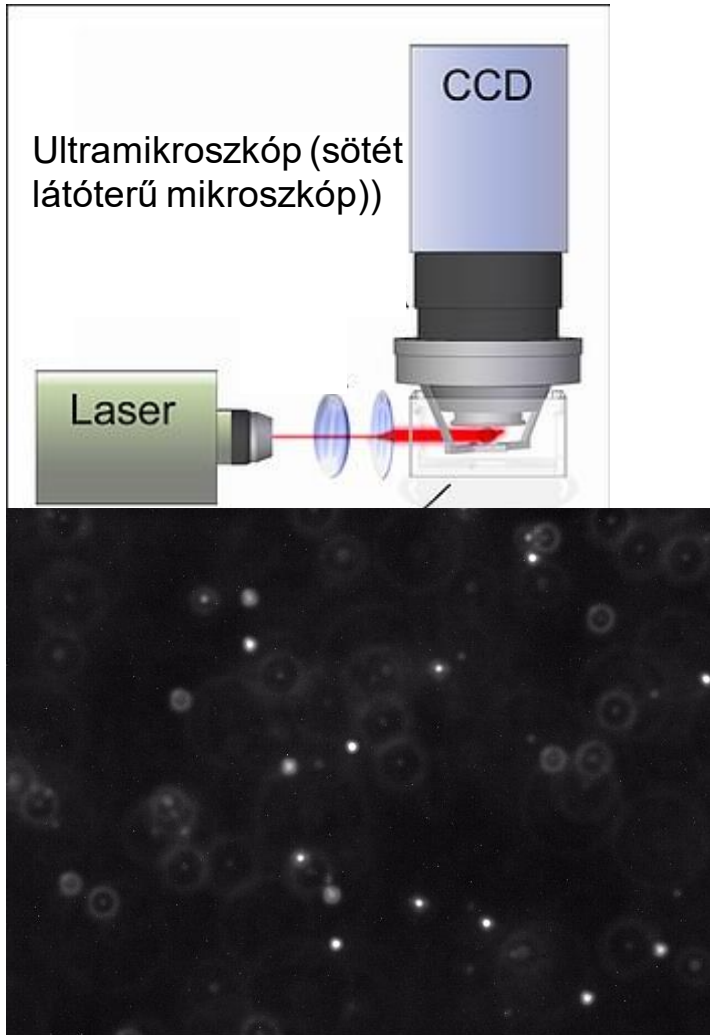
Termikus kölcsönhatás

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

$$Q = \Delta E_{\text{belső}}$$

Két új fizikai mennyiség: **hő** (Q) és **hőmérséklet** (T)

Hőmozgás és termikus energia



$$E_{belső} = E_{term} + E_{kötési} + E_{mag}$$

Egy test **termikus energiája** magába foglalja a testet alkotó **részecskék különböző mozgásainak energiáit** (transzláció, rotáció, vibráció)

- A **hőmérséklet** egy test termikus energiájának mértéke.

$$\left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT \right)$$

Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák

- A hőtan központi fogalma a hőmérséklet (SI-alapmennyiség)
- Jellemzi az adott test állapotát és a test **termikus energiájának mértéke**
- A fizikában a hőmérséklet méréséhez a **Kelvin-skálát** használjuk (mértékegység: Kelvin)
- A Kelvin-skálán **abszolút nullapont** található (0 K), de felső határ nem
- Az abszolút nullaponton megszűnne a részecskék mozgása — ha a 0 K elérhető lennén
- A **testek** sok **tulajdonsága változik** a **hőmérsékletük** függvényében, pl.:
 - térfogat (**hőtágulás**)
 - szín
 - elektromos ellenállás
 - gáz nyomása

Hőtágulási együtthatók:

Szilárd anyagokra (lineáris)

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

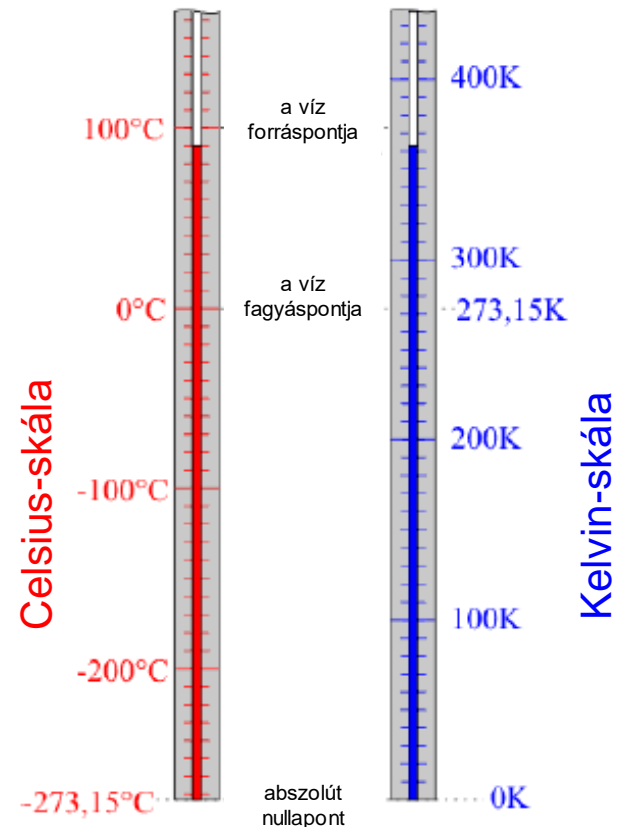
Folyadékokra (térfogati)

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

- A két hőmérsékleti skála el van tolva egymáshoz képest
- a két skála lépései azonban egyformák

$$t_{\text{Celsius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273$$

$$T_{\text{Kelvin}} = t_{\text{Celsius}} + 273$$



Hő és hőkapacitás

Hő (jele Q): Az egyik testből másikba **átadott termikus energia**.

Régi mértékegysége a kalória (cal): $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$

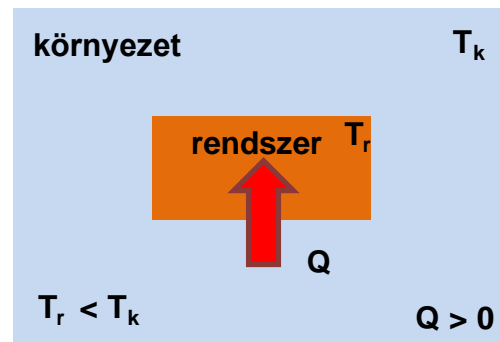
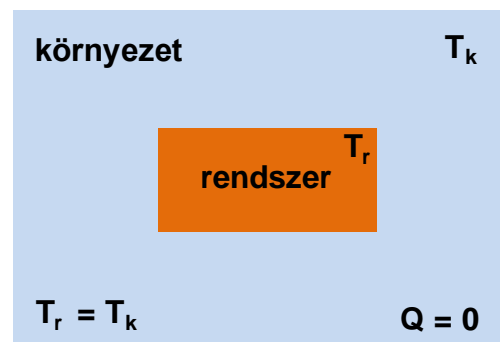
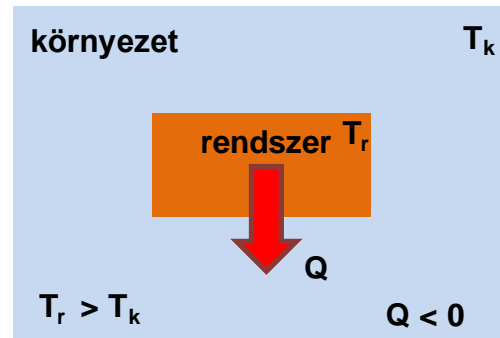
A **hőkapacitás** (C) segítségével **kapcsolatot** teremthetünk egy test **hőmérsékletének megváltozása** ΔT és az eközben felvett vagy leadott **hő** Q között:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right)$$

- Ha meg szeretnénk növelni egy test hőmérsékletét, hőt kell közölnünk vele: ekkor Q és ΔT pozitív
- Ha csökkenteni szeretnénk egy test hőmérsékletét, hőt kell elvonnunk: ekkor Q és ΔT negatív
- Egy test **hőkapacitása** függ az **anyagi minőségtől** és a **tömegtől** is, $C \sim m \rightarrow$

fajlagos hőkapacitás c :
$$c = \frac{C}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \right)$$

A két egyenlet egyesítéséből: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$





Feladat

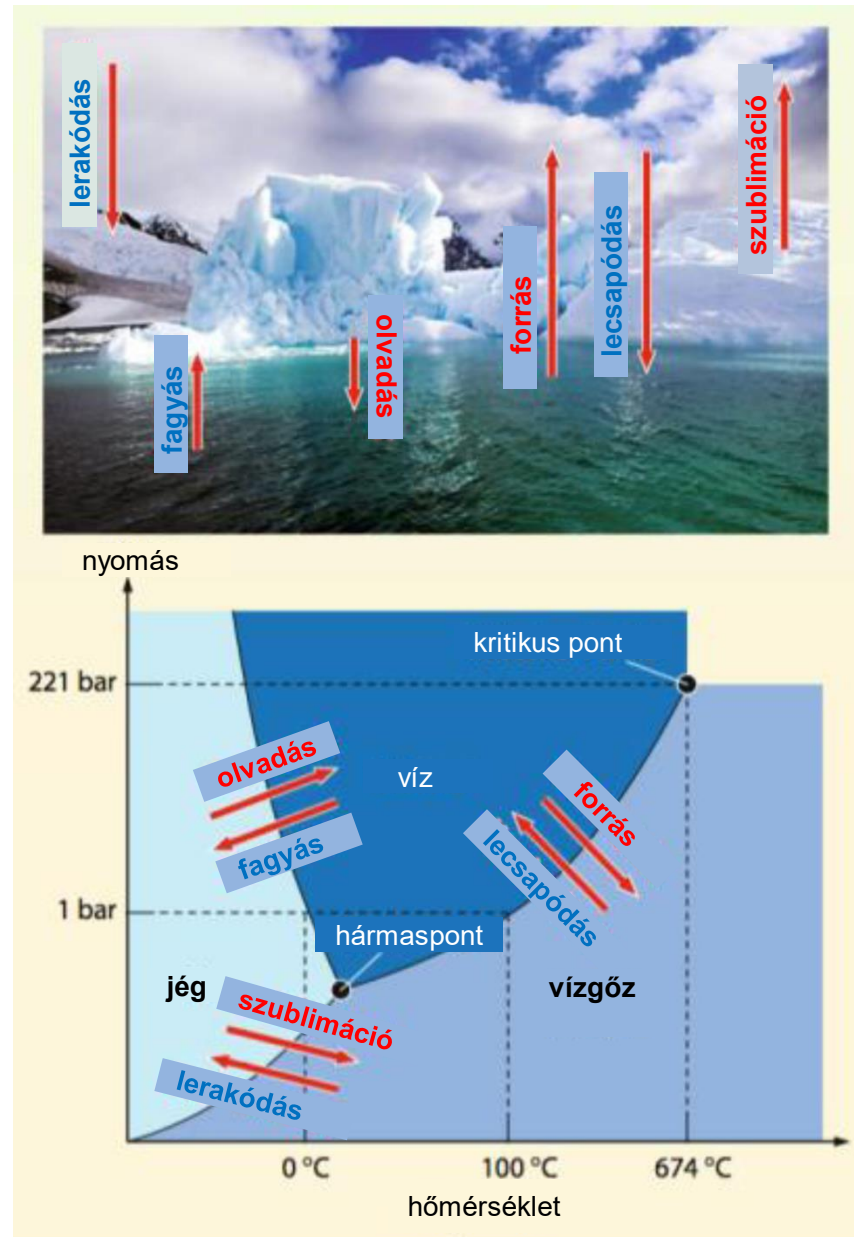
2 dl narancslevet szeretnénk 28°C -ról 8°C -ra lehűteni.
Mennyi hőt kell elvonnunk az italból? (A narancslé
sűrűsége $1,02\text{ g/cm}^3$.)



| Anyag | fajlagos hőkapacitás, c ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$) |
|-----------|--|
| narancslé | 4100 |

Halmazállapotok

- Halmazállapotok: az anyag különböző szerkezetű, tulajdonságú megnyilvánulási formái, Megjelenésük a külső körülményektől (pl. hőmérséklet és nyomás) függ.
- Az átalakulások hőmérséklete a nyomás függvényében változik → **fázisdiagramm**
- Három állapotot különböztetünk meg: **szilárd, folyékony és gáznemű**
- A víz három halmazállapotban jelenhet meg: jég, folyékony víz és vízgőz
- Az állapotok jellemző tulajdonságai:
 - **szilárd**: meghatározott **térfogat** és **alak**
 - **folyékony**: meghatározott **térfogat**, de az alak nem
 - **gáznemű**: **nincs** meghatározott alak vagy térfogat



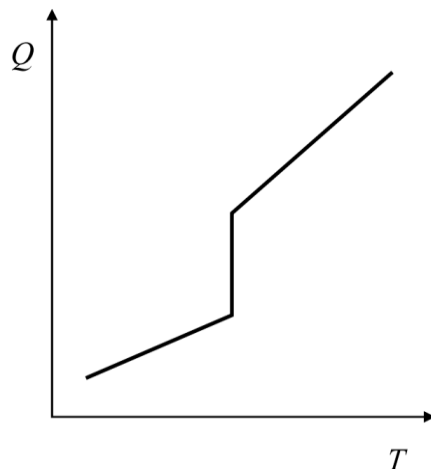
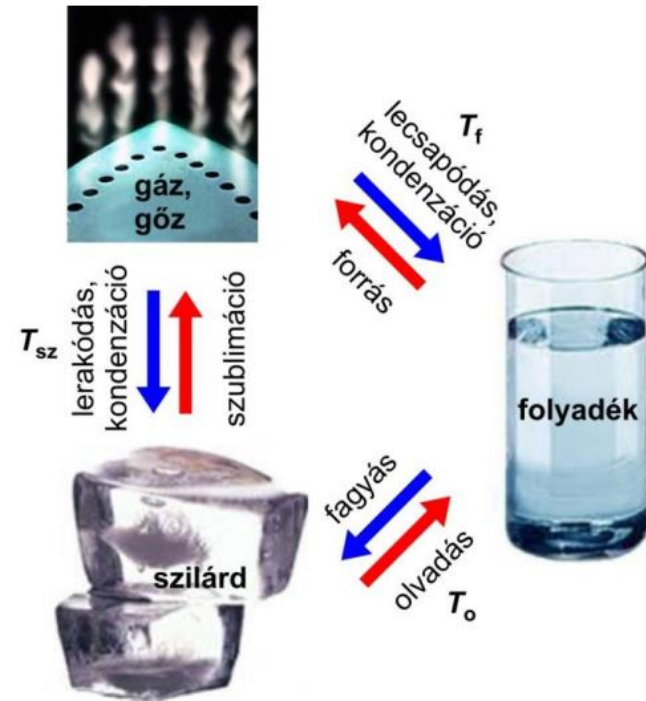
Fázisátalakulás és fázisátalakulási hő

- Szerkezetváltozáshoz is **energia szükséges**
- A Q **átalakulási hő** megfelel annak a hőmennyiségnek amit egy test fázisátalakulás közben felvesz vagy lead.
- Ez a hőmennyiség is függ a tömegtől és az alábbi arányosság érvényes rá: $Q \sim m \rightarrow$

$$\text{(fajlagos) fázisátalakulási hő: } L = \frac{Q}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

- Attól függően, hogy milyen fázisátalakulásról beszélünk, a fázisátalakulási hőnek különféle neveket adunk: pl.:

 - fajlagos olvadáshő
 - fajlagos párolgáshő



Néhány anyag átalakuláshője

| anyag | L (kJ/kg) |
|---|-------------|
| arany — <i>olvadáshő</i> | 67 |
| alumínium — <i>olvadáshő</i> | 396 |
| só (NaCl) — <i>olvadáshő</i> | 517 |
| jég — <i>olvadáshő</i> | 334,4 |
| víz — <i>párolgáshő</i> (30°C és 101 kPa mellett) | 2400 |
| víz — <i>forráshő</i> (100°C és 101 kPa mellett) | 2257 |

Ideális gáz

Egy **modell**, amelyben a következő feltételezésekkel élünk:

- A gázcsepscsek **pontszerűek**
- A gázcsepscseknek **nincsen térfogatuk**
- **Nincs kölcsönhatás** az egyes részecsek között (egyetlen **kivétellel**: **rugalmas ütközés** egymással és az edény falával)

Megjegyzés:

A rendkívül leegyszerűsített ideális gázmodellel ellentétben a valódi gázok minden részecskéje rendelkezik térfogattal, továbbá vonzó- és taszítóerők révén kölcsönhatásban állnak egymással.

részecskeszám N

edény térfogata V

gáz nyomása p

gáz hőmérséklete T



$$p \sim T$$

$$p \sim N$$

$$p \sim \frac{1}{V}$$

Az ideális gáz állapotegyenlete:

$$pV = NkT$$

Boltzmann-állandó
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$$kN_A = R$$
$$N/N_A = \nu$$

Alternatív felírás:

$$pV = \nu RT$$

általános gázállandó
 $R = 8,31 \text{ J/(mol K)}$

Házi feladat: 6. és 9. fejezet