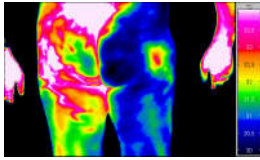
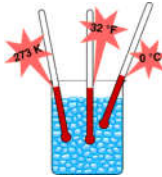


A biofizika fizikai alapjai

5. előadás 2022. 09. 19.

Orosz Ádám

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

Nyomás, hidrosztatika



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

1

Termikus kölcsönhatás

Ismétlés: 1. Mechanikai energiamegmaradás

2. Munkatétel

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

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

Hová lesz az energia rugalmatlan ütközés vagy sűrűdés 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

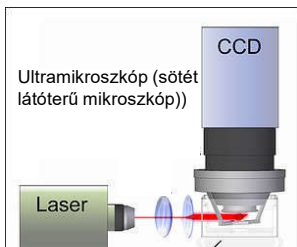
Új makroszkopikusan kölcsönhatás (a mechanikai mellett),
ami **hőközlés** formájában valósul meg:

$$Q = \Delta E_{\text{belső}}$$

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

2

Hőmozgás és termikus energia



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

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

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

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

3

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)

Folyadékokra (térfogati)

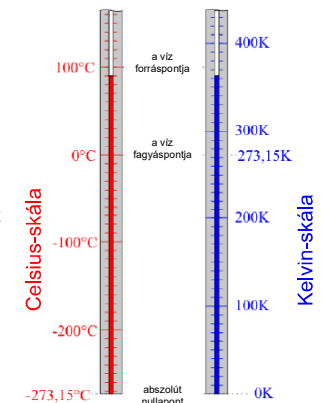
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T}$$

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

- A két hőmérsékleti skála el van tova egymashoz képest
- a két skála lépései azonban egyformák

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

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



4

Hő és hőkapacitás

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

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

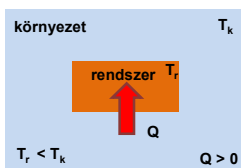
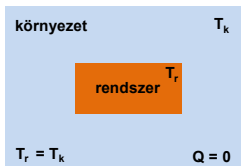
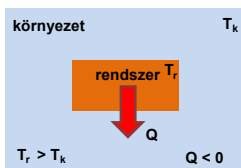
A **hőkapacitás** (C) segítségével kapcsolatot teremthetünk egy test **hőmérsékletének megváltozása** ΔT és az eközben felvett vagy leadott **hő** Q között:

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

- 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 **anyag minőségétől** és a **tömegétől** 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 (J/kg·K)
narancslé	4100

Halmazállapotok

- A halmazállapotok az anyag olyan különböző szerkezetű és tulajdonságú megnyilvánulási formái, amelyekben egy anyag a külső körülményektől (pl. hőmérséklet és nyomás) függően létezhet.

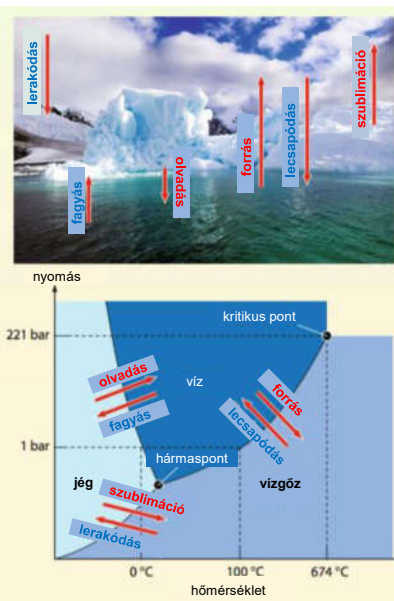
- Az **átalakulások hőmérséklete a nyomás függvényében** változik \rightarrow **fázisdiagramm**

- 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

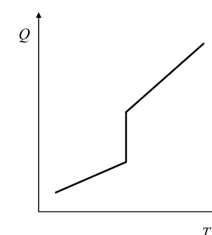
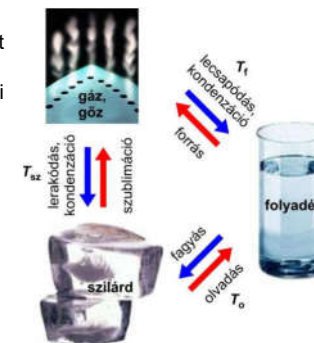


Fázisátalakulás és fázisátalakulási hő

- 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: $Q \sim m \rightarrow$

(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 — olvadáshő	67
aluminium — olvadáshő	396
só (NaCl) — olvadáshő	517
jég — olvadáshő	334,4
víz — párolgáshő (30°C és 101 kPa mellett)	2400
víz — forráshő (100°C és 101 kPa mellett)	2257

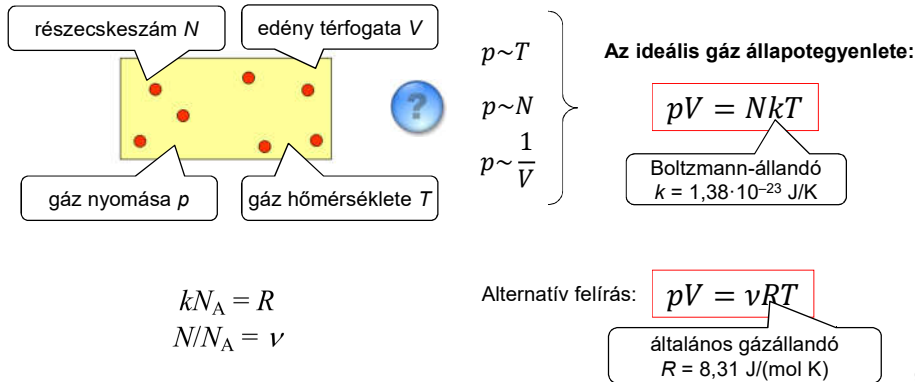
Ideális gáz

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

- A gázrészecskék **pontszerűek**
- A gázrészecskéknek **nincsen térfogatuk**
- **Nincs kölcsönhatás** az egyes részecskék között (egyetlen **kivétellel**: **rugalmas ütközés** egymással és az edény falával)

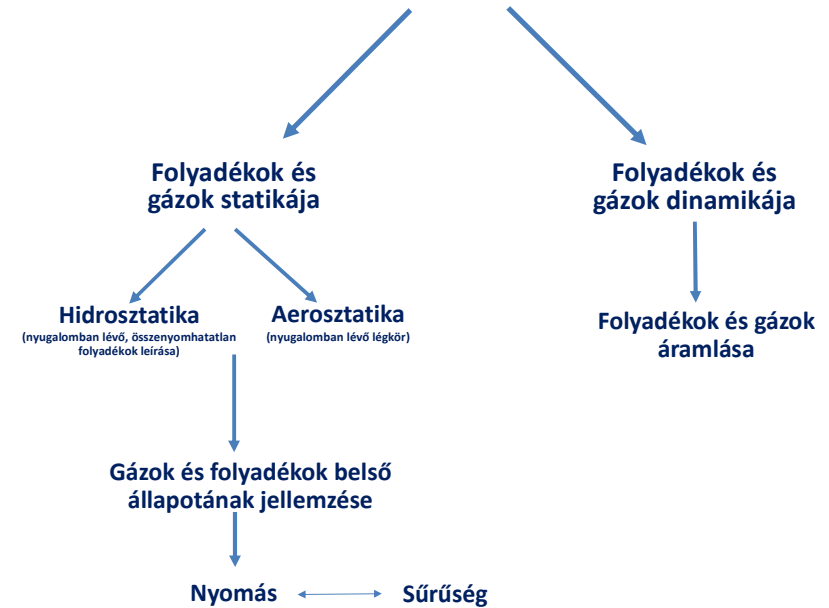
Megjegyzés:

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



9

Folyadékok és gázok mechanikája



10

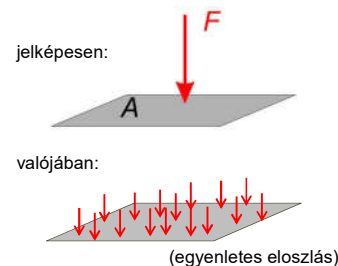
Ismétlés - Nyomás



- Egy test deformációja nem csak a rá ható erőből függ, hanem attól is, hogy mekkora felületet ér az erőhatás.
- Az erő önmagában nem mindig elegendő a kölcsönhatás leírására. Egy új mennyiségre van szükségünk, 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



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

11

Feladat

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

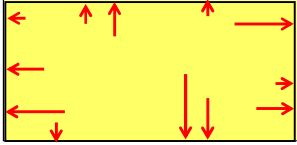
a) nincs a lábán semmi? (két talpának együttes felülete 200 cm²)

b) ha sél? (a két séléc együttes felülete 3300 cm²)

c) ha korcsolyázik? (a élének felülete 4 cm²)

12

Gázok nyomása



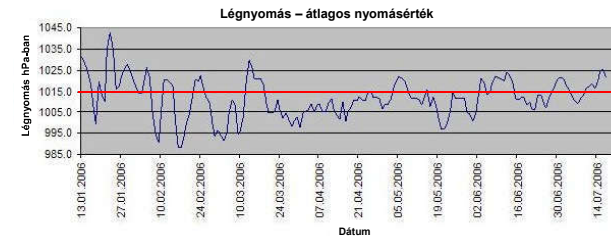
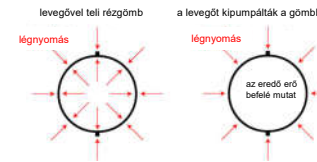
$$pV = NkT$$

- A gázcsepscék **termikus energiájuk** következtében tetszőleges irányba mozognak (a termikus energia **kinetikus energiává** alakul).
- A gázcsepscék **ütköznek a tartály falával**, az ideális gázmodell szerint **rugalmas ütközések sorozata** következik be.
- A részecskék fallal való **ütközésekor impulzusváltozás** történik, ami Newton II. törvénye szerint **rövid idejű erőhatásokat eredményez**. Az ütközések során a falra kifejtett erőhatásokból 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**.

13

Légköri nyomás (légnymomás)

Otto von Guericke kísérlete „a magdeburgi félgömbök”:

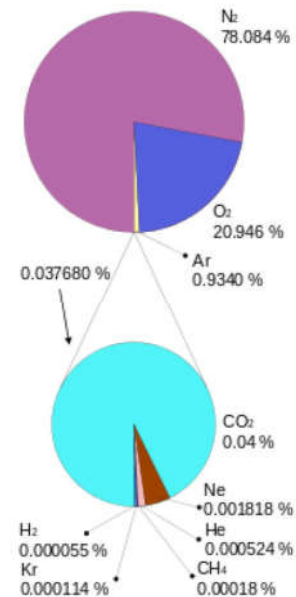


Normál légköri nyomás = 101 kPa = 1010 hPa

14

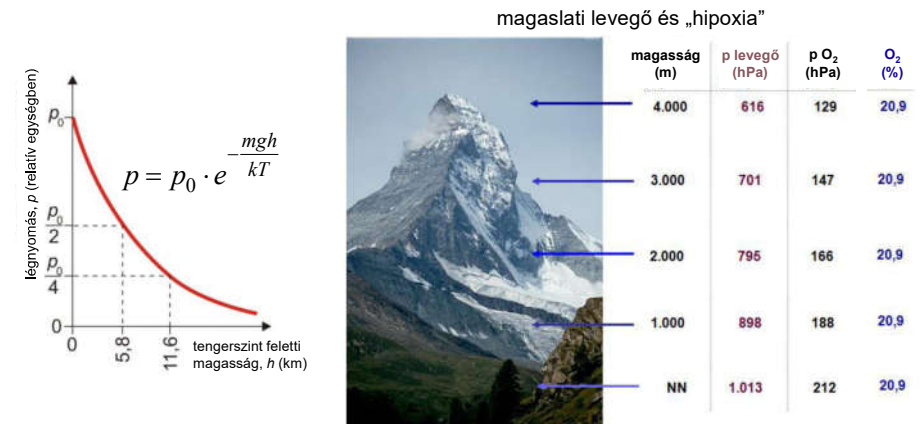
Parciális nyomás (résznyomás)

- Gázkeveréknél értelmezhető.
- A levegő gázkeveréke (nitrogén, oxigén, széndioxid,...)
- A gázkeverék minden komponense bizonyos részben hozzájárul a teljes gáznyomáshoz.
- A **parciális nyomás** megfelel annak a nyomásnak, amelyet a gázkeverék 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 ~ 21%, így a teljes 101 kPa nyomásból 21,2 kPa az O_2 parciális nyomása.



15

Légzés nagy magasságokban

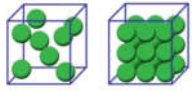


- A levegő százalékos összetétele nem változik a tengerszint feletti magassággal az ember számára releváns légtérben.
- Ennek ellenére nehezzé válik a légzés a magasság növekedésével, a teljesítőképességünk lecsökken. (→ magaslati edzés - a teljesítmény fokozása)
- A jelenség oka a **csökkenő légnymomás**,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

16

Sűrűség

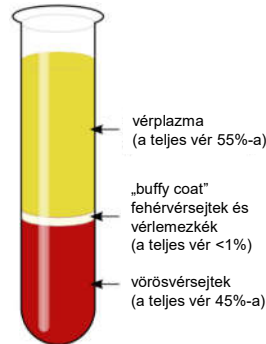
sűrűség (ρ): $\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$



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

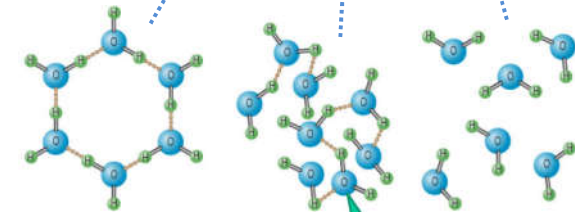
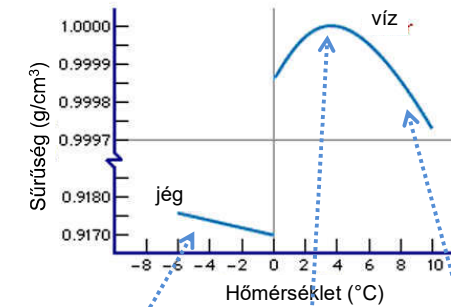
- Egy test **sűrűsége** függ:
 - anyagi minőség
 - nyomás
 - hőmérséklet

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



7

A víz sűrűsége



18

Hidrosztatikai nyomás

A folyadék súlyából származik.



19

Hidrosztatikai nyomás

A gázokban és folyadékokban a nehézségi erő miatt fellépő nyomás:

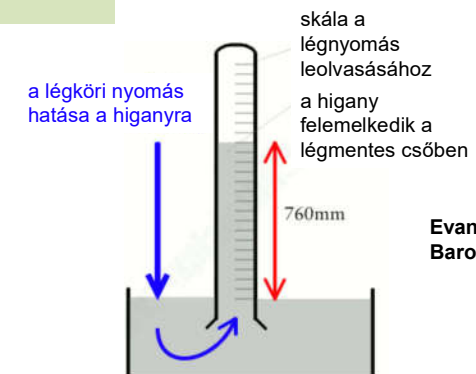
$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

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!



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



Evangelista Toricelli
Barométer (1643)

20

Hidrosztatikai paradoxon



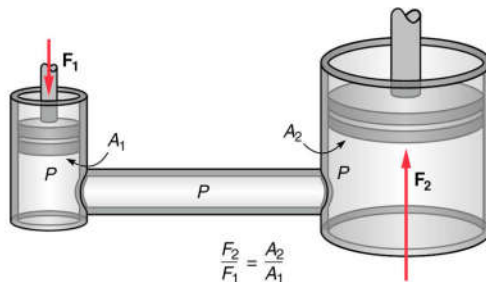
A folyadék által az edény aljára kifejtett hidrosztatikai nyomás csak az edény töltöttségi szintjétől függ, de az edény alakjától és így a benne lévő folyadék térfogatától **nem**.



Blaise Pascal
(1623 –1662)

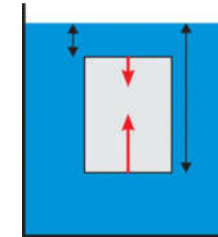
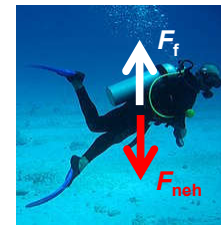
Zárt térben lévő folyadékban a külső erő okozta nyomás minden irányban gyengítetlenül tovaterjed, hiszen „összenyomhatatlanok” (inkompresszibilisek) ($\kappa_{\text{víz}} = 0,5 \text{ GPa}^{-1}$) (fékek működése, hidraulika).

Pascal törvénye



Arkhimédész törvénye és a felhajtóerő

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”.



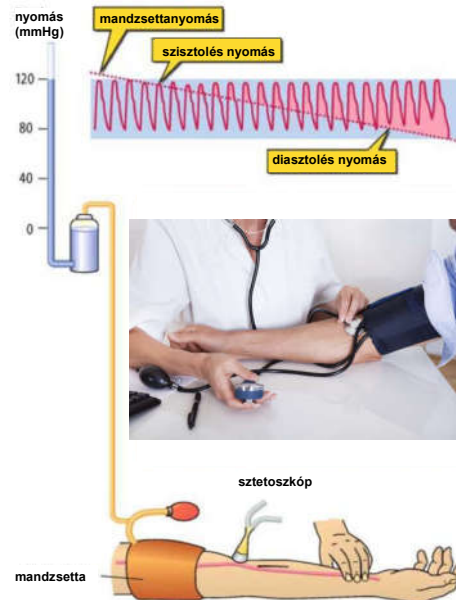
lebegés
($v = 0$)
 $a = 0$

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

$$F_{\text{neh}} = F_f$$

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).