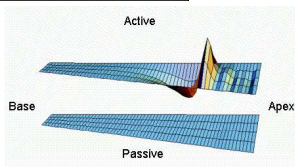
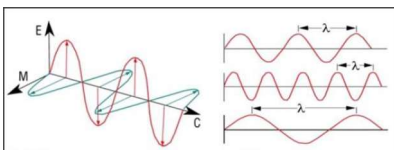


A biofizika fizikai alapjai

6. előadás 2020. 09. 24.

Orosz Ádám

Mechanika – Hullámtan



1. A hullámtan alapfogalmai
2. Hullámhossz
3. Transzverzális és longitudinális hullámok
4. Mechanikai hullámok – a hang
5. Elektromágneses hullámok – a fény
6. (lineáris) polarizáció
7. Reflexió és fénytörés
8. Interferencia
9. Állóhullámok
10. Diffrakció
11. Huygens-elv

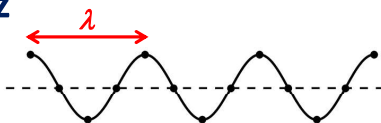
Hőtan

1. Termikus energia
2. Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák
3. Hő
4. Hőkapacitás és fajlagos hőkapacitás

5. Halmazállapotok
6. Fázisátalakulás és átalakulási hő
7. Az ideális gázmodell

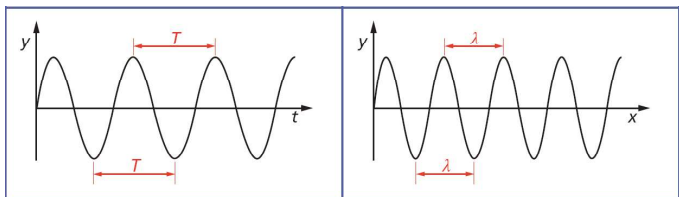
1

Hullámhossz



Hullámhossz (λ): Egy hullám hossza, azaz két egymást követő azonos fázisú pont közötti távolság.

- A hullámhossza a periódusidővel analóg mennyiség. A **térbeli** periodicitást jellemzi, míg a periódusidő az időbeli.



A hullámhossz és a periódusidő (ill. frekvencia) közti összefüggés:

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

A hullám terjedési sebessége

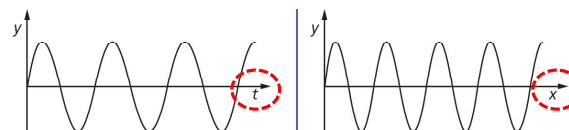
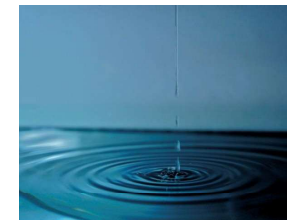
Megjegyzés:

Az összefüggés általánosan érvényes minden hullámfajtára (legyenek ezek mechanikai, elektromágnesen vagy akár anyaghullámok).

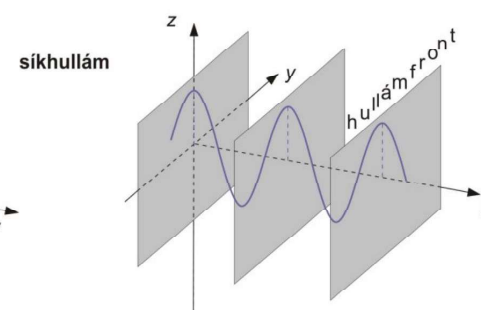
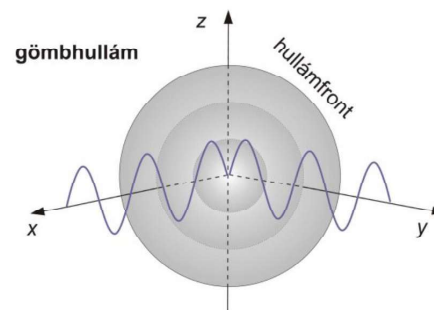
3

A hullámtan alapfogalmai

- Egy rezgési állapot terjedése egy rezgésre képes közegben.
- Egy fizikai mennyiség **időbeli** és **térbeli** periodikus (ismétlődő) változása.



Hullámfelület vagy Hullámfront: Ugyanabban a rezgési fázisban – azaz ugyanabban a rezgési állapotban – lévő pontok által meghatározott felület.



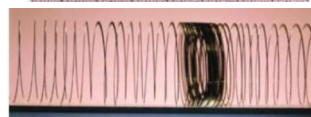
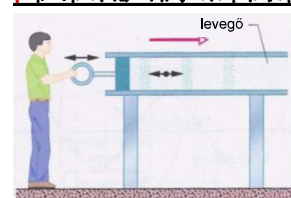
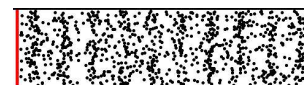
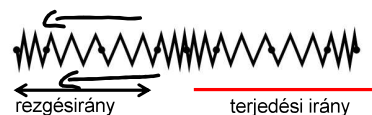
2

Longitudinális és transzverzális hullámok

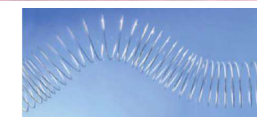
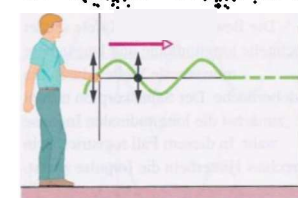
Annak függvényében, hogy a **kitérés (rezgés) iránya** a hullám **terjedési iránya** között milyen viszony áll fenn, elkülöníthetünk longitudinális és transzverzális hullámokat:

- Longitudinális hullámok:** A rezgés iránya **párhuzamos** a terjedési irányával.
- transzverzális hullámok:** A rezgés iránya **merőleges** a terjedési irányra.

Longitudinális hullámok



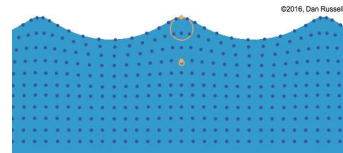
Transzverzális hullámok



4

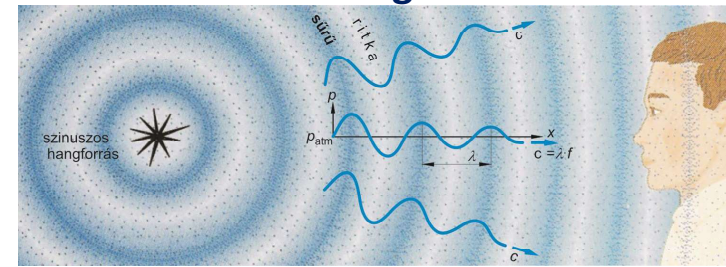
Mechanikai hullámok

- Anyagi mozgásokhoz kötöttek (közegre van szükségük a terjedéshez)
- A közeg alkotóelemeinek mozgása pl.:
 - a víz hullámai (víz)
 - hanghullámok (levegő)
- Lehetnek longitudinális és transzverzális hullámok is.
- A mechanikai **longitudinális** hullámok **minden** közegben képesek a terjedésre, a mechanikai **transzverzális** hullámok csak **szilárd anyagokban**. (A víz felületi hullámai azonban részben transzverzálisak).
- A hullámok terjedésével **energiatranszport** jár együtt, de **anyagtranszport nem**.



5

Hang



- A hanghullámok mechanikai hullámok, az emberi hallás alapján négy tartományba oszthatók:

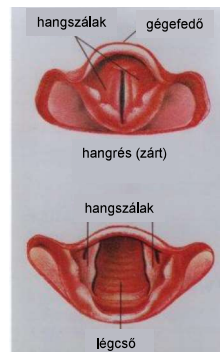
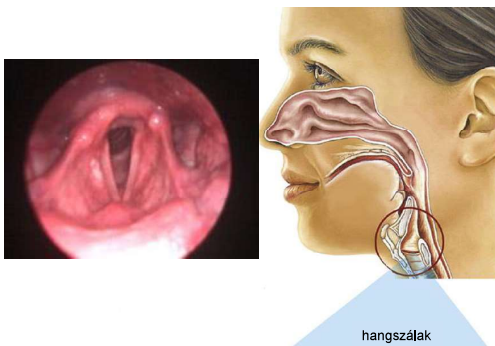
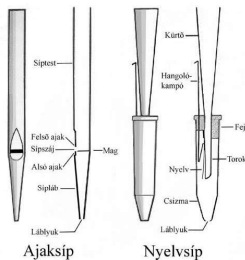
Hangtartományok	infrahang	hallható hang	ultrahang	hiperhang
frekvenciaértékek (Hz)	< 20	20–20 000	20 000–10 ⁹	10 ⁹ <

- A hangsebesség általában alacsonyabb gázokban, mint folyadékokban, és alacsonyabb folyadékokban, mint szilárd anyagokban.

közeg	c _{hang} (m/s)
levegő (0°C, 101 kPa)	330
hélium gáz (0°C, 101 kPa)	965
víz (20°C)	1483
zsírszövet	1470
izomszövet	1568
csontszövet (kompakt)	3600
vas	5950

6

Hanghullámok keltése



7

Feladat

A delfin 7 mm hullámhosszúságú hangot bocsát ki.

- a) Számítsa ki a frekvenciát vízben!

$$\lambda = 7 \text{ mm} = 0,007 \text{ m}$$

$$c_{\text{víz}} = 1483 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1483}{0,007} = 211857 \text{ Hz}$$

- b) Melyik frekvencia tartományba tartozik ez a hang?

UH

- c) A hanghullámok a vízből a levegőbe jutnak. Számítsa ki a frekvenciát a levegőben!

- d) Számítsa ki a hullámhosszat levegőben!

$$c_{\text{levegő}} = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

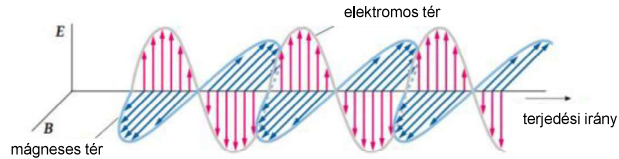
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{330}{211857} = 0,00156 \text{ m} \rightarrow 1,56 \text{ mm}$$



8

Elektromágneses hullámok

- Elektromos és mágneses mezők hullámai

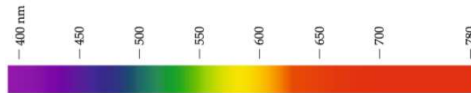


- Az elektromágneses tér a rezgésre képes közeg, így ezek a hullámok **vákuumban is terjedni tudnak**
- Transzverzális hullámok (amelyek ezáltal polarizálhatók is)
- Minden elektromágneses hullám vákuumban azonos sebességgel, a fénysebességgel terjed:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

A fény - a legismertebb elektromágneses hullám

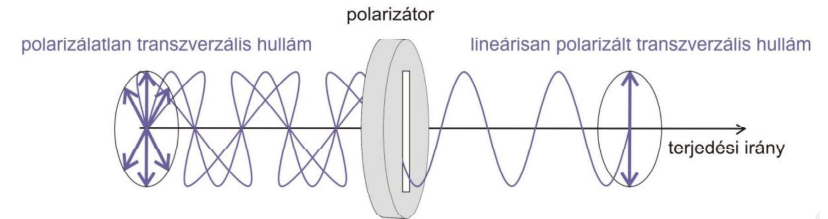
- A látható fény spektruma kb. 380 nm–780 nm közé esik (VIS-tartomány) → **400 nm–800 nm**



9

(Lineáris) polarizáció

- Transzverzális hullámok esetén a rezgés iránya és a terjedési irány merőleges egymásra
- A rezgés iránya ezzel még nincs pontosan meghatározva, bár mindig merőleges a terjedési irányra (= polarizálatlan hullám)
- Egy** rezgésirány (rezgéssík) "kiválasztását" egy polarizátor segítségével lineáris polarizációnak nevezzük

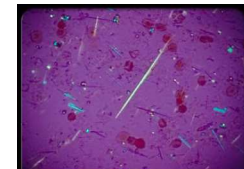


A polarizált fény használata:

Polarizációs mikroszkóp



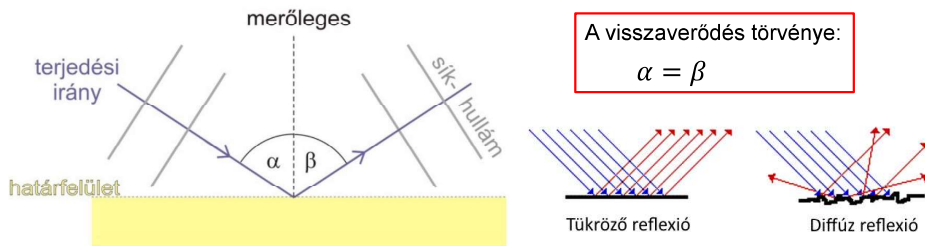
közsvény



húgysavkristályok polarizációs mikroszkópban

10

Határfelületi jelenségek: reflexió



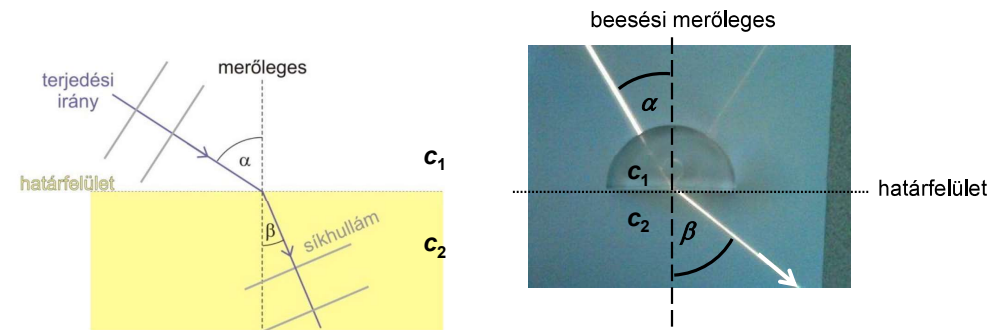
A visszaverődés törvénye:

$$\alpha = \beta$$



11

Határfelületi jelenségek: törés



A törés törvénye:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

12

Feladat

Egy fénysugár érkezik plexiüvegből a plexiüveg / levegő határfelületre. A beesési és a törési szög a képen látható. Számítsa ki a fény sebességét plexiüvegben!

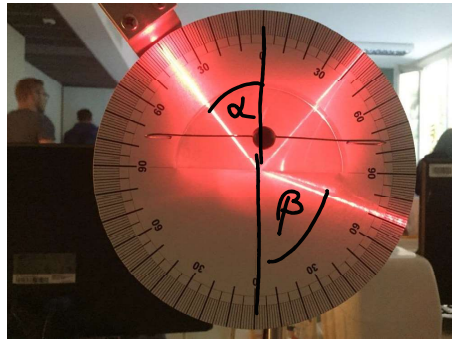
$$\alpha = 40^\circ$$

$$\beta = 70^\circ \quad c_1 = ?$$

$$\frac{\sin 40^\circ}{\sin 70^\circ} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$c_{\text{er}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_1 = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

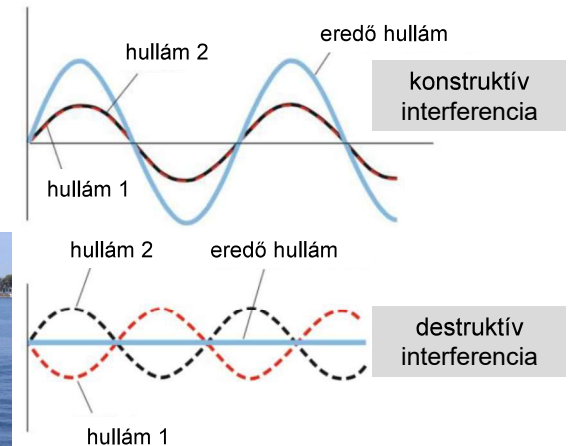


13

Interferencia

Két vagy több hullám találkozásakor létrejövő jelenség. Feltételei:

- Hullámok azonos hullámhosszúak
- Fázisviszonyuk időben állandó



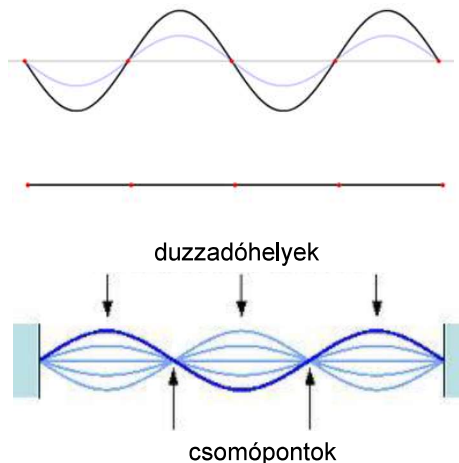
14

Állóhullámok

Egy hullám visszaverődése

- szabad vég

- rögzített vég

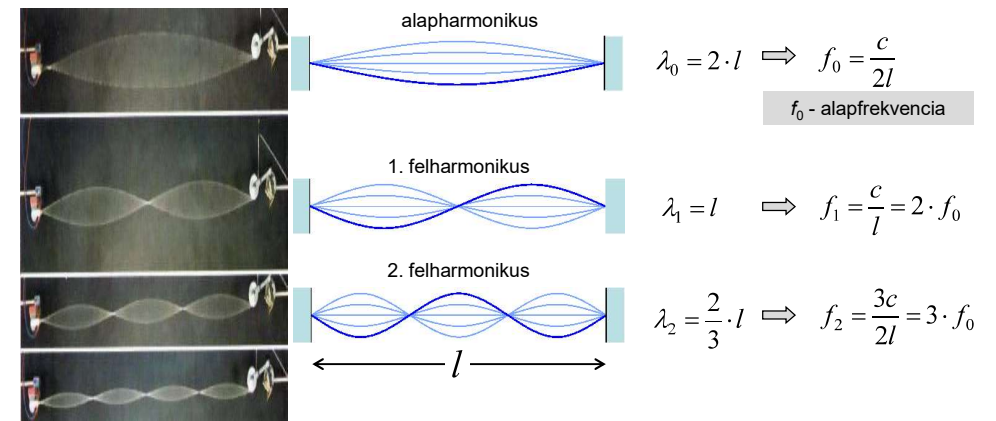


- Két azonos frekvenciájú és amplitúdójú de ellentétes terjedési irányú síkhullám interferenciájának eredményeként jön létre (pl. Visszaverődő és beeső hullámok egymásra helyezése)
- Minden pont ugyanazzal a fázissal, de eltérő amplitúdóval rezeg
- A rögzített végen egy csomópont van
- A szabad végen egy duzzadóhely

15

Állóhullámok

Példa: Egy rendszer két rögzített véggel (mindkettő csomópont)



Megjegyzés:

Egy hegedű húrjának alaphérfrekvenciáját beállíthatjuk pl.:

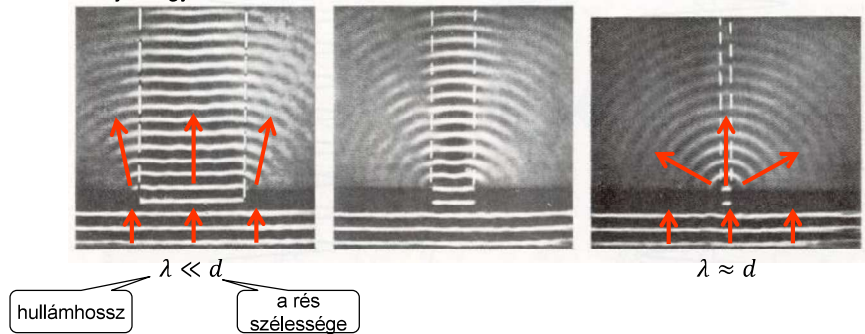
- a húr hosszának változtatásával
- A húr rezgési állapotának változtatásával (→ terjedési sebesség)

16

Elhajlás (diffrakció)

A hullám terjedési irányának megváltozása a hullám útjában álló akadályokon, nyílásokon (nem két közeg határfelületén).

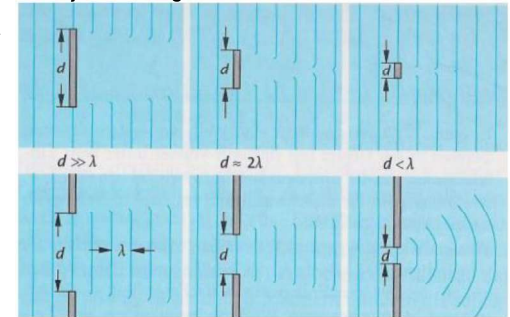
Példa: elhajlás egy résen:



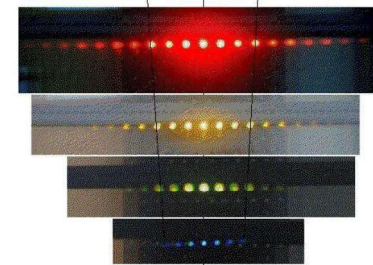
A hullámok egy nyílás mögött olyan tartományba is behatolnak, amely az egyszerű geometriai várakozás alapján „árnyéktérnek” minősül.

- Az akadály vagy a nyílás méretének és a hullámhossz arányának függvényében a diffrakció többé-kevésbé hangsúlyos
- A diffrakció jelensége annál hangsúlyosabban jelenik meg:

- minél kisebb az akadály vagy a rés (adott hullámhossz esetén)

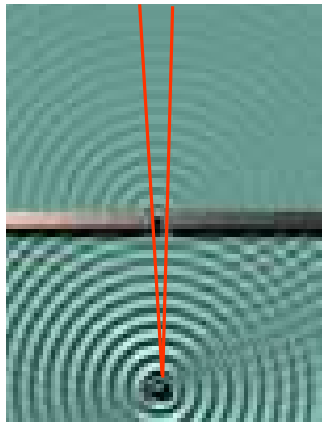


- Minél nagyobb a hullámhossz (adott résszélesség esetén))

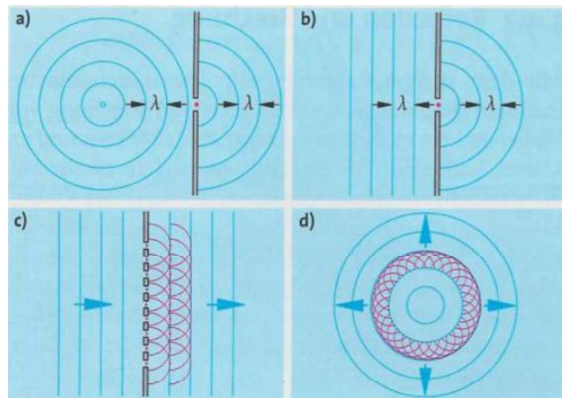


Megjegyzés:
A fényelhajlás az oka minden optikai készülék véges felbontóképességének, pl. mikroszkóp, szem.

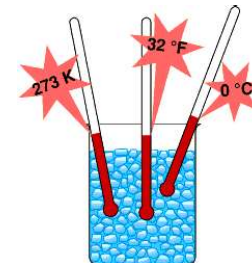
Huygens–Fresnel-elv



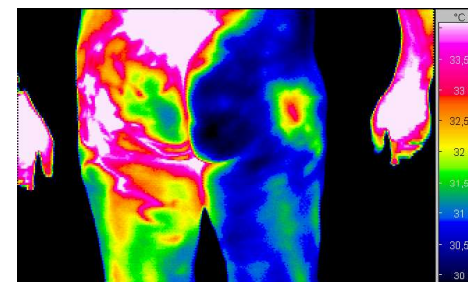
- Egy **modell** a hullám terjedésének leírására
- A hullámfront minden pontja egy új gömbhullám, az úgynevezett **elemi hullám** kiindulópontjának tekinthető
- Az elemi hullám ugyanolyan sebességgel és frekvenciával terjed, mint az eredeti hullám
- Az elemi hullámok közös burkolófelülete eredményezi az új hullámfrontot



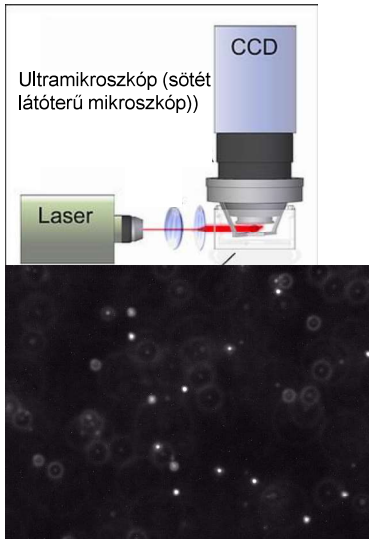
Hőtan



- Termikus energia
- Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák
- Hő
- Hőkapacitás és fajlagos hőkapacitás
- Halmazállapotok
- Fázisátalakulás és átalakulási hő
- Az ideális gázmodell



Hőmozgás és termikus energia



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

- A hőmérséklet egy test termikus energiájának mértéke.

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

21

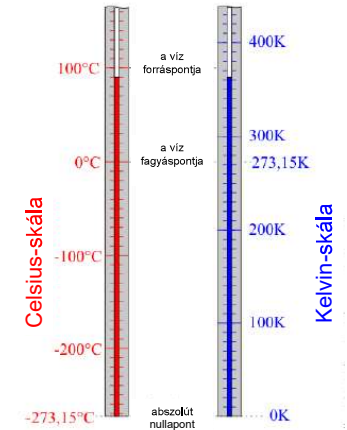
Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák

- 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
 - egy gáz nyomása

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

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

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



22

Hő és hőkapacitás

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

Régi mértékegysége a kalória (cal): 1 cal = 4,186 J

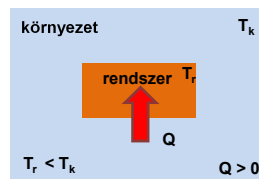
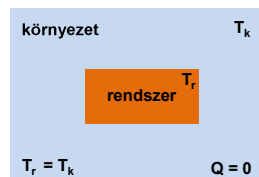
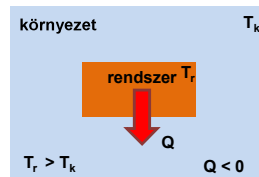
A **hőkapacitás** (C) segítségével kapcsolatot teremthetünk egy test **hőmérsékletének megváltozása** ΔT és az eközben felvett vagy leadott **hő** Q között:

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

- 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 **tömeg**től 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: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$



23

Feladat

2 dl narancslevet szeretnénk 28°C-ról 8°C-ra lehűteni. Mennyi hőt kell elvonnunk az italból? (A narancslé sűrűsége 1,02 g/cm³.)



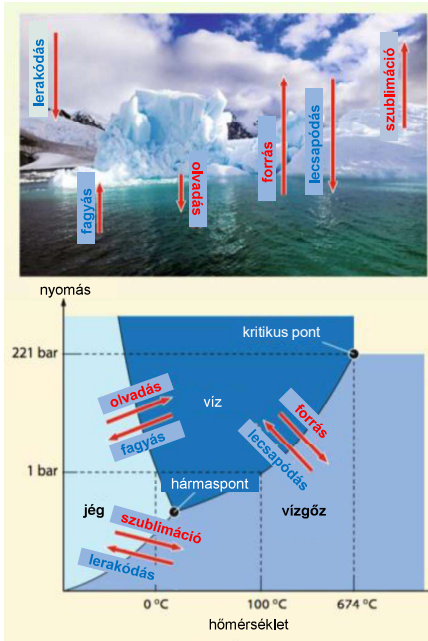
Anyag	fajlagos hőkapacitás, c (J/kg·K)
narancslé	4100

?

24

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 → 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



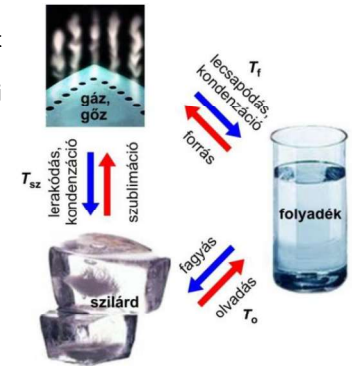
25

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 — olvadáshő	67
alumínium — 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

26

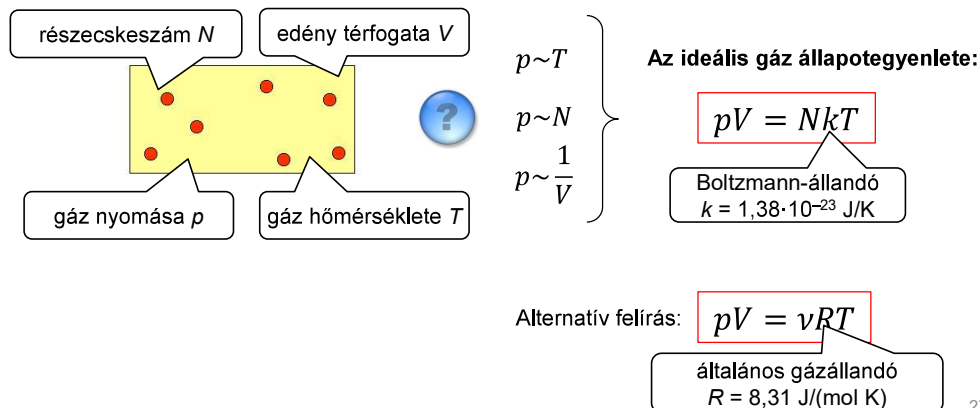
Ideális gáz

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

- A gárrészecskék pontszerűek
- A gárrészecskéknek 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.



27

Házi feladat: 8. és 9. fejezet

28