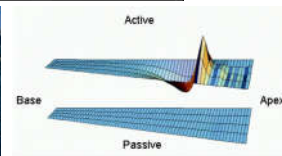
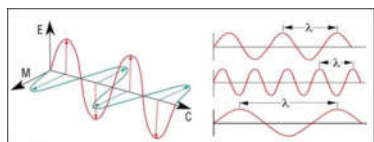


A biofizika fizikai alapjai

6. előadás 2021. 09. 23.

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 kölcsönhatás
2. Hőmérséklet és hőmérsékleti skálák
3. Hő
4. Hőkapacitás és fajlagos hőkapacitás

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

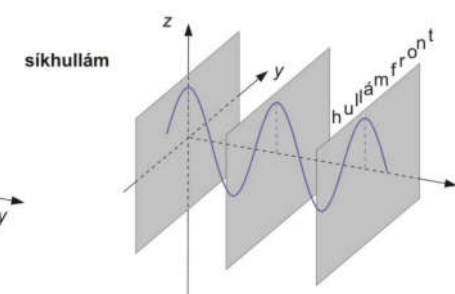
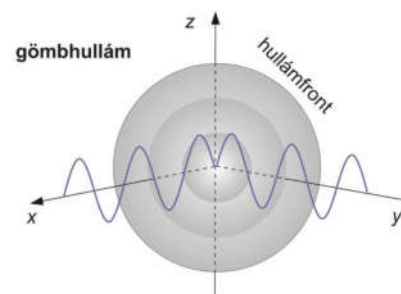
1

A hullámtan alapfogalmai

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



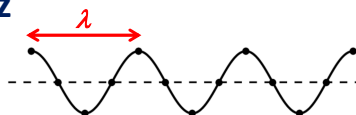
Hullámfelület vagy **Hullámfront**: Ugyanabban a rezgési fázisban – azaz ugyanabban a rezgési állapotban – lévő pontok által meghatározott felület.



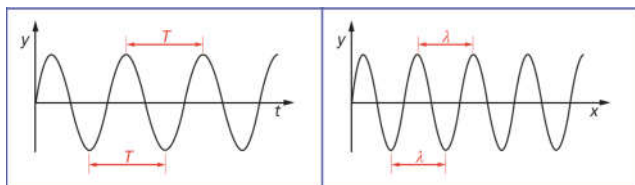
2

Hullámhossz

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



- A **hullámhossz** a periódusidővel analóg mennyiség. A **térbeli periodicitást** jellemzi, míg a **periódusidő** az **időbelit**.



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

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

celeritas (lat.) - gyorsaság

A hullám terjedési sebessége

Megjegyzés:

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

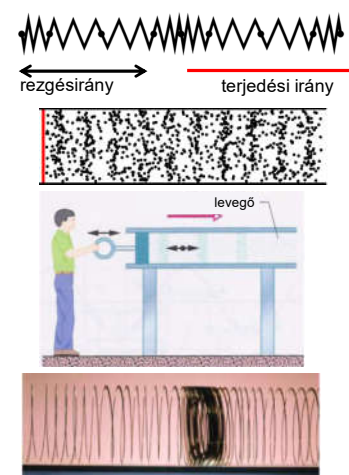
3

Longitudinális és transzverzális hullámok

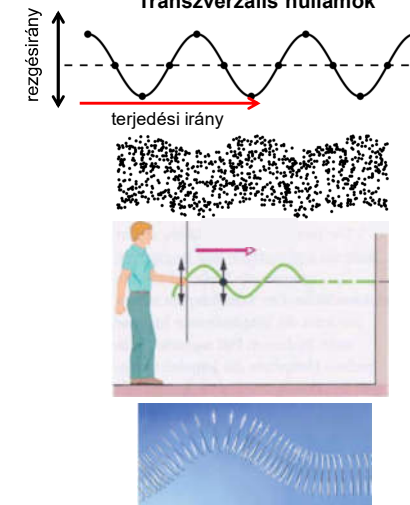
Annak függvényében, hogy a **kitérés (rezgés) iránya** a hullám **terjedési iránya** között milyen viszony áll fenn, elkülöníthetünk longitudinális és transzverzális hullámokat:

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

Longitudinális hullámok



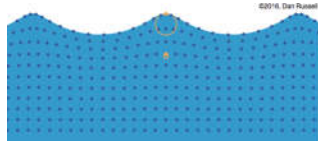
Transzverzális hullámok



4

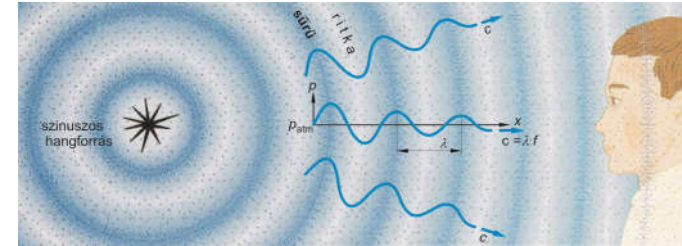
Mechanikai hullámok

- 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:

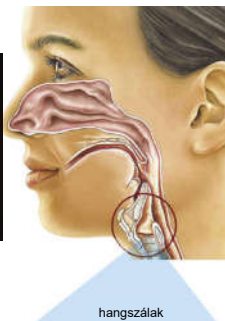
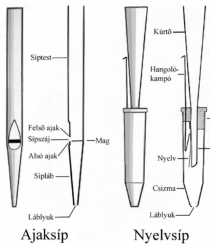
Hangtartományok frekvenciaértékek (Hz)	infrahang	hallható hang	ultrahang	hiperhang
	< 20	20–20 000	20 000–10 ⁹	10 ⁹ <

- 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!



b) Melyik frekvencia tartományba tartozik ez a hang?

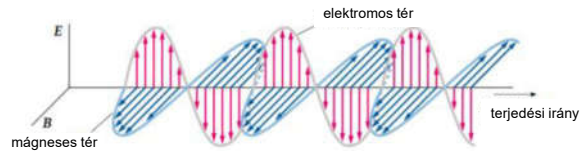
c) A hanghullámok a vízből a levegőbe jutnak. Számítsa ki a frekvenciát a levegőben!

d) Számítsa ki a hullámhosszat levegőben!

8

Elektromágneses hullámok

- Elektromos és mágneses mezők hullámai

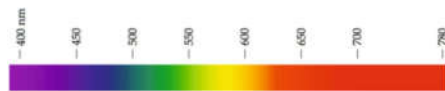


- Az elektromágneses tér a rezgésre képes közeg, így ezek a hullámok **vákuumban is terjedni tudnak**
- Transzverzális hullámok (amelyek ezáltal polarizálhatók is)
- Minden elektromágneses hullám vákuumban azonos sebességgel, a fénysebességgel terjed:

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

A fény - a legismertebb elektromágneses hullám

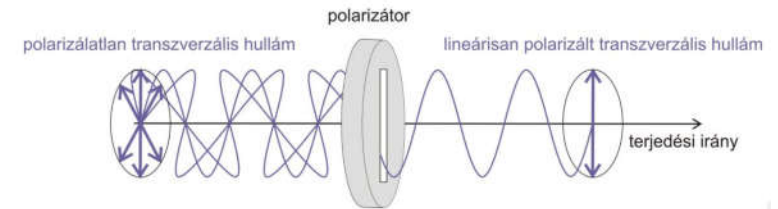
- A látható fény spektruma kb. 380 nm–780 nm közé esik (VIS-tartomány) → **400 nm–800 nm**



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

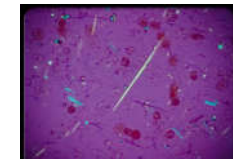


A polarizált fény használata:

Polarizációs mikroszkóp



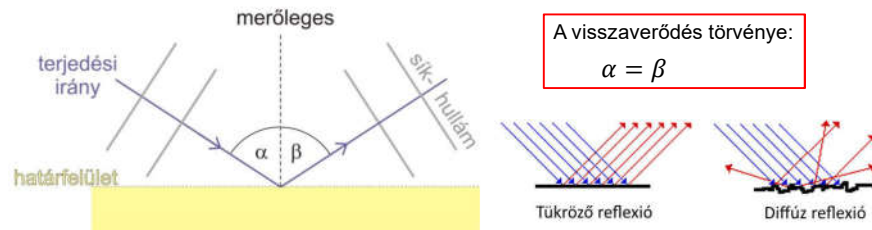
köszvény



húgysavkristályok polarizációs mikroszkópban

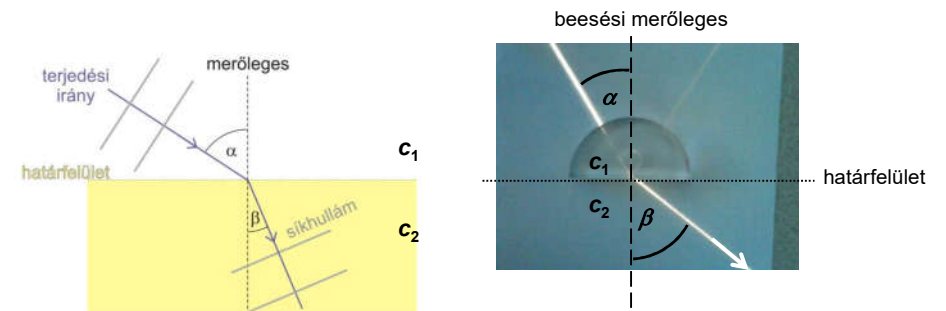
10

Határfelületi jelenségek: reflexió



11

Határfelületi jelenségek: törés



A törés törvénye:

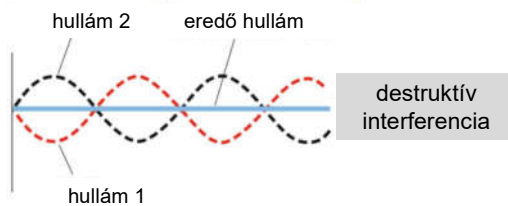
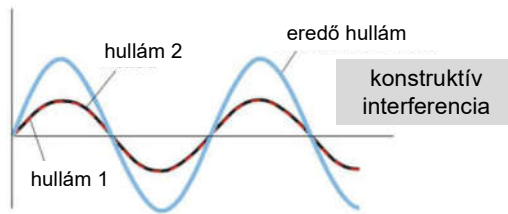
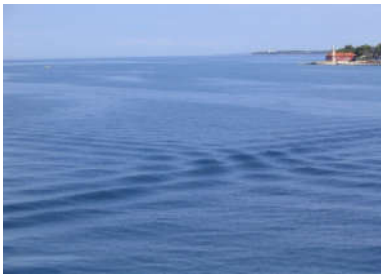
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

12

Interferencia

Két vagy több hullám találkozásakor létrejövő jelenség. Feltételei:

- Hullámok azonos hullámhosszúak
- Fázisviszonyuk időben állandó

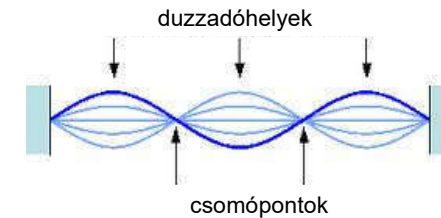
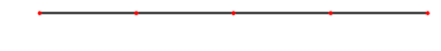
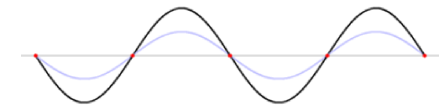


13

Állóhullámok

Egy hullám visszaverődése

- szabad vég
- rögzített vég

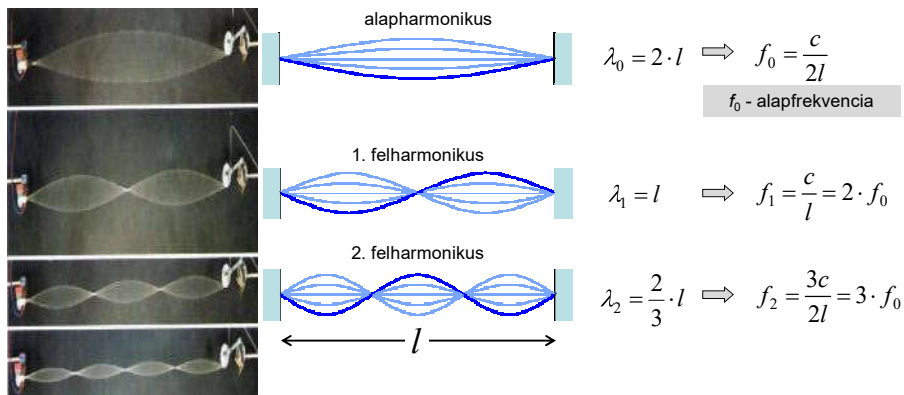


- Két azonos frekvenciájú és amplitúdójú de ellentétes terjedési irányú síkhullám interferenciájának eredményeként jön létre (pl. Visszaverődő és beeső hullámok egymásra helyezése)
- Minden pont ugyanazzal a fázissal, de eltérő amplitúddal rezeg
- A rögzített végen egy csomópont van
- A szabad végen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

14

Állóhullámok

Példa: Egy rendszer két rögzített véggel (mindkettő csomópont)



Megjegyzés:

Egy hegedű húrjának alapfrekvenciáját beállíthatjuk pl.:

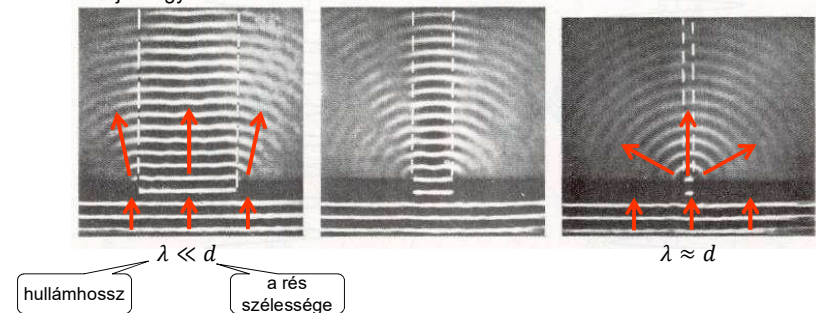
- a húr hosszának változtatásával
- A húr rezgési állapotának változtatásával (→ terjedési sebesség)

15

Elhajlás (diffrakció)

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

Példa: elhajlás egy résen:

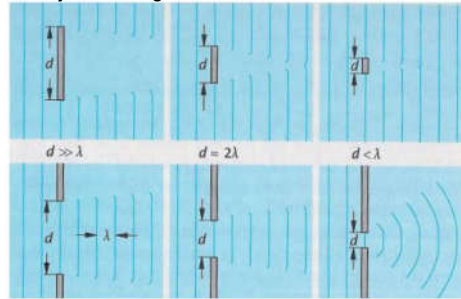


A hullámok egy nyílás mögött olyan tartományba is behatolnak, amely az egyszerű geometriai várakozás alapján „árnyéktérnek” minősül.

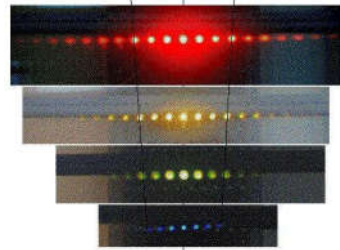
16

- 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)



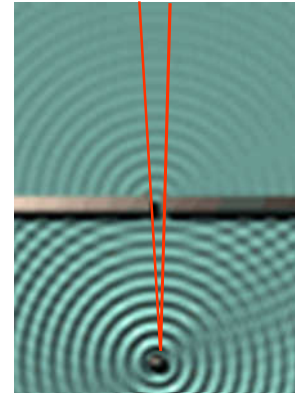
- Minél nagyobb a hullámhossz (adott résszélesség esetén))



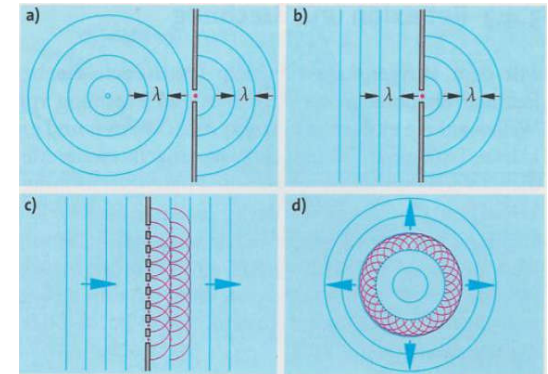
Megjegyzés:
A fényelhajlás az oka minden optikai készülék véges felbontóképességének, pl. mikroszkóp, szem.

17

Huygens–Fresnel-elv

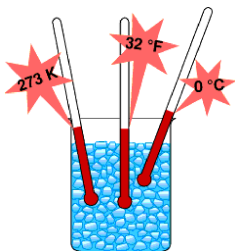


- Egy **modell** a hullám terjedésének leírására
- A hullámfront minden pontja egy új gömbhullám, az úgynevezett **elemi hullám** kiindulópontjának tekinthető
- Az elemi hullám ugyanolyan sebességgel és frekvenciával terjed, mint az eredeti hullám
- Az elemi hullámok közös burkolófelülete eredményezi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

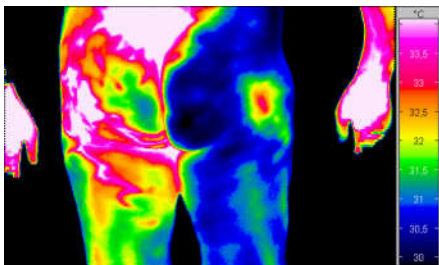


18

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



19

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 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

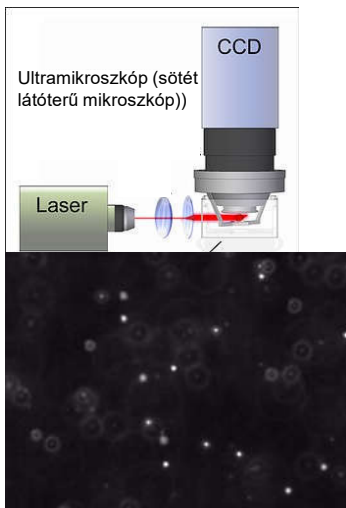
Új makroszkopikusan kölcsönhatás (a mechanikai mellett),
ami **hőközlés** formájában valósul meg:

$$Q = \Delta E_{\text{belső}}$$

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

20

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)

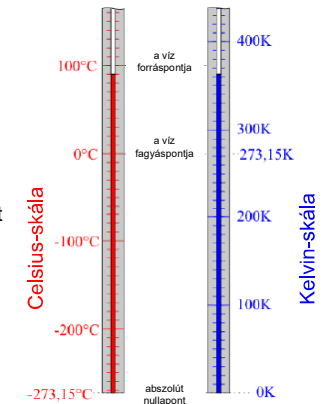
- A **hőmérséklet** egy test termikus energiájának mértéke.

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

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

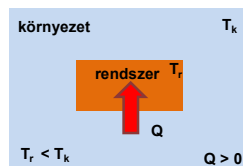
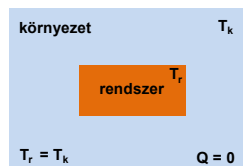
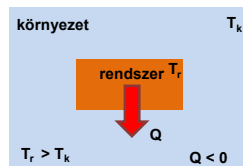
A **hőkapacitás** (C) segítségével kapcsolatot teremthetünk egy test **hőmérsékletének megváltozása** ΔT és az eközben felvett vagy leadott **hő** Q között:

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

- 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 **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 g/cm³.)

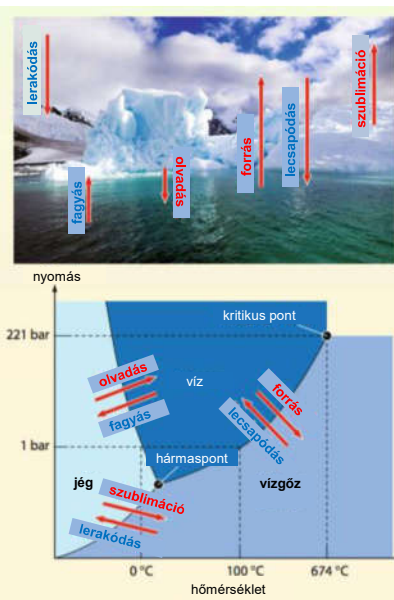


Anyag	fajlagos hőkapacitás, c (J/kg·K)
narancslé	4100

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



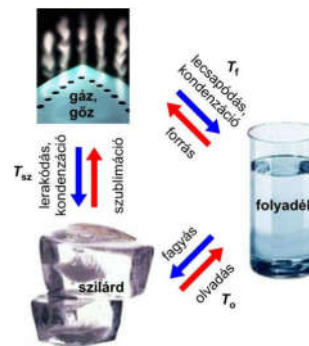
25

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
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

26

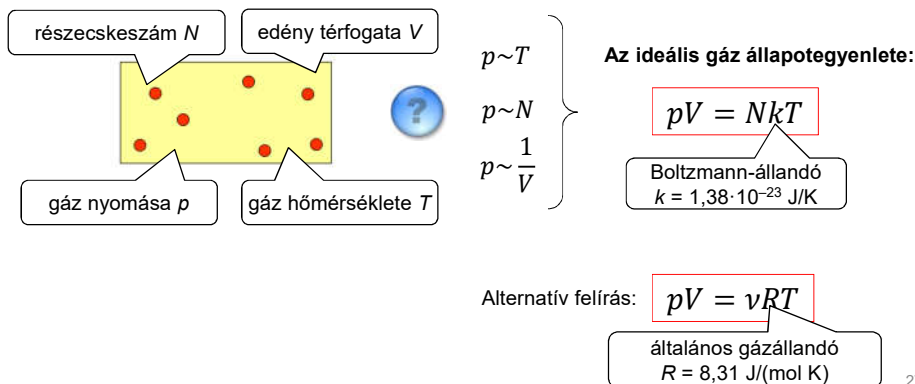
Ideális gáz

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

- A gázcseppcskék **pontszerűek**
- A gázcseppcskéknek **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