

Fizika mérnököknek 2.

9. előadás - Hőtan

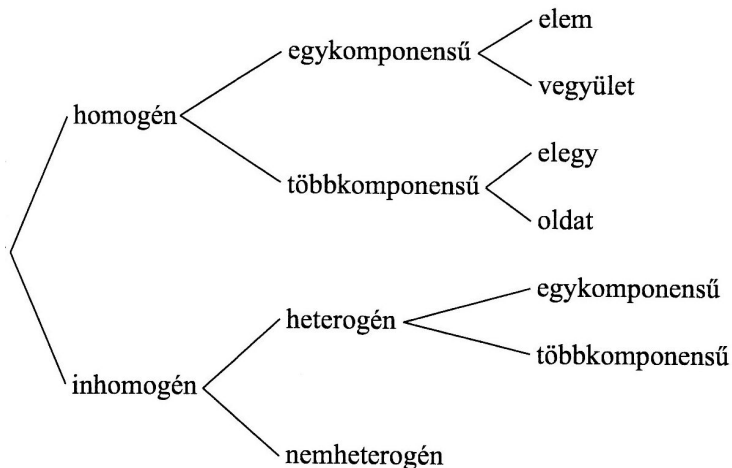
Mingesz Róbert

Szegedi Tudományegyetem

2010. április 12.

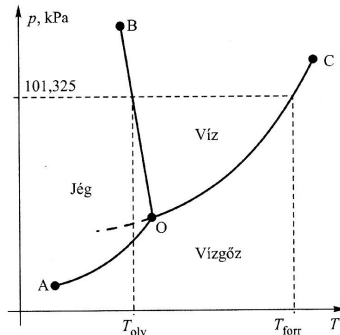
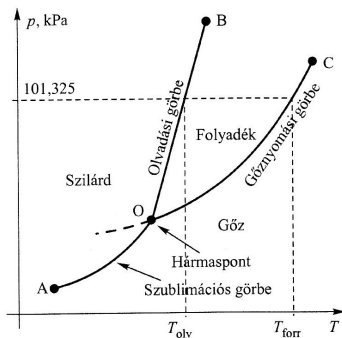
- 1 Fázisátalakulások
 - Olvadás és fagyás
 - Párolgás
 - Forrás és lecsapódás
 - Folytonos fázisátalakulások
- 2 Gázok alacsony hőmérsékleten
- 3 A levegő páratartalma
- 4 Gépek
- 5 Transzportfolyamatok
 - Hővezetés

Anyagi rendszerek csoportosítása



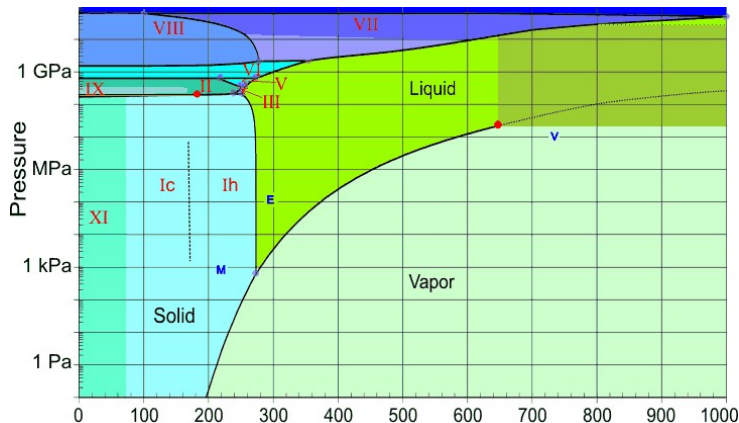
- Heterogén rendszerek: makroszkopikus határfelületek választják szét a különböző **fázisokat**
 - szilárd
 - folyadék
 - gáz
 - plazma
- Hőközlés/hőelvonás \Rightarrow intenzív paraméterek megváltoznak
jól meghatározott paramétereknél \Rightarrow
ugrásszerű változások: **fázisátalakulások**
 - halmazállapot-változások
 - polimorf átalakulások
- **Elsőrendű fázisátalakulások:** hirtelen változások (törések vannak az állapotjelzőkben), az átalakulás során nem változik a hőmérséklet, látens hő felvétele
pl. olvadás
- **Másodrendű fázisátalakulások** (folytonos fázisátalakulások)

Fázisdiagramok



- **Fázisegyensúly:** két (három) fázis egymással egyensúlyban van
- **Hármaspont:** a szilárd, a folyadék, és a gőz fázis egyensúlya
- **C pont: kritikus pont**

A víz fázisdiagramja



- <http://www.phy.duke.edu/~hsg/176/table-images/water-phase-diagram.html>

- Az olvadás oka: a hőmozgás (ha a hőmozgás elér egy kritikus értéket, a kristályrács felbomlik)
- **Olvadáspont** (T_{olv}): itt történik az olvadás (fázisegyensúly). Nyomásfüggő.
- Az olvadás teljes ideje alatt nem változik a rendszer hőmérséklete, a közölt hő az olvadásra fordítódik \Rightarrow
- **Olvadáshő**: L_{olv} (átalakulási hő / látens hő)
- Clausius-Clapeyron-egyenlet

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T\Delta V}$$

Víz esetén: olvadás = térfogatcsökkenés
ha p nő $\Rightarrow T_{\text{olv}}$ csökken

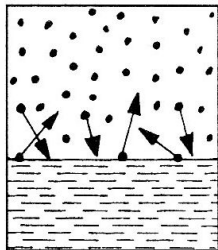
- Az olvadás fordított folyamata

$$T_{\text{olv}} = T_{\text{fagy}}$$

$$L_{\text{olv}} = L_{\text{fagy}}$$

- A kristályrács kialakulásához szükséges: **kristálygócok**
- **Túlhűtés:** kristálygócok hiányában T_{olv} alá csökkenthető a folyadék hőmérséklete
nem egyensúlyi állapot

- Folyadék \Rightarrow gőz
- A molekulák egy része elegendő energiához jut, hogy kijusson a folyadékból
- A visszamaradt folyadék lehűl



- Zárt edény \Rightarrow kialakul az egyensúly (\rightarrow **telített gőz**)
- Nyitott edény \Rightarrow a folyadék teljes egészében gőzzé alakul (\rightarrow **telítetlen gőz**)

- **Párolgáshő:** L_p

$$L_p = L_{p,B} + NkT$$

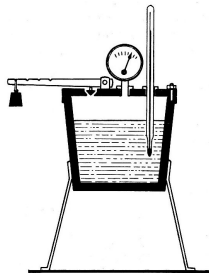
$$\left(\frac{\partial L_p}{\partial T} \right)_p = c_f - c_f$$

- Telített gőz nyomása: hőmérsékletfüggő (\rightarrow fázisdiagram)
- Clausius-Clapeyron-egyenlet \Rightarrow

$$p = Ae^{-\frac{L_{m,p}}{RT}}$$

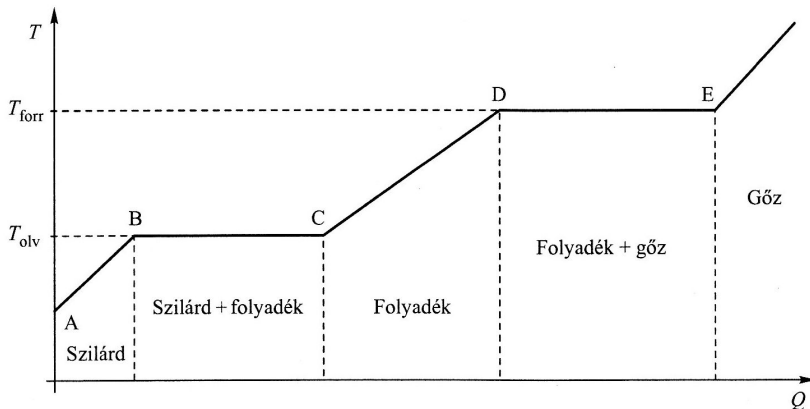
- Párolgási sebesség:
 - exponenciálisan növekszik a hőmérséklettel
 - függ a kilépési munkától (éter: gyors párolgás)
 - nagyobb felület \Rightarrow több molekula van a felületen
 - függ a párolgó felület melletti tér telítettségétől

- Ha a telített gőz nyomása = a külső nyomás \Rightarrow a folyadék belsejében is megindul a párolgás
- **Forráspont:** T_{forr}
- T_{forr} nyomásfüggő (\Rightarrow kukta)
- **Túlhevített folyadék**
tisztá, buborékmentes folyadék esetén T_{forr} fölé növelhetjük a hőmérsékletet



- A párolgással ellentétes folyamat
- Telített gőz nyomásának csökkentése / hőmérséklet csökkentése
- Lecsapódási hő (= párolgáshő)
- A lecsapódást elősegítik: apró szilárd részecskék (**kondenzációs magvak**)
- Túltelített gőz

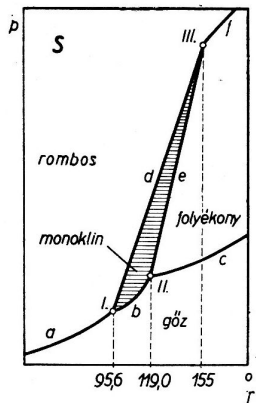
Halmazállapotok változása



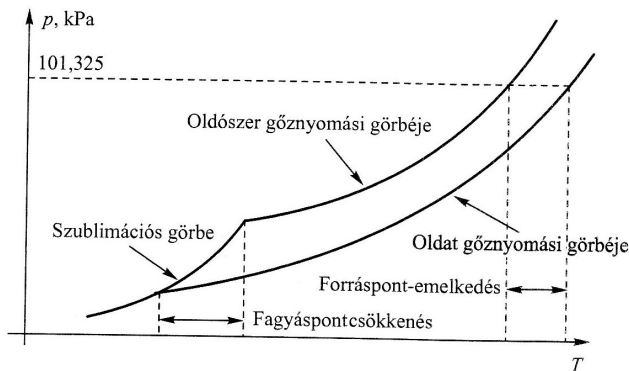
- Szilárd \rightarrow gőz
- Szublimációs nyomás
- Gyorsan szublimáló anyagok: kámfor, naftalin, jód

Polimorf átalakulások

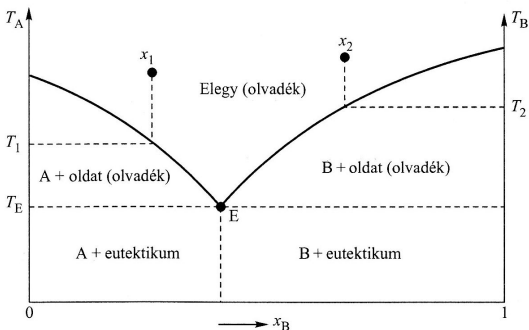
- szilárd anyagok hirtelen változása
 - kén módosulatai
 - kvarc módosulatai
 - grafit \rightleftharpoons gyémánt



- Forráspont emelkedése
- Fagyáspont csökkenése



- Forrás/párolgás \Rightarrow a gőz összetétele különbözik az eredeti aránytól
- Fagyás: eutektikum kialakulása



Folytonos fázisátalakulások

- Nincs látens hő
- A szabadenergia első deriváltja folytonos (a második már nem)

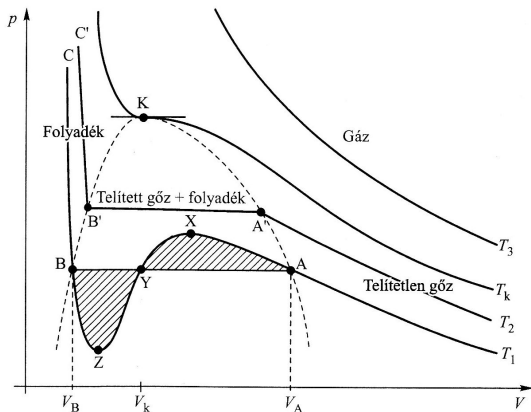
Példák:

- Szupravezető \rightleftharpoons normál vezető
- Ferromágnes \rightleftharpoons paramágnes (T_c)
- Szuperfolyékony hélium (He-II) \rightleftharpoons normál hélium

Gázok alacsony hőmérsékleten

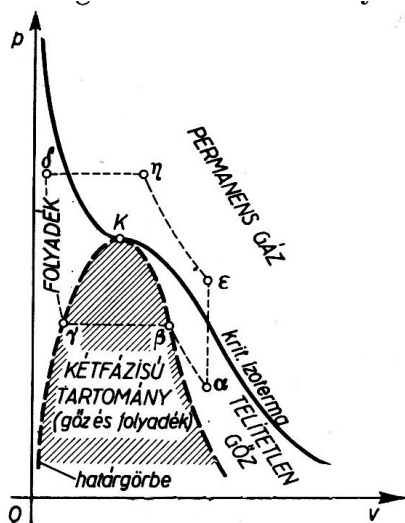
- Nem ideális gázok \Rightarrow van der Waals-féle állapotegyenlet:

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$



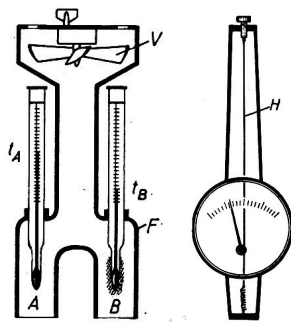
Gázok alacsony hőmérsékleten

- **Kritikus hőmérséklet:** ezen hőmérséklet felett a gáz nem cseppfolyósítható
- $T > T_c \Rightarrow$ gáz
- $T < T_c \Rightarrow$ gőz / folyadék

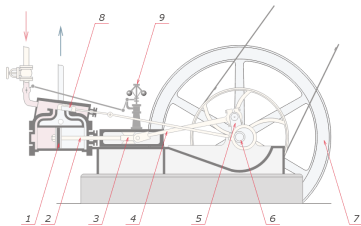


A levegő páratartalma

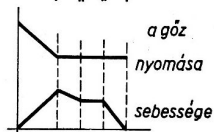
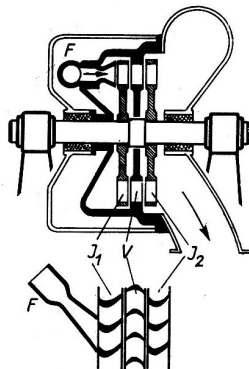
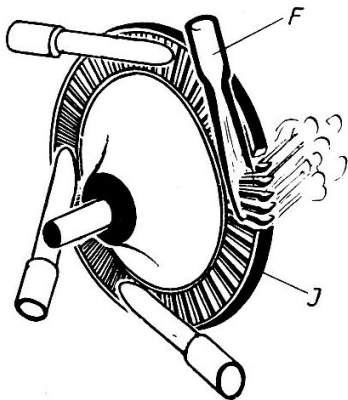
- Abszolút páratartalom (kg/m^3)
- Relatív páratartalom: mekkora a páratartalom a telített vízgőzhöz képest (%)
- Harmatpont: az a hőmérséklet, ahol a vízgőz telítetté válna
Ha a hőmérséklet ez alá hűl, a vízgőz kicsapódik
(\Rightarrow dér / zúzmara, felhők, csapadék)
- Az emberi tüdő normál működési tartománya: 40 – 70 %
- Páratartalom mérése: higrométer



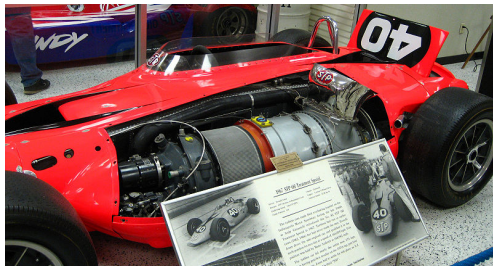
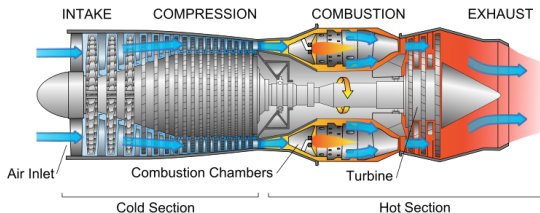
Gőzgépek



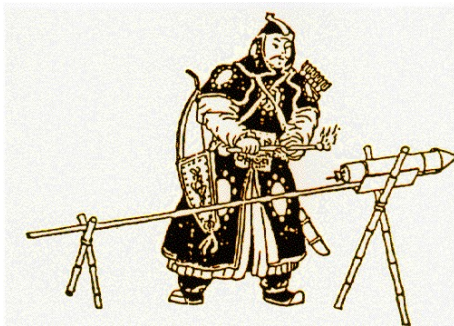
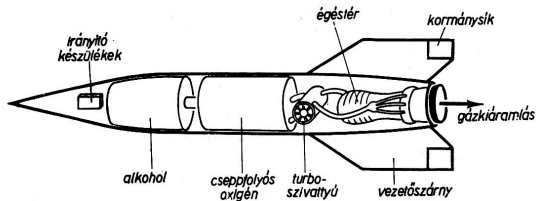
Gőzturbína



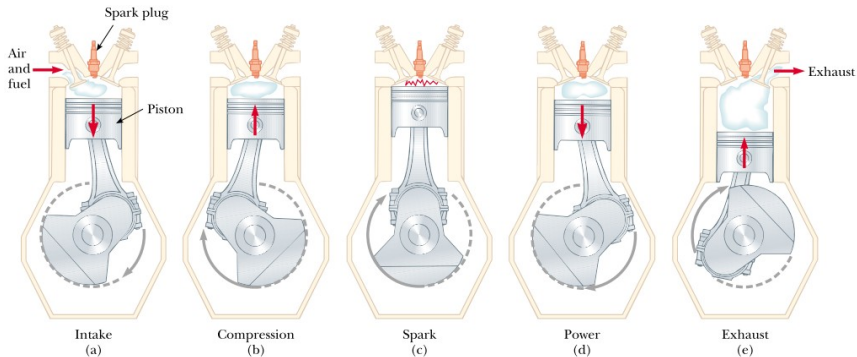
Gázturbína



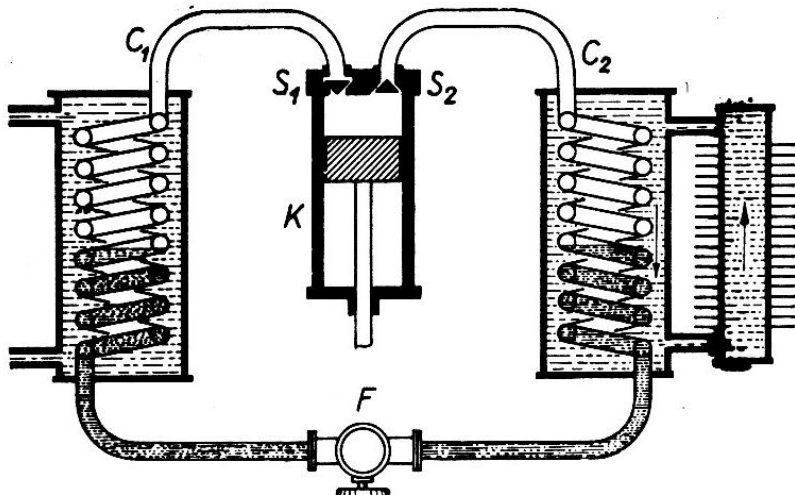
Rakétamotorok



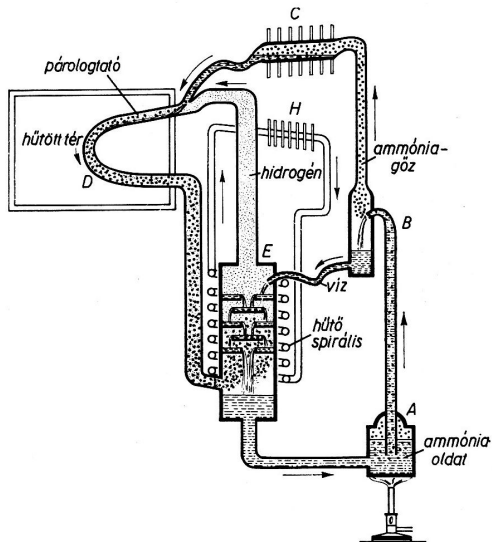
Otto-motor



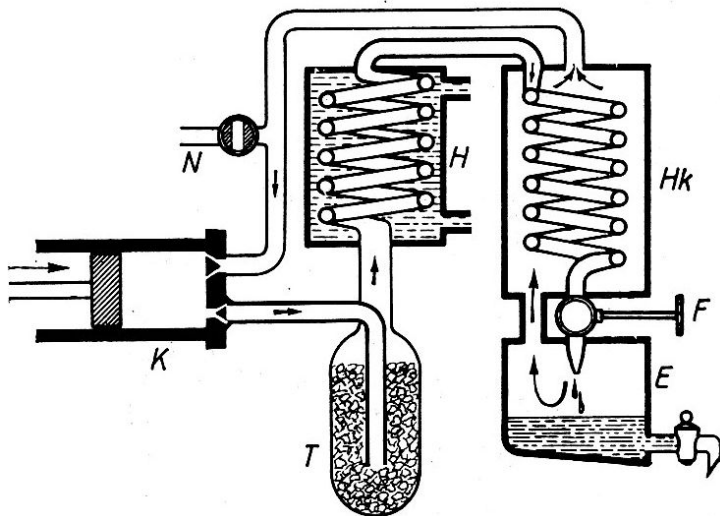
Kompresszoros hűtőgép



Abszorpciós hűtőgép



Gázok cseppfolyósítása: Linde-féle gép



- **Transzportfolyamat:** anyag, energia vagy más mennyiség az egyik helyről egy másikra jut
- Kiváltja: adott X intenzív mennyiség térbeli változása
Pl. koncentrációkülönbség, elektromos potenciál, hőmérséklet
- Hatására ΔY extenzív mennyiség $\Delta\tau$ idő alatt áthalad Y :
anyagmennyiség, tömeg, töltés, energia
- **Áramsűrűség:**

$$J = \frac{I}{A} = \frac{\Delta Y}{A\Delta\tau}$$

- Onsager-egyenlet

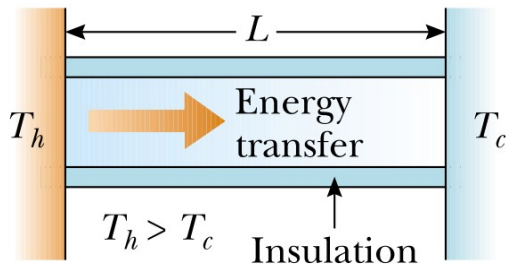
$$J \propto \Delta X$$

Termikus energia transzport

- Intenzív mennyiség: hőmérséklet
- Extenzív mennyiség: energia (hő)

Típusai:

- Hővezetés
- Hőáramlás
- Hősugárzás



- A hővezetést leíró egyenlet:

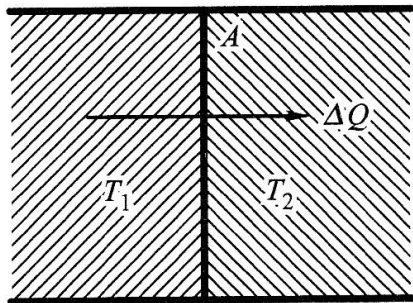
$$\frac{\Delta Q}{A \Delta \tau} = -\lambda \frac{\Delta T}{l}$$

λ : hővezetési együttható (anyagfüggő), egysége:

$$\frac{\text{J}}{\text{msK}} = \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

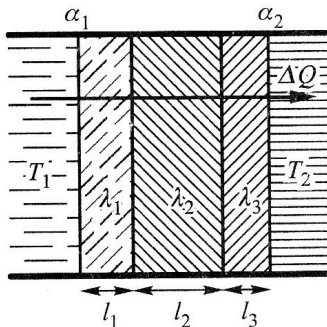
A hővezetési együttható

Anyag	λ , W/(m · K)	Anyag	λ , W/(m · K)
Szilárd anyagok:		Folyadékok:	
Alumínium	236	Víz	0,566
Beton	0,9		
Ezüst	429		
Fa	≈0,09		
Jég	2,21	Gázok:	
Polisztirol	0,01	Hélium	0,141
Réz	403	Hidrogén	0,167
Tégla	≈0,26	Levegő	0,0237
Üveg	≈0,8	Szén-dioxid	0,0145
Vas	≈60		



- α : hőátadási együttható

$$\frac{\Delta Q}{A\Delta\tau} = -\alpha\Delta T$$



- k : hőátviteli együttható

$$\frac{\Delta Q}{A \Delta \tau} = -k \Delta T$$

- R : hőellenállás

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = \frac{A \Delta T}{\sum_i R_i}$$