2019. 09. 11.

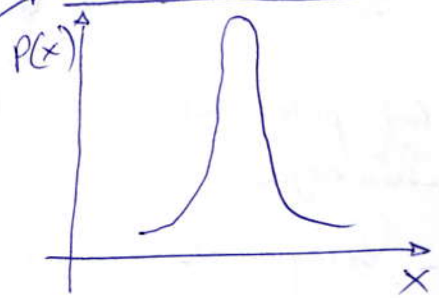
Fázisátalakulások

- Fázisátalakulás: több féle állapot közti átmenet.
  - paramágneses - ferromágneses átalakulás
  - el. dipólmomentum
  - folyadékkristályok...
  - kristályszerk. átalakulása
  - etc.

- termodinamikai instabilitások

- folytonos fázisátalakulások, krit. pont körüli jelenségek
  ↳ univerzális viselkedés
  - krit. jelenségeknél nem független vsz. vannak
    → centrális határelo. ∅
    → nagy számú erősen korrelált szab. fokok.

stabilitás → metastabil és stabil állapotok szerepcseréje

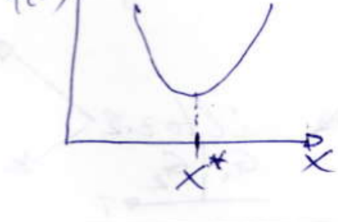


(éles elo.)
(max. valószínűség)

$\bar{X} \approx x^*$

$P(x) \sim e^{-\frac{\Phi(x)}{k_B T}}$

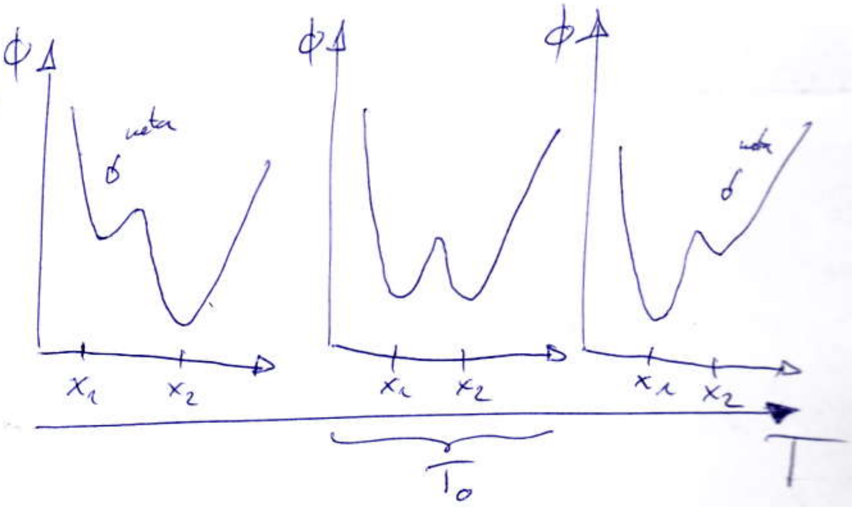
⇝ termodinamikai potenciálok bevezetése

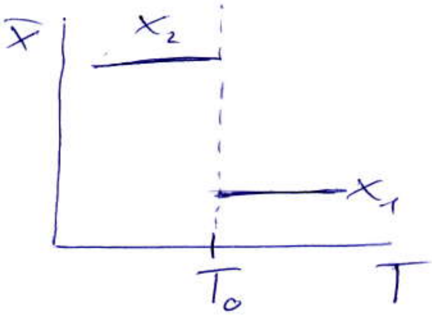


↓

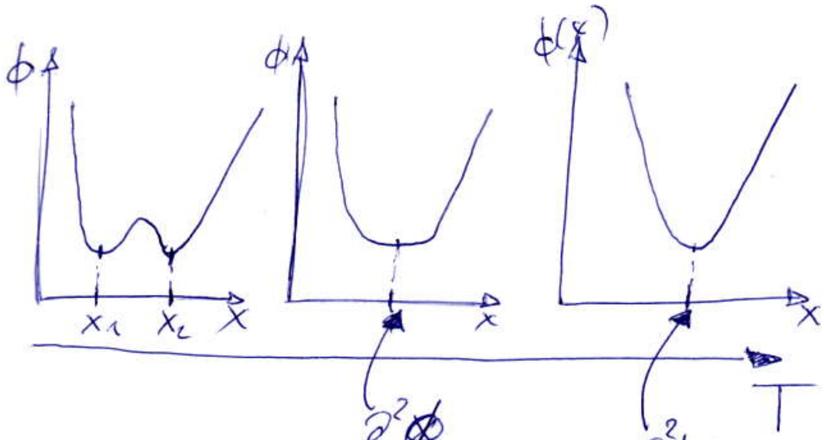
instabilitás
(stabilitás határa)

• ezt nevezzük elsőrendű fázisátalakulásnak

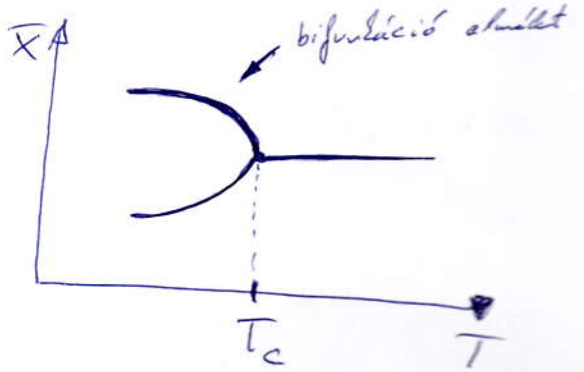




↘ instabilitás



$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}=0$ $\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}>0$



folytonos átalakulás

→ második derivált divergál.

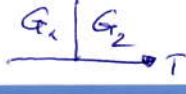
• nevek: Ehrenfest-osztályozás

n-ed rendű: termodinamikai potenciál n-edik deriváltja lesz először szinguláris.

– Szimmetria → nem változik (pl. folyadék-gáz)

→ változik → $G_1 \subset G_2$ szimmetria sértés (lehet folytonos)

→ G_1, G_2 nincs köze (mindig elsőrendű)



- <u>rendparaméter</u>: az a fizikai param. ami kifejezi a szimmetriasértést

$$m = \begin{cases} 0 & \text{ha szimmetrikus} \\ \neq 0 & \text{ha szimmetria-sértő} \end{cases}$$

- elsődleges → kapcs. áll az instabilitással
  pl.: ferromágn.: mágnesezettség
- másodlagos
  pl. ferromágn.: deformáció
  ⇝ kh. keresztül a változó $\underline{m}$ okozza!

- <u>konjugált tér</u>: olyan tér mellyel a szimmetriasértést magas hőmérs. is létre tudjuk hozni (rendparamétert a szimm fázisban is $\neq 0$)
  - ferromágn - paramágn.: $\underline{H}$ - tér
  - antiferromágn.: nem létezik (csak táblán...)

<u>Kezdetek</u>

- folyadék - gáz kritikus pont környékének (CO_2)
  T. Andrews (1869)
  J. D. van der Waals (1873) - elmélet
  Maxwell - konstrukció (1875) - kiegészítés
- ferromágnes krit. pontja, krit. pont. körüli viselkedés
  J. Hopkinson (1889)
  P. Curie (1895) - fázisdiagram
  P. Weiss (1907) - átlagtér - elmélet.

Klasszikus eredmények

- átlagtér elmélet mikroszkópikus alapozása
  - Bragg - Williams - elm. (1934)

- Landau - elmélet
  - L. D. Landau (1937)

- szupravezetés, szuperfolyékonyság, rtg.-diffrakció (módszer)

- magas hőmérsékleti sorok
  - C. Domb (1950-60)
- egzakt megoldások
  - 2D Ising-modell, L. Onsager (1944)

Modern szakasz

- Skála elmélet
  - ~ 1965
  - rendszerező
- Univerzalitás
  - ~ 1970
- Renorm. Csoportelmélet
  - K. Wilson (1971)
  - nagy számú erősen korrelált szab. fokok vizsgálatával alk.

Dinamikai jelenségek

- egyensúlyba való lecsengés ⇝ relaxációs idő
- relaxációs idő a kp.-ben divergál

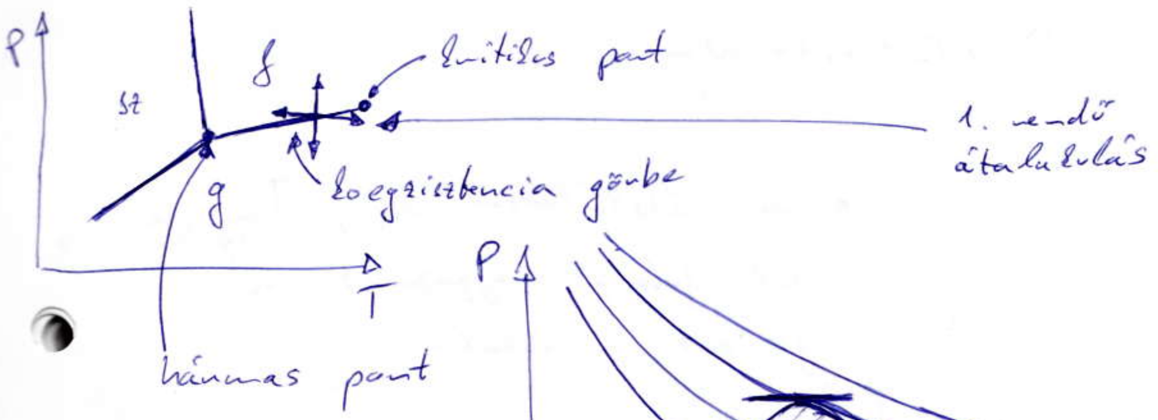
- konvencionális elmélet
  - Landau - Kalatnyikov
  - van Hove
- dinamikai skálázás
  - Halperin - Hohenberg
  - Ferrell, Szépfalusy, ...
- din. renorm. csoport elmélet.

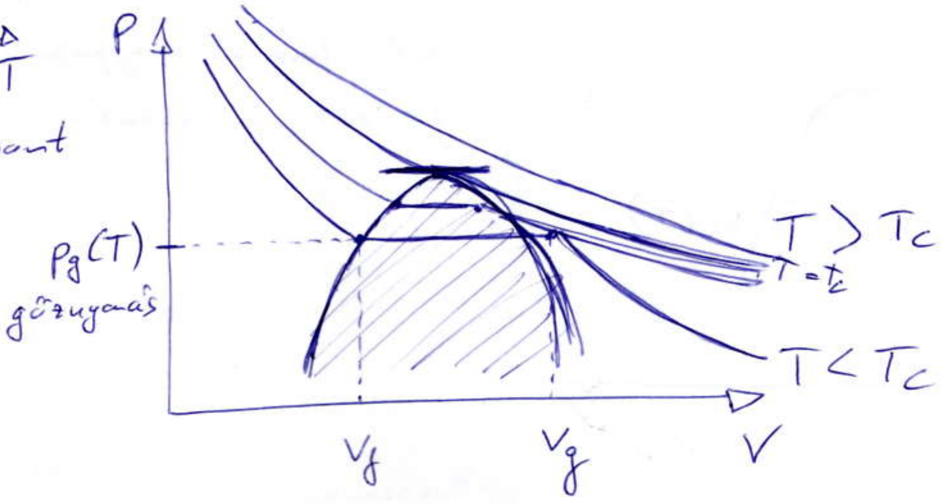
Fázisátalakulások fenomenologikusan

Folyadék-gáz átalakulás

p, v, T $\quad$ $p(v,T)$

$\hookrightarrow$ fajtérfogat





$$T = T_c \quad \left.\frac{\partial p}{\partial v}\right|_T = 0$$

stab. feltétel: $\left.\frac{\partial p}{\partial v}\right|_T < 0$

$$\kappa_T = -\frac{1}{v}\left.\frac{\partial v}{\partial p}\right|_T > 0 \rightarrow \text{izoterm kompresszibilitás}$$

- a krit pontban

$$K_T \to \infty$$

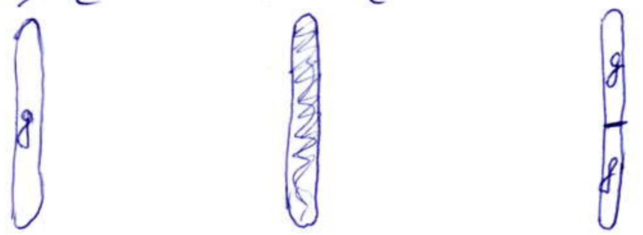
$$\overline{\Delta N^2} = k_B T \frac{\partial N}{\partial \mu}\bigg|_T = k_B T \frac{N^2}{V} \cdot K_T$$

⇝ a részecskeszám fluktuációja kp.-ban divergál

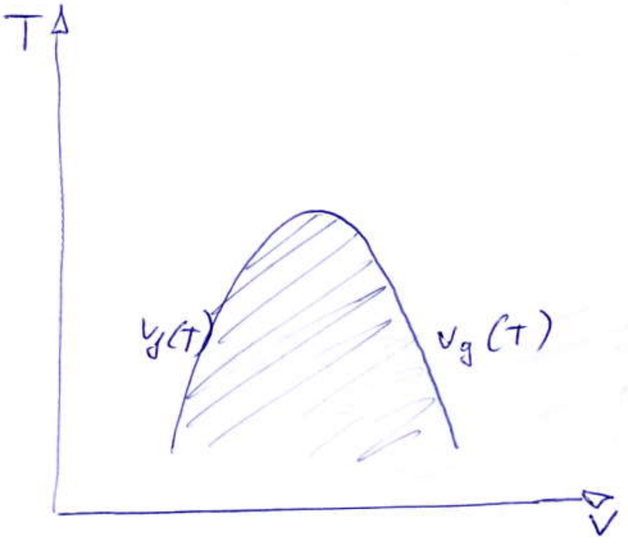
⇝ ez a formula Gauss-elo. esetén érvényes

⇝ anomális fluktuációk jelennek meg → kritikus opaleszcencia

$T > T_c$ $T = T_c$ $T < T_c$



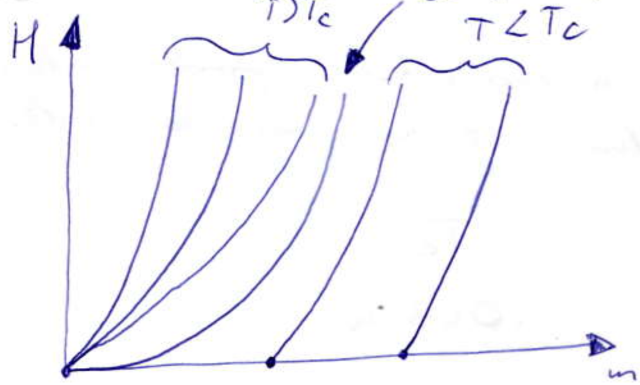
- CO_2 $T_c = 31,1\,°C$, $p_c = 73$ atm
- Xe $T_c = 16,6\,°C$, $p_c = 58$ atm
- ^4He $T_c = 5,2$ K, $p_c = 2,26$ atm.

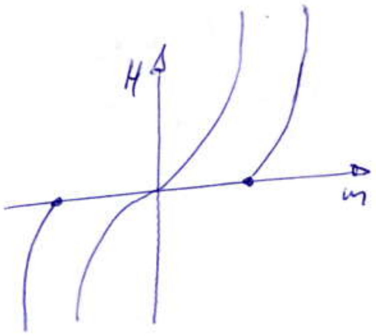


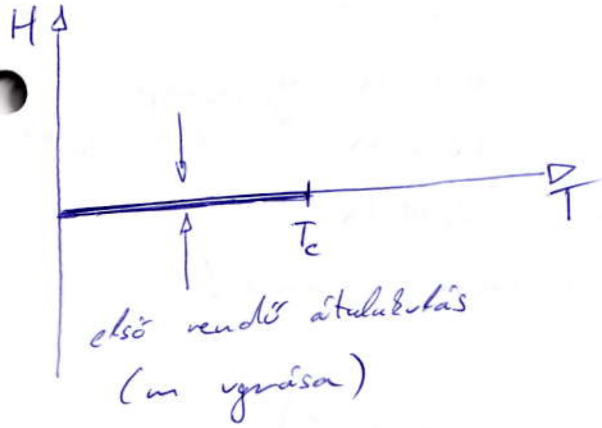
- ha átskálázzuk V/V_c, T/T_c-re sok folyadék ugyanazt a görbét produkálja

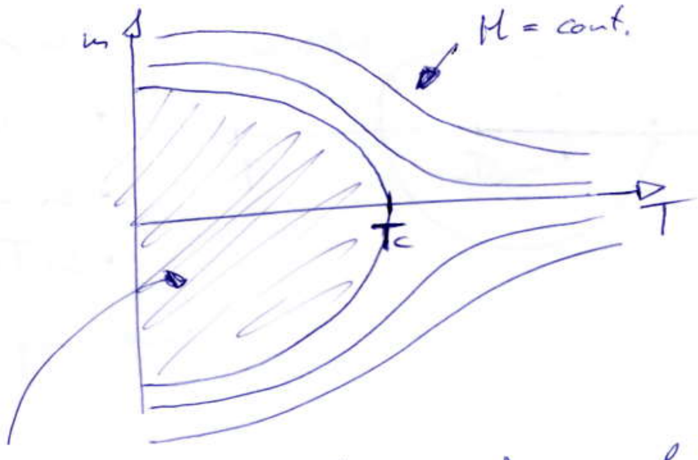
Ferromágneses kritikus pont

$m, T, \underline{H}$









két fázisú vsz.: domain-ek vannak

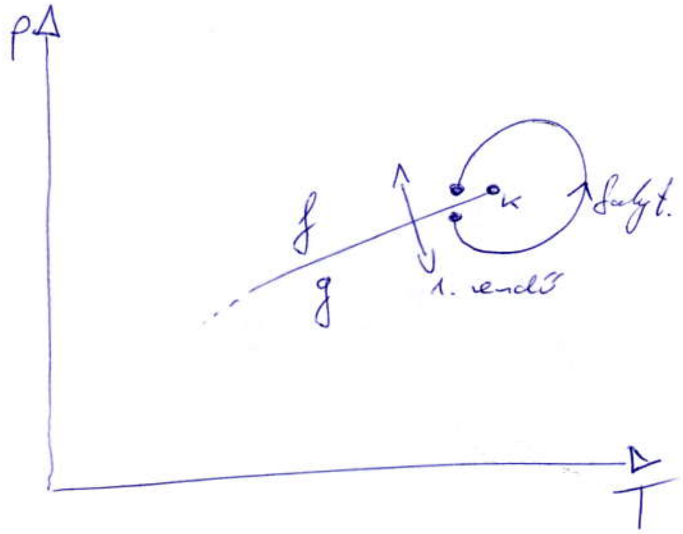
- analógia: $H \leftrightarrow p$
  $m \leftrightarrow v$

$$\chi^{-1} = \frac{\partial H}{\partial m}\Big|_{T,\, H=0} = 0 \quad (T = T_c)$$

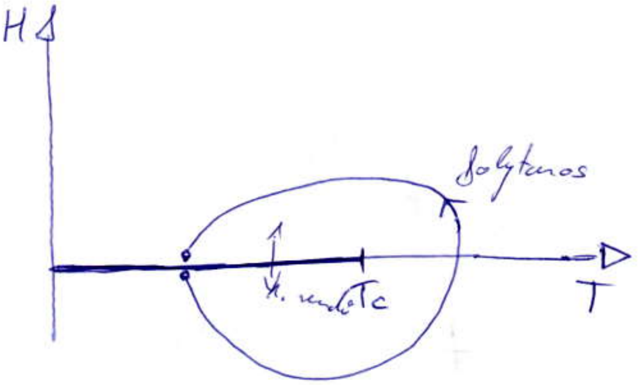
$\chi \to \infty$ a kp.-ban divergál

$$\overline{\Delta M^2} = k_B T \frac{\partial M}{\partial H}\Big|_T$$ $\rightsquigarrow$ mágnesezettség fluktuációja div.

$\rightsquigarrow$ anomális (neutron) szórást eredményez



- a két fázist folytonos módon is átvihető egymásba
- ha a koegzisztencia ~~pont~~ vonalon haladunk át → ugrás szerű vált.



	T_c
• Fe	1043 K
• Ni	630 K
• $CuBr_3$	32,8 K
• EuO	69 K
• EuS	16,6 K
• $LiTbF_4$	2,88 K

→ izotóp fenomenológiával

→ nagy különbségek vannak!

- mágneses dipól kh. nem alk. a leírásra (~1 K)
- szilárd testekben mágn. kh. qm. eredetű

- <u>rend paraméter</u>

  $\underline{m}$ vektor

  kristály szimmetria: egytengelyű mágnes
  $n = 1$ komponens

  planáris mágnes
  $n = 2$

  térbeli mágneses szerk. (köbös krist)
  $n = 3$
