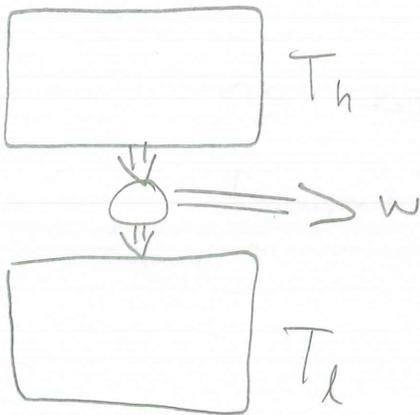


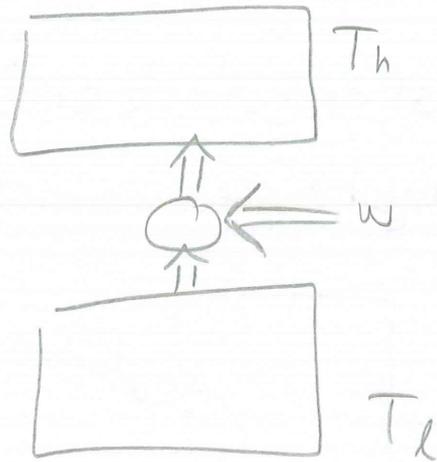
# Föreläsning 9

Repetition av läsvvecka 4.

Motor



<sup>d. kyl</sup>  
Värmemaskin



Värme-/kylmaskin är samma sak.

• Värmem.  $\eta_+ = \frac{q_h}{w} \quad (> 1)$

• Kylmask.  $\eta_- = \frac{q_l}{w}$

---

$$q_h = w + q_l \quad (\text{energilaggen})$$

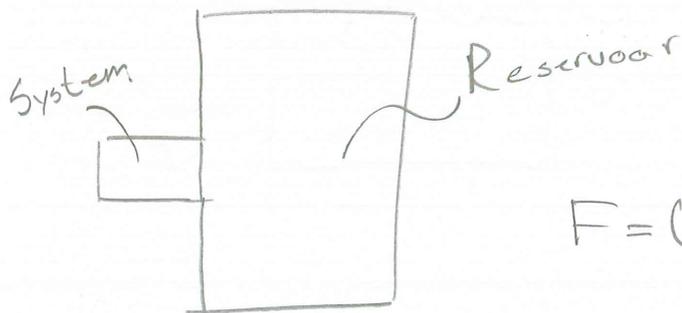
$$\Delta S = -\frac{q_l}{T_l} + \frac{q_h}{T_h} \geq 0 \quad (\text{entropilaggen})$$

Max effekt då  $\Delta S = 0$  (reversibel process)

# Jämviktsvillkor

① Isolerade system har "entropimax"  
(maximal oordning)

② System i kontakt med en  
värmereservoar (def. temp)



$$F = U - TS \text{ har min}$$

$$T \rightarrow 0 \Rightarrow F \approx U \Leftrightarrow U \text{ minimeras}$$

$$T \rightarrow \infty \Rightarrow F \approx -TS \Leftrightarrow S \text{ har max}$$

Modell för magnetism



(atomer & molekyler har spin upp el. ner då vi mäter)

$$N_{\uparrow} = n \text{ antal tillstånd med givet } n_{\uparrow} \left[ \Omega = \binom{N}{n} \right]$$

$$S = k \ln \Omega = \dots = k (N \ln N - n \ln n - (N-n) \ln (N-n))$$

Stirling säger att:

$$\ln(n!) = n \cdot \ln(n) - n$$

## Paramagnetism

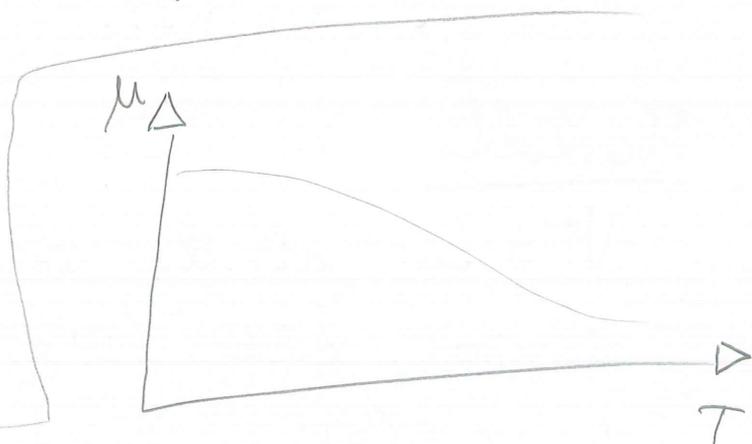
Yttre magnetfält som styr

$$U = N_{\uparrow} (-\mu B) + N_{\downarrow} (+\mu B) = \dots = \mu B (N - 2n)$$

$$F = U - TS = \mu B (N - 2n) - kT (N \ln N - n \ln n - (N-n) \ln (N-n))$$

## Jämvikt

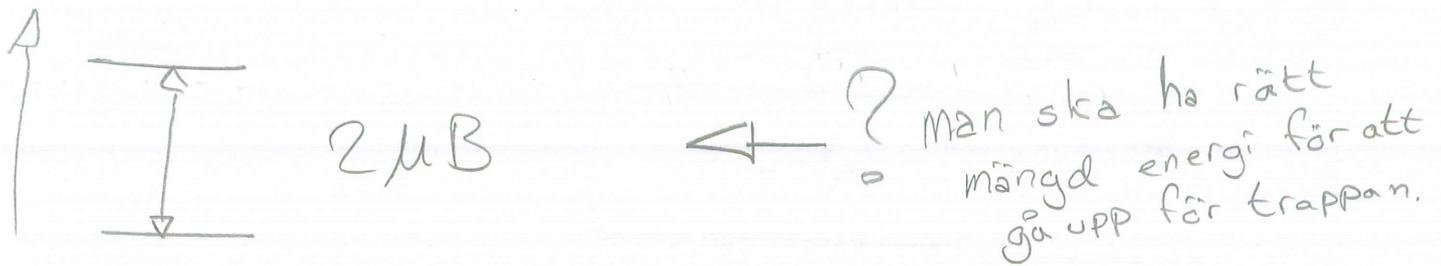
$$F \text{ har min} \Leftrightarrow \frac{dF}{dn} = 0$$



## Magnetisering

$$= \mu (N_{\uparrow} - N_{\downarrow}) = -\mu N \frac{1 - e^{\frac{2\mu B}{kT}}}{1 + e^{\frac{2\mu B}{kT}}}$$

Om vi tittar på en gas blablabla så har den kinetisk energi i stor. ordn.  $kT$ .



Nu börjar nästa område.

## Ferromagnetism

Inget yttre magnetfält.

VACKERT → "Varje liten atomär magnet spelar lika stor roll"

## Modell

Vi antar att de magnetiska atomerna skapar ett inre magnetfält  $\sim (N_{\uparrow} - N_{\downarrow})$ , (medelfältsapproximationen)

Man påverkar mest av sina grannar och i medel så är alla riktade åt samma håll som magneterna.

$$B_{\text{inre}} = \text{konstant} \cdot M = \text{konstant} \cdot \mu (N - 2n)$$

$$U = \mu B_{\text{inre}} (N - 2n) = \text{konst} \mu (N - 2n) (N - 2n)$$

$$(N_{\uparrow} - N_{\downarrow}) = N - 2n$$

$$U = -C (N - 2n)^2$$

• Vad händer då  $T=0$  el.  $T=\infty$ .

$U$  har min då  $n=0$  eller  $n=N$ . ( $T=0$ )

Då  $T=0$  har vi en perfekt magnet då alla pekar åt samma håll.

$U$  har max då  $n = \frac{N}{2}$  ( $T = \infty$ )

$$F = U - TS = -C(N - 2n)^2 - kT(N \ln N - n \ln n - (N - n) \ln(N - n))$$

Min av  $F$  ges då  $\frac{dF}{dn} = 0$

Så vi börjar derivera...

$$0 = \frac{dF}{dN} = -2(-2)C(N-2n) - kT \left( 0 - \ln n - \frac{n}{N} + (-1)^2 \left( \ln(N-n) + \frac{N-n}{N+n} \right) \right) =$$

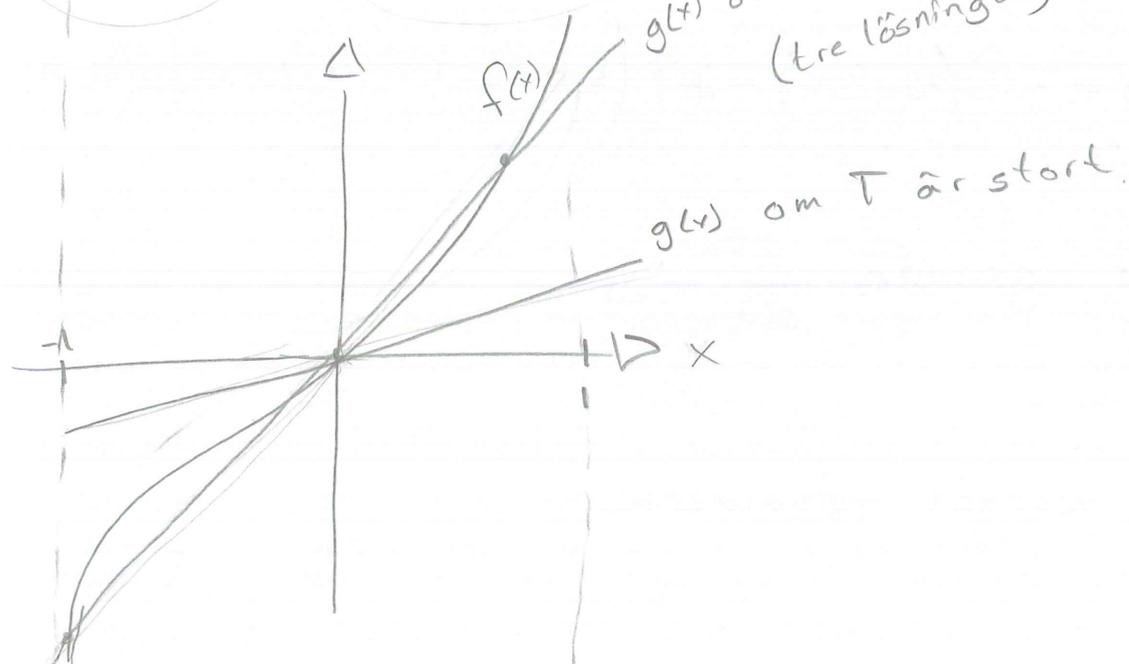
$$= 4C(N-2n) - kT \cdot \ln \left( \frac{N-n}{n} \right) = 0$$

↳ löser vi grafiskt!

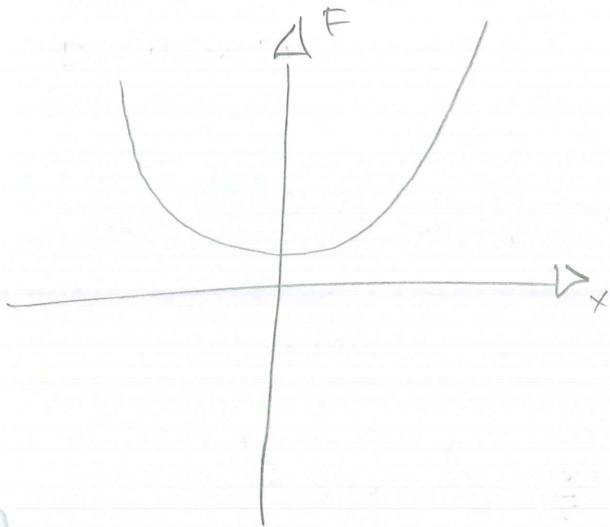
$$\frac{4C(N-2n)}{kT} = \ln \left( \frac{N-n}{n} \right)$$

Lite enklare om  $x = \frac{N-2n}{n} \Rightarrow \frac{N-n}{n} = \frac{1+x}{1-x}$  algebra!

$$\frac{4CN}{kT} x = \ln \left( \frac{1+x}{1-x} \right)$$

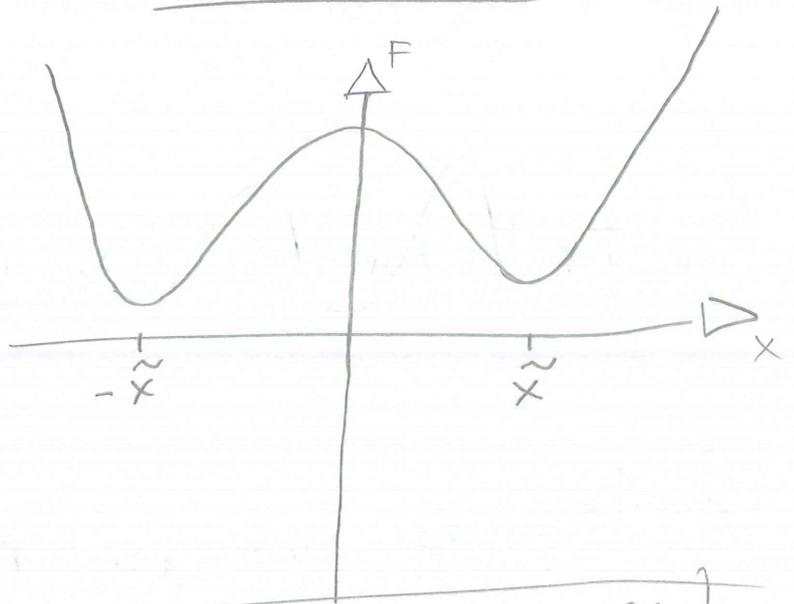


T stort



min då  $x=0$

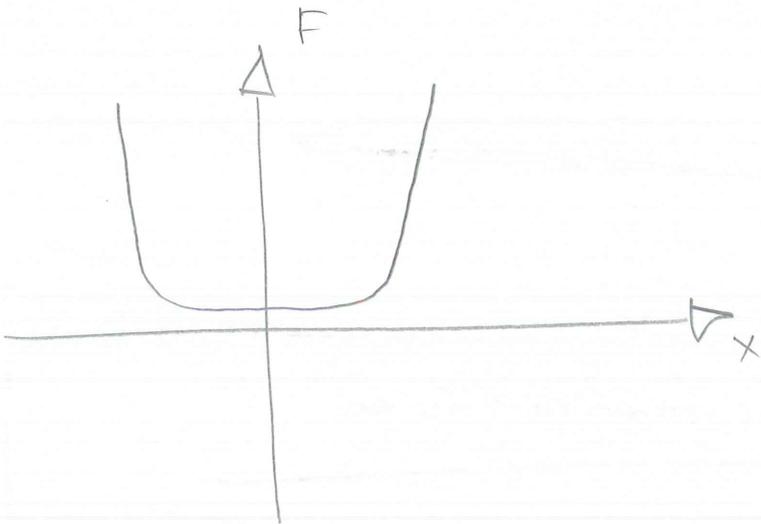
T lit et



min då  $x=0$  el  $x = \pm \tilde{x}$

$n \neq \frac{N}{2} \Rightarrow$  magnetisering.

Då  $T = T_c$  (den temp då lutningen =  $f'(0)$ )



För  $T > T_c$  kan  $F_{\min}$  endast lösas för  $x=0 \Rightarrow n = \frac{N}{2}$

$$\text{magn} = 0$$

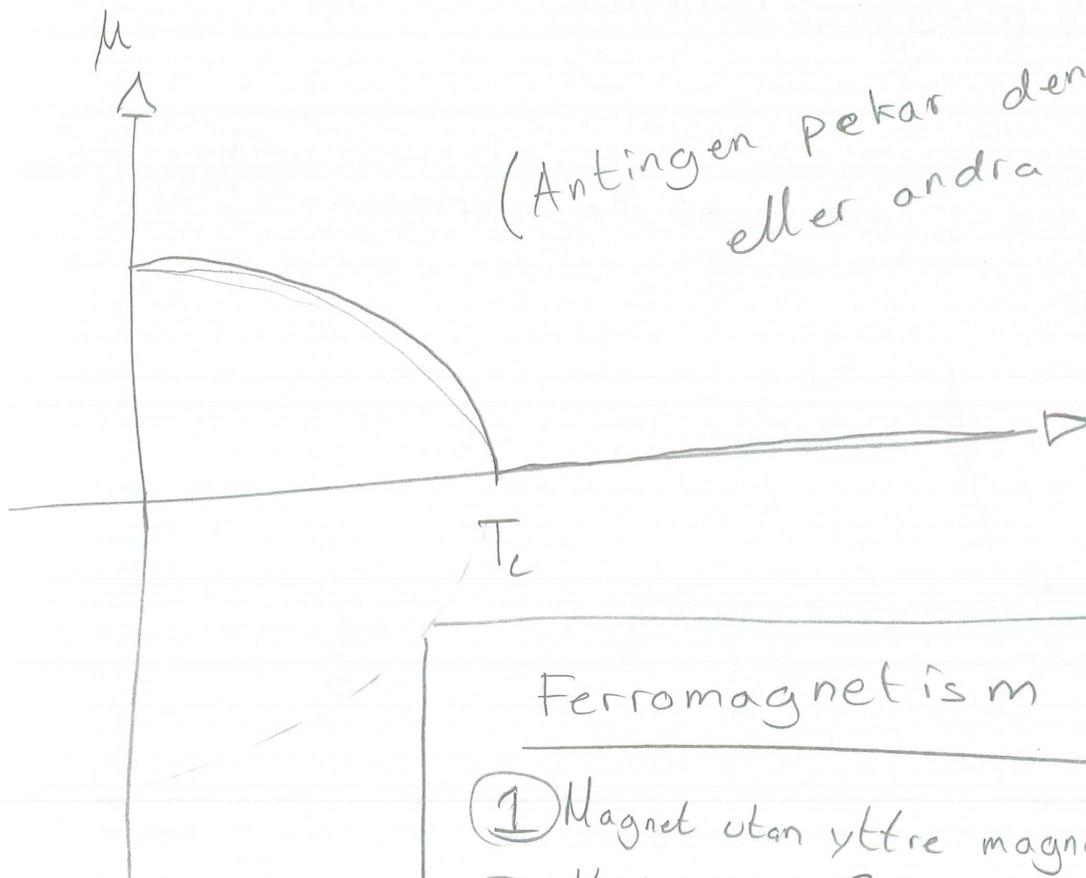
För  $T < T_c$  har  $F_{\min}$  för  $x = \pm \tilde{x} \Rightarrow n \neq \frac{N}{2} \Rightarrow$

magn

2 lösningar antingen  $n > \frac{N}{2}$  el  $n < \frac{N}{2}$



Spontan symmetribrott!



Ferromagnetism

- ① Magnet utan yttre magnetfält
- ② Kollektivt fenomen
- ③ Karakter av fasövergång

Vi ska nu visa hur man enkelt med termodynamik kan bestämma effektiviteten hos en bränslecell.

Hjälpmedel: Gibbs fria energi - Google!

•  $G = U - TS + PV$  ← kemister älskar denna

• Vi antar att  $P$  &  $T$  är konstanta

$$dG = dU - Tds - sdt + PdU + UdP$$

$$\Delta G = Q + W - T_0 \Delta S + P_0 \Delta V$$

•  $W = \underbrace{-P_0 \Delta V}_{\text{tryck-/volymsarbete}} + W_{el}$

•  $\Delta G = Q - P_0 \Delta V + W_{el} - T_0 \Delta S + P_0 \Delta V$

$$\Leftrightarrow \Delta G = Q - T_0 \Delta S + W_{el}$$

Entropilagen:  $\Delta S \geq \frac{Q}{T_0}$

$$T_0 \Delta S - Q \geq 0$$

Detta betyder att

$-\Delta G \geq W_{el}$  energi som lämnar bränslecellen är  $-W_{el}$ .

Kemisterna har mätt och säger:

$$W_{el} \leq 273 \text{ kJ/mol v\ddot{a}te}$$