

# Repetition

- **Ferromagnetism** (t.ex. järn)  
*Atomerna är små magneter som skapar magnetiska fält som påverkar de andra atomernas energier (utan yttre magnetiskt fält).*
- **Gibbs fria energi:**  $G = U + PV - TS$   
*Ex: Bränslecellen → Mer om G på Lab#2*
- **Boltzmann-faktorn ~ Sannolikhet för tillstånd**

→ *Tillståndssumman:*  $Z = \sum_n e^{-E_n/kT}$

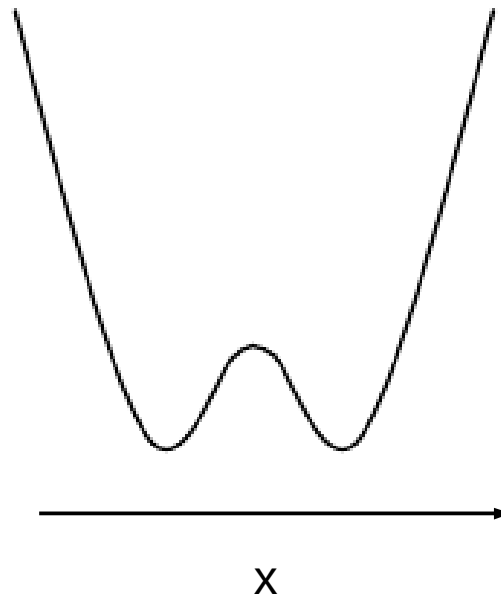
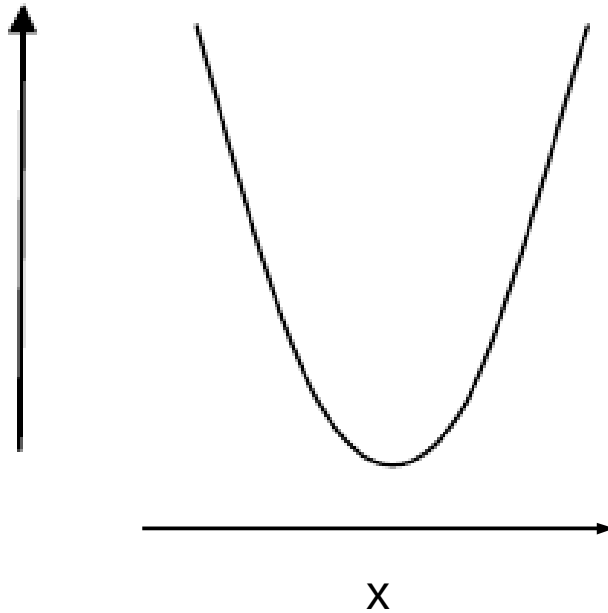
Boltzmannfaktorn



# Inledande fråga:

Vilken av de två "faserna" inträffar vid låg temperatur för en ferromagnet?

Fri energi,  $F$

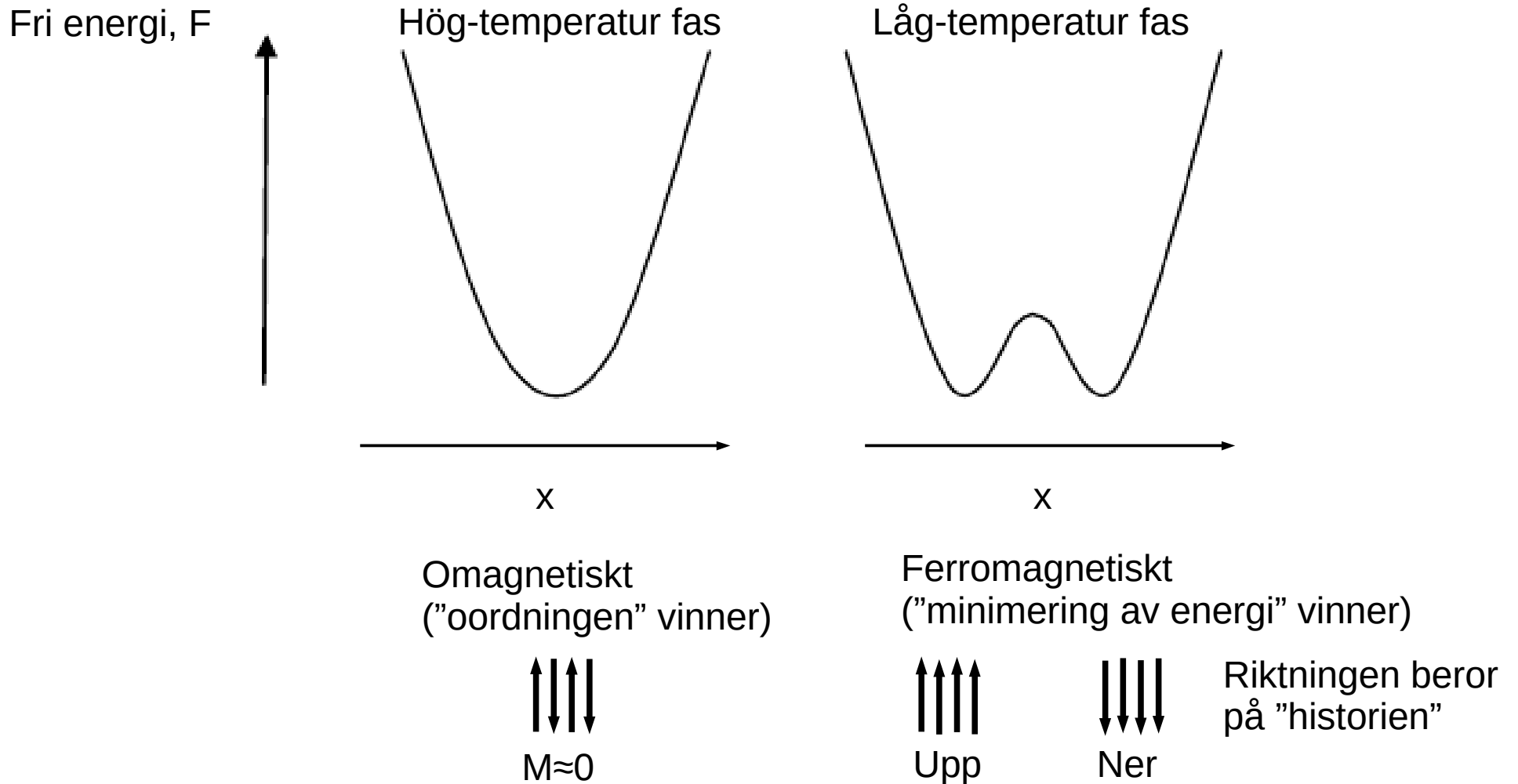


$$x = \frac{N - 2n}{N}$$

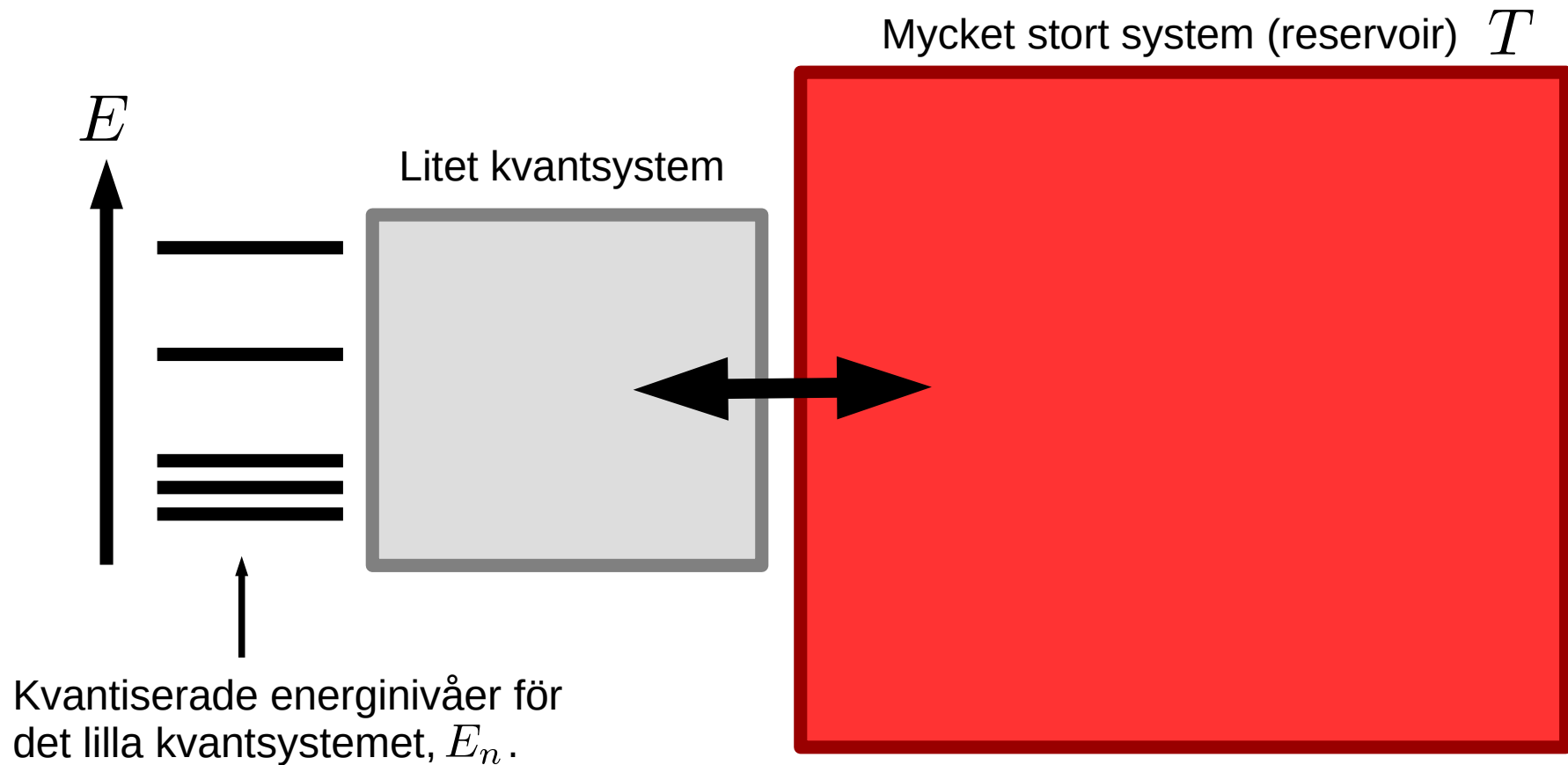
"upp"  
↓

# Svar:

Vilken av de två faserna inträffar vid låg temperatur för en ferromagnet?

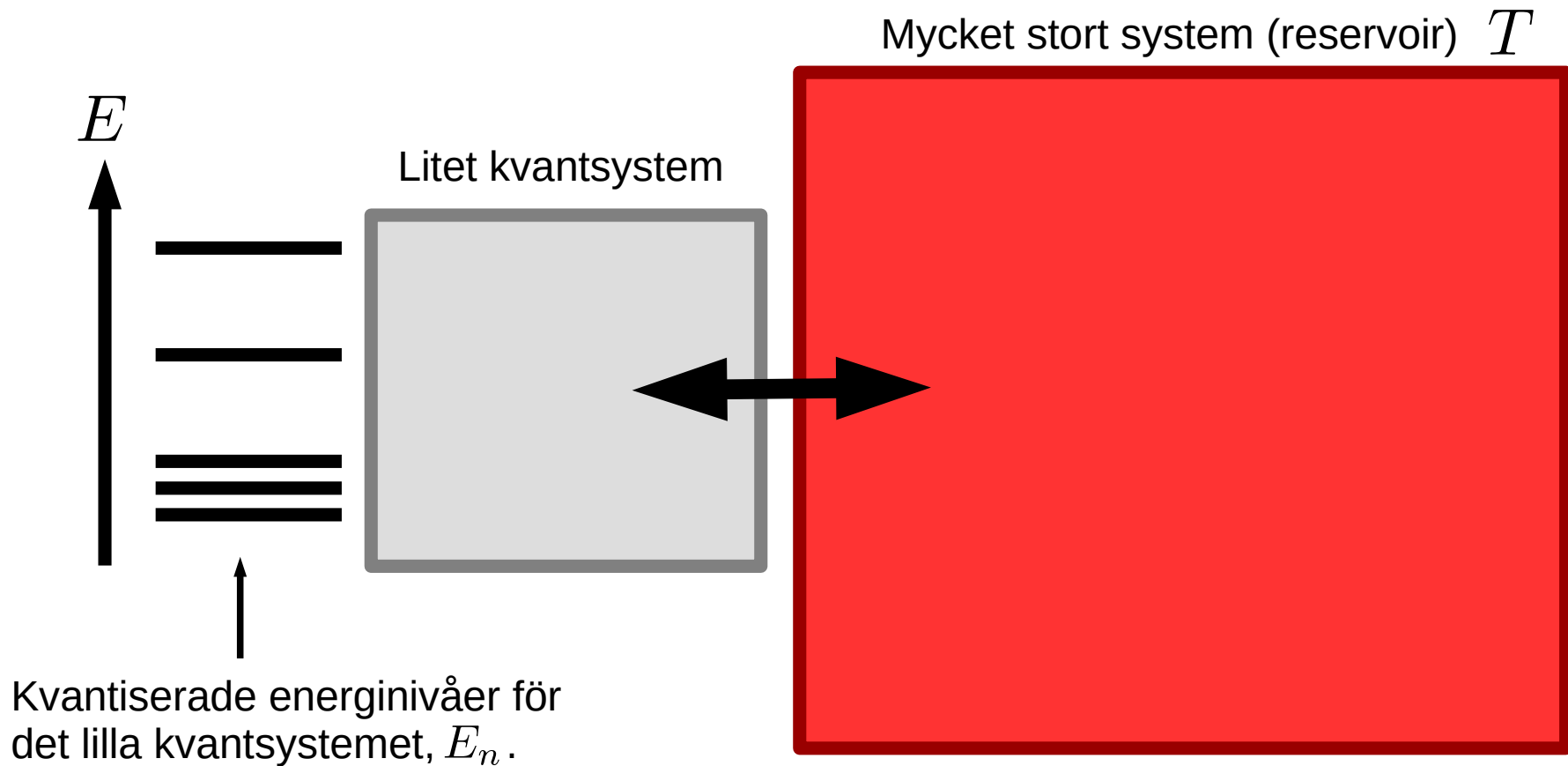


# Boltzmannfaktorn



**FRÅGA:** Hur stor är sannolikheten att populera mikrotillståndet  $n$ ?

# Boltzmannfaktorn



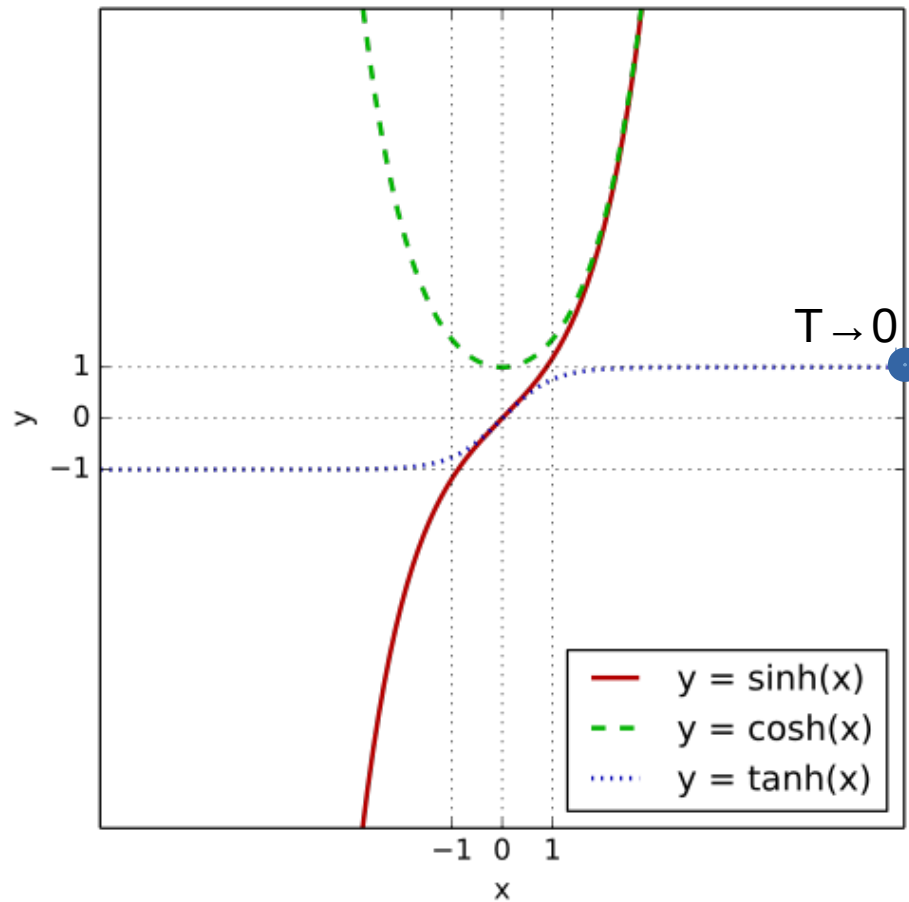
**FRÅGA:** Hur stor är sannolikheten att populera mikrotillståndet  $n$ ?

$$P_n = \exp(-E_n / kT) / Z$$

# Föreläsning 11

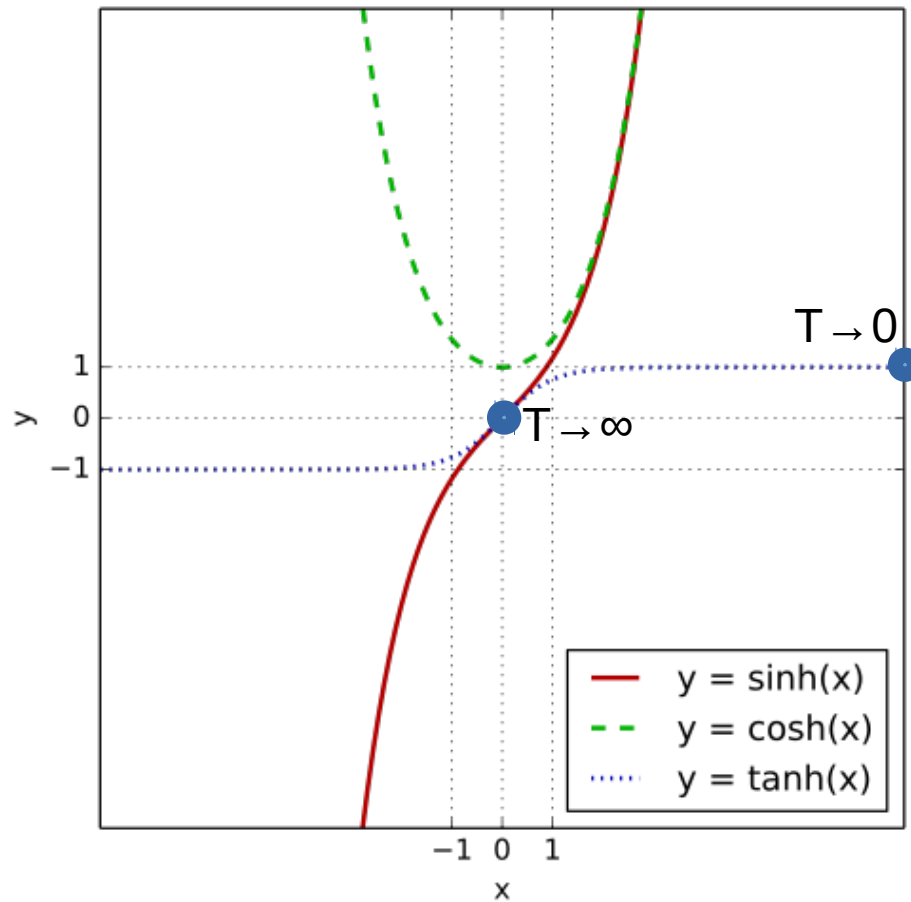
- Mer om Boltzmannfaktorn  $\propto \exp[-E_n/kT]$
- **Medel-energi för system**
- *"Betrakta system som sin egen reservoar"*
- Kvantmekanisk **rotation av molekyler**
- Bevis av **Ekvipartitions-teoremet**:  
*Alla kvadratiska frihetsgrader har energin:  $\frac{1}{2}kT$ ,  
vid "tillräckligt" hög temperatur ( $U = \frac{1}{2} kT f N$ ).*

# Hyperboliska funktioner



**Fråga:** Var finns väldigt hög temperatur på  $\tanh$ -kurvan?

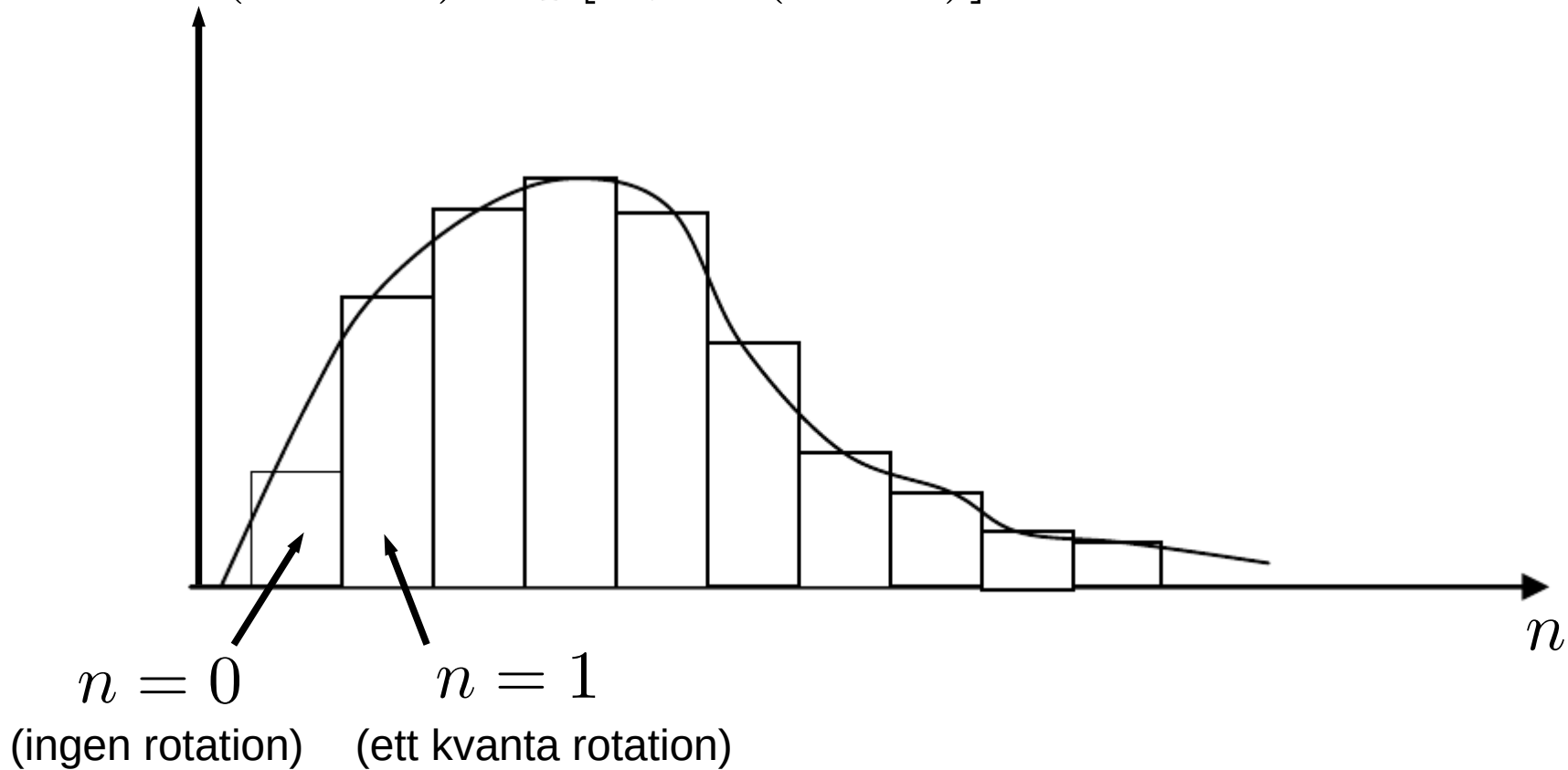
# Hyperboliska funktioner



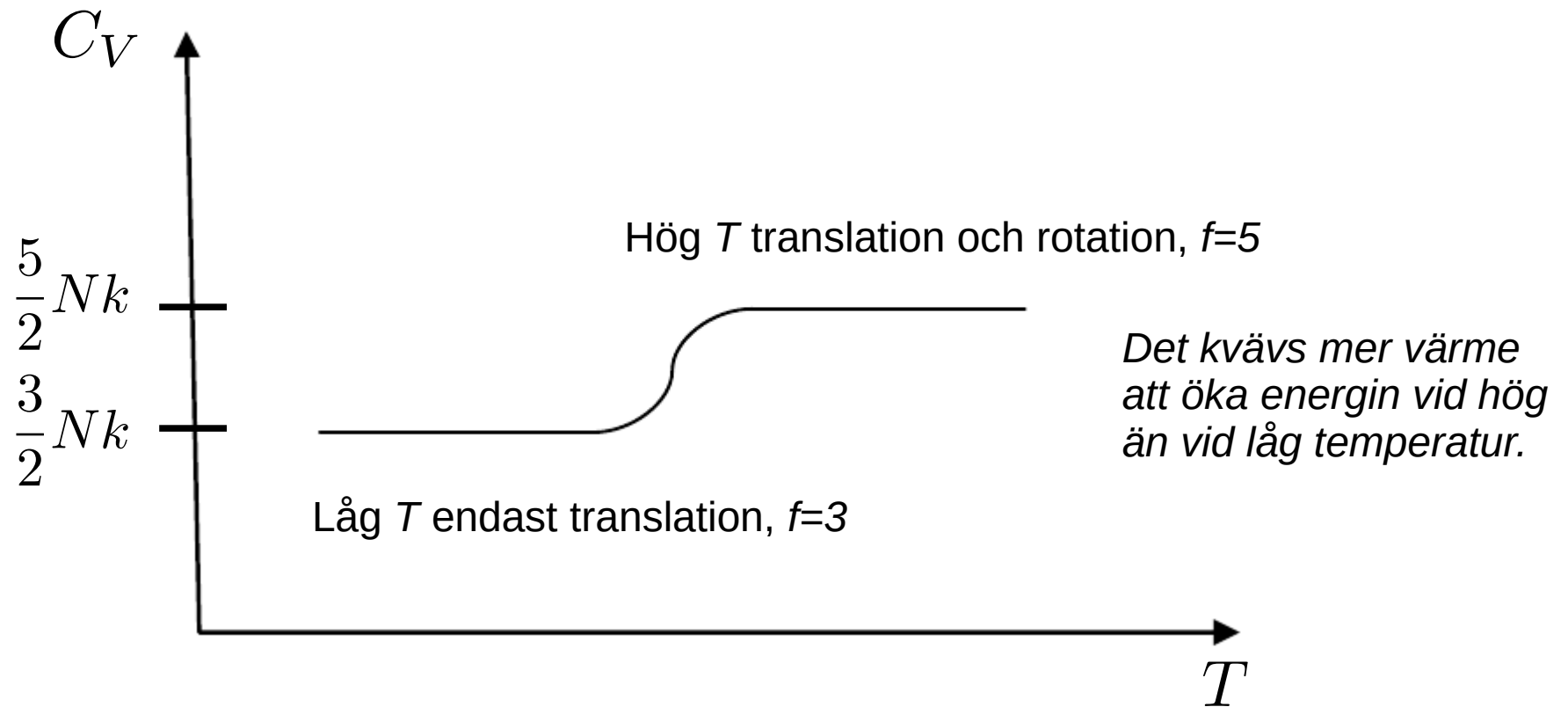


# Termerna i tillståndssumman för rotationer

$$(2n + 1) \exp[-\beta \epsilon n(n + 1)]$$



# Värmekapacitet för gas av två-atomiga molekyler



# Sammanfattning

- Mer om Boltzmannfaktorn

$$\propto \exp(-\beta E_n)$$

- Medel-energi för system

$$\bar{E} = -\frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta}$$

- Betrakta system som sin egen reservoir,  $T$ .

- Kvantmekanisk rotation av molekyler,  $f$ :  $3/2 \rightarrow 5/2$ , vid tillräckligt hög  $T$ .

- Bevis av **Ekvipartitions-teoremet**:

*Alla kvadratiska frihetsgrader har energin:  $\frac{1}{2}kT$ ,*

- Vid "tillräckligt" hög temperatur är inre energin:  $U = N f \frac{1}{2} kT$ .