Statistisk Termodynamik FMFF05

- Föreläsare: **Sven Åberg** *(MatFys, LTH)*

- Övningsledare: **Alex**
  Veckofrågorna på hemsidan nu!
  Övningarna börjar i nästa vecka **-** endast ett tillfälle

- **Statistisk Termodynamik** av Gunnar Ohlén (**150 kr**)
  köps hos Katarina Lindqvist, matfys

- Kurshemsida:
  http://www.matfys.lth.se/education/FMFF05/

Repetition:

- Termodynamikens första huvudsats:
  ”Endast processer där energin bevaras är fysikaliskt möjliga”.
- *Process:*
  $\boldsymbol{\Delta U = Q + W}$
- *U: Inre energin*
  = totala energin i ett system
- *Q: Värme*
  = energi som strömmar p.g.a. temperatur skillnader
- *W: Arbete*
  = annan energitillförsel (t.ex: tryck-volym arbete)
- *Inre energin för en en-atomig ideal gas (men även många andra system):*
  $\boldsymbol{U = 3/2\ NkT}$

Inre energin för *N* en-atomiga molekyler:

$$U = \frac{1}{2} N m \overline{v^2} = \frac{3}{2} NkT$$

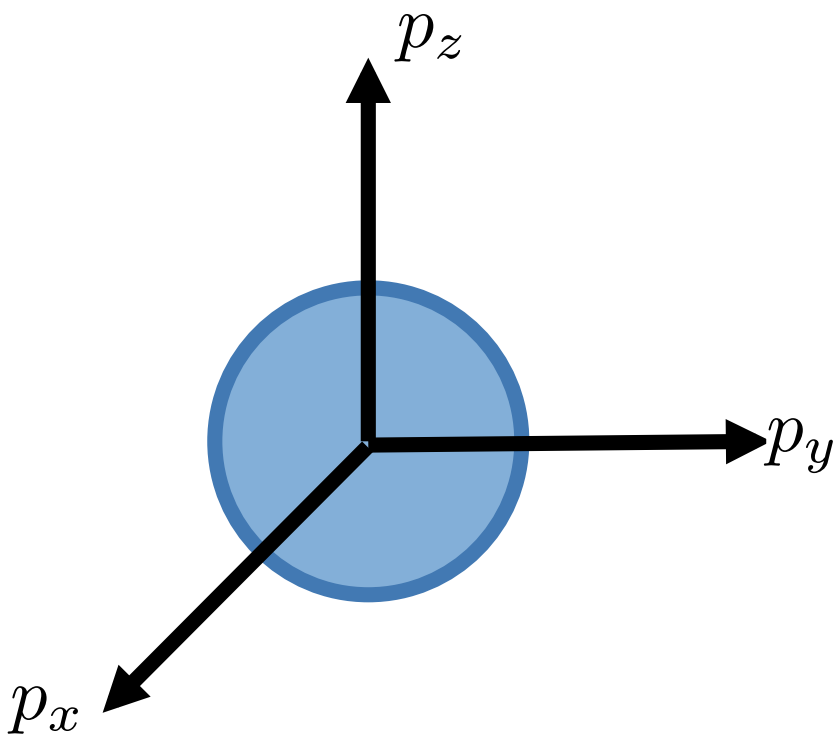
dvs (medel) kinetiska energin för EN molekyl:

$$\frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

dvs $\frac{1}{2} kT$ för varje frihetsgrad, x-, y- och z-led

Om *f* frihetsgrader: $\boxed{U = \frac{f}{2} NkT}$ (formelbladet)

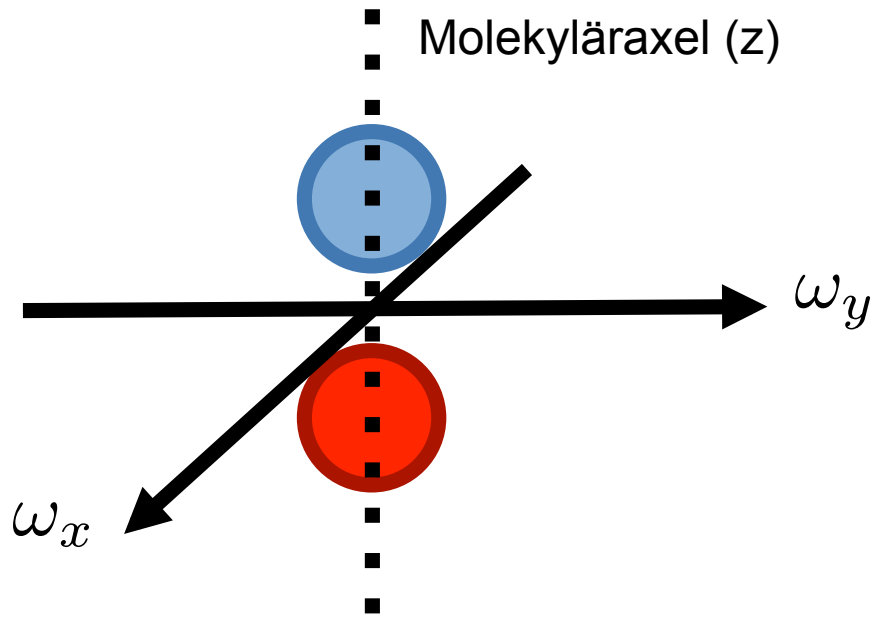
Frihetsgrader för atomär gas



$$E_{atom} = E_{kin} = \frac{m}{2}\mathbf{v}^2 = \frac{m}{2}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)$$

Energin för atomen beror kvadratiskt av tre frihetsgrader, f=3.

Frihetsgrader för di-atomär gas



Rotationsaxel:

$$E_{mol} = E_{kin} + E_{rot}$$

$$E_{rot} = \frac{I_x}{2}\omega_x^2 + \frac{I_y}{2}\omega_y^2$$

Tröghetsmoment: $$I_x = \sum_a m_a x_a^2$$ (pss för y men 0 för z)

Energin för di-atomär molekyl beror kvadratiskt av fem frihetsgrader, f=5.

Fråga 1: Medelvärde av kvadrat

- I beräkning av medelvärdet för den kinetiska energin för atomer behövde vi beräkna:

$$\overline{\mathbf{v}^2}$$

Vilken av relationerna är rätt?

a) $\overline{\mathbf{v}^2} = \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{v}}$

b) $\overline{\mathbf{v}^2} = \overline{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}$

Fråga 1: Medelvärde av kvadrat

- I beräkning av medelvärdet för den kinetiska energin för atomer behövde vi beräkna:

$$\overline{\mathbf{v}^2}$$

Vilken av relationerna är rätt?

a) $$\overline{\mathbf{v}^2} = \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{v}}$$

b) $$\overline{\mathbf{v}^2} = \overline{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}$$

$$\bar{E}_{\text{kin}} = \frac{m}{2}\overline{\mathbf{v}^2} = \frac{m}{2}\left(\overline{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}\right)$$

Fråga 1: Medelvärde av kvadrat

- I beräkning av medelvärdet för den kinetiska energin för atomer behövde vi beräkna:

$$\overline{\mathbf{v}^2}$$

Vilken av relationerna är rätt?

a) $$\overline{\mathbf{v}^2} = \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{v}}$$

b) $$\overline{\mathbf{v}^2} = \overline{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}$$

$$\bar{E}_{\text{kin}} = \frac{m}{2}\overline{\mathbf{v}^2} = \frac{m}{2}\left(\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}\right) = \frac{m}{2}3\overline{v_x^2}$$

Fråga 2: Medelfart på partikel

- Hur beräknas medelvärdet av farten på en atom i gasen?

a) $\bar{\mathbf{v}}$

b) $\sqrt{\overline{\mathbf{v}^2}}$

Fråga 2: Medelfart på partikel

- Hur beräknas medelvärdet av farten på en atom i gasen?

a) $$\bar{\mathbf{v}}$$

= **0** = (0,0,0) = noll

b) $$\sqrt{\overline{\mathbf{v}^2}}$$

”Root-Mean-Square (RMS) farten”

Exempel: En kvävemolekyl (N_2) har en RMS fart på 500 m/s vid rumstemperatur.

2.3 Värmekapacitet och entalpi

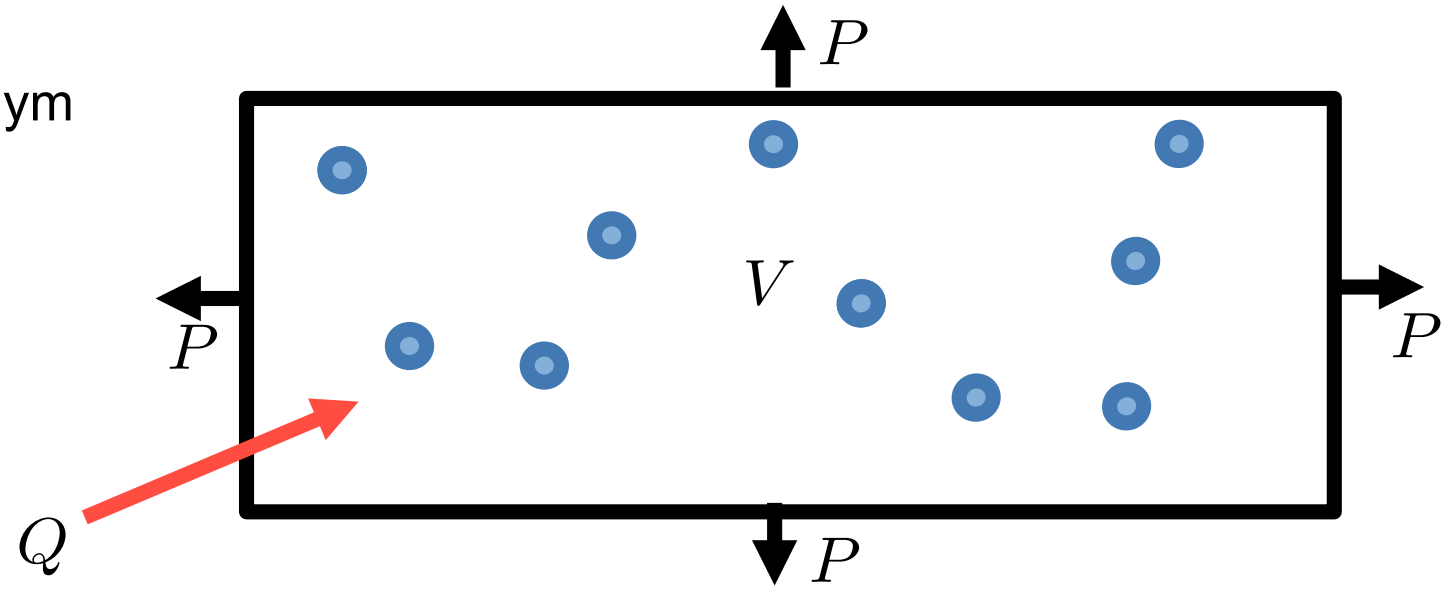
a) Värmekapacitet vid konstant volym: $C_V = \left(\frac{Q}{\Delta T}\right)_V$

b) Värmekapacitet vid konstant tryck: $C_P = \left(\frac{Q}{\Delta T}\right)_P$

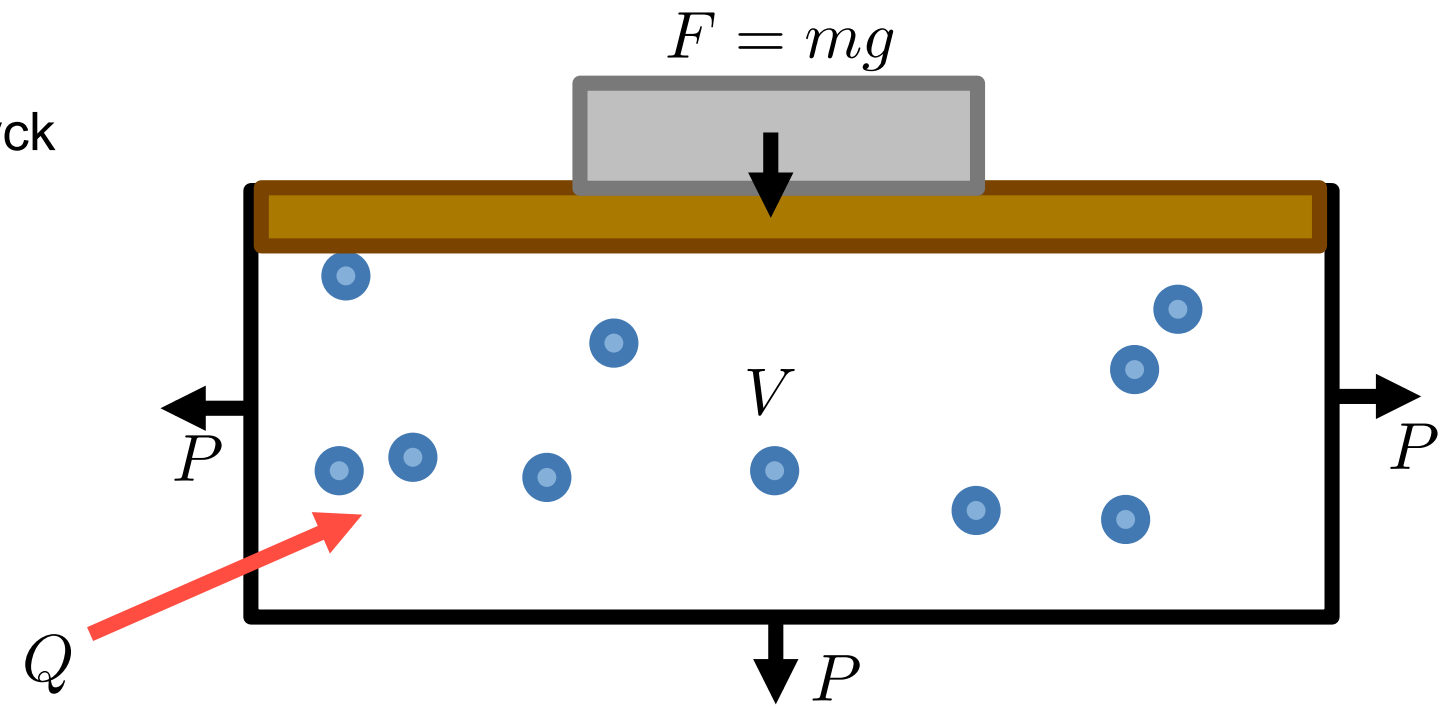
Entalpi: $H = U + PV$

Fråga 3 Vi tillför värmen Q till ett system under två olika villkor:

a) vid konstant volym

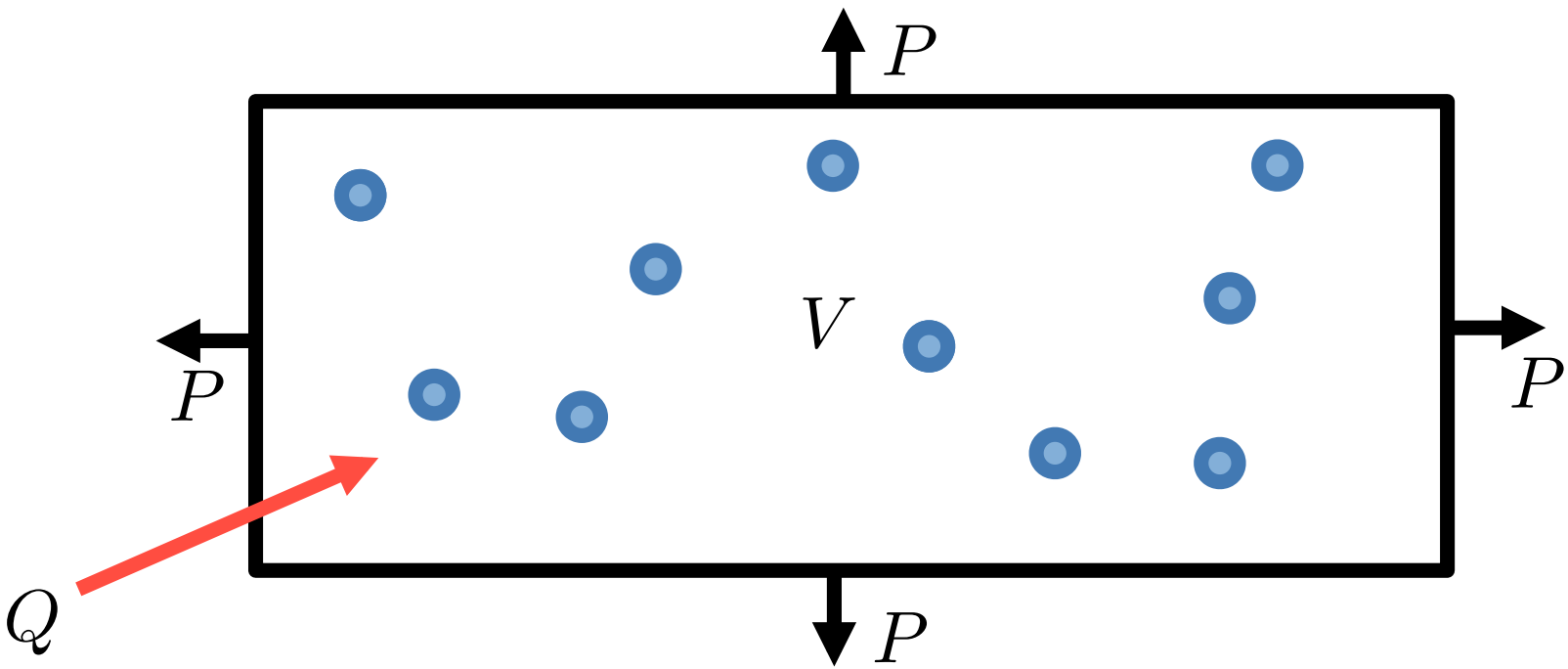


b) vid konstant tryck



I båda fallen ökar temperaturen. I vilket fall ökar temperaturen mest?

a) Gas i låda med konstant volym, V

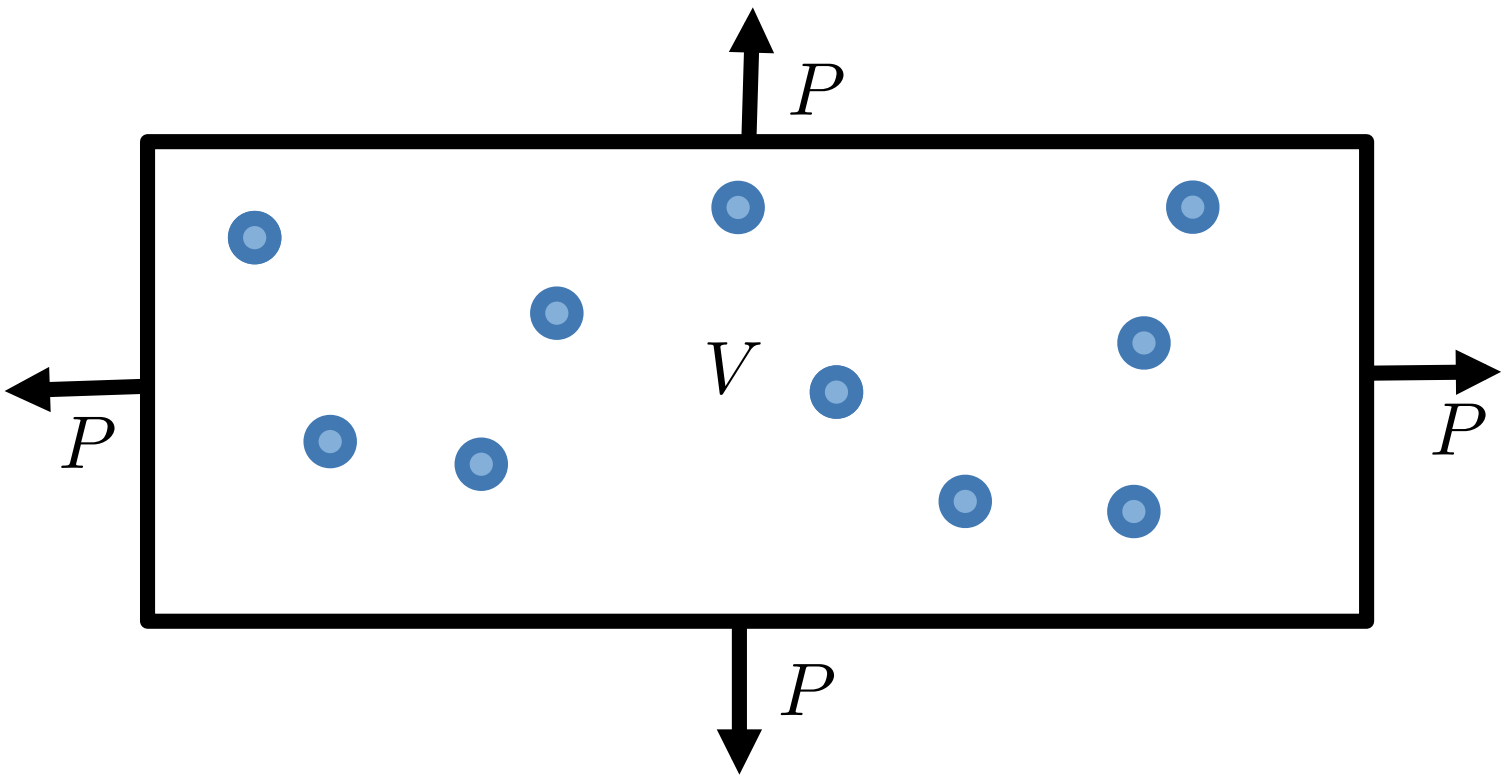


Värme tillförs systemet
→ temperaturen höjs.

Ideal gas:

$$PV = NkT$$

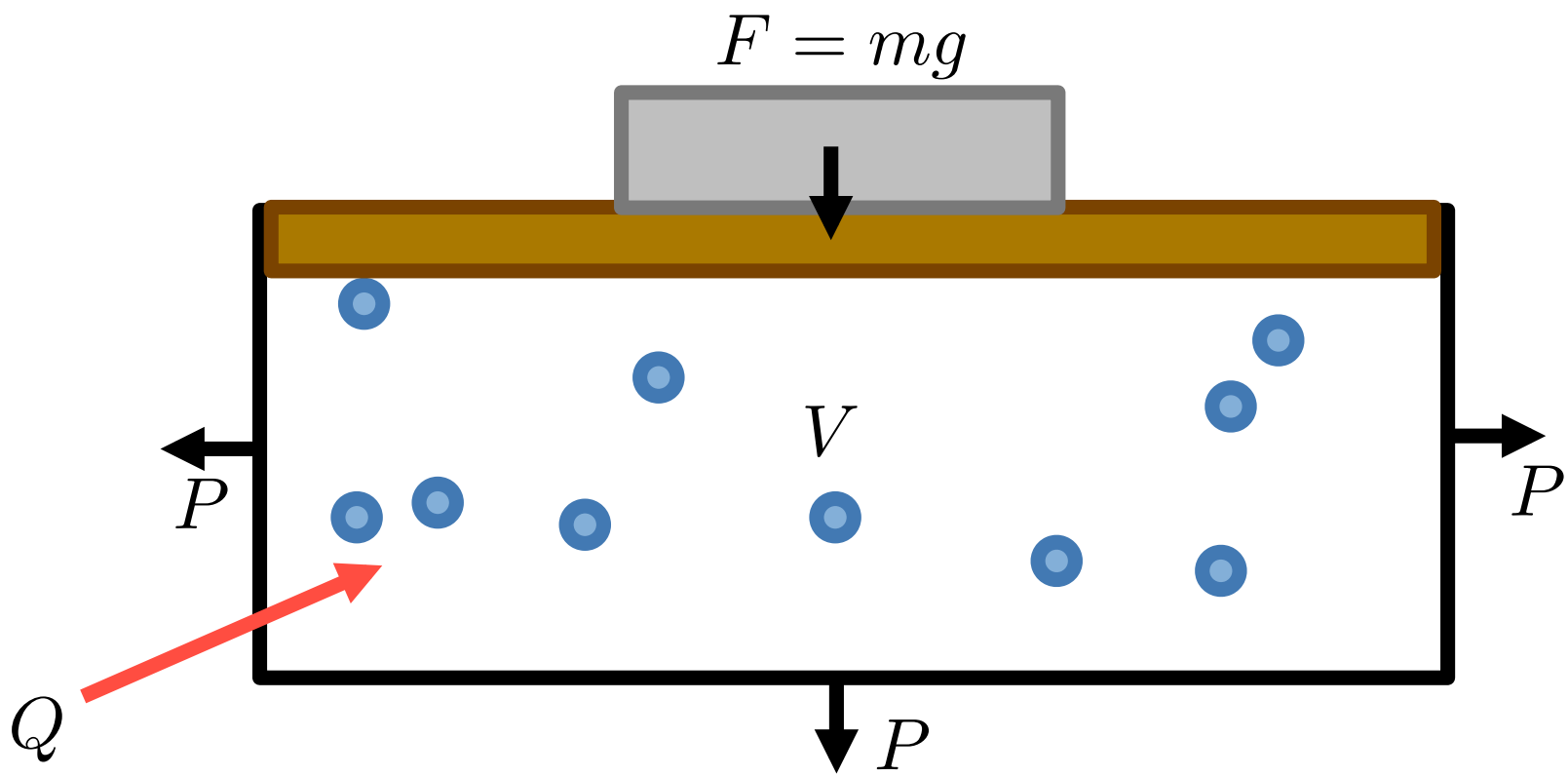
a) Gas i låda med konstant volym, V



Trycket ökar men volymen hålls konstant.

All värme för att höja temperaturen

b) Gas i låda med konstant tryck, P

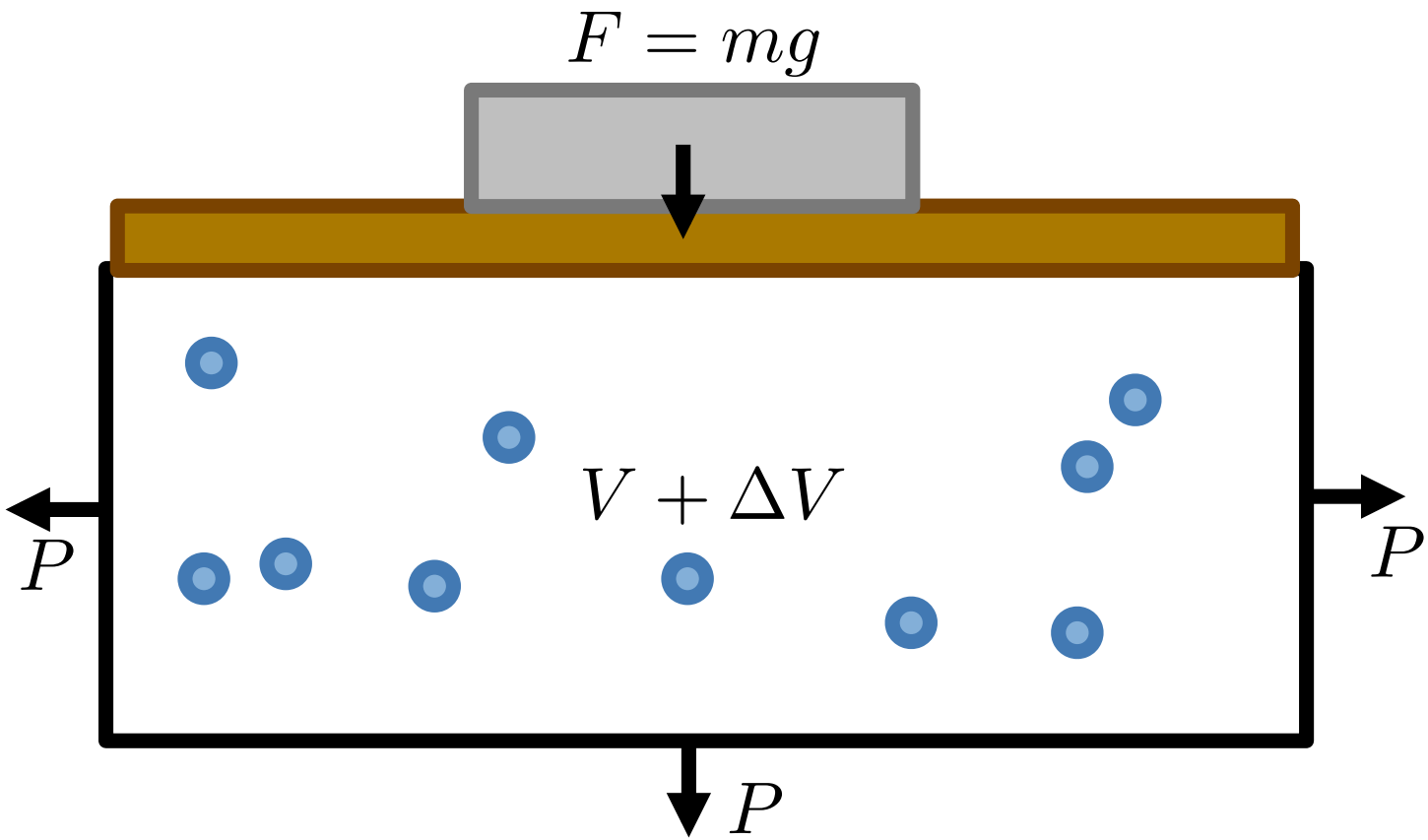


Värme tillförs systemet
→ temperaturen höjs.

Ideal gas:

$$PV = NkT$$

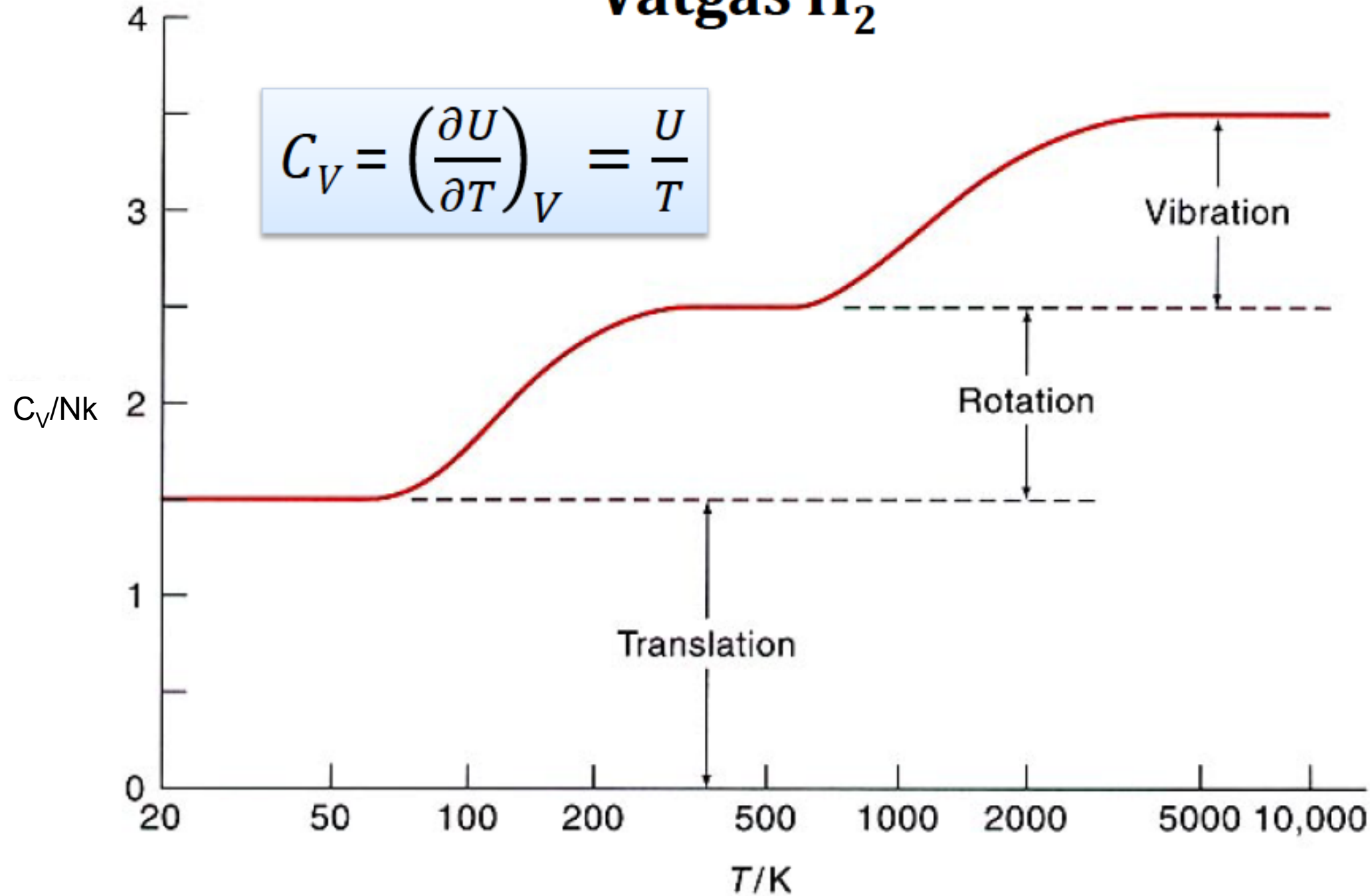
b) Gas i låda med konstant tryck, P



En del värme går åt för att öka volymen
och en del för att höja temperaturen

Vätgas H_2

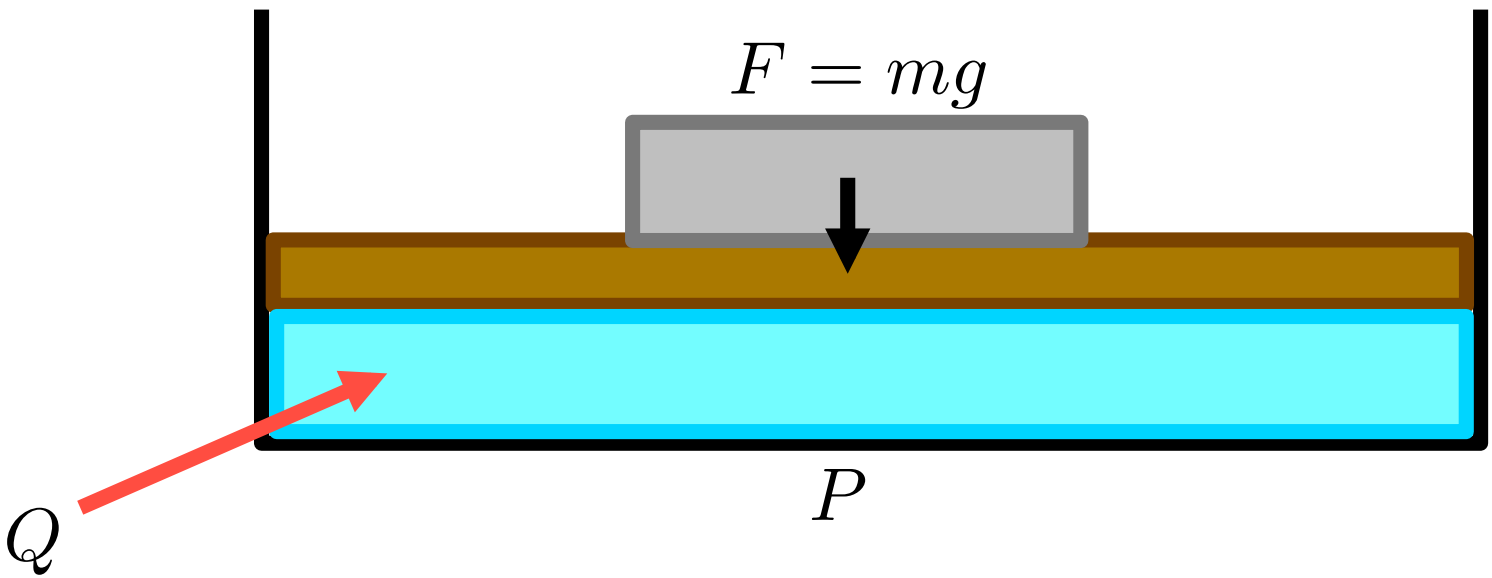
$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{U}{T}$$



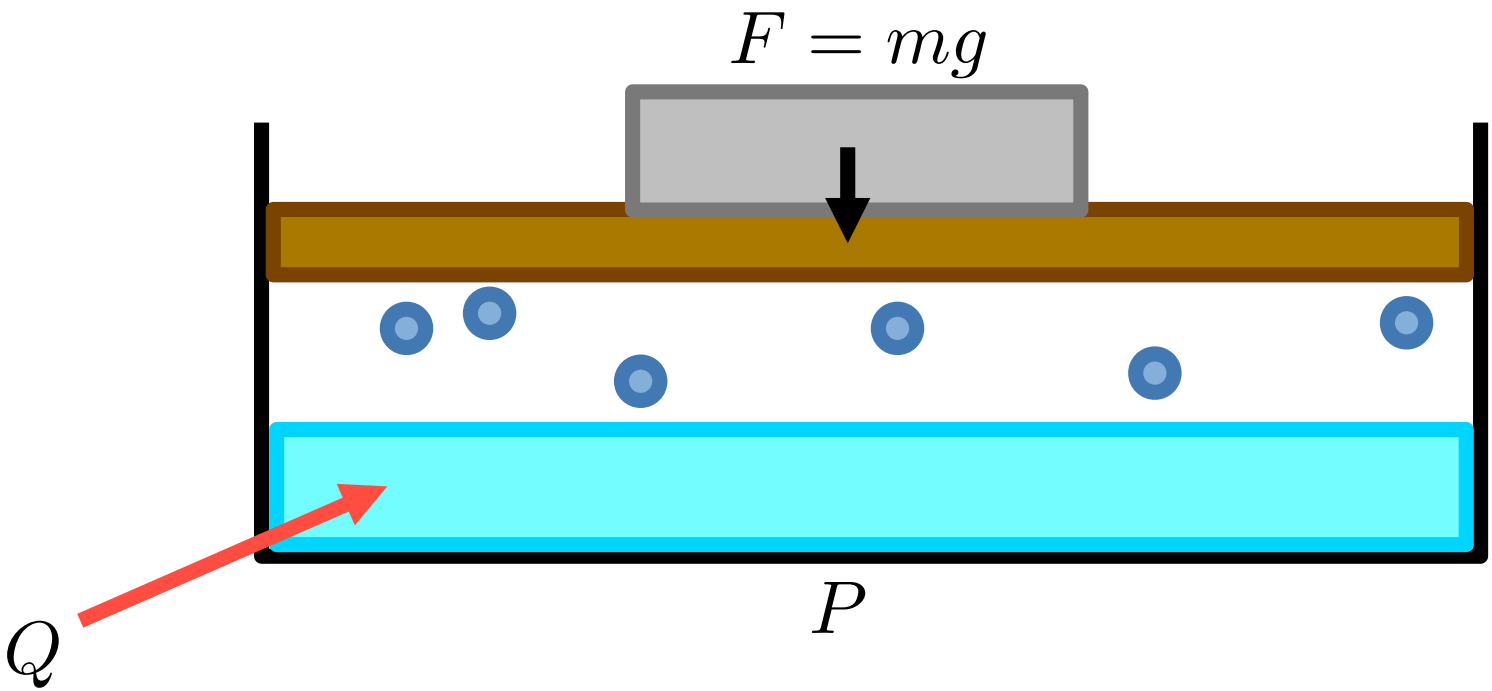
Studera process där vätska värms upp och förångas

Fasövergång

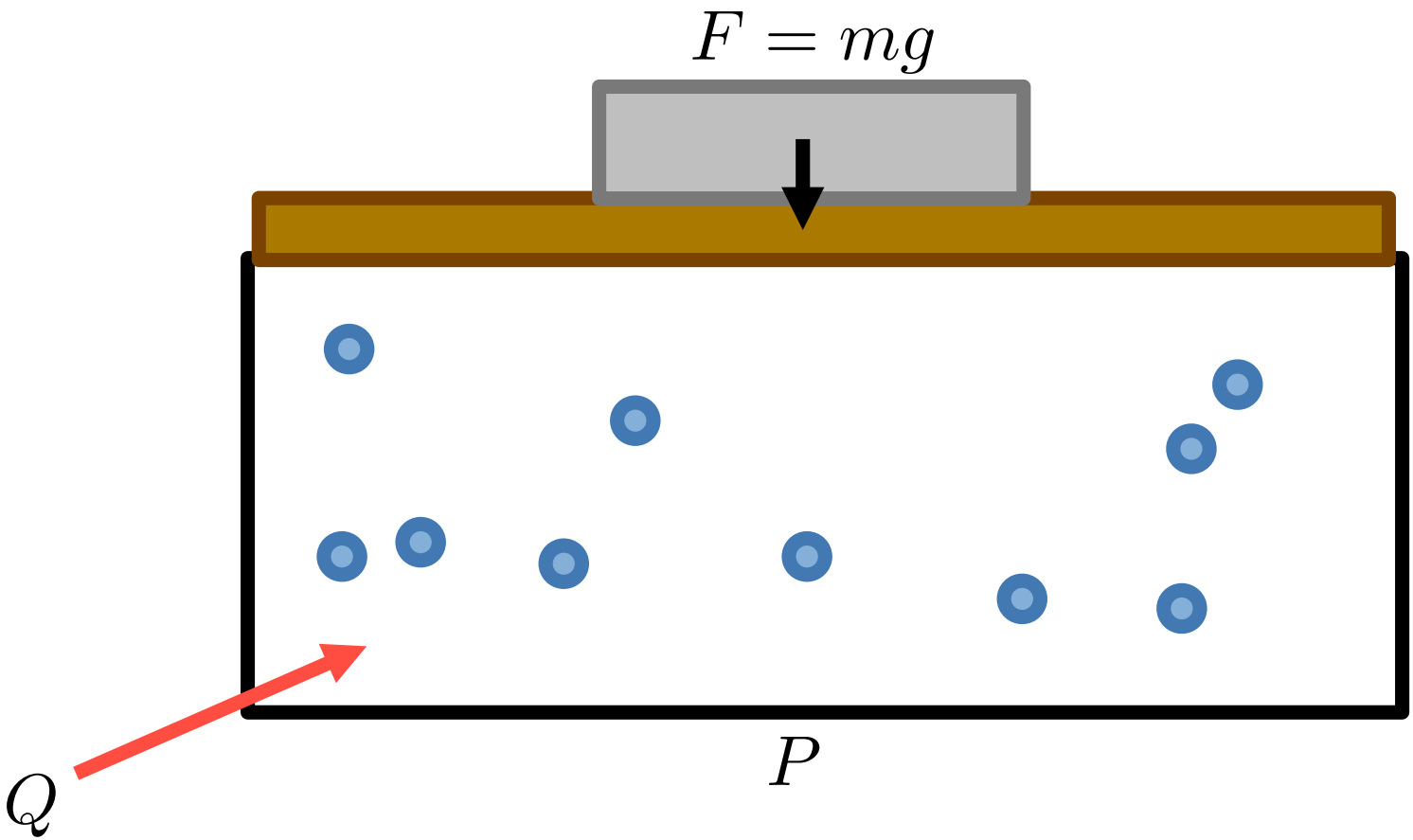
Trycket *P* konstant



Temperaturen i vattnet ökar med tillförd värme till 100 grader.



Temperaturen på vattnet är konstant 100 grader och värmen skapar ånga.
Volymen på systemet ökar kraftigt (ångan tar upp mycket plats)!



Temperaturen på ångan ökar med tillförd värme till mer än 100 grader.

Fasövergång: fast (is) till flytande (vatten)
flytande (vatten) till gas (ånga)

Vid fasövergången: värme tillförs utan att temperaturen höjs

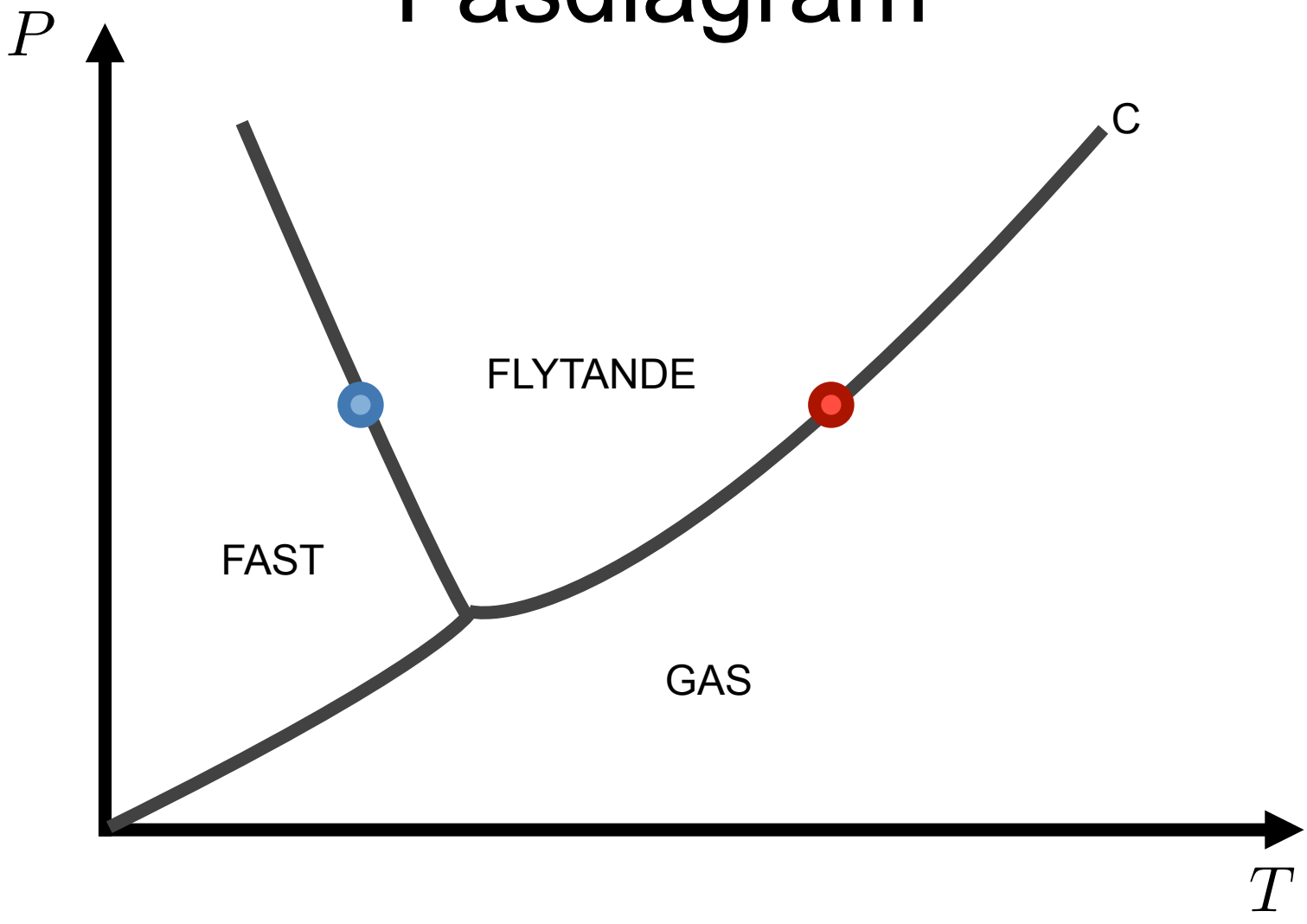
Fasomvandlingsentalpin:

$$L=Q/m$$

Mängden värme som krävs för att överföra 1 kg av ämnet från en fas till en annan

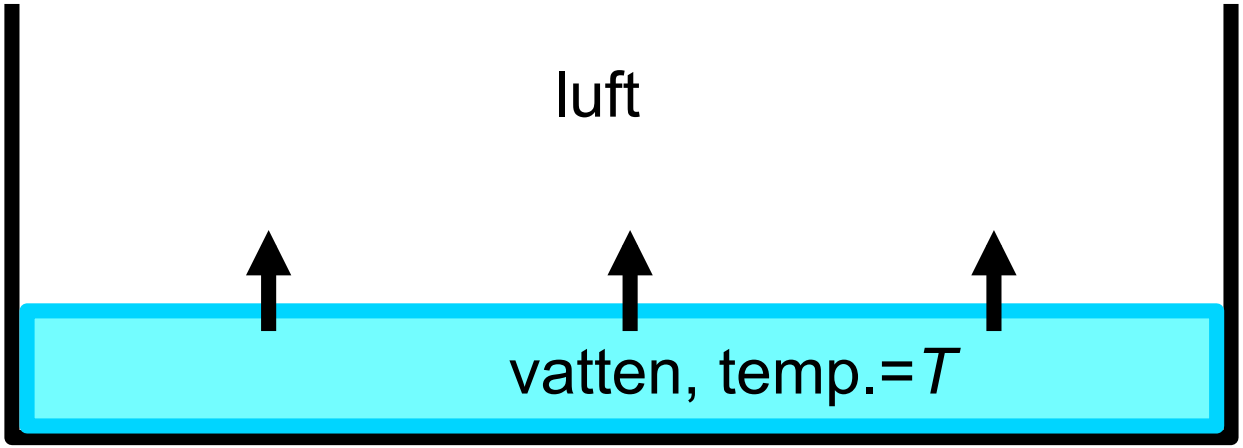
”smältvärme”, ”ångbildningsvärme”

Fasdiagram



”Fryspunkt” och ”kokpunkt” beror på trycket, P.

Relativ fuktighet



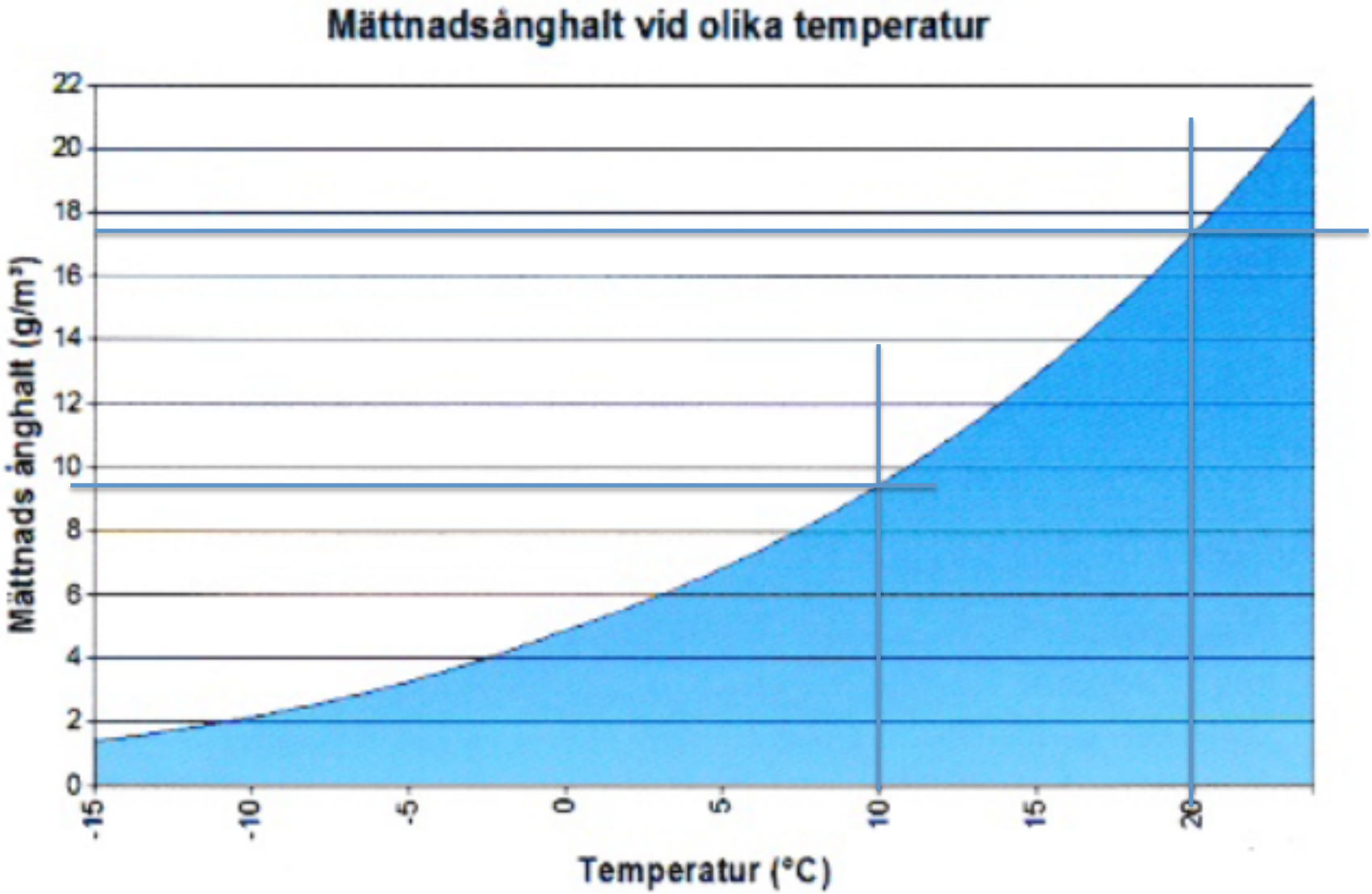
Vatten övergår i gasfas (förångas) tills ångans tryck = ångtrycket

Gasens tryck = luftens tryck + ångtrycket

Relativ fuktighet = ångans tryck/mättnadsångtrycket

Om temperaturen minskar, minskar mättnadsångtrycket
➔relativa fuktigheten ökar

Om relativa fuktigheten > 100% bildas vattendroppar i luften



Exempel: 100% luftfuktighet råder vid 20°C . Temperaturen sjunker till 10°C.
Hur mycket vatten vatten kondenseras per m^3?

Lösning: Vid 20°C: finns 17.5 g/m^3.
Vid 10°C är mättnadsånghalten 9.5 g/m^3.
dvs 17.5-9.5= 8 g/m^3 övergår till vatten. dagg, moln/regn

2.4 Expansion och kompression av en ideal gas

Beräkning av arbete och värme i processen då:

a) temp. är konst. **– isoterm process**
(långsam process)

b) inget värmeutbyte sker **– adiabatisk process**
(snabb process)