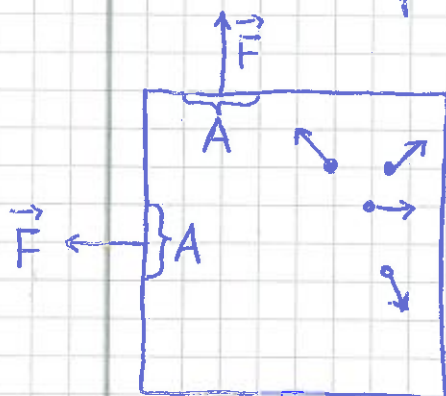


Termisk fysikk

9/11

Trykk, temperatur og ideell gass



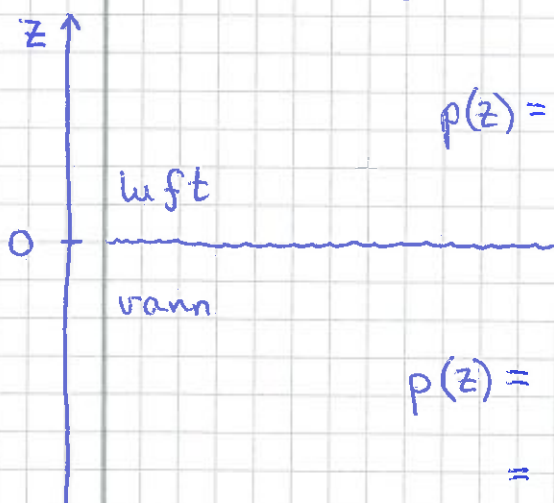
Beholder med gass. Molekyler kolliderer mot veggene, i alle mulige retninger

$\Rightarrow$ netto kraft $\vec{F}$ pr flateenhet A ;
 $\vec{F} \perp$ veggene

Trykket i gassen, $p = F/A$, er isotrop.

SI-enhet: $[p] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (pascal)

Fra 2. samling:



$$p(z) = p(0) - \rho_l g z \quad ; \quad \rho_l \approx 1.3 \text{ kg/m}^3$$

(hvis ρ_l er konstant)

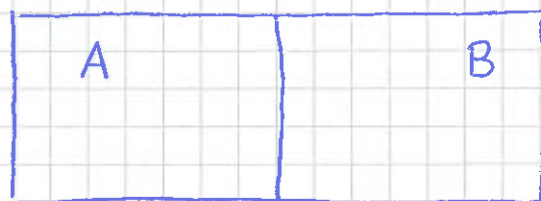
$$p(z) = p(0) - \rho_v g z$$

$$= p(0) + \rho_v g |z| \quad ; \quad \rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} \approx 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 1 \text{ bar} \approx 760 \text{ mm Hg}$$

$$\approx 10.3 \text{ m H}_2\text{O}$$



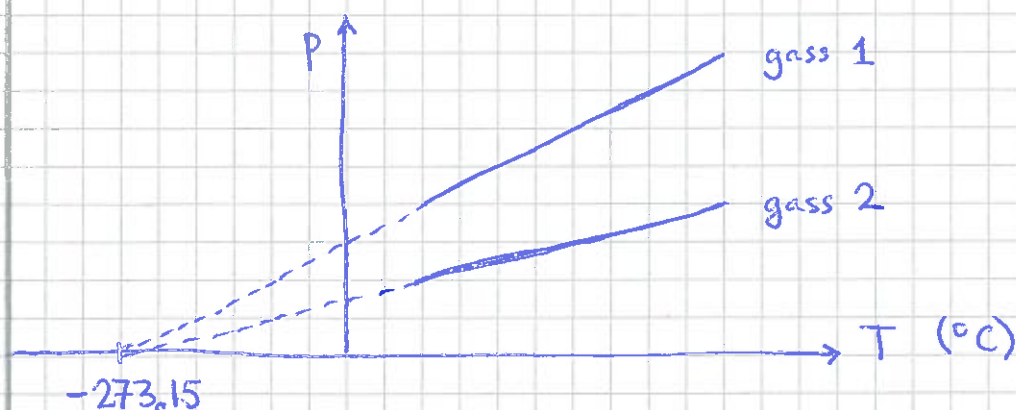
↑ "termisk" kontakt, dvs utveksling av varmeenergi er mulig

- Hvis netto energistrøm ~~er~~ (varmestøm) mellom A og B er lik null, sier vi at A og B er i termisk likevekt. A og B har da samme temperatur: $T_A = T_B$
- Hvis $T_A \neq T_B$, overføres varme fra systemet med høyest T til systemet med lavest T . Dette er en erfaringssak, og skjer alltid.
- Varme er pr def. energi som overføres pga temperaturforskjeller.
- Andre former for energioverføring er arbeid.
- Kalibrering av temperatur:
 - $T = 0^\circ\text{C}$ når H_2O fryser ved $p = 1\text{atm}$
 - $T = 100^\circ\text{C}$ når H_2O koker ved $p = 1\text{atm}$
- Temperatur måles med termometer.
 - Eks: Væsketilstand (økt $T \Rightarrow$ økt volum, som regel)
 - Gasstrykk (økt $T \Rightarrow$ økt trykk)

Absolutt temperatur:

(29)

Måler trykk p vs temp. T for ulike gasser (lav tetthet):



Dvs: p er prop. med T , og $p = 0$ for $T = -273.15^\circ\text{C}$
når kurvene ekstrapoleres (forlenges),
uavhengig av type gass

$\Rightarrow$ Vi kan skrive

$$p(T) = A \cdot T$$

med absolutt temperatur T , målt i
enheten K (kelvin), slik at

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

Stoffmengde (kjent fra kjemi):

(30)

1 mol $\approx 6.02 \cdot 10^{23}$ partikler (molekyler)

($\stackrel{\text{def}}{=}$ antall atomer i 12g av isotopen ^{12}C)

$N_A \approx 6.02 \cdot 10^{23} = \text{Avogadros tall}$ (evt. Avogadros konstant)

$\Rightarrow n$ mol inneholder $n \cdot N_A$ molekyler

Molar masse = massen til 1 mol av stoffet

Eks: N_2 , 28 g/mol ; O_2 , 32 g/mol

$\Rightarrow$ Luft, ca 29 g/mol (ca 78% N_2 , 21% O_2)

Termodynamiske tilstandsvariable:

P	T
V	n

Et makroskopisk system (mange partikler)

i termisk likevekt beskrives med

tilstandsvariable p , T , V (volum), n (osv)

Tilstandsligninger uttrykker en sammenheng mellom tilstandsvariable, generelt på formen

$$f(p, V, T) = 0,$$

for en gitt stoffmengde n . Da er 2 variable nok til å fastlegge systemets termodynamiske tilstand, fordi vi kan løse $f(p, V, T) = 0$ mhp p , V eller T og finne $p(V, T)$, $V(p, T)$ og $T(p, V)$.

Eksperimenter med gasser med lav tetthet gir

(31)

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Ideell gasslov

for n mol gass.

Gasskonstanten: $R \approx 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Antall molekyler er $N = n \cdot N_A$, dvs $n = N/N_A$, slik at

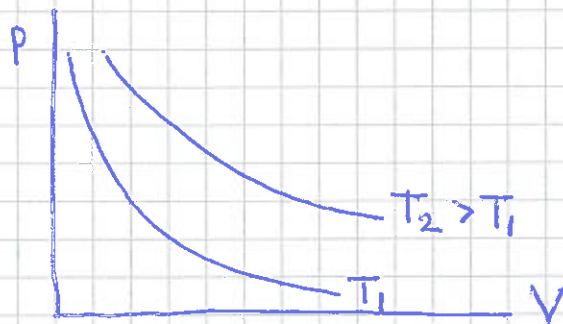
$$n \cdot R = N \cdot \frac{R}{N_A} = N \cdot k_B$$

der

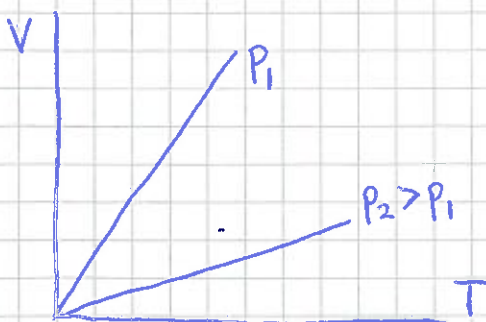
$$k_B = \frac{R}{N_A} \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} = \text{Boltzmanns konstant}$$

Ulike termodynamiske prosesser innebærer at systemets termodynamiske tilstand (p og/eller V og/eller T) endres.

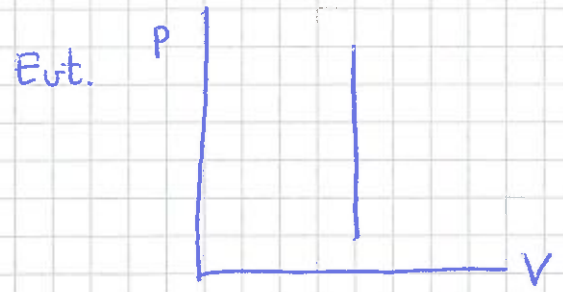
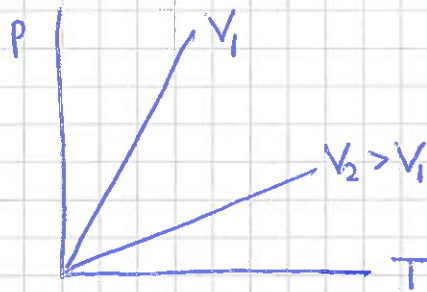
Isoterm prosess: $T = \text{konstant} \Rightarrow p(V) = \frac{\text{konst.}}{V}$



Isobar prosess: $p = \text{konstant} \Rightarrow V(T) = \text{konst.} \cdot T$



Isokor prosess: $V = \text{konstant} \Rightarrow p(T) = \text{konst.} \cdot T$ (32)



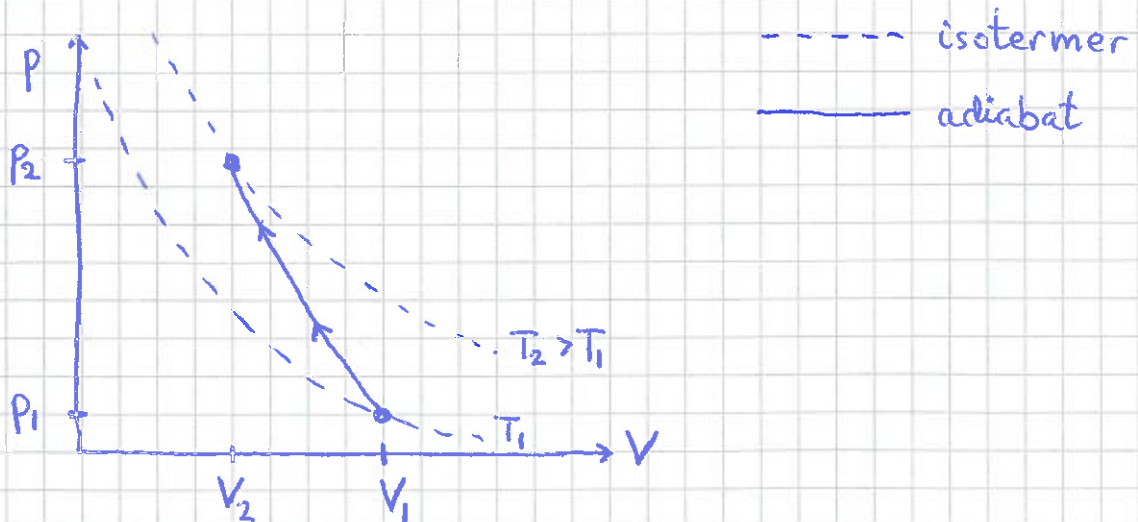
Adiabatisk prosess:

Varmeisoleret system; $\Delta Q = 0$.

(Da endres typisk både p , T og V .)

Eks:

- Rask sammenpressing av lufta i ei sykkelpumpe. Ikke varmeisoleret, men varmeoverføring tar tid, så derfor er $\Delta Q \approx 0$ når vi pumper raskt. Vi gjør arbeid på lufta, så luftas energi ("indre energi") øker. Da øker også luftas temperatur:



- ① Anta konstante tettheter ρ (og tyngdeakselerasjon g) og regn ut (a) trykkreduksjon pr 100 m høydeskning i luft, og (b) trykkøkning pr 10 m dybdeskning i vann. Bruk enheten atm i slottsvarene. $1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$.
- ② Når sykkelpumpe viser 60 psi, betyr det at lufttrykket inne i dekket er 60 psi høyere enn det omgivende atmosfæretrykket. Hva er da det totale trykket i dekket, angitt i enheten atm?
 $1 \text{ pound} = 454 \text{ g}$, $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$,
psi = vekten av et pound, pr square inch
- ③ En bil har masse 1600 kg og 4 hjul med dekktrykk ("overtrykk") 3 bar. Anta (ikke helt realistisk) jevnt fordelt vekt på de 4 hjulene og beregn kontaktflaten pr hjul mellom dekket og asfalten.
- ④ Lag en tabell med temperaturer, i både K og $^{\circ}\text{C}$, og i stigende rekkefølge for følgende termodynamiske tilstander: vann koker ved 1 atm; vann smelter ved 1 atm; det absolutte nullpunkt; normal kroppstemperatur; norsk kulderekord; norsk varmerecord; solas overflatetemperatur; etanol koker ved 1 atm; jern smelter; propan koker ved 1 atm; propan koker ved 11 atm.

⑤ Omtrent hvor mange molekyler er det i lufta på soverommet ditt? Hvor mange mol er dette?

⑥ Vis at 40 cm^3 luft ved 1 atm og 300 K inneholder omtrent $1/600$ mol. Regn deretter ut koeffisienten A i isothermen $p(V) = A/V$ ved 300 K , i enheten J . Regn også ut koeffisienten B i isobaren $T(V) = B \cdot V$ ved 1 atm , i enheten K/cm^3 .

⑦ Hva er SI-enheten til produktet $p \cdot V$?
 Enn produktet $k_B \cdot T$?
 Hva er verdien av $k_B \cdot T$ ved romtemperatur?

⑧ Johannes Diderik van der Waals fikk nobelpreisen i fysikk i 1910 "for his work on the equation of state for gases and liquids" (nobelprize.org).

For å ta hensyn til at molekylerne har et visst volum (slik at et gitt molekyl ikke har hele beholderens volum V til rådighet), og at molekylerne tiltrekker hverandre med svake krefter (jfr Kjemi, 2. samling), modifiserte van der Waals tilstandsligningen for ideell gass, $p = Nk_B T/V$, til

$$p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - \frac{a N^2}{V^2}$$

Hva er SI-enhetene til de to parametrene a og b ?

Ligningen kan skrives om til en 3. gradsligning i volumet V , på formen $V^3 + c_2 V^2 + c_1 V + c_0 = 0$.

Vis dette, og bestem på den måten størrelsene c_2 , c_1 og c_0 .