



Kap 18 Stoffers termiske egenskaper



Tilstandsligningen for idealgass

Sammenheng mellom trykk, volum og temperatur
i en avstengt gasmengde:

$$pV = nRT$$

Den universelle gasskonstanten:

$$R = 8.314472(15) \frac{J}{mol \cdot K}$$



Van Der Waals ligning

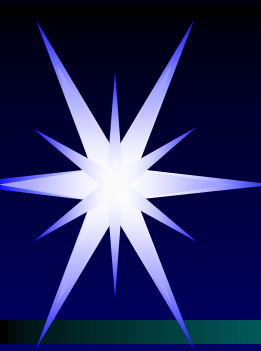
Tar hensyn til molekylstørrelse og vekselvirkning mellom molekylene:

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

a og b empiriske konstanter ulik for ulike gasser.

b : Volum av ett molekyl, nb totalt molekylvolum, V-nb netto volum.

a : Assosiert med tiltrekningskrefter mellom molekylene, hvilket medfører trykk-reduksjon, proporsjonal med n/V pga molekylene nærmest veggen og proporsjonal med n/V pga molekylene i neste lag fra veggen. 3



Kinetisk gassteori

Modell

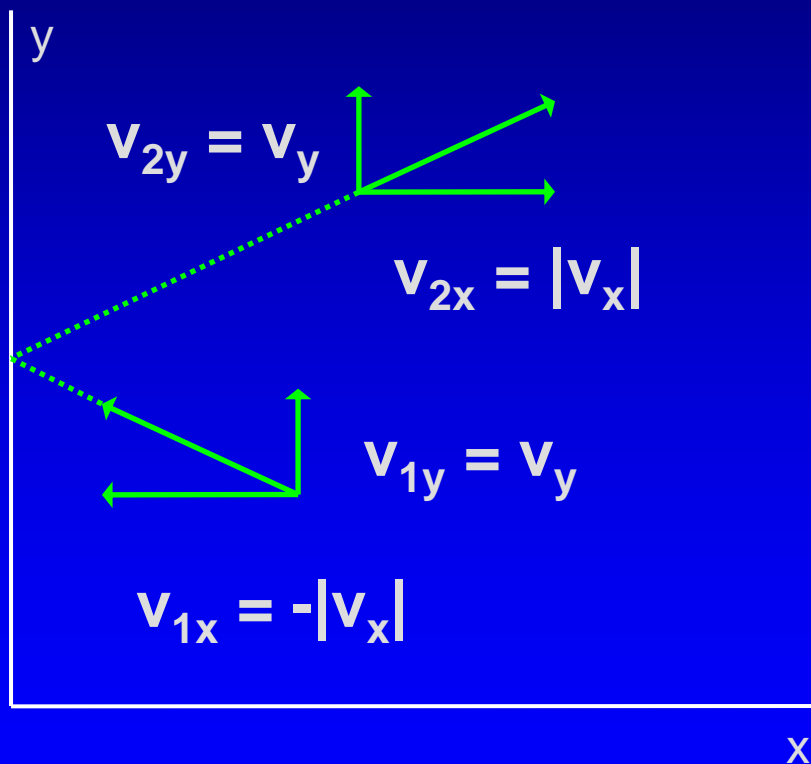
Modell:

1. Volumet V inneholder et stort antall identiske molekyler N , alle med masse m .
2. Molekylene betraktes som punktpartikler.
3. Molekylene er i kontant bevegelse og følger Newtons lover. Kollisjonene med veggene er fullstendig elastiske.
4. Veggene er perfekt rigide, uendelig massive og beveger seg ikke.



Kinetisk gassteori

Elastisk kollisjon mellom molekyl og vegg

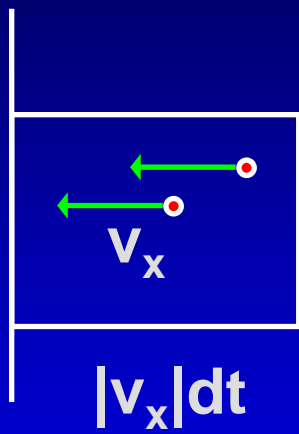


Moment-ending:

$$\Delta(mv) = m|v_x| - (m|v_x|) = 2m|v_x|$$

Kinetisk gassteori

Antall kollisjoner



Antall kollisjoner med A i løpet tiden dt:


$$\frac{1}{2} \frac{N}{V} A |v_x| dt$$



Halvparten av molekylene
beveger seg mot A

Volum av de molekylene
som kolliderer med A
i løpet tiden dt

Antall molekyler
pr enhetsvolum



Kinetisk gassteori

Total moment-endring og trykk

For systemet bestående av alle gassmolekylene vil den totale moment-endringen dP_x i løpet tiden dt og gassen trykk p være:


$dP_x =$ totalt antall kollisjoner \cdot momentendring pr kollisjon

$$= \frac{1}{2} \frac{N}{V} A |v_x| dt \cdot 2m |v_x|$$

$$= \frac{NAmv_x^2 dt}{V}$$

\Downarrow

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\frac{dP_x}{dt}}{A} = \frac{Nmv_x^2}{V}$$



Kinetisk gassteori

Total kinetisk translatorisk energi

$$pV = nRT$$

$$p = \frac{Nm v_x^2}{V}$$

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

$$(v^2)_{avg} = (v_x^2)_{avg} + (v_y^2)_{avg} + (v_z^2)_{avg} = 3(v_x^2)_{avg}$$


$$(v_x^2)_{avg} = \frac{1}{3}(v^2)_{avg}$$

⇓

$$pV = \frac{1}{3}Nm(v^2)_{avg} = \frac{2}{3}N \left[\frac{1}{2}m(v^2)_{avg} \right] = \frac{2}{3}K$$



$$K = \frac{3}{2}nRT$$



Kinetisk molekylær modell av en ideal gass

Kinetisk translatorisk energi til et gassmolekyl

$$K = \frac{3}{2} nRT$$

$$N = nN_A$$

Boltzmann konstant:

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314 \frac{J}{mol \cdot K}}{6.022 \cdot 10^{23} \frac{molekyler}{mol}} = 1.381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{molekyl \cdot K}$$



$$\frac{1}{2} m(v^2)_{avg} = \frac{K}{N} = \frac{1}{N} \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T = \frac{3}{2} kT$$

$$pV = nRT = \frac{N}{N_A} RT = N \frac{R}{N_A} T = NkT$$

$$\frac{1}{2} m(v^2)_{avg} = \frac{3}{2} kT$$

$$pV = nRT$$

$$pV = NkT$$



Temperatur

Ulike temperatur-skalaer

Fahrenheit

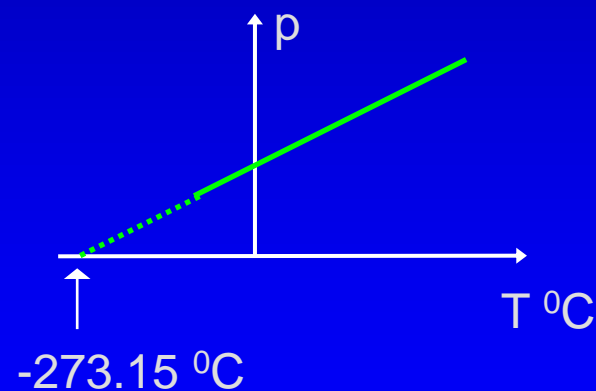
:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^{\circ}$$

$$T_C = \frac{5}{9}T_F - 32^{\circ}$$

Abolutt temperatur :
(Kelvin skalaen)

$$T_K = T_C + 273.15$$



Konstant-volum
gass termometer



Temperatur

Ulike temperatur-skalaer

	K	C	F
Vann koker	373	100	212
Vann fryser	273	0	32
CO ₂ til fast stoff	195	-78	-109
Oksygen til væske	90	-183	-298
Absolutt nullpunkt	0	-273	-460



Termisk likevekt

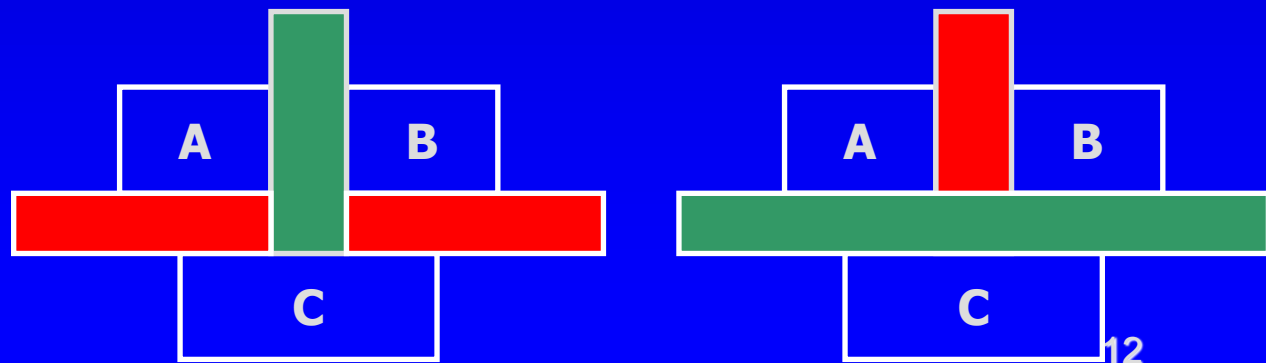
Termodynamikkens 0.lov

Termisk likevekt:

Vekselvirkningen mellom termometer og resten av systemet har nådd en likevekt hvis det ikke lenger foregår noen endring i systemet. To systemer er i termisk likevekt hvis og bare hvis de har samme temperatur.

Termodyn.'s 0.lov:

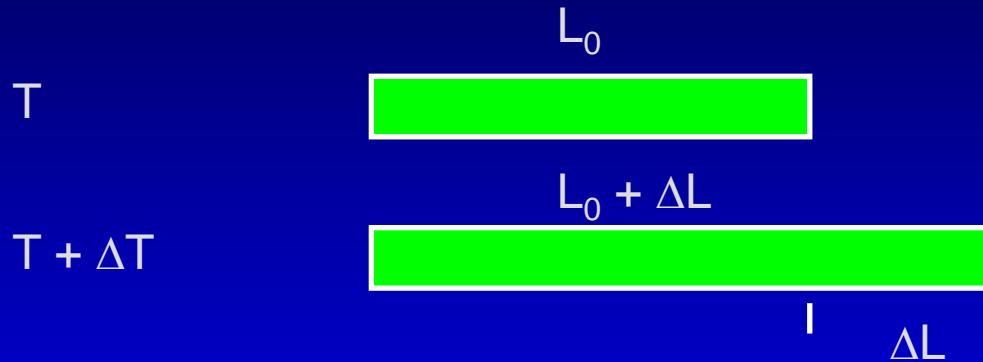
Hvis to systemer A og B hver er i termisk likevekt med et system C, så er A og B i termisk likevekt med hverandre.





Termisk utvidelse

Lineær utvidelse



Lengde-utvidelsen er proporsjonal med opprinnelig lengde L_0 og temperatur-endringen ΔT

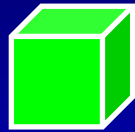
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$



Termisk utvidelse

Volum utvidelse

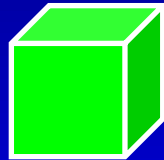
T



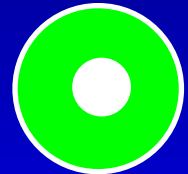
V_0



T + ΔT



$V_0 + \Delta V$



Volum-utvidelsen er proporsjonal med opprinnelig volum V_0 og temperatur-endringen ΔT

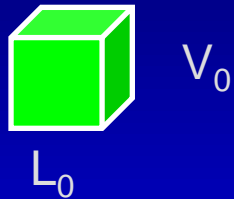
$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$



Termisk utvidelse

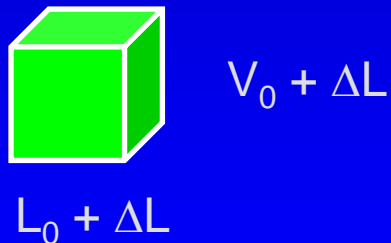
Sammenheng mellom lineær utvidelse og volum utvidelse

T



$$dV = \beta V_0 dT$$

T + ΔT



$$\begin{aligned} dV &= \frac{dV}{dL} dL = \frac{d(L_0^3)}{dL} dL = 3L_0^2 dL \\ &= 3L_0^2 \alpha L_0 dT = 3\alpha L_0^3 dT = 3\alpha V_0 dT \end{aligned}$$

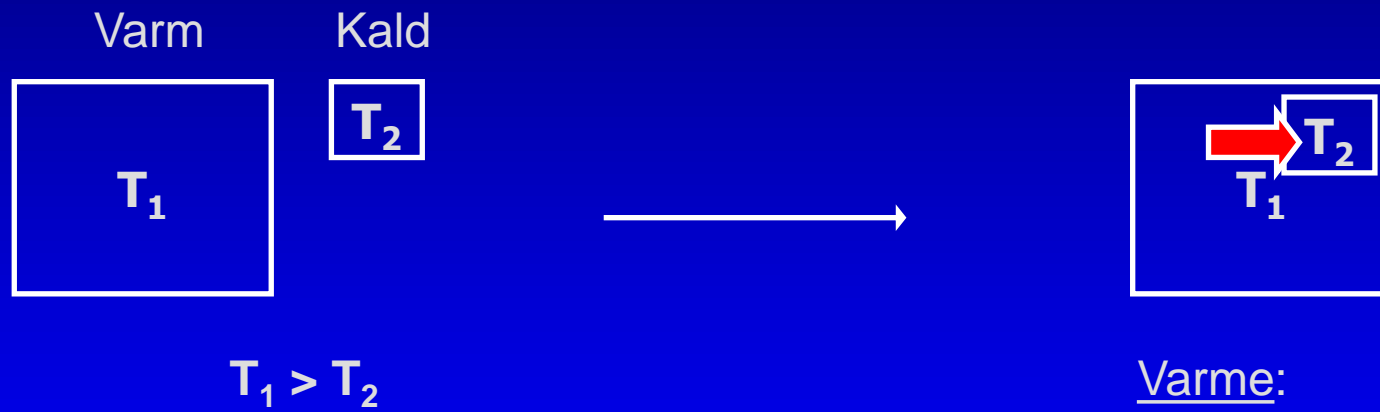
⇓

$$\beta = 3\alpha$$



Varme (Heat)

Energioverføring pga temperaturforskjell



Varme:
Energioverføring pga
temperaturforskjell



Spesifikk varme

1 kalori (1 cal) er den varmemengden (energien) Q som trengs for å varme opp 1 gram vann fra $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

Den varmemengden Q som trengs for å varme opp en masse m fra T til $T + \Delta T$ er proporsjonal med massen m og temperaturdiff ΔT .

$$Q = cm\Delta T$$

Spesifikk varmekapasitet c :

$$dQ = cmdT$$



$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$



Mol - Molar masse

1 mol av et stoff er den mengden substans som inneholder like mange elementære enheter (molekyler) som det er atomer i 0.012 kg karbon ^{12}C .

Antall molekyler i ett mol kalles Avogadros tall N_A .

$$N_A = 6.02214199 \cdot 10^{23} \text{ molekyler/ mol}$$

Den **molare masse** M av et stoff er massen av ett mol av stoffet = massen av ett molekyl m multiplisert med Avogadros tall N_A :

$$M = mN_A$$



Molar varmekapasitet

Ofte er det mer hensiktsmessig å beskrive en substans i antall mol n i stedet for vha massen m .

Massen m av et stoff er lik massen pr mol M multiplisert med antall mol n

$$m = nM$$



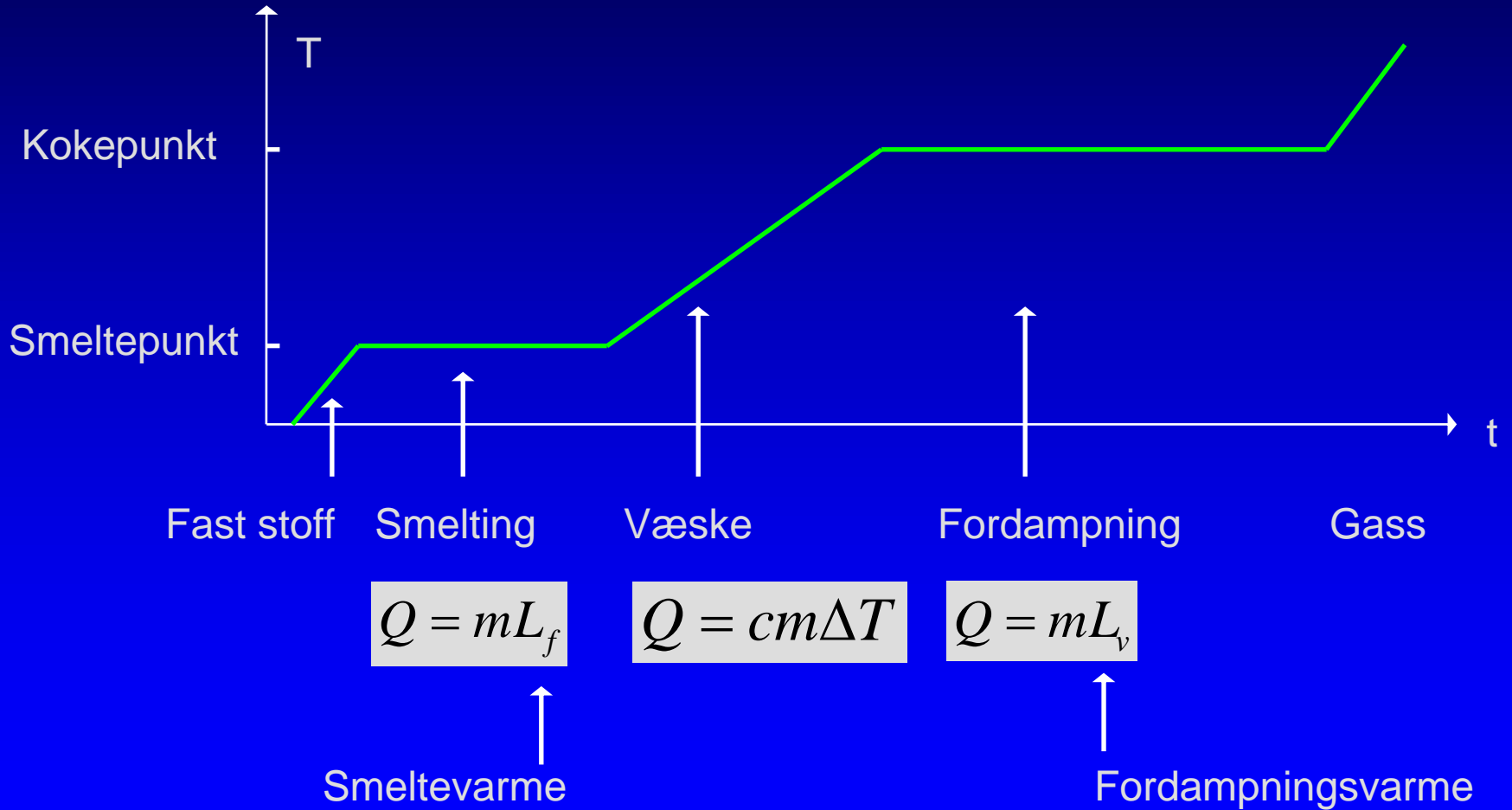
$$Q = cm\Delta T = cnM\Delta T = ncM\Delta T = nC\Delta T$$

Molar varmekapasitet:

$$C = cM$$

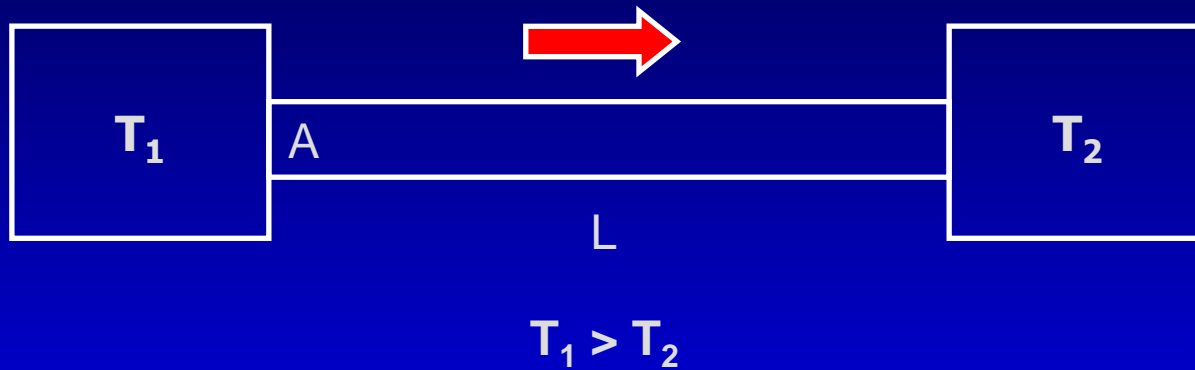
Faseforandringer

Smeltevarme - Fordampningsvarme



Varmedledning

Energioverføring (varme) pr tidsenhet



Varmedledningen H (energioverføring (varme) pr tidsenhet) er proporsjonal med arealet (tverrsnittet) A og omvendt proporsjonal med lengden L . Proporsjonalitetskonstanten k kalles termisk konduktivitet.

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$$

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{L}$$



Termisk resistans

Termisk resistans:

$$H = \frac{dQ}{dt} = A \frac{T_1 - T_2}{R}$$



$$R = \frac{L}{k}$$



Stråling

Energioverføring (varme) vha elektromagnetiske bølger

Stråling (radiation) er energioverføring (varme) vha elektromagnetiske bølger.

Varmeledningen H er i dette tilfellet proporsjonal med arealet A og fjerde potens av temperaturen T .

Varmeledningen er også avhengig av overflaten og beskrives vha en størrelse e kalt emisiviteten ($[0,1]$).

Proporsjonalitetskonstanten σ er en fundamental fysisk konstant kalt **Stefan-Boltzmann konstant**.

$$H = \frac{dQ}{dt} = Ae\sigma T^4$$

$$\sigma = 5.670400(40) \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$