

Referanser:

PCH: Termisk fysikk, P.C. Hemmer (hovedbok)

LHL: Generell fysikk for univ. og høyskoler, Lillestøl, Hunderi, Lien (bind 2)

LL: Gen. fysikk, ..., Lien og Lørhøiden (bind 1)

YF: University Physics vol 13, Young and Freedman

15.01.13

Innledning

Hovedtema i Termisk fysikk:

1. Termodynamikk (PCH kap 1-8)
2. Kinetisk gasteori (PCH 9)
3. Transportfenomener (PCH 10)

[4. Statistisk mekanikk; tema i TFY4230]

Termodynamikk

- generell teori for makroskopiske systemer (dvs stort antall partikler) i termisk likevekt
- beskriver sammenheng mellom trykk p , temperatur T , tetthet ρ (ert volum V ; $\rho = N/V$; N = antall partikler) og andre "termiske størrelser" (varme Q , entropi S etc)
- faselikevekter, faseoverganger

- gammel men god: "Klassisk termodynamikk overlever alt!" (fritt etter Einstein) Kompatibel med Newton-mekanikk, Maxwells ligninger, Relativitetsteori og Kvantemekanikk.
- bygger på 2 (evt. 4) lover (postulater, hovedsetninger):
 1. Varme er en form for energi(-transport)
 2. Det er visse begrensninger på omsetting av varme til arbeid.

Kinetisk gassteori

- teori basert på atomenes/molekylenees bevegelse
- gir mikroskopisk mekanisk forståelse av trykk og temperatur
- OK for fortynnede gasser (sjeldne partikkelkollisjoner)
- grunnlag for mikroskopisk forståelse av transportfenomener

Varmetransport

- varmeledning: energitransport i medier pga temperaturforskjeller ($\nabla T \neq 0$)
 - varmestraling (svart straling): utsendt energi fra legeme med temp. T
- [• konveksjon: varmetransport pga strømning]

Diffusjon

- partikkeltransport pga konsentrasjonsforskjeller ($\nabla \rho \neq 0$)

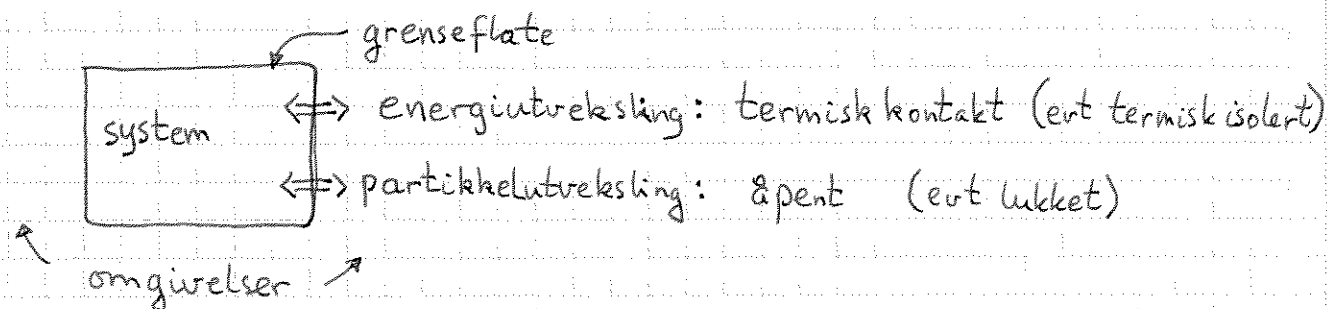
17.01.13

PCH

(3)

1. Grunnbegreper (terminologi) [LHL 13, YF 17, 18]

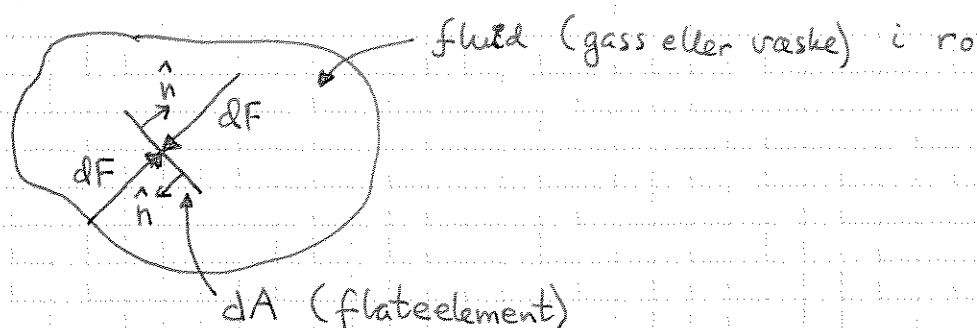
1.1 System og omgivelser



Eks: Lukket termos: termisk isolert, lukket

Kaffekopp: termisk kontakt, åpent

Trykk [LL 7.2, 8.1-8.4, YF 11.4, 12.2-12.3]



$$p \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dF}{dA} = \text{kraft pr flateenhet} = \text{trykket i fluidet}$$

skalar størrelse; isotrop (dvs uavh. av orientering av dA)

$$(\text{vektorform: } d\vec{F} = -p d\vec{A} = -p \hat{n} dA)$$

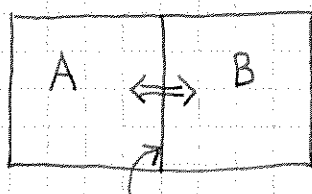
Enhet, SI: $[p] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (pascal)

$$\text{Andre enheter: } 1 \text{ atm} = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar}$$

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

$$1 \text{ psi} = 1 \underbrace{\text{pund}}_{0.454 \text{ kg}} \text{ pr } \underbrace{\text{kvadrattomme}}_{25.4 \text{ mm}} = 6.9 \text{ kPa}$$

1.2 Temperatur og termisk likevekt [LHL 13.1, YF 17.1]



termisk kontakt

A og B er i termisk likevekt dersom ingen energistrøm mellom dem. A og B har da lik temperatur, $T_A = T_B$

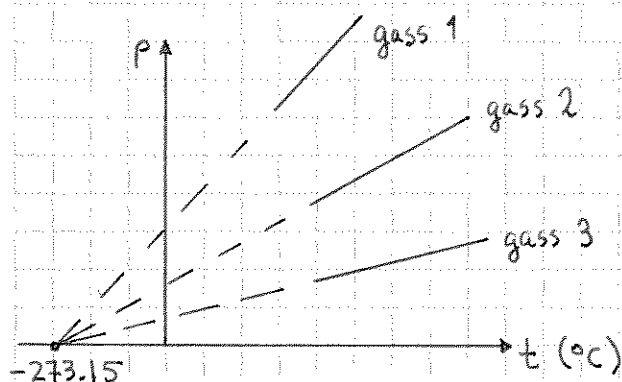
0. hovedsetning: Hvis A og C er i term. likevekt, og B og C er i term. likevekt, er også A og B i term. likevekt, og da er $T_A = T_B = T_C$.

Måler T via andre fysiske størrelser, som gassstrykk, væskerolum, lengde av fast stoff, ~~elektrisk~~ elektrisk motstand etc.

Anta at vi har en temp.måler (dvs termometer) og en trykkmåler (barometer), og velger

$$\left. \begin{array}{l} t_f \equiv t(\text{H}_2\text{O fryser ved 1 atm}) = 0^\circ\text{C} \\ \text{og } t_k \equiv t(\text{H}_2\text{O koker ved 1 atm}) = 100^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{à la Celsius} \\ (\text{von Linné, Størmer}) \end{array}$$

Måling av $p(t)$ for ulike fortynnede gasser gir da:



Dvs: p prop. med t , og ekstrapolert $p(t)$ gir $p(-273.15^\circ\text{C}) = 0$ for alle gassene.

$$\Rightarrow p(t) = A \cdot (t + 273.15) = A \cdot T$$

med absolutt temperatur

$$T = t + 273.15 \text{ K (kelvin)}$$

Referansepunkt fra 1954: vannets trippelpunkt (p_t, T_t) , der is, vann og vanddamp er i termisk likevekt. Inntrerffer ved trykk $p_t = 612 \text{ Pa} = 0.0063 \text{ atm}$ og $T_t = 273.16 \text{ K}$.

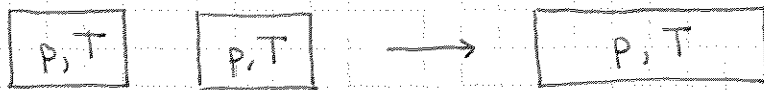
1.3 Tilstandsvariable og tilstandsligninger [LHL 13.3, VF 18.1] ⁵

Makroskopisk system i likevekt er i en tilstand beskrevet ved (noen få) tilstandsvariable, f.eks. p (trykk), T (temp), V (volum), ρ (tetthet; $\rho = N/V$) etc.

Ekstensiv variable: proporsjonale med mengden materie



Intensiv variable: uavhengige av mengden materie



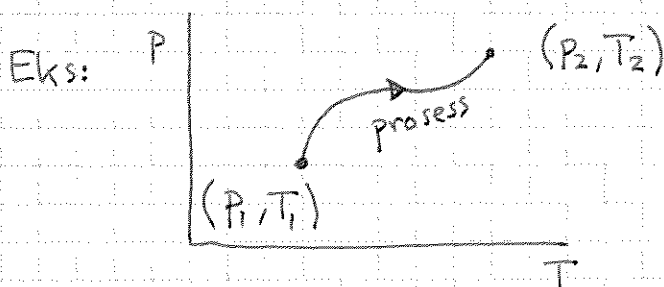
Tilstandsligning = sammenheng mellom tilstandsvariable:

$$f(p, V, T) = 0 \quad (\text{"implisitt funksjon"})$$

Gir p når V, T er kjent, osv:

$$p = p(V, T), \quad V = V(T, p), \quad T = T(V, p)$$

Prosess = endring i tilstandsvariable



1.4 Ideell gass [LHL 13.3, YF 18.1]

⑥

God tilnærming for fortynnede gasser:

$$pV = nRT$$

Tilslign. for (klassisk) ideell gass
[Utleides i forb. med kinetisk teori]

Her er:

n = antall mol ($1 \text{ mol} = 6.022 \cdot 10^{23}$ partikler)

$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ = gasskonstanten

Alternativt:

$$pV = NkT$$

$N = n \cdot N_A$ = antall partikler

$N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ = Avogadros tall

$k = R/N_A = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ = Boltzmanns konstant

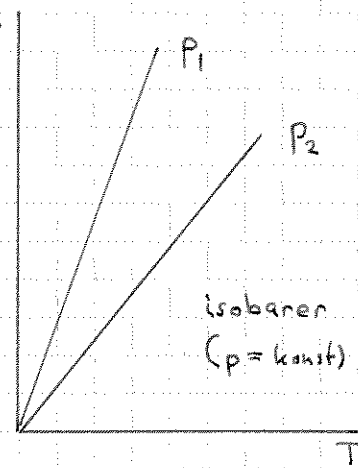
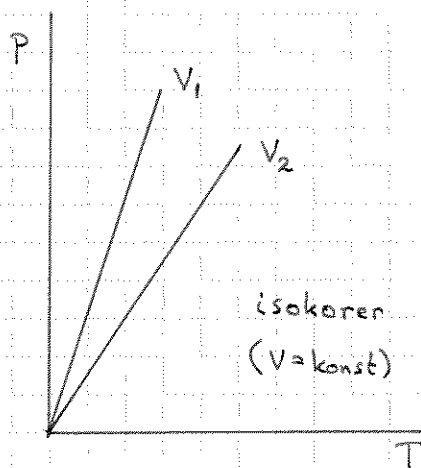
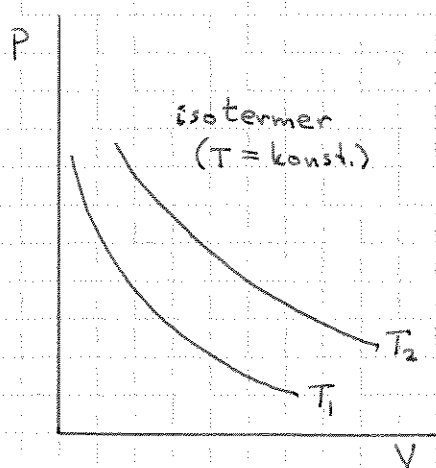
$$p = \rho kT$$

$\rho = N/V$ = (antalls-) tetthet

$$\beta p = \rho$$

$$\beta = (kT)^{-1}$$

Grafiske framstillinger (alle med $n = \text{konst.}$):



1.5 Diverse målbare koeffisienter [LHL 13.2, YF 17.4]

typisk: $\Delta x / \Delta y$ med $z = \text{konstant}$

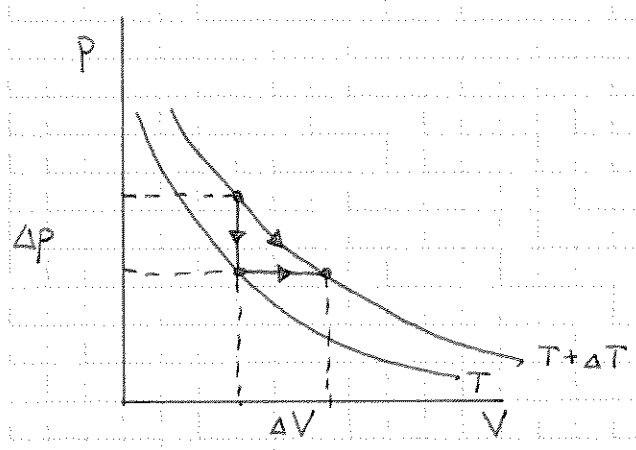
Volumutvidelseskoeffisient: $\alpha_V = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta V / V}{\Delta T} \right)_{p=\text{konst.}} = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$

Lineær utvid.koeff: $\alpha_L = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{3} \alpha_V$ (da $V=L^3$, $L=V^{1/3}$)
(kun for faste stoffer)

Trykk-koeffisient: $\alpha_p = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$

Isoterm kompressibilitet: $\beta_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T = \frac{1}{B}$ (B=bulk-modulen)

For ideell gass: $\alpha_V = 1/T$, $\alpha_p = 1/T$, $\beta_T = 1/p$
 $\Rightarrow \alpha_V = p \alpha_p \beta_T$



Fra definisjonene ovenfor:
 $-\Delta p = p \alpha_p \Delta T$ (her: $\Delta p < 0$)
 $\Delta V = V \alpha_V \Delta T$
 $\Delta p = -\Delta V / V \beta_T$ (langs isotermer)

Fra de to første: $-\Delta p / \Delta V = p \alpha_p / V \alpha_V$
 Fra den tredje: $-\Delta p / \Delta V = 1 / V \beta_T$
 $\Rightarrow p \alpha_p \beta_T = \alpha_V$,
 som dermed gjelder generelt!

Merk: måling av disse koeffisientene omkring et valgt referansepunkt fastlegger tilstandsligningen for et gitt stoff eksperimentelt