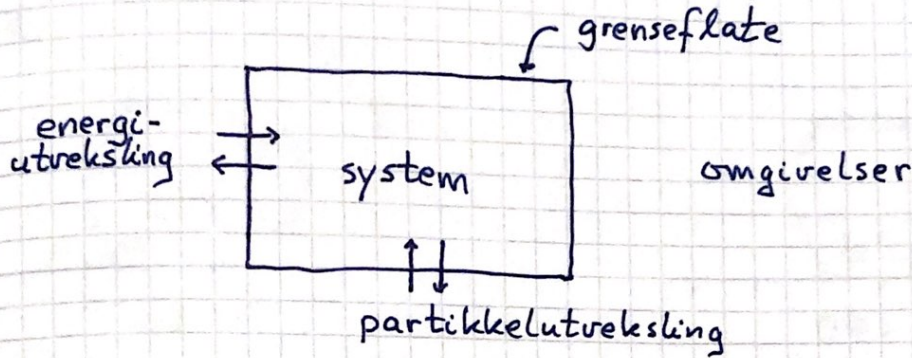


PCH

①

1. Grunnbegreper [LHL 13 ; YF 17,18]

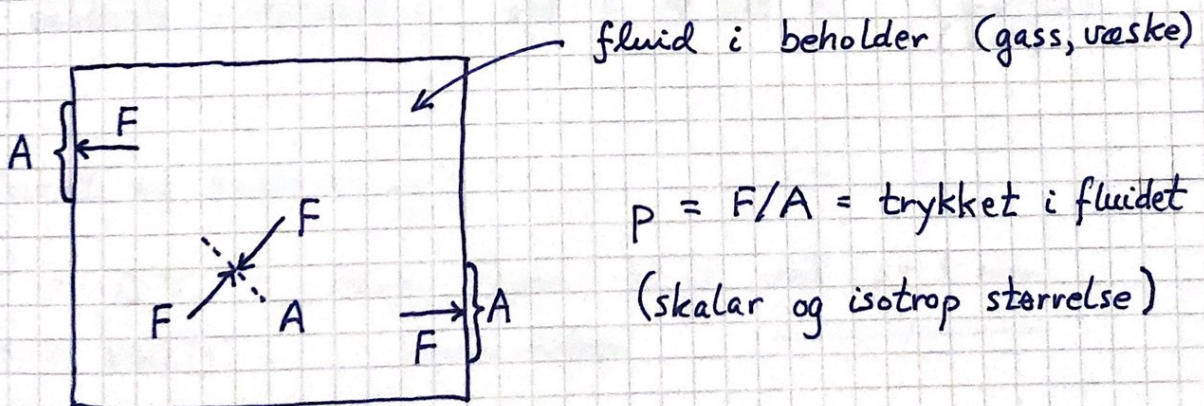
1.1 System og omgivelser



Ekse:

| | | Energiutveksling (varme, arbeid) | |
|--------------------------|--------|----------------------------------|---------|
| | | Kontakt | Isolert |
| Partikkel- utveksling | Åpen | Kaffekopp | — |
| | Lukket | En pose tørrgjær | Termos |

Trykk [TFY4163 ; LL 7,8 ; YF 11,12]



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

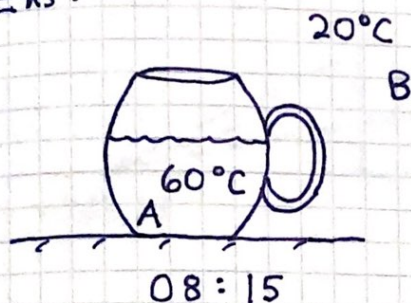
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} ; 1 \text{ atm} \approx 1.01325 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar}$$

$$1 \text{ psi} = \text{vekt av 1 pund (0.454 kg) pr kvadrattomme (1 in = 25.4 mm)}$$

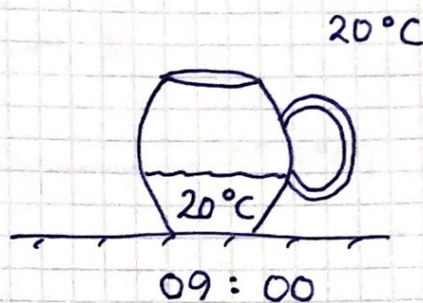
1.2 Temperatur. Termisk likevekt [LHL13.1; YF17.1] (2)

Termisk likevekt dersom ingen netto strøm av varmeenergi mellom to systemer i termisk kontakt.

Eks:



Ikke termisk likevekt
(mellom kaffe og omgivelsene)



Termisk likevekt
mellom A og B når
 $T_A = T_B$; lik temperatur

Måler T med termometer, via andre fysiske størrelser:

- væskevolum : økt $T \Rightarrow$ økt volum (nesten alltid)
- gasstrykk : økt $T \Rightarrow$ økt p
- lengde av fast stoff : økt $T \Rightarrow$ økt L
- elektrisk motstand : økt $T \Rightarrow$ økt R (metall)
(Lab)

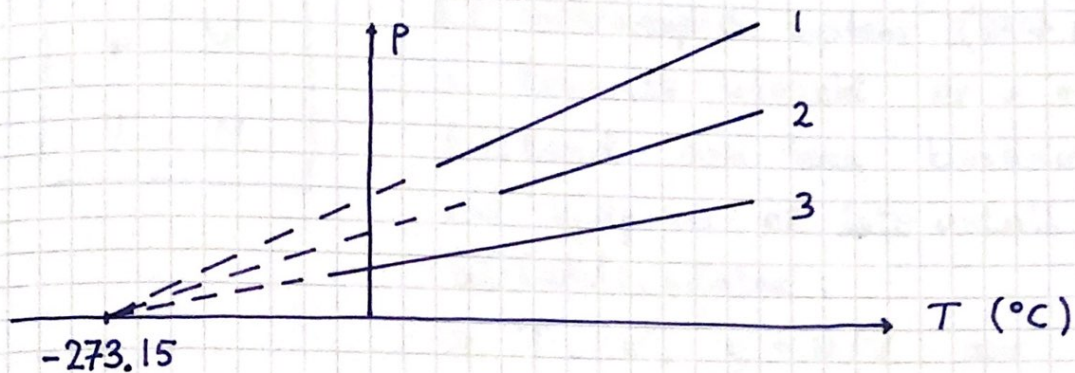
Enhet og kalibrering:

$T = 0^\circ\text{C}$: vann fryser til is ved $p = 1\text{ atm}$

$T = 100^\circ\text{C}$: vann koker ——— " ———

Trykk p vs temp. T for ulike gasser med lav tetthet :

③



Dvs: Lineære $p(T)$ som ekstrapolert til $p=0$
alle gir $T = -273.15^\circ\text{C}$

Absolutt temperatur og kelvinskala :

$T = 0\text{ K (kelvin)}$ tilsvarer -273.15°C

$\Delta T = 1\text{ K}$ — " — $\Delta T = 1^\circ\text{C}$

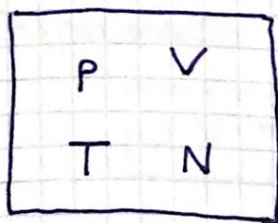
Dermed: Ved $p = 1\text{ atm}$ fryser vann ved 273.15 K
og koker ved 373.15 K

Referanse (definisjon) 1954 - 2019 :

$1\text{ K} = \frac{1}{273.16}$ av temp. til vannets trippelpunkt,
der is, vann og vanndamp er i termisk likevekt
med hverandre. Dvs $T_t \stackrel{\text{def}}{=} 273.16\text{ K} = 0.01^\circ\text{C}$,
og $p_t = 611.657\text{ Pa}$.

Fra 20.05.2019: 1 K defineres med utgangspunkt
i eksakt tallverdi for Boltzmanns konstant,
 $k_B \equiv 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$

1.3 Tilstandsvariable og -ligninger [LHL 13.3; YF 18.1] (4)



Et makroskopisk system ($N \gg 1$) i termisk likevekt er i en tilstand som kan beskrives ved hjelp av et lite antall tilstandsvariable:

$$P, T, V, g = N/V \text{ osv}$$

Mengdeproporsjonale variable kalles ekstensive:

$$\boxed{V} + \boxed{V} = \boxed{2V}$$

Mengdeuavhengige variable kalles intensive:

$$\boxed{P, T} + \boxed{P, T} = \boxed{P, T}$$

Tilstandsligninger angir sammenheng mellom tilstandsvariable. For gitt stoffmengde (N) er som regel 2 av de 3 variable P , V og T nok for å spesifisere systemets tilstand. Dvs

$$V = V(P, T) \text{ ert } P = P(V, T) \text{ ert } T = T(P, V)$$

$$\text{Generelt: } f(P, V, T) = 0$$

Systemet gjennomgår en termodynamisk prosess når tilstandsvariablene endres:



1.4 Ideell gass

[LHL 13.3 ; YF 18.1]

(5)

Eksperimenter med gasser med lav tetthet oppfyller

$$\boxed{pV = nRT}$$

Tilst.lign. for ideell gass

n = antall mol (stoffmengden) ; $1 \text{ mol} \approx 6.02 \cdot 10^{23}$ molekyler

$R \approx 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ = (den molare ; evt. den universelle) gasskonstanten

$n \text{ mol} \hat{=} N = n \cdot N_A$ molekyler

$N_A \equiv 6.022 140 76 \text{ mol}^{-1}$ = Avogadros konstant

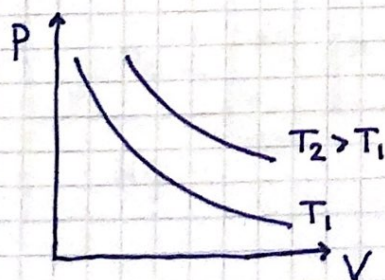
$$\Rightarrow pV = \frac{N}{N_A} RT = N k_B T$$

$$k_B = R / N_A \approx 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad (\text{se s. 3})$$

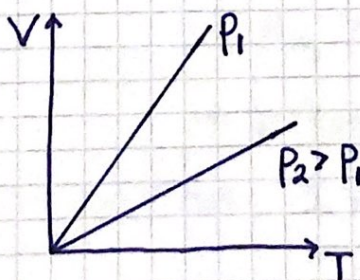
Evt: $p = \frac{N}{V} k_B T = g k_B T$; $g = \frac{N}{V}$ = partikkeltetthet (m^{-3})

Evt: $g = p / k_B T = \beta \cdot p$; $\beta = 1 / k_B T$

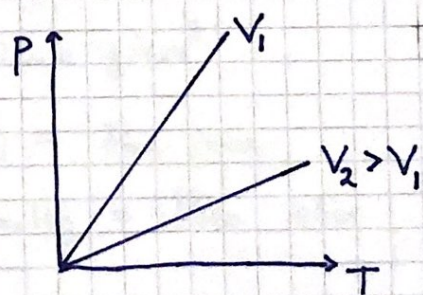
Kurver med en variabel holdt konstant :



Isotermes,
 $T = \text{konst.}$



Isobarer,
 $p = \text{konst.}$

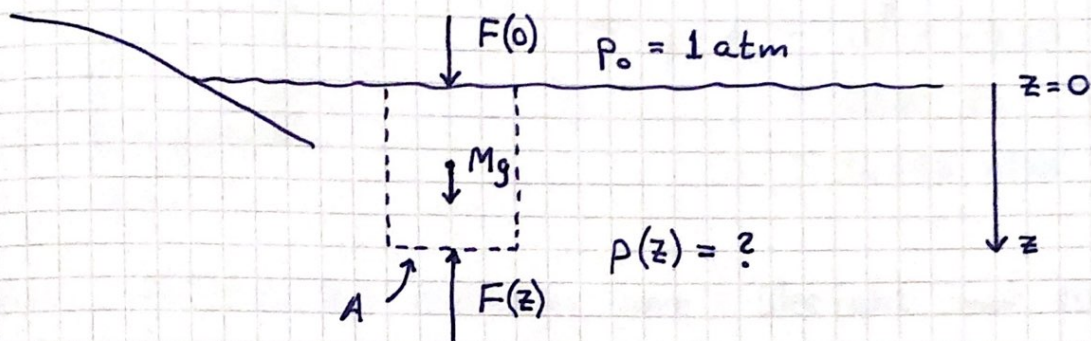


Isokorer,
 $V = \text{konst.}$

Eksempler, fluider i tyngdefeltet:
(delvis kjent fra TFY 4163)

⑥

Ekst 1: Trykkøkning i vann



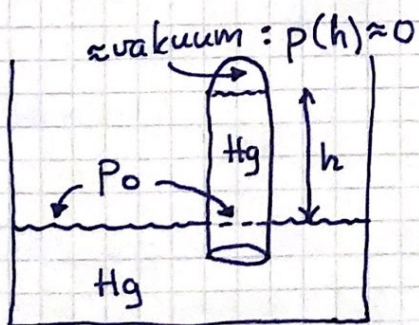
$$\text{Newtons 1. lov} \Rightarrow F(0) + Mg = F(z)$$
$$p_0 A + \mu A z g = p(z) A$$

$$\Rightarrow \underline{p(z) = p_0 + \mu g z}$$

$$\mu = 1000 \text{ kg/m}^3, \quad g \approx 10 \text{ m/s}^2, \quad p_0 = 10^5 \text{ Pa}$$

$\Rightarrow p$ øker med 1 atm for hver 10. meters dybde

Kirikkspørbarometer:



$$p_0 = \mu_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h$$

$$\mu_{\text{Hg}} = 13.6 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow h(1 \text{ atm}) = 760 \text{ mm}$$

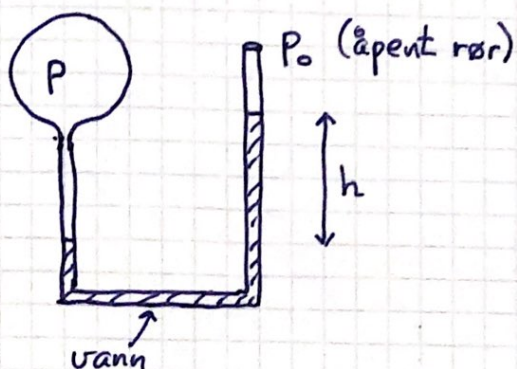
$$\text{dvs: } 1 \text{ mm Hg} = 1/760 \text{ atm}$$

Med vann: $h(1 \text{ atm}) \approx 10 \text{ m}$

(= max høydeforskjell for pumping av vann med sugepumpe)

Eks 2: Oppblåst ballong

⑦



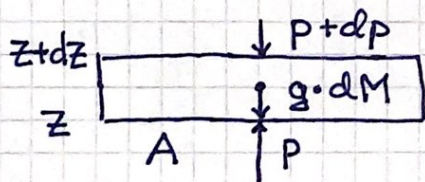
Typisk er $h \sim 25 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \Rightarrow p - p_0 &\sim 10^3 \cdot 10 \cdot 0.25 \text{ Pa} \\ &= 2500 \text{ Pa} \\ &\approx 0.025 \text{ atm} \end{aligned}$$

Spm: Hvordan kan ballongen være i likevekt med større trykk inni enn utenfor?

Eks 3: Trykkvariasjon oppover i atmosfæren

Ser på tynt (infinitesimalt) volumelement:



$$\begin{aligned} \text{N1} \Rightarrow (p + dp)A + g\mu A dz &= p \cdot A \\ \Rightarrow dp &= -\mu g dz \end{aligned}$$

Antar ideell gass, $pV = nRT$, slik at

$$\mu = \frac{n \cdot m}{V} = \frac{p \cdot m}{RT}; \quad m = \text{midlere molare masse}$$

Dermed:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{mg}{RT} dz$$

Integrasjon fra bakkenivå $z=0$, med $p(0) = p_0 = 1 \text{ atm}$ (her på jorda) til høyde z gir

$$p(z) = p_0 \exp\left\{-\int_0^z \frac{mg}{RT} dz\right\}$$

Øving 1

Med konst. $T = 260 \text{ K}$ og $m = 29 \text{ g/mol}$ (luft):

$$p(z) = p_0 \exp(-z/H); \quad H = RT/mg \approx 7.6 \text{ km}$$