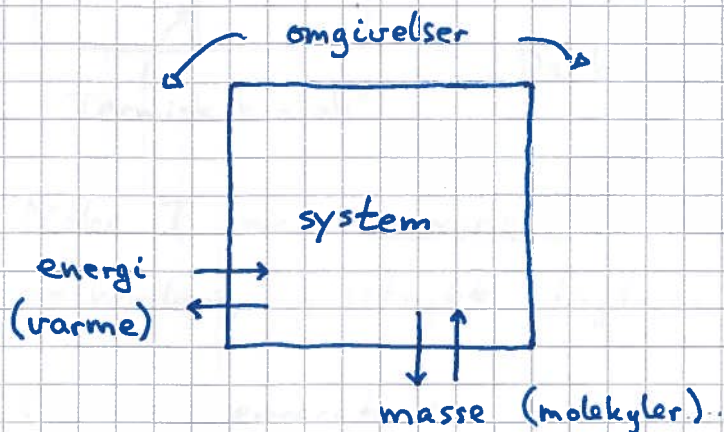


System og omgivelser

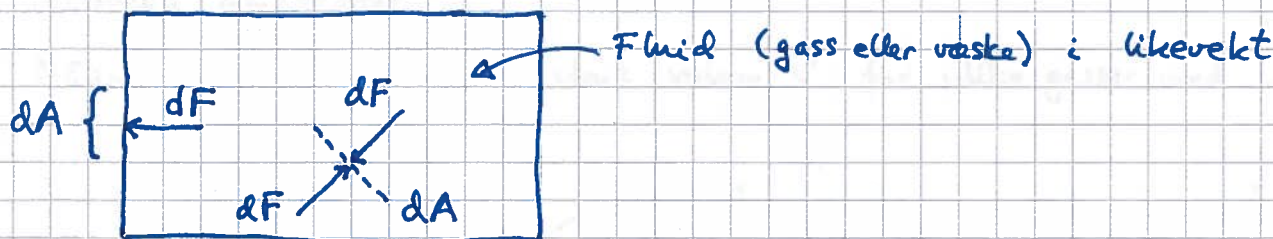


Systemet kan utveksle energi og masse med omgivelsene.

Eks: Kaffekopp er i termisk og materiell kontakt med omgivelsene.

God termos er termisk isolert og materielt lukket.

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



$p = dF/dA =$ trykket i fluidet ; skalar og isotrop



$d\vec{F} = -p d\vec{A} = -p dA \hat{n}$

Enheter: $[p] = N/m^2 = Pa$ (pascal)

1 bar = $10^5 Pa$

1 atm $\approx 1.01325 \cdot 10^5 Pa \approx 1 bar =$ normalt lufttrykk

1 psi = pound pr square inch

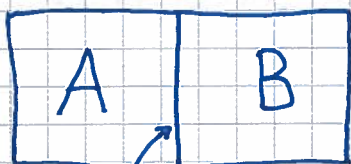
$= 0.454 kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} / (25.4 \cdot 10^{-3} m)^2 \approx 6.9 kPa$

Lufttrykket p er summen av partialtrykkene til de ulike gassene :

$P = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{H_2O} + \dots$

Temperatur og termisk likevekt [YF 17.1; LHL 13.1]

(90)



Termisk kontakt

Hvis netto energistrøm mellom A og B er null, er A og B i termisk likevekt.

Da har A og B samme temperatur, $T_A = T_B$.

Måler T med termometer. Endring i $T \Rightarrow$ endring i f.eks. vaskerolum, gasstrykke, lengde av tynn stang, elektrisk motstand, ...

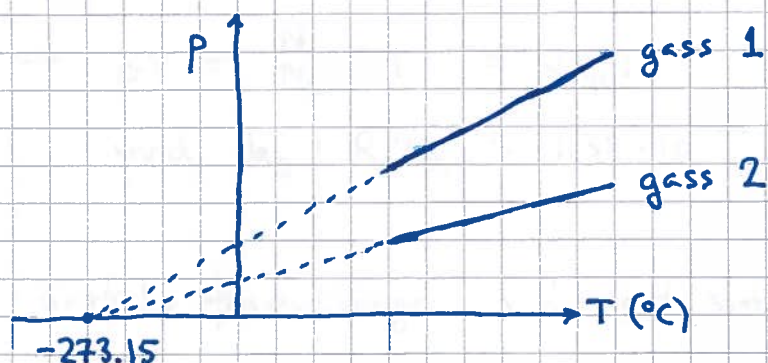
Celsius-temperatur:

$T = 0^\circ\text{C}$ når H_2O fryser ved $p = 1 \text{ atm}$.

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

Absolutt temperatur:

Måling av $p(T)$ med konstant volum V for ulike gasser med lav tetthet:



- p øker lineært med T
- Ekstrapolering (----) til $p = 0$ gir $T = -273.15^\circ\text{C}$ for alle gassene

\Rightarrow Naturlig å innføre absolutt temperatur:

$$T = 0 \text{ K} \hat{=} -273.15^\circ\text{C} ; \Delta T = 1 \text{ K} \hat{=} \Delta T = 1^\circ\text{C}$$

Standardreferanse siden 1954:

Trippelpunktet for H_2O , dvs der is, vann og damp er i

samtidig likevekt: $T_t = 273.16 \text{ K} = 0.01^\circ\text{C}$, med

dampstrykke (= partialtrykket til H_2O) $p_t = 612 \text{ Pa}$.

Tilstandsligning for ideell gass [YF 18.1 ; LHL 13.3]

(91)

Ekspirimeter med gasser med lav tetthet gir

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

Ideell gasslov

Tilstandsvariable:

$p = \text{trykk}$ ($\text{Pa} = \text{N/m}^2 = \text{J/m}^3$)

$V = \text{volum}$ (m^3)

$T = \text{temperatur}$ (K)

$n = \text{stoffmengde}$ (mol)

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

$1 \text{ mol} \approx 6.022 \cdot 10^{23} \text{ molekyl}$

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

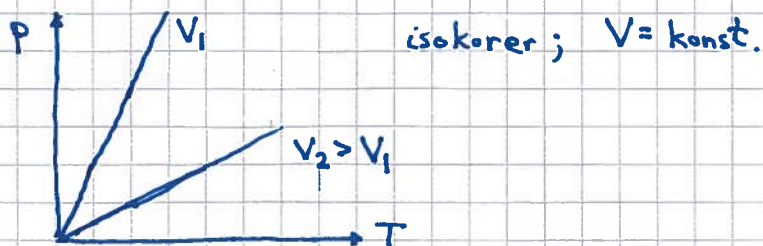
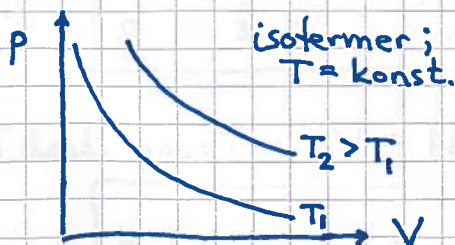
\Rightarrow # molekyl i n mol : $N = n \cdot N_A$

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

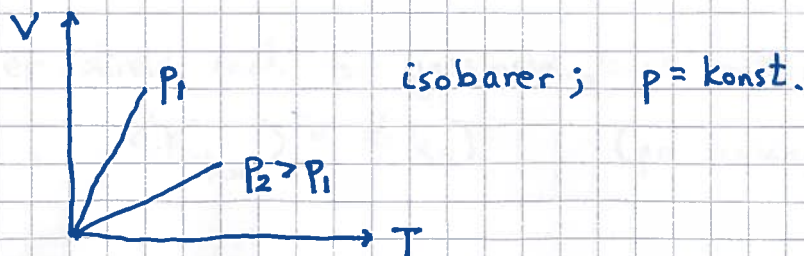
med $k_B = R/N_A \approx 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ (Boltzmanns konstant)

Grafiske framstillinger (for gitt stoffmengde n):

$$p(V, T) = nRT/V$$

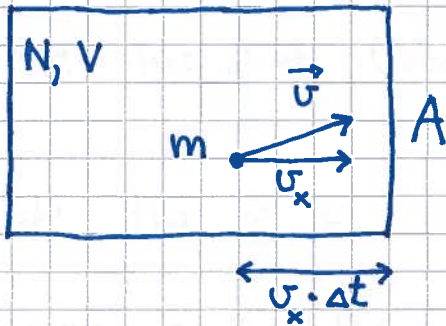


$$V(p, T) = nRT/p$$



Mikroskopisk tolkning av p og T i gass [YF 18.3; LHL 14.1] (92)

Anta lav tetthet, isotrope (retningsuavhengige) forhold, og elastiske kollisjoner mot beholderens vegg.



ΔP_x = impuls overført fra molekylene til vegg (areal A) i løpet av tid Δt

$$\Delta P_x = \underbrace{2 m u_x}_{\text{overført impuls pr molekyl}} \cdot \underbrace{\frac{N}{2}}_{\text{\# molekylene med } u_x > 0} \cdot \underbrace{\frac{A \cdot u_x \Delta t}{V}}_{\text{andel av molekylene som treffer høyre vegg i løpet av } \Delta t}$$

$N/2$ ($F_x = \Delta P_x / \Delta t$) gir nå gasstrykket:

$$p = F_x / A = (N/V) \cdot m u_x^2$$

Må ta hensyn til at molekylene har isotrop fordeling av hastigheter:
 $u_x^2 \rightarrow \langle u_x^2 \rangle = \langle u^2 \rangle / 3$ (siden $\langle u^2 \rangle = \langle u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 \rangle = 3 \langle u_x^2 \rangle$)

(der $\langle \dots \rangle$ angir middelværdi for de N molekylene)

Midlere translasjonsenergi pr molekyl: $\langle K_{\text{trans}} \rangle = \frac{1}{2} m \langle u^2 \rangle$

$$\Rightarrow \boxed{p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \langle K_{\text{trans}} \rangle}$$

Ideell gass: $pV = Nk_B T$

$$\Rightarrow \boxed{k_B T = \frac{2}{3} \langle K_{\text{trans}} \rangle}$$

ders: Abs. temp. T er direkte mål for gassmolekylene's midlere translasjonsenergi, $\langle K_{\text{trans}} \rangle = \frac{3}{2} k_B T$ (pr molekyl)

Midlere hastigheter:

$$\langle v_x \rangle = \langle v_y \rangle = \langle v_z \rangle = 0 \quad \text{pga symmetri} \quad (\Rightarrow \langle \vec{v} \rangle = 0)$$

$$\langle v^2 \rangle = 3k_B T / m$$

RMS-hastighet (Root Mean Square): $v_{\text{rms}} \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{3k_B T / m}$

Eks: Hva er v_{rms} for CO_2 -molekylene i luft ved 300 K?

$$\text{Løsn: } m = (12 + 2 \cdot 16) \cdot 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 7.3 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\Rightarrow v_{\text{rms}} = \sqrt{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 / 7.3 \cdot 10^{-26}} \text{ m/s} \approx \underline{\underline{412 \text{ m/s}}}$$

Termodynamiske koeffisienter [YF 17.4; LHL 13.2]

Lineær utvidelseskoeff. for fast stoff:

$$\alpha = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left\{ \frac{\Delta L / L}{\Delta T} \right\}_{p=\text{konst}} = \frac{1}{L} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_p$$

$$\text{Eks: } \alpha = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \approx 12 \mu\text{m} / \text{K} \cdot \text{m} \text{ for stål}$$

\Rightarrow 100 m lang jernbaneskinne blir 4.8 cm lenger $\uparrow/20^\circ\text{C}$ enn $\uparrow/-20^\circ\text{C}$

\Rightarrow må legges med mellomrom for å unngå sødelyng

Volumutvidelseskoeff:

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p ; \quad \beta = 3\alpha \text{ for fast stoff, fordi } V = L^3$$

$$\text{Eks: } \beta < 0 \text{ for vann mellom } 0^\circ\text{C og } 4^\circ\text{C}$$

\Rightarrow litt større masse tetthet ved 4°C enn ved 0°C

\Rightarrow innsjøer bunnfryser (som regel) ikke \Rightarrow fisken overlever

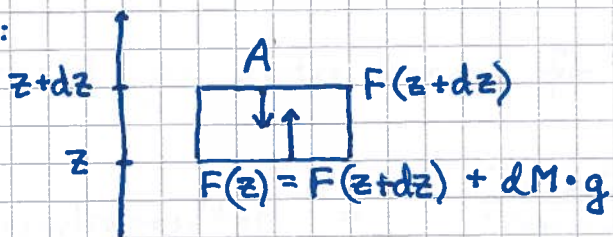
Isoterm kompressibilitet: $\kappa = -(1/V) (\partial V / \partial p)_T$

Trykk - koeffisient: $\gamma = (1/p) (\partial p / \partial T)_V$

Eks: Hvordan varierer trykket med høyden over bakken?

(Når vi antar g og T konstant.)

Løsn:



$dM = \rho \, dV = \rho A \, dz =$
 massen til lufta i volum dV ;
 $\rho =$ luftas massetetthet

Dvs: Tyngden av dM gir trykkendringen,

$$dF = dp \cdot A = -dM \cdot g = -\rho A \, dz \cdot g \Rightarrow dp = -\rho g \, dz$$

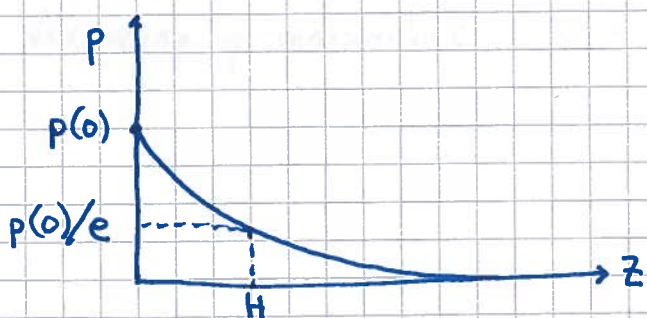
$$\rho = \langle m \rangle \cdot N/V; \quad \langle m \rangle \approx 29 \text{ g/mol} \approx 4.8 \cdot 10^{-26} \text{ kg pr molekyl}$$

$$pV = Nk_B T \Rightarrow N/V = p/k_B T \Rightarrow \rho = \langle m \rangle p/k_B T$$

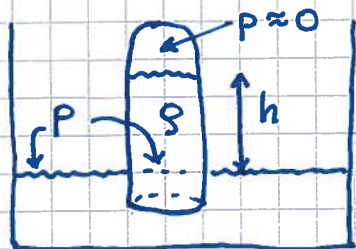
$$\Rightarrow dp = -\langle m \rangle p g \, dz / k_B T$$

$$\Rightarrow \int_{p(0)}^{p(z)} \frac{dp}{p} = \int_0^z \left(-\frac{\langle m \rangle g}{k_B T} \right) dz$$

$$\Rightarrow p(z) = p(0) e^{-z/H} \quad \text{med} \quad H = \frac{k_B T}{\langle m \rangle g} \approx 7.6 \text{ km ved } 260 \text{ K}$$



Barometer:



$$p = \rho g h \Rightarrow h = p / \rho g$$

$$\text{Hg (kvikksølv): } \rho = 13.6 \text{ g/cm}^3$$

$$\Rightarrow p = 1 \text{ atm} \hat{=} h = 760 \text{ mm Hg}$$

$$\text{Vann: } \rho = 1 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow 1 \text{ atm} \hat{=} 10.3 \text{ m H}_2\text{O}$$