

Termodynamik

Handlar om energioverföring mellan ett system och dess omgivning och dess konsekvenser för ändring av temperatur och andra tillståndsvariabler.

Makroskopisk termodynamik: relationer mellan tryck, volym och temp.

Mikroskopisk — — — — — : behandlar gasen som en samling partiklar.

centralt begrepp: TEMPERATUR T (K) t ($^{\circ}\text{C}$)

TVÅ kroppar som är i termisk kontakt med varandra får samma temperatur. Det uppstår termisk jämvikt dvs ingen energi utbyts mellan systemen vare sig i form av värme eller elektromagnetisk strålning.

Skilj på VÄRME och TEMPERATUR!
(J) (K)

Termodynamikens nollte huvudsats:

① ② ③

Om A är i termisk jämvikt med B och B är i termisk jämvikt med C så är A i termisk jämvikt med C.

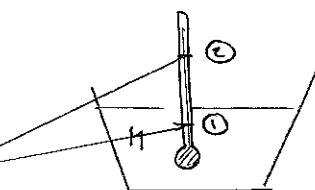
①—② och ②—③ $\Rightarrow$ ①—③.

Tillverka en Celsius-termometer!

Referenspunkter

1) t_f = smältande H_2O

2) t_k = kokande vatten



Bygger på termisk utvidgning.

Delar in intervallet mellan ① o ② i 100 lika stora delar.

Nackdelar med att använda H_2O som H_2 är en ideal gas.

i) definition av referenspunkterna

ii) bryt på linjäritet.

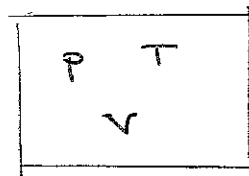
②

Gastermometern : gas är med fördel en ädelgas ex. He

p = trycket (N/m^2)

T = temperaturen (K)

V = volymen (m^3)



gasbehållare

Håll gasens (dvs gasbehållarens) temperatur konstant och studera sambandet mellan tryck och volym.

Man finner då : $pV = \text{konstant}$.

konst är proportionell mot temperaturen

Gör experimentet vid två referens temp T_0 och T_1

T_0 : smältande is $p_0 V_0 = c \cdot T_0$

T_1 : kokande vatten $p_1 V_1 = c \cdot T_1 = c(T_0 + 100)$

$$\Rightarrow T_0 = \frac{100 p_0 V_0}{p_1 V_1 + p_0 V_0}$$

experimentellt : $T_0 = 273,15 K$

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15 \approx t + 273$$

En bättre referenspunkt är vattnets trippelpunkt dvs den kombination av tryck och temperatur där jämvikt råder mellan de tre faserna gas, vätska och fast.

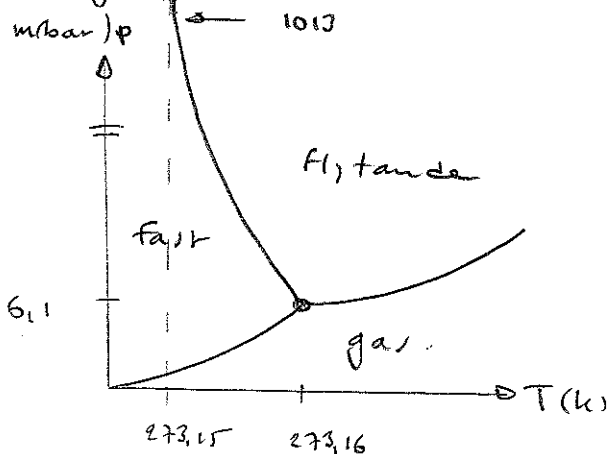
$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 N/m^2 = 10^5 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr} = 760 \text{ mm Hg}$$

Trippelpunkten ligger vid

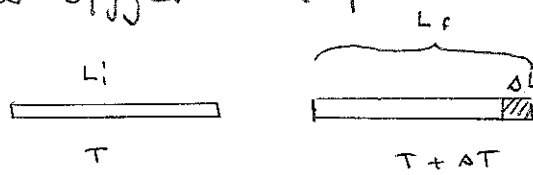
$$p = 6,1 \text{ mbar} \text{ och } T = 273,16 K$$

$$\approx \frac{6}{1000} \text{ atm}$$



Termisk utvidgning:

Termometrar bygger ofta på termisk utvidgning.



$$\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta T$$

$$L_f = L_i + \Delta L =$$

$$= L_i + \alpha L_i \Delta T \approx$$

$$= L_i (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

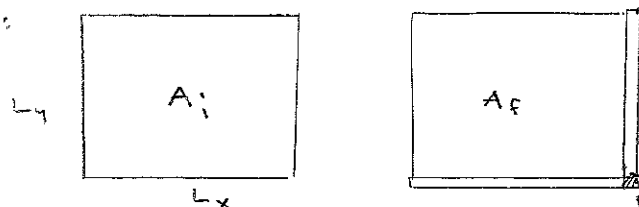
$$\alpha \equiv \frac{1}{L_i} \frac{dL_i}{dT}$$

α är ofta av storleksordningen 10^{-6} K^{-1}

Med värdet $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ökar 1 km sin längd med 1 cm då $\Delta T = 1 \text{ K}$.

Trots detta är termisk utvidgning påtaglig - solkurvor, bimetall

2 dim:



$$A_i = L_x \cdot L_y$$

$$A_f = (L_x + \alpha L_x \Delta T) \cdot (L_y + \alpha L_y \Delta T) =$$

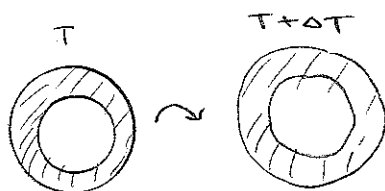
$$= L_x \cdot L_y + 2\alpha \cdot L_x \cdot L_y \cdot \Delta T + (\alpha L_x \Delta T) \cdot (\alpha L_y \Delta T) \approx$$

$$\approx A_i + (2\alpha) \cdot A_i \cdot \Delta T$$

Med $\beta \equiv 2\alpha$ för vi, $A_f \approx A_i (1 + \beta \cdot \Delta T)$

3 dim:

$$V_f \approx V_i (1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad \gamma \equiv 3\alpha$$



Termisk utvidgning är analogt med fotografisk förstoring.
Alla dimensioner ökar!

(4)

Macroscopisk beskrivning av en ideal gas.Vi såg tidigare att $pV = c \cdot T$ c finner man bero linjärt av mängden gas.Välj standardmängden till $6,022 \cdot 10^{23}$ partiklar $= N_A =$
 $=$ Avogadros tal.Om vi har N_A gaspartiklar finner man att

$$c = 8,31 \text{ J/K}$$

Vi kan nu skriva:

$$pV = nRT$$

Allmänna gaslagen
el.
Idealgaslagendär $n = \text{antal mol}$ $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = \text{allmänna gaskonstanten.}$ Allmänna gaslagen kan skrivas om, $N = \text{totalt antalet partiklar}$

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

$$= N k_B T \quad \therefore pV = N k_B T$$

$$k_B = \frac{8,31}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

eller

$$p = \frac{N}{V} k_B T$$

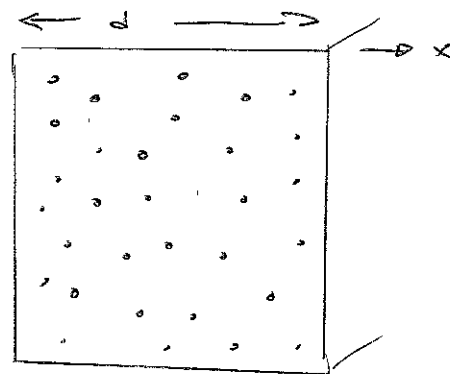
 k_B : Boltzmanns konstant

partikeltätheten

Kinetisk gasteori.

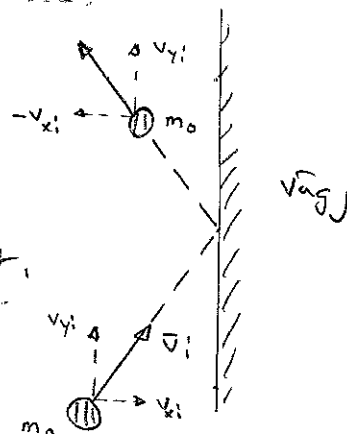
Antaganden:

- i) Stort antal molekyler som är punktformiga
- ii) Newtons lagar är tillämpliga. Rörelsen är isotrop.
- iii) Molekylerna växelverkar bara med varandra under korta kollideringstider.
- iv) Molekylerna kolliderar elastiskt med väggarna.
- v) Alla molekylerna är av samma slag.



kub
med
kant d

Betrakta en molekyl (nr 1) som rör sig mot en vägg. Det fall som illustreras här är en molekyl som rör sig i xy-planet, men värt riksnamn är allmäntligt ändr.



$$\Delta p_{xi} = -m_0 v_{xi} - (+m_0 v_{xi}) = -2m_0 v_{xi}$$

Från mekaniken vet vi att $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \Rightarrow F \cdot \Delta t = \Delta p$

$$\vec{F}_i, \text{ på molekylen} \cdot \Delta t_{i, \text{ kollision}} = \Delta p_{xi} = -2m_0 v_{xi}$$

Obs! $\vec{F}$ betyder i alla vektorer $\vec{F}$ här utan medellkraften på molekyl i under kollisionen

$\Delta t_{i, \text{ kollision}}$ = tiden som kollisionen mot väggen varar.

Tiden det tar innan nästa kollision mot samma vägg:

$$\Delta t = \frac{2d}{v_{xi}}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_i \cdot \Delta t = -2m_0 v_{xi}$$

$\vec{F}_i$ = medellkraften på molekylen från väggen under hela färderna, o.s.r.

$$\Rightarrow \vec{F}_i = \frac{-2m_0 v_{xi}}{\Delta t} = \frac{-2m_0 v_{xi}}{2d} = \frac{-m_0 v_{xi}^2}{d}$$

Medellkraften på väggen blir enl. Newtons 3:e lag

$$\vec{F}_i, \text{ på väggen} = \frac{m_0 v_{xi}^2}{d}$$

(6)

Sammanlagd kraft på väggen från samtliga N molekyler

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \frac{m_0 v_{xi}^2}{d} = \frac{m_0}{d} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2$$

N jättestort $\Rightarrow$ kraften på väggen = konstant = F

$$F = \frac{m_0}{d} \sum_{i=1}^N v_{xi}^2$$

Medelvärdet av v_x^2 ges av $\therefore \overline{v_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^N v_{xi}^2}{N}$

$$\therefore F = \frac{m_0}{d} N \overline{v_x^2}$$

Av symmetri skull $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$
 dessutom $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \quad \left. \vphantom{\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}} \right\} \Rightarrow \overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$

$$\therefore F = \frac{m_0}{d} N \left(\frac{1}{3} \overline{v^2} \right) = \frac{N}{3} \left(\frac{m_0 \overline{v^2}}{d} \right)$$

Trycket

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{d^2} = \frac{1}{3} \frac{N}{d^3} (m_0 \overline{v^2}) =$$

$$= \frac{2}{3} \left(\frac{N}{V} \right) \left(\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right) \quad \left. \vphantom{\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}} \right\} \Rightarrow$$

Dessutom har vi

$$p = \frac{N}{V} k_B T$$

$$\boxed{\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T}$$

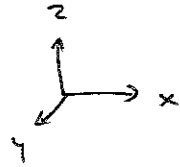
$\therefore T$ är proportionell mot den genomsnittliga rörelseenergin (translation + ev. rotation och vibration)

(7.)

Derivatum $\frac{1}{2} m_0 \overline{v_x^2} = \frac{1}{2} k_B T$

$$\frac{1}{2} m_0 \overline{v_y^2} = \frac{1}{2} k_B T$$

$$\frac{1}{2} m_0 \overline{v_z^2} = \frac{1}{2} k_B T$$



$\therefore \frac{1}{2} k_B T = \text{medelenergin per frihetsgrad.}$

Sammanlagd energi hos samtliga molekyler

$$E_{\text{total}} = N \left(\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right) = \frac{3}{2} N k_B \cdot T = \\ = \frac{3}{2} n R T$$

Den totala (inre) energin ges alltså av

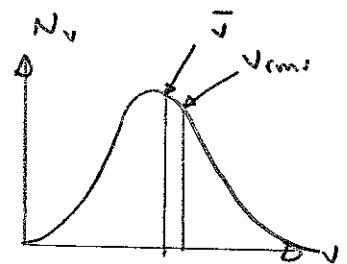
$$E_{\text{int}} = \frac{3}{2} n R T$$

Ofta betecknas den inre energin U .

$$\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T \Rightarrow \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 R T}{M_{\text{mol}}}} = v_{\text{rms}}$$

Detta värde skiljer sig från det vanliga medelvärdet som ges av

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8 k_B T}{\pi \cdot m_0}}$$



Kapitel 17.

Energ i i termodynamiska processer
1:a huvudsatsen.

I en termodynamisk process är sambandet mellan gasens värmeutbyte med omgivningen, arbete som utföras och förändring av gasens inre energi.

Inre energi E_{int} = sammanlagda rörelse- och potentiella energin hos molekylerna. Rörelse med avseende på tyngdpunkten.

Värme: en mekanism med vilken energi överförs mellan ett system och dess omgivning på grund av temperaturskillnader mellan dem.
Betecknas med Q .

Specifika värmehet eller värmekapacitet

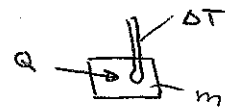
samband mellan Q och ΔT

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$c \equiv \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

ex.

	$c \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
H_2O	4186
Al	900
Bi	128
Is	2090
Au	129



Latent (gömt) värme: $Q = \pm mL$

Fasövergångar

ex. H_2O smältvärme $\text{is} \rightarrow \text{vatten}$ $3,33 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$
(heat of fusion)
ångbildningsvärme $\text{vatten} \rightarrow \text{ånga}$ $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$
(heat of vapourisation)
vaporization)