

# Varme lære

(neste 2 uker)

\* Temperatur

\* Varme

Temperatur,  
Måleenheter

Celsius

Fahrenheit (USA)

vann fryser ved  $0^{\circ}\text{C}$  } 1 atm.  
vann koker ved  $100^{\circ}\text{C}$  } trykk

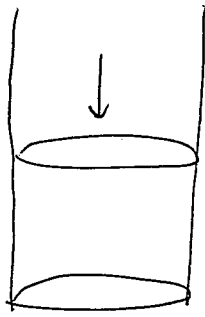
$$T(\text{Fahrenheit}) = 32 + \frac{9}{5} \cdot T(\text{Celsius})$$

Fahrenheit	Celsius
0	$-17.8^{\circ}\text{C}$
32	$0^{\circ}\text{C}$
50	$10^{\circ}\text{C}$
68	$20^{\circ}\text{C}$
98.6	$37^{\circ}\text{C}$
212	$100^{\circ}\text{C}$

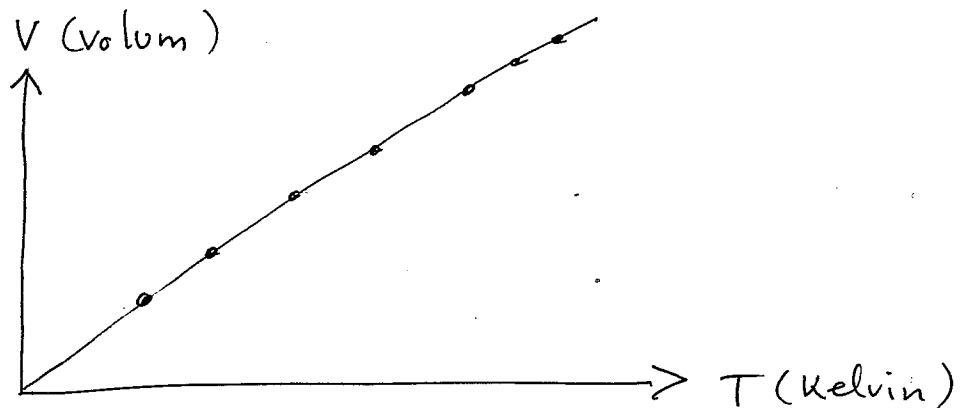
Til vitenskapelig bruk er enheten Kelvin best egnet.

$$T(\text{Kelvin}) = 273.15 + T(\text{grader Celsius})$$

$$0^{\circ}\text{C} = 273.15 \text{ Kelvin}$$



trykket holdes konstant  
mengden gass holdes uendret  
Endrer temperaturen.



Volumet er proporsjonalt til temperaturen  
 $T$  (Kelvin) (Ikke gyldig for  $T$  nær 0.)

Dette forholdet mellom  $V$  og  $T$  kan brukes  
til å definere  $T$ .

Ideell gass

$$P \cdot V = n \cdot k \cdot T$$

trykk →  $P$       volum →  $V$       antall enheter (molekyler) i gassen →  $n$       Boltzmanns konstant →  $k$       temperaturen →  $T$

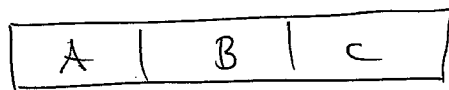
$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Ideell gass : temperaturen  $T$  er proporsjonal  
til gjennomsnittlig kinetisk energi til gassmolekylene

To systemer  $\boxed{A}$  og  $\boxed{B}$   
er i termisk likevekt hvis A og B  
har samme temperatur.

Termodynamikkens 0te lov :

Hvis A er i termisk likevekt med B og B er  
termisk likevekt med C så er A i  
termisk likevekt med C.



\* A er i termisk likevekt med B hvis og bare  
hvis B er i termisk likevekt med A  
(\* A er i termisk likevekt med seg selv.)

Lengde endring ved temperaturendring  
De fleste faste stoff utvider seg når  
temperaturen øker.

Ved små temperaturendringer er  
endringsraten  $\frac{\Delta L}{L}$  proporsjonal til  
temperaturendringen

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$$

$\alpha$  avhenger av  
materialet

$\alpha$  kalles  
lengdeutvidelses koeffisienten  
(enheten er  $K^{-1}$ )

Eks glass  $\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Cu  $\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Al  $\alpha = \underline{24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}}$

Eks En aluminiumsstang er nøyaktig 1 m lang ved  $0^\circ\text{C}$ . Hvor lang er stangen ved  $100^\circ\text{C}$ .

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 100 \text{ K}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha_{\text{AL}} \cdot \Delta T = 24 \cdot \underbrace{10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 100 \text{ K}}_{10^{-4}}$$

$$= 24 \cdot 10^{-4} = 24 \cdot 10 \cdot 10^{-4}$$

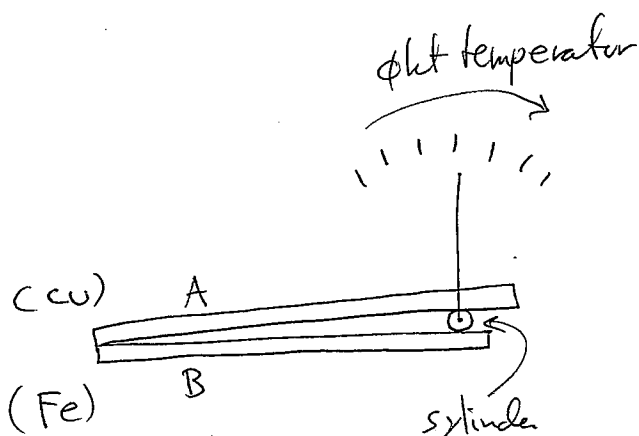
$$= 2.4 \cdot 10^{-3}$$

Lengden ved  $100^\circ\text{C}$  er

$$L + \Delta L = L \left( 1 + \frac{\Delta L}{L} \right) = 1 \text{ m} (1 + 2.4 \cdot 10^{-3})$$

$$= \underline{\underline{1.0024 \text{ m}}}$$

Stangen er blitt 2.4 mm lengre.



$$\alpha_A > \alpha_B$$

Den ulike lengdeøkningen for material A og B fører til at sylinderen venter ved temperaturendringer.

De fleste faste legemer og væsker utvider seg når temperaturen øker.

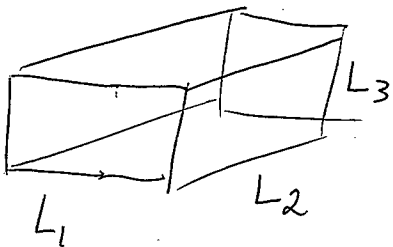
$$\Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta T$$

$\Delta V$  endring i volumet

$\gamma$  volumsutvidelses koeffisient.

Vann utvider seg ikke når  $0^\circ\text{C} < T < 4^\circ\text{C}$ ,  
det trekkes seg sammen  $\therefore \gamma < 0$ .

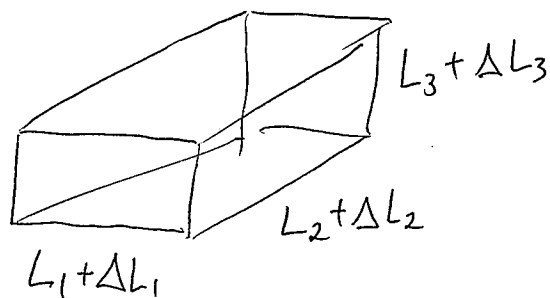
Anta at et fast legeme utvider seg like mye i alle retninger ved temperaturoending.



volumet  $V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$ .

endrer temperaturen

$$\Delta T$$



Volumendingen:  $(L_1 + \Delta L_1) \cdot (L_2 + \Delta L_2) \cdot (L_3 + \Delta L_3) - L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$

$$= \Delta L_1 (L_2 \cdot L_3) + \Delta L_2 (L_1 \cdot L_3) + \Delta L_3 (L_1 \cdot L_2) + \text{høyere ordens ledd i } \Delta L_i$$

$i = 1, 2, 3$


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

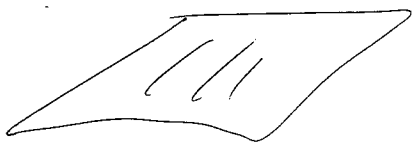
$\alpha$  lengdeutvidelseskoeffisienten.

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \underbrace{(L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 + L_2 \cdot L_1 \cdot L_3 + L_3 \cdot L_1 \cdot L_2)}_{3 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}$$

$$\Delta V = 3 \cdot \alpha \cdot V \cdot \Delta T$$

Så  $3\alpha = \gamma$

Dette gjelder for generelle legemer (ikke bare for bokser ).

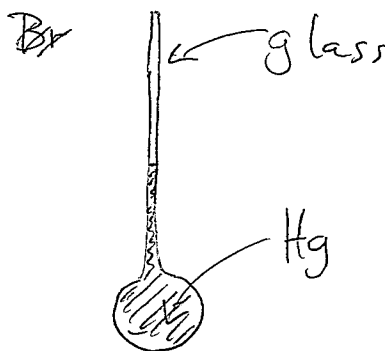


Areal  $A$  til et fast legeme formet som en plate.

$$\Delta A = \underline{2\alpha} \cdot A \cdot \Delta T$$

← Kvikksølv

Volumentvidelse brukes til å lage Hg-termometer



$$\gamma_{Hg} > \gamma_{glass}$$

Oppg 9

Massetetthet  $\rho = \frac{\text{masse}}{\text{volum}}$

Hvordan endrer  $\rho$  seg med temperaturen

$$\Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta T$$

Total masse  $m$  totalt volum (før temp. endring)  $V$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Massetettheten etter temp. endringen

$$\begin{aligned} \rho + \Delta\rho &= \frac{m}{V + \Delta V} = \frac{m}{V(1 + \frac{\Delta V}{V})} \\ &= \frac{m}{V} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta V}{V}} = \rho \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta V}{V}} \end{aligned}$$

$$\rho + \Delta\rho = \rho \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta T}$$

Geometrisk rekke:  $1 + x + x^2 + x^3 + \dots = \frac{1}{1-x}$   
når  $|x| < 1$ .

$$\begin{aligned} \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta T} &= \frac{1}{1 - (-\gamma \Delta T)} = 1 + (-\gamma \Delta T) + (-\gamma \Delta T)^2 + \dots \\ &\sim 1 - \gamma \Delta T \quad (\text{til første orden}) \\ &\text{når } |\gamma \Delta T| \ll 1 \end{aligned}$$

Vi får at

$$\begin{aligned} \rho + \Delta\rho &= \rho(1 - \gamma \Delta T) \\ &= \rho - \gamma \rho \Delta T \end{aligned}$$

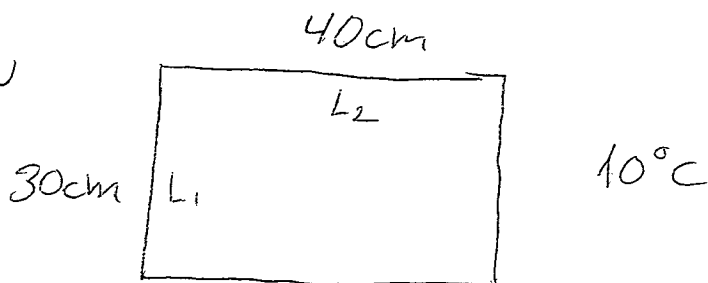
(for  $\gamma \Delta T \ll 1$ )

Så  $\Delta\rho = -\gamma \rho \Delta T$

OPPG 4

Glassvindu

$$\text{Areal} A = L_1 \cdot L_2$$



Hva er arealet til glassvinduet ved 40°C?

$\alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  lengdeutvidelseskoeffisienten.

$$\Delta A = (L_1 + \Delta L_1)(L_2 + \Delta L_2) - A$$

$$= L_1 \left(1 + \frac{\Delta L_1}{L_1}\right) \cdot L_2 \left(1 + \frac{\Delta L_2}{L_2}\right) - A$$

$$= A \left(1 + \frac{\Delta L_1}{L_1}\right) \left(1 + \frac{\Delta L_2}{L_2}\right) - A$$

$$= A(1 + \alpha \Delta T)(1 + \alpha \Delta T) - A$$

$$= A(1 + 2\alpha \Delta T + \alpha^2 (\Delta T)^2) - A$$

$$\frac{\Delta A}{A} = 2\alpha \cdot \Delta T + \alpha^2 (\Delta T)^2 \quad \leftarrow \text{veldig liten viser bort}$$

$$= 2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 30 \text{ K}$$

$$= 540 \cdot 10^{-6} = 5,4 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta A = (\cancel{0,3 \text{ m}}) (30 \text{ cm} \cdot 40 \text{ cm} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4})$$

$$= 12 \cdot 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$$

$$= (54 + 10,8) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$$

$$= \underline{\underline{(64,8) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2}} = \underline{\underline{0,648 \text{ cm}^2}}$$