

Varme transport / Varmeleding (sist gang)
 - Konveksjon
 \ (Varme) stråling

Energitransport i væsker og gass forårsaket av strømninger (av væskens/gassens) kalles konveksjon.

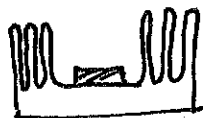
* oppvarming av vann i en kjele.

Vannet får jevn temperatur siden vannet strømmer rundt og kaldt og varmt vann blandes.

* Radiator (eksemplene er naturlig konveksjon)

* Kjøleribbe

Vifte i Pc



(tvungen konveksjon)

* vann-kjøling

Varmetransport ved konveksjon er proporsjonal til overflateareal.

Det viser seg at varmetransporten er proporsjonal

$$\text{til } (\Delta T)^{5/4} = |\Delta T| \cdot \sqrt[4]{|\Delta T|}$$

$$\Phi = \underbrace{h}_{\text{konst.}} \cdot A \cdot |\Delta T|^{5/4}$$

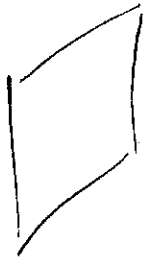
$$\Delta T = T_{\text{flaten}} - T_{\text{luft}}$$

2



Horisontal plate

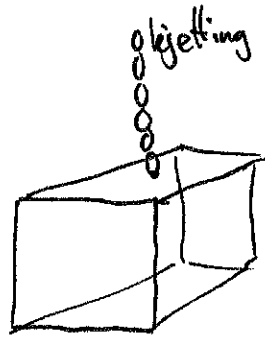
$\Delta T > 0$	oppsiden	$h = 2.5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-5/4}$
$\Delta T < 0$	— —	$h = 1.3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-5/4}$
$\Delta T < 0$	nedsiden	$h = 2.5 \text{ — —}$
$\Delta T > 0$	nedsiden	$h = 1.3 \text{ — —}$



Vertikal plate

$$h = 1.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-5/4}$$

Eksempel:



Aluminiumskube med
sider av lengde 1m.
Temperaturen til kuben
er 50°C

Romtemperaturen er 20°C .

Hva er varmetransporten forårsaket av konveksjon?

6 overflater med areal 1m^2 hver.

1 oppside horisontal 1 nedside horisontal

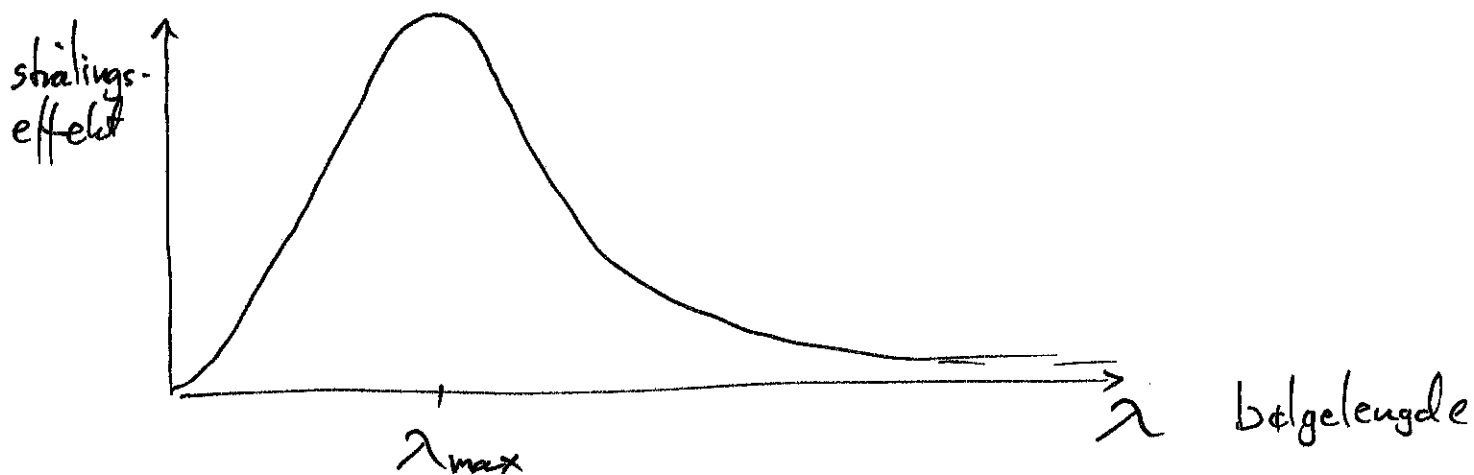
4 vertikale sider:

$$\begin{aligned} \Phi &= (2.5 + 1.3 + 4 \cdot 1.8) \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-5/4} \cdot 1\text{m}^2 \cdot (50 - 20\text{K})^{5/4} \\ &= \underline{7.6 \cdot 10^2 \text{ W}} \end{aligned}$$

3

Varmestråling

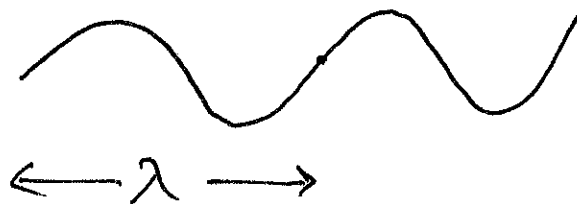
Legemer sender ut elektromagnetisk stråling



Wiens forskyvningslov

$$\lambda_{\max} = B \cdot \frac{1}{T}$$

$$B = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}^{-1}$$



$$c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Frekvenser er antall svingninger per sekund f . Enheten er Hz (Hertz) = s^{-1} .

$$\underline{f \cdot \lambda = c}$$

Energien til en el. bølge (foton) er proporsjonalt til frekvensen.

Lys er el mag bølger med bølglengde

400-700 nm
 fiolett rødt

4 FM (radio bølger) $\sim 100 \text{ MHz}$

$$\text{bølglengden er : } \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{100 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10^8 \text{ s}^{-1}} = \underline{3 \text{ m}}$$

FM-radio antenner har lengde $\sim \frac{1}{4} \lambda = \frac{3}{4} \text{ m}$.

Mobiltelefoner : 1 GHz (915 MHz)

802.11g, bluetooth : $2.4 - 2.5 \text{ GHz}$.

Mikrobølgeovn : 2.45 GHz

Radar, satellitkommunikasjon : 50 GHz .

Et (perfekt) sort legeme absorberer all elektromagnetisk stråling (som det mottar).

Stefan-Boltzmanns lov

Stråling fra et sort legeme (per arealenhett) av legemet

$$\Phi/A = \sigma T^4 \quad T \text{ i Kelvin.}$$

σ Stefan-Boltzmanns konstant

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

For legemer som ikke er sorte legemer :

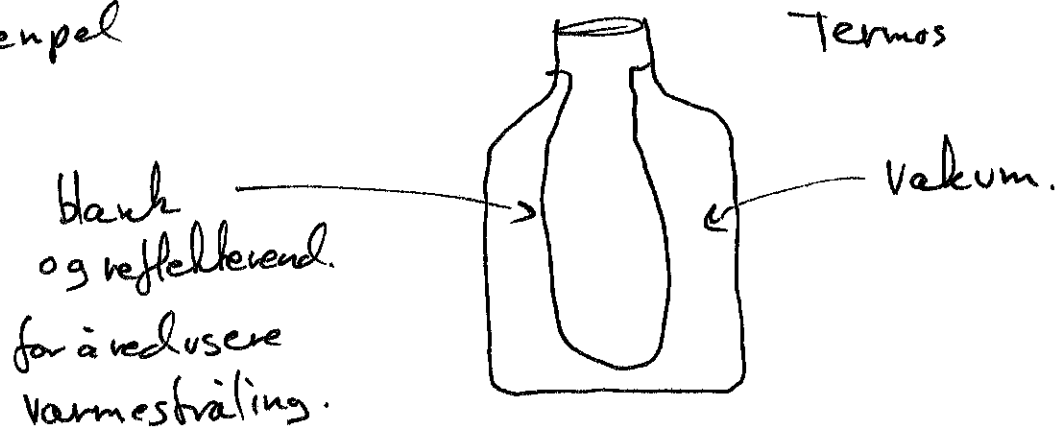
$$\Phi/A = \epsilon \cdot \sigma T^4$$

$$0 < \epsilon < 1$$

perfekt sort legeme

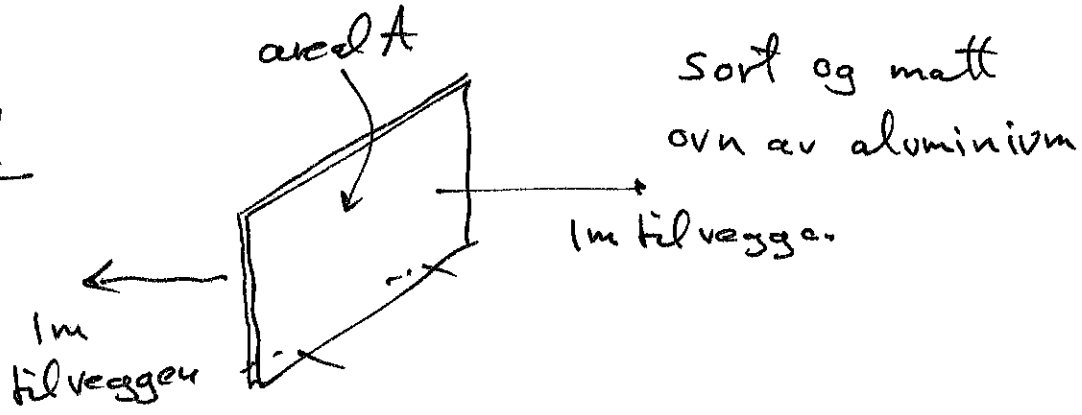
glatt
reflekterende
legeme.

5 Eksempel



Ved termisk likevekt er utstraling lik absorpsjon.

Eksempel



Anta at ovnen holder en temperatur på $67^{\circ}\text{C} = 340\text{K}$ og romtemperaturen er $27^{\circ}\text{K} = 300\text{K}$.

Hvor stort er energiforbruket (per sekund) til ovnen?

Varmeledning : $2 \cdot \frac{1}{m} \cdot A \cdot k_{\text{luft}} \cdot \Delta T = \underline{2\text{Wm}^{-2} \cdot A}$

$k_{\text{luft}} = 0.024 \text{ W/Km}$

Varmestraling ($\epsilon = 1$)
 $\Phi = (2 \cdot A) \cdot \sigma \cdot (T_{\text{ovn}}^4 - T_{\text{rom}}^4)$
 $= 2 \cdot A \cdot \sigma \cdot ((340\text{K})^4 - (300\text{K})^4) = \underline{596 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A}$

6 Konveksjon

$$1.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-5/4} \cdot 2 \text{ A} (40 \text{ K})^{5/4} \\ = \underline{356 \text{ W/m}^2 \cdot \text{A}}$$

Temperaturen til ovnen ϕ har til $107^\circ\text{C} = 380 \text{ K}$.

$\Delta T = 80 \text{ K}$ (dobles)

$$\phi_{\text{ledning}} \approx \underline{4 \text{ W m}^{-2} \text{ A}} \quad (\Delta T \text{ doubles})$$

$$\phi_{\text{konveksjon}} = 356 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{A} \cdot 2^{5/4} = \underline{846 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{ A}}$$

$$\phi_{\text{stråling}} = 2 \cdot \text{A} \cdot \sigma \left((380 \text{ K})^4 - (300 \text{ K})^4 \right) \\ = \underline{1450 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{A}}$$

Effekt forbruket $\phi = \phi_{\text{ledning}} + \phi_{\text{konveksjon}} + \phi_{\text{stråling}}$

$$\phi_{67^\circ\text{C}} = 0.95 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{A}$$

$$\phi_{107^\circ\text{C}} = 2.3 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{A}$$