

Plancks strålingslov:

Frekvensfordelingen: $j(T) = \int_0^{\infty} d\nu \frac{dj}{d\nu}$

$$\frac{dj}{d\nu} = \frac{2\pi h \nu^3 / c^2}{\exp(\beta h \nu) - 1}$$

Bølgelengdefordelingen: $j(T) = \int_0^{\infty} d\lambda \frac{dj}{d\lambda}$

$$\frac{dj}{d\lambda} = \frac{2\pi h c^2 / \lambda^5}{\exp(\beta h c / \lambda) - 1} \quad [c = \lambda \cdot \nu]$$

Wiens forskyvningslov:

$\frac{dj}{d\lambda}$ er maksimal for $\lambda \cdot T = 2.898 \text{ mm} \cdot \text{K}$

Svart legeme:

Resultatet $j = \sigma T^4$ gjelder for et legeme som absorberer all innkommende stråling, for alle bølgelengder.

Dvs, absorpsjonseunen er $a(\lambda) = 1$. Når legemet er i termisk likevekt, må like mye strålingsenergi emitteres som absorberes. Dvs, emisjonseunen er $e(\lambda) = 1$.

Eks: Asfalt $e = 0.97$

Aluminiumfolie $e = 0.04$

Eksempler:

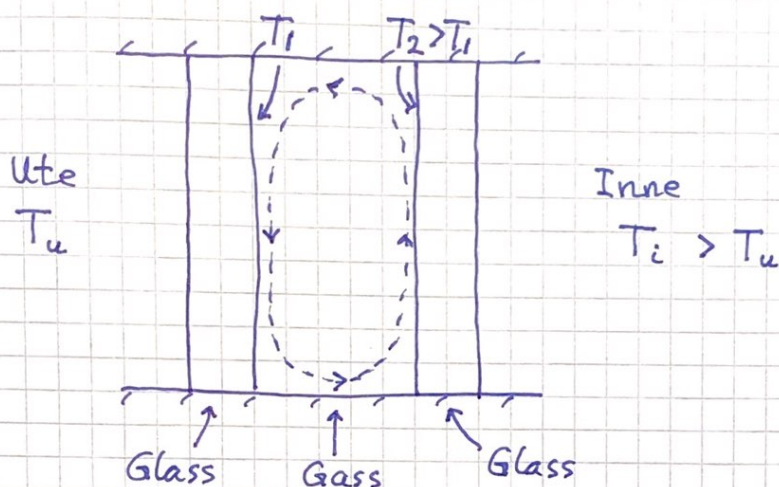
- Ved hvilken bølgelengde stråler sola mest? ($T = 6000 \text{ K}$)
Svar: Max j for $\lambda \approx 3 \text{ mm} \cdot \text{K} / 6000 \text{ K} = 500 \text{ nm}$ (grønt)
- Hva er netto strålingsintensitet mellom to (svarte) parallelle plater med (faste) temperaturer $T_1 = 290 \text{ K}$ og $T_2 = 292 \text{ K}$?
Svar: $j = \sigma (T_2^4 - T_1^4) = 11.2 \text{ W/m}^2$
Merk at hvis $T_1 \approx T_2$ (som her), har vi med god tilnærming
 $j = \sigma (T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)(T_2 - T_1) \approx \sigma \cdot 2 \langle T \rangle^2 \cdot \langle T \rangle \cdot \Delta T$
som med $\langle T \rangle = 291 \text{ K}$ og $\Delta T = 2 \text{ K}$ også gir $j = 11.2 \text{ W/m}^2$
- Hvorfor fryser det av og til på bakken selv om lufttemperaturen er over 0°C hele natta?
Svar: En skyfri nattehimmel stråler med en effektiv temperatur på ca 250 K . Kan gi stort nok varmetap fra f.eks. veibanen til at det fryser på, selv om lufta har $T > 0^\circ \text{C}$.

Konveksjon

(109)

Varmeoverføring pga strømming.

Eks: Dobbeltrindu



Gass med høy temp. T_2 (lav tetthet) stiger opp ved innerglasset, gass med lavere temp. T_1 (høyere tetthet) faller ned ved ytterglasset.

Nettoeffekten er varmeoverføring som grovt sett er prop. med temp. forskjellen $\Delta T = T_2 - T_1$.

Eks: Vind ("Wind chill factor")

Mye større varmeoverføring fra f.eks. huden til omgivelsene når lufta nær kroppen hele tiden byttes ut med kaldere luft.

Empiriske varmeovergangstall α : $j = \alpha \cdot \Delta T$

Omtrentlige / typiske / gjennomsnittlige tallverdier er

utendørs : $\alpha_u \approx 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

inne : $\alpha_i \approx 6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

10.3, 10.4 Varmedledning [LHL 18.1, 18.5; YF 17.7]

(110)

Empirisk er:

$$\vec{j} = -\kappa \nabla T$$

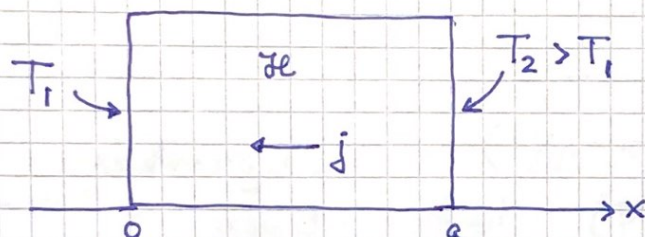
Fouriers lov

Her er:

$\vec{j}$ = overført varme pr flate- og tidsenhet (W/m^2)

κ = varmedledningsevnen til materialet som varmen transporteres gjennom ($\text{W/K}\cdot\text{m}$)

Stasjonær varmedledning i 1D:



Ved stasjonære forhold er j uavhengig av x , slik at ∇T er konstant, dvs

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{a} \Rightarrow T(x) = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{a} \cdot x$$

som gir

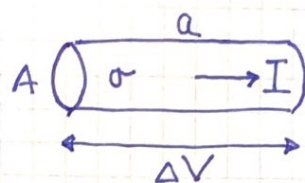
$$j = -\kappa \frac{dT}{dx} = -\frac{\kappa}{a} (T_2 - T_1)$$

Noen tallverdier; med κ i $\text{W/K}\cdot\text{m}$

	Luft	Mineralull	Vann	Is	Glass	Tre	Stål
κ	0.026	0.035	0.61	2.2	0.7-1.1	0.1-0.2	43

Ohms lov $\vec{j} = \sigma \vec{E} = -\sigma \nabla V$ for elektrisk strømtetthet $\vec{j}$ er på samme form som Fouriers lov, så alt vi kan om Ohms lov kan utnyttes nå.

Elektrisk motstand :



III

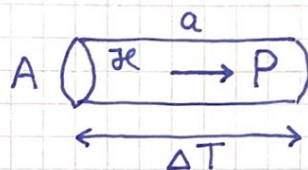
σ = elektrisk ledningsevne ($1/\sigma$ = resistivitet)

$j = I/A$ = strømtetthet ($I = dQ/dt$; Q = ladning)

$j = \sigma E$, $\Delta V = E \cdot a \Rightarrow j = \sigma \Delta V / a$

$\Rightarrow \Delta V = R \cdot I$ med $R = a / \sigma A$ ($\Omega = V/A$)

Varmemotstand :



κ = varmeledningsevne ($1/\kappa$ = varmeresistivitet)

$j = P/A$ = varmestømtetthet ($P = dQ/dt$; Q = varme)

$j = \kappa \Delta T / a$

$\Rightarrow \Delta T = R_Q \cdot P$ med varmemotstand $R_Q = \frac{a}{\kappa A}$ (K/W)

Kjente regler for serie- og parallellkobling av elektriske motstander må også gjelde for varmemotstander:

Serie : $R_Q = R_Q^{(1)} + R_Q^{(2)} + \dots$

Parallell : $\frac{1}{R_Q} = \frac{1}{R_Q^{(1)}} + \frac{1}{R_Q^{(2)}} + \dots$