

FYS1001 Innføring i fysikk:

Varmetransport

08.03.2024



UiO : Jonas Boym Flaten



<https://www.menti.com/alqaycopaf5>

termofysikk

handler om det som skjer på mikronivå!

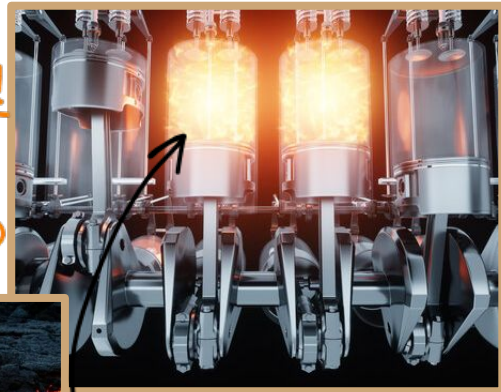
TIDLIGERE

En gass har både kinetisk energi på makronivå, og termisk energi på mikronivå.



IOAG!

Når lava gløder omdannes termisk energi på mikronivå til synlig lysen energi.



I en brann omdannes kjemisk energi på mikronivå til gassutvikling og lysen energi. IOAG!



I en bilmotor utnyttes gassutvikling til å gjøre arbeid på makronivå!

TIDLIGERE

forrige ukers tema:
termofysikk

Oppvarming/Nedkjøling:

$$\# Q = cm\Delta T$$

Faseovergang:

$$\# Q = Lm$$

Effekt:

$$\# P \equiv E/t$$

Tilstandsligninga:

$$\# pV = NkT$$

$$(= nRT)$$

Alle termiske prosesser:

$$\# \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Adiabatiske prosesser:

$$\# p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

forrige ukers tema:

termofysikk

Termisk energi:

$$\# U_k = N \frac{f}{2} kT$$

Arbeid utført av ekspanderende gass:

$$\# W = p \Delta V$$

↳ Arbeidet er arealet under/inni kurven
i pV-diagrammer!

Termofysikkens første lov:

$$\# \Delta U = Q - W$$

varme tilført arbeid utført

Virkningsgrad:

$$\# \eta \equiv W / Q_H \leq 1 - T_C / T_H$$

Entropi:

$$\# \Delta S \equiv Q / T$$

Termofysikkens andre lov:

$$\# \sum \Delta S \geq 0$$

dagens (og neste ukes) tema:

varmetransport

$$\# H \equiv Q/t$$

$$\# H = \lambda \frac{A}{L} \Delta T$$

$$\# M \equiv P/A$$

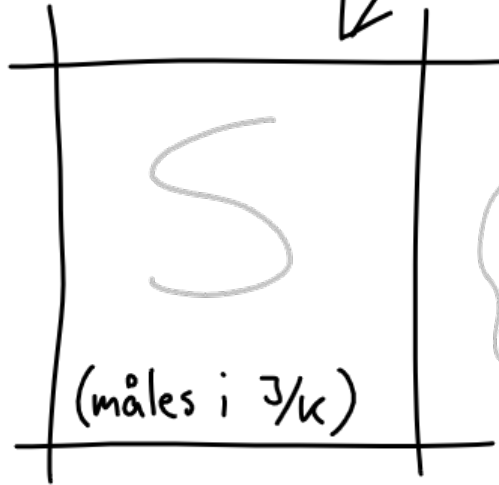
$$\# M = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\# E \equiv P/A = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\# \lambda_a = a/T$$

entropi

(en tilstandsvariabel
knyttet til statistikk)



En gass

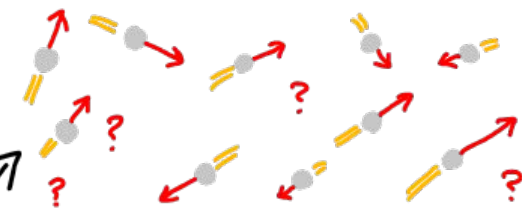


har en makrotilstand
gitt av trykk, volum og temp...

En kaffekopp i et rom:



På mikronivå er det langt flere tilstander
der energien er fordelt på alle molekylene
i rommet, enn tilstander der kun koppen er varm.



... men det er mange mulige
mikrotilstander, gitt av posisjonen
og farta til hvert enkelt molekyl, som
tilsvarer samme trykk, volum og temp!

Entropi er egentlig et mål på
spredninga i mulige mikrotilstander!

Økning i entropi er det naturlige
fordi spredning i mikrotilstander
er mest sannsynlig!

Når det har gått tid
er det veldig lite sannsynlig
at kun koppen er varm.
Entropien øker med tida!

Endringa er $\Delta S = Q/T$,
og $\sum \Delta S \geq 0$ i alle isolerte systemer,
men fortsatt ...

Hva er entropi?

varmetransport

Steinen vår en siste gang...



↙
Hvordan
mister den
energi?

E_k og E_p er null
så lenge den er i ro og
i midten av tyngdefeltet.

U_p er konstant
så lenge den forblir en stein
og ikke endrer fase (smelter).

U_k kan og vil varierte!
Siden steinen har fast
volum gjør den ikke noe
arbeid mot trykket, så
 $\Delta U_k + \cancel{\Delta U_p} = Q - \cancel{W}$.

↘ Steinen mister energi
via varmeoverføring!

Men hvordan skjer varmeoverføringa? ←

varmetransport

(skjer på fire måter)

#varmeledning:



når gjenstanden
er i kontakt
med andre stoffer

#konveksjon:



selv når gjenstanden
ikke er i kontakt
med noe annet!

#varmestraling:



#faseoverganger:



varmeledning

(når varme overføres via molekylkollisjoner)

varmestøm

varme
overført

$$H \equiv \frac{Q}{t}$$

(måles i W)

$$Q = Ht$$

hvis du vet tida og vil finne varmen!

Når to stoffer er i kontakt,
kolliderer molekylene og overfører
varme fra høy til lav temperatur.

(liten lamda
(gresk bokstav))

varmeledeevne

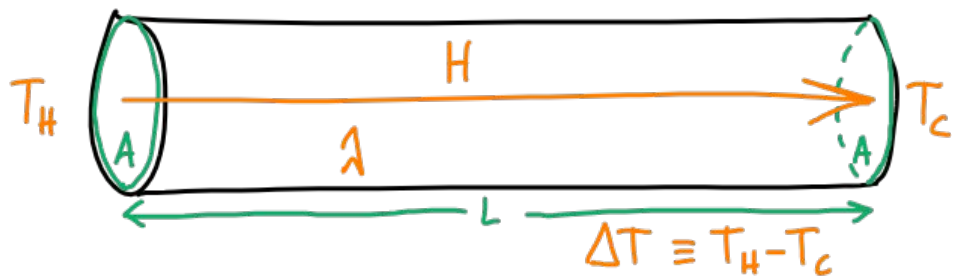
(måles i W/mK og
varierer fra stoff til stoff)

$$H = \lambda \frac{A}{L} \Delta T$$

tværsnittetsarealet og lengden
til stoffet varmen ledes gjennom

temperaturforskjell
(høy minus lav)

Varmerstrømmen øker med ledeevnen,
tværsnittet og temperaturforskjellen, men
minner med lengden (tykkelsen).



varmeledning

Metaller leder varme best,
fordi elektronene vandrer fritt
og derfor også kan frakte varme.

Isolatorer leder varme dårligere
(fordi elektronene ikke vandrer).

Gasser leder varme dårligst,
fordi molekylene er få og derfor
kolliderer sjelden.

LEDELISTA:

	stoff	varmeledsevne λ / W/mK	(varmekapasitet) c / kJ/kgK
<u>VINNER:</u>	diamant	<u>2000</u>	(0.52)
	⋮	⋮	⋮
	aluminium	240	(0.90)
metaller {	stål	17	(0.50)
	⋮	⋮	⋮
isolatorer {	glass	0.80	(0.84)
	vann	0.60	(4.2)
	tre	0.12	(1.8)
gasser {	⋮	⋮	⋮
	luft	0.026	(1.0)
	⋮	⋮	⋮
	vakuum	<u>0.0!</u>	(0.0)

#OBS: Varmedeesevne
henger ikke sammen
med varmekapasitet!

konveksjon

(når varme overføres via fluidmolekyler)

Varmt fluid har lavere massetetthet og høyere trykk enn kaldt fluid, så det vil stige eller skyves unna en varm gjenstand

⇒ Fluidet sirkulerer i konveksjonsstrømmer og frakter varme vekk fra gjenstanden.

#OBS: Konveksjon er komplisert fluidmekanikk, så vi skal ikke regne på konveksjonsstrømmer i dette kurset!

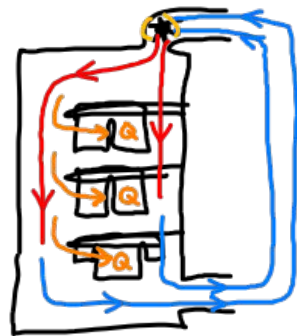
naturlig konveksjon:



når konveksjonen skyldes oppdrift og trykk, som når det er pålandsvind om dagen

tvungen konveksjon:

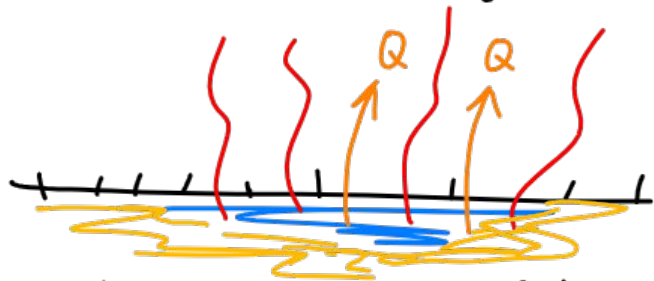
når konveksjonen skyldes et ytre arbeid, som når et tørkeskap presser varm og tørr luft mot en våt klesvask



faseovergang

(når varme overføres via kjemisk energi)

Et stoff som kan gjennomgå en faseovergang vil suge varme fra eller dumpe varme på gjenstander rundt (gitt av $Q = Lm$).

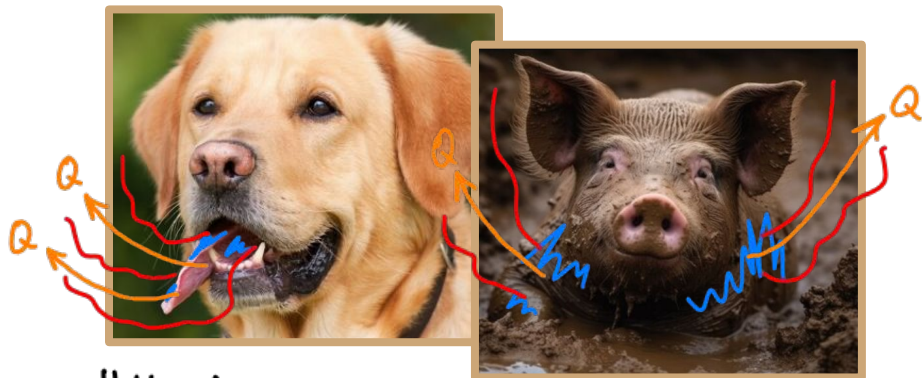


Mennesker regulerer varme ved fordampning av svette.

Fordampning av vann er en viktig reguleringsmekanisme for varme i naturen.

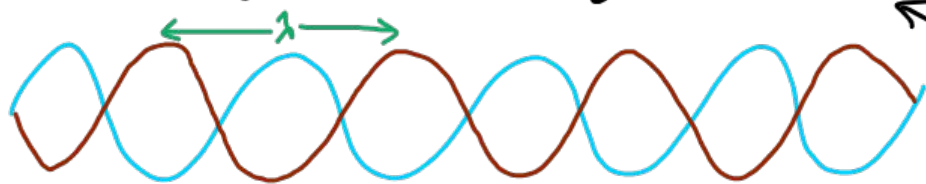
(Siden vann har så høy latent varme, er dette veldig effektivt!)

Fordampning av vann brukes også i teknologi, feks for å kjøle ned kull- og atomkraftverk!



Hunder og griser svette ikke, men regulerer varme ved fordampning av henholdsvis spytt og gjørme!

Lys er bølger i det elektromagnetiske feltet.



↳ Lys har derfor en bølgelengde λ , definert som avstanden fra en bølgetopp til den neste.

lys

(elektromagnetisk stråling)

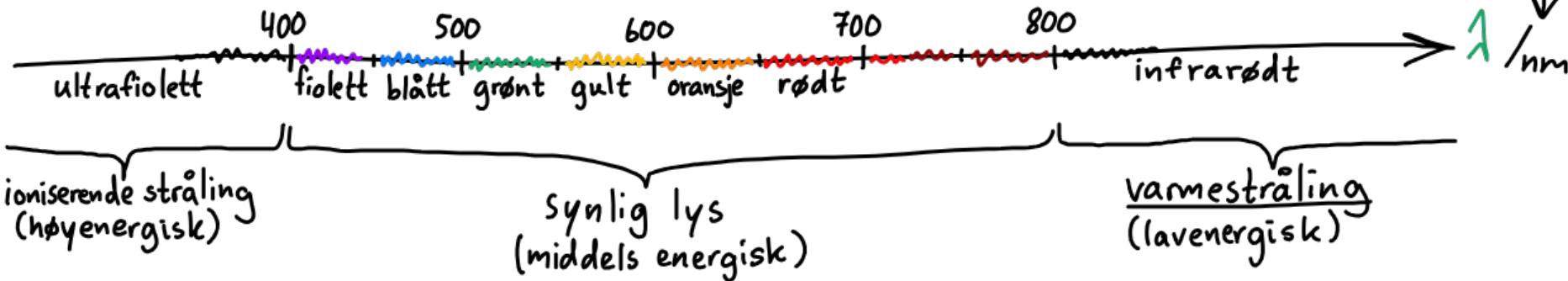
(Mer om både lys og andre bølger senere i kurset!)

Bølgelengden er knyttet til energien og fargen til lyset.
Lys med kort bølgelengde er mer energirikt enn lys med lang bølgelengde!

Typiske lysbølgelengder er på nanometernivå!

($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$,
en milliarddels meter)

Lysspekteret:



varmestraling

(når varme overføres via lys)

(kalles Stefan-Boltzmanns lov) (Stefan-Boltzmann-konstanten)

(liten epsilon (gresk bokstave)) (liten sigma (gresk bokstave))

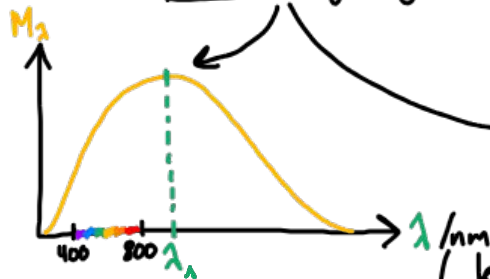
$$M = \epsilon \sigma T^4$$

($\epsilon = 1$ kalles et "svart legeme")

emissivitet (en prosentfaktor mellom 0 og 1, som avhenger av stoffet og overflata)

#Utstrålt lysenergi

er fordelt over alle bølgelengder, med mest intensitet ved en bestemt bølgelengde som avhenger av temperaturen.



$$\lambda_n = \frac{a}{T}$$

(kalles Wiens forskyvningslov)

$a \approx 2.90 \times 10^{-3} \text{ mK}$
(Wiens forskyvningskonstant)

(kalles også eksitans)

#utstrålingsintensitet

utstrålt effekt

$$M \equiv \frac{P}{A}$$

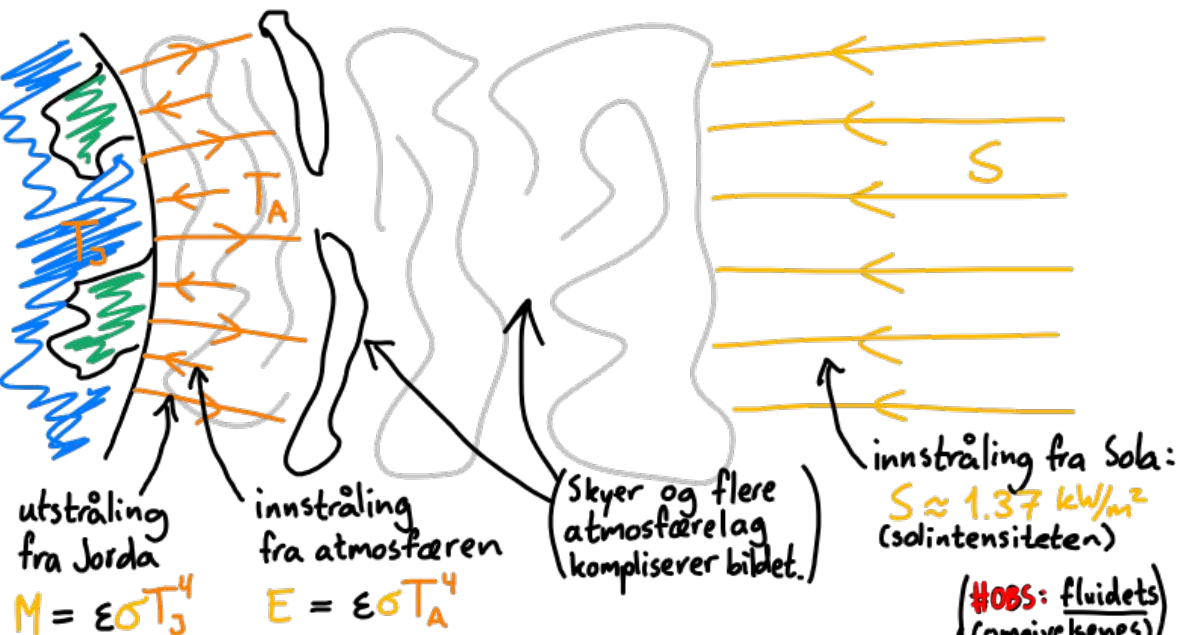
(måles i W/m^2)

$$P = MA$$

hvis du vet arealet og vil finne effekten!

#Alle gjenstander stråler lys (gløder) selv når de ikke er i kontakt med noe annet!

Jorda mottar varmestråling fra Sola og atmosfæren!



Vi kan sette opp et strålingsregnskap for Jorda!

(#KOM på seminar!)

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

absorptivitet
(= stoffets emissivitet)

(#OBS: fluidets
(omgivelsenes)
temperatur)

varmestråling

Alle gjenstander mottar også varmestråling fra omgivelsene!

(kalles også irradians)
innstrålingsintensitet → innstrålt effekt

$$E \equiv \frac{P}{A}$$

(måles også i W/m^2)

⇒ $P = EA$
hvis du vet arealet og vil finne effekten!

Hvis gjenstanden er omgitt av et fluid, vil det motta varmestråling fra fluidet med samme prosentfaktor ϵ som ved utstråling!

oppsummering: varmetransport

Varmestrøm:

$$\# H \equiv Q/t$$

Varmeledning:

$$\# H = \lambda \frac{A}{L} \Delta T$$

Utstrålingsintensitet:

$$\# M \equiv P/A$$

Varmestråling:

$$\# M = \varepsilon \sigma T^4$$

Innstrålingsintensitet:

$$\# E \equiv P/A \left(= \varepsilon \sigma T^4 \right)$$

hvis omgitt av fluid med temp T

Mest intense utstrålte bølgelengde:

$$\# \lambda_a = a/T$$

(#HUSK:)

$$T = (273 + 800) \text{ K} \\ = \underline{1073 \text{ K}}$$

Oppgave 17 (fra midtveiseksamen 2014)

(#LURT1:) $T \equiv$

(#LURT3:)

Et legeme har en temperatur på 800° C. Ved hvilken bølgelengde sender det ut mest energi?

A: 5,4 μm

B: 4,5 μm

C: 3,6 μm

D: 2,7 μm

er riktig!

Wiens forskyvningslov gir den mest intense utstrålte bølgelengden. Men intensitet er effekt per areal, altså energi per areal og tid, så det sendes også ut mest energi ved denne bølgelengden!

(#LURT2:)



(#LURT4:)

$$\lambda_{\lambda} = a / T \approx 2.7 \times 10^{-6} \text{ m} = \underline{2.7 \mu\text{m}}$$

liten ~~my~~
(gresk bokstav
som brukes for
mikro-)

(1 $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$,
en milliondels meter)

(#LVRT1=)

(#HUSK=)

$$d_o = \underline{0.78 \text{ m}}$$

$$d_v = \underline{0.43 \text{ m}}$$

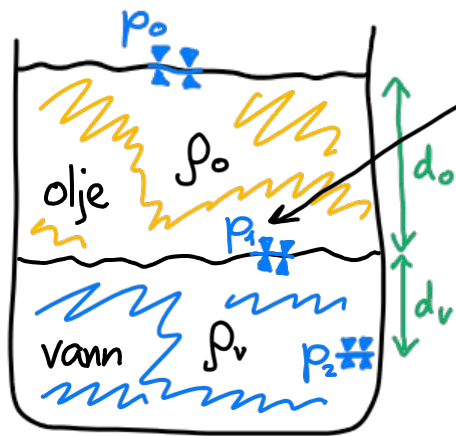
$$p_0 = \underline{101\,000\text{ Pa}}$$

D: 113 kPa

3 er riktig!

(#LVRT2=)

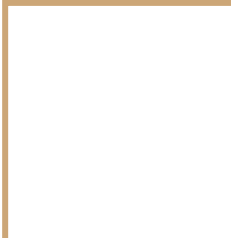
Vi bruker formelen for statisk trykk i hvert fluidlag, og trenger trykket p_i ved overflata av vannet.



$$\hookrightarrow \underbrace{p_1 = p_o + \rho_o g d_o}_I \quad \& \quad \underbrace{p_2 = p_1 + \rho_v g d_v}_{II}$$

Dette er to ligninger for to ukjente, p_1 og p_2 ,
og vi kan lett løse ligningssettet for det nederste trykket p_2 .

$\Rightarrow p_2 = p_0 + \rho_o g d_o + \rho_v g d_v \approx \underline{\underline{112000 \text{ Pa}}}$



**TAKK
FOR I DAG!**

