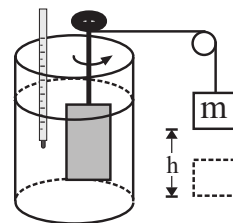
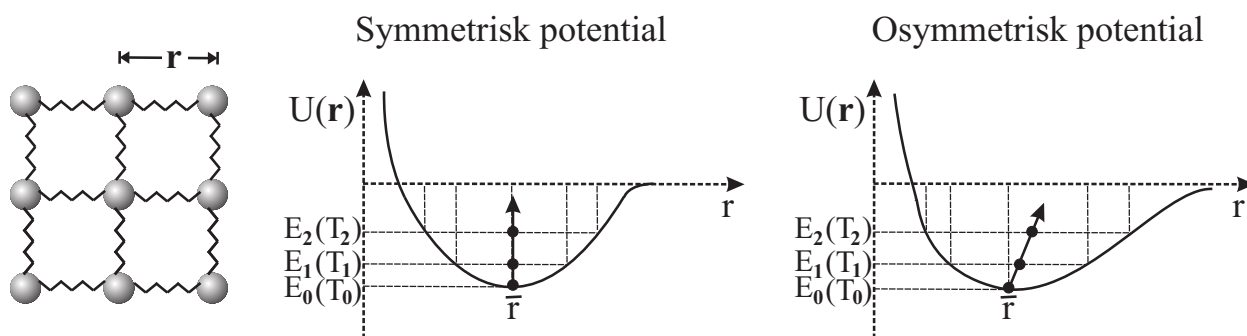


7 Intern Energi

Joules experiment på 1800-talet, gav en relation mellan mekanisk energi och temperatur. Hans experiment gick ut på att jordens dragningskraft gör arbete på en massa som sätter en visp att röra om vatten i en termiskt isolerad behållare, se bild. Man märkte att mekaniskt arbete blev till värme, d.v.s. inre energi för vätskan.



Man märkte också att en temperaturökning ledde till att material utvidgar sig. Detta kunde man senare använda för att mäta temperatur. Materiens längd ges av antalet atomer gånger medelavståndet mellan atomerna. Temperaturen ger hur stor vibrationsamplituden är för atomerna kring jämviktspositionen. Ifall potentialenergin som en funktion av avståndet till en annan atom för en atom i gittret är symmetrisk, är vibrationsamplituden för atomen lika stor åt alla håll och materien utvidgas inte när dess temperatur ökar. Är potentialen däremot osymmetrisk, vilket är fallet för de flesta material, ökar medelavståndet mellan atomerna då temperaturen för materialet ökar.



Längdförändringen ΔL som en funktion av temperaturen T ges av formeln

$$\Delta L = L\alpha_L(T - T_0) \quad (157)$$

där L är föremålets längd vid temperaturen T_0 och α_L linjära längdutvidgningskoefficienten.

Tabell 3: Linjära längdutvidgningskoefficienten för olika material vid $20^\circ C$

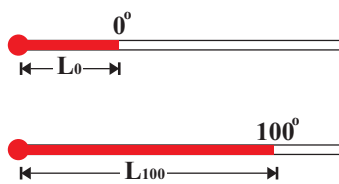
Linjär längdutvidgningskoefficient	
$\alpha_L [\times 10^{-6} K^{-1}]$	
Gummi	77
Aluminium	23
Stål	1-20
Guld	14
Platina	9
Diamant	1
ZrW ₂ O ₈	<0

Exempel: Gör en kalibrerad termometer av ett glasrör med kvicksilver i.

Temperaturekvationen för en termometer kan ges som

$$T = A \cdot L + B$$

där A och B är koefficienter vi måste bestämma. L är längden på materialet som ändras med temperaturen. För att bestämma A och B gör vi följande steg. Vi sätter glasrörets ända i isvatten (0°C), sätter märke var kvicksilver ändan är och gör samma sak då glasrörets ända är i kokande vattnets ånga (100°C).



Vi får två temperaturekvationer

$$\begin{aligned} T_0 &= A \cdot L_0 + B \\ T_{100} &= A \cdot L_{100} + B \end{aligned}$$

vilket ger

$$\begin{aligned} A &= \frac{L_{100} - L_0}{T_{100} - T_0} \\ \Rightarrow \\ B &= T_0 - AL_0 \end{aligned}$$

I Fahrenheit skalan motsvarar 0°C 32 F och 100°C motsvarar 212 F. Temperaturer i Celsius T_C kan konverteras till Fahrenheit T_F med funktionen

$$T_F = \frac{5}{9}T_C + 32F$$

Fahrenheit enheten, som numera används endast i få länder, utvecklades av Tysken Gabriel Fahrenheit år 1724. Enligt sägen lär Gabriel ha kalibrerat sin termometer mellan punkterna 100 F från sin hud temperatur (ca. $30\text{-}35^\circ\text{C}$) och 0 F från den kallaste mätta temperaturen -17.8°C i hans hemstad Gdansk.

Ideasgas temperaturskalan

Som i föregående fall, måste man kalibrera varje termometer skilt, vilket kan vara svårt eftersom vattnets kokpunkt bl.a. beror på lufttrycket. Alla gaser följer idealgaslagen ($PV = \frac{2}{3}U$) ganska bra vid lågt tryck, där den inre energin U bara beror av temperaturen $U = kT$. Vid konstant volym blir därför temperaturen för idealgasen direkt proportionellt till trycket:

$$T = A \cdot P$$

Konstanten A fås vid trippelpunkten för vatten, där is, vatten och vattenånga samexisterar. Vi väljer att denna punkt har 273.16 enheter. Alla reella gaser avviker lite från idealgaslagen, men närmar sig den då trycket går mot noll. Så vi definierar temperaturen vid gränsen för noll tryck

$$T = \lim_{P_{tr} \rightarrow 0} \left(\frac{P}{P_{tr}} \right) \times 273.16 \text{ K} \quad (158)$$

7.1 Effekt

Arbetet W berättar oss bara hur mycket energi som gick åt att till exempel lyfta ett föremål. Den berättar inget om tiden. Ibland vill vi veta hur mycket energi går åt per tidsenhet. För detta definierar man *effekt* (eng. *power*). Nedan har vi ekvationerna för *medeleffekt* och *effekt*

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{medeleffekt} \quad (159)$$

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} \quad [P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (watt)} \quad (160)$$

Anta att en kraft flyttar en kropp en liten sträcka $\Delta \mathbf{r}$. Då gör kraften arbetet

$$\Delta W = \mathbf{F} \cdot \Delta \mathbf{r}$$

Ifall arbetet gjordes under tiden Δt , blir medeleffekten

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\mathbf{F} \cdot \Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

Då Δx och Δt går mot noll får vi den momentana effekten med vilken kraften påverkar kroppen

$$P = \frac{\mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} \quad (161)$$

Exempel: En hiss med massan 1000 kg lyfts med farten 2.1 m/s uppåt. Vilken effekt ger hissmotorn?
Hissen har ingen motvikt.

$$P = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = mgv \approx 1000 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 2.1 \text{ m/s} \approx \underline{\underline{20.6 \text{ kW}}}$$

7.2 Värmekapacitet

Ett materials **värmekapacitet** berättar oss hur mycket dess temperatur ΔT ändrar då dess inre energi ΔU ändrar, och definieras som

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta U}{\Delta T} \right) \quad [C] = J K^{-1} \quad (162)$$

Vanligen använder man dock den **specifika värmekapaciteten**

$$c = \frac{C}{M} \quad [c] = J K^{-1} kg^{-1}$$

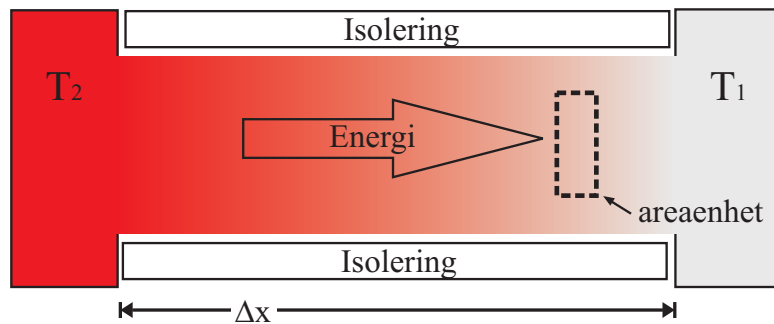
där M är materialets massa

	specifik värmekapacitet [$J K^{-1} kg^{-1}$]	värmeledningskoefficient [$W m^{-1} K^{-1}$]
luft	1000	0.026
argon	-	0.016
glas	-	0.96
trä	-	0.126
polystyren	-	0.008
bergull	-	0.042
silver	240	430
vatten (20°C)	4180	0.5
kol	712	1.59

Tankestund: Från tabellen, förklara varför det går att gå på glödande kol, och varför man använder vattenfyllda 'fotvärmare'.

7.3 Värmeledning

I all dagliga livet märker man snabbt att alla temperaturskillnader tenderar att försvinna. Har man en kopp het kaffe ett ögonblick, så har kaffet kallnat efter en stund. Mikroskopiskt kan man förstå detta med att temperatur är ett mått på atomernas rörelse. Varmt betyder att atomernas oscillationsamplitud är stor, och den inre energin, eller atomernas kinetiska energi är stor. Dessa oscillerande 'varma' atomerna kolliderar med närliggande atomer, och en del av den kinetiska energin går vidare i kollisionen. På detta sätt jämnas sedan energi och därmed temperaturskillnaderna så småningom ut.



Energi flödar från högre temperatur mot lägre. Med vilken takt energin flödar per tidsenhet är effekt. Denna effekt är proportionellt till arean och temperaturgradienten: $\Delta P \propto (\Delta A) \cdot (\Delta T / \Delta x)$, och vi får ekvationen för värmeeffektflöde per areaenhet

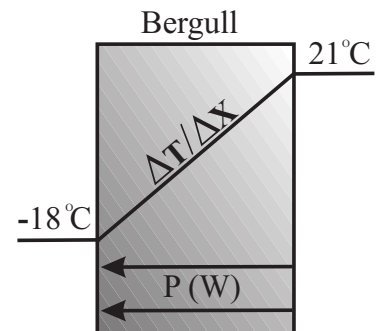
$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (163)$$

där λ är **värmeledningskoefficienten** (se tabellen på föregående sida).

Exempel: Beräkna hur stort är värmeflödet (W) genom en $3 \times 5 \text{ m}^2$ stor husvägg som isoleras av ett 15 cm tjockt lager av bergull, när temperaturen inne i huset är 21°C och ute -18°C . Värmeledningskoefficienten λ för bergull är $0.042 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Ekv. (163) ger värmeeffekten som leds genom väggen

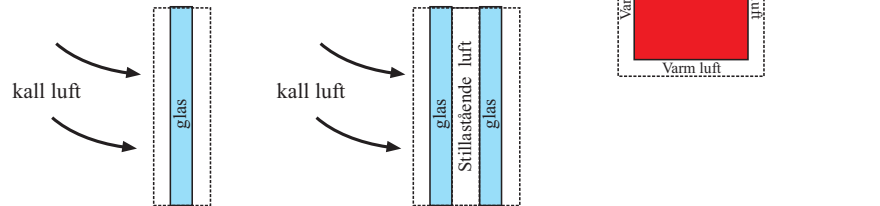
$$\begin{aligned} P &= A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \\ &= 15 \text{ m}^2 \cdot 0.042 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot \frac{[21 - (-18)]^\circ\text{C}}{0.15 \text{ m}} \\ &\approx \underline{\underline{160 \text{ W}}} \end{aligned}$$



7.4 Konvektion

Konvektion är den dominerande mekanismen som kyla torra föremål i luft. Då man rör om t.ex. het te för att kyla den, kommer kyleffekten från det att den varma luften som står stilla kring koppen byts till kallare luft kallad konvektion.

Genom att sätta dubbla fönster, får man också stillastående luft mellan glasen som isolerar effektivt: $\lambda_{luft} = 0.026$ och $\lambda_{glas} = 0.96 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.



7.5 Värmestrålning

Också en varm kropp i vakuum förlorar värmeenergi (temperaturen minskar). Detta sker genom värmestrålning, som ges av

$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \epsilon \sigma T^4 \quad (164)$$

där $0 < \epsilon < 1$ är emissiviteten, som beror av ytans form färg m.m. $\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ är Stefan-Boltzmanns konstanten och T är kroppens absoluta temperatur.

Exempel: I exemplet med hur mycket värmeeffekt som leds genom en 15 m^2 husvägg, tog vi inte i beaktande effektförlust genom värmestrålning. Beräkna denna effektförlust som värmestrålningen maximalt orsakar.

Skillnaden i effekt från värmestrålningen ute och inne ges av

$$\begin{aligned} P &= A \epsilon \sigma (T_{inne}^4 - T_{ute}^4) \\ &\approx 15 \text{ m}^2 \cdot 1 \cdot 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} [(294 \text{ K})^4 - (255 \text{ K})^4] \approx \underline{\underline{2760 \text{ W}}} \end{aligned}$$

vilket är en dekad mera än vi fick genom värmeledning ($\approx 164 \text{ W}$). För att minimera detta, sätter man aluminiefolie i väggarna för att reflektera tillbaka en del av värmestrålningen.

På natten kyls marken på jorden effektivt ifall det inte är molnigt.²⁶ Rymdens värmestrålning motsvarar strålningen från ett föremål som har temperaturen 3 K .

Tankestud: Varför kan bilarnas fönster få ett frostlager en klar natt fastän temperaturen är över fryspunkten 0°C hela tiden? Förklara också varför bilarna som är under ett tak inte får frost på sig under samma förhållanden.

Svartkroppsstrålning

En 'svart kropp' absorberar all värmestrålning som faller på den, och alla svarta kroppar emitterar samma strålningsspektrum som bara beror av kroppens temperatur, emissiviteten $\epsilon = 1$.

²⁶Effektförlusten en klar natt kan vara t.o.m. 460 W/m^2 , då värmeeffekten från solen på dagen är ca. 1000 W/m^2 .