

## 7. Intern energi (sisäinen energia)

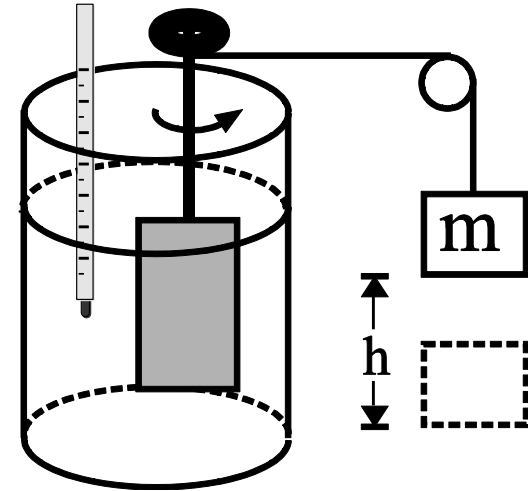
### Lärandemål:

- Kunna förklara förändringar i en fast kropps inre energi på mikroskopisk nivå med hjälp av fjäder-boll modellen
- Kunna beräkna inre energiförändringar för en utsträckt kropp
- Kunna matematiskt relatera temperaturskillnader, energiöverföring p.g.a. temperaturskillnad och specifik värmekapacitet
- Kunna beräkna och använda potentiella energin för ett system med en fjäder



James Joule gjorde ett mycket intressant experiment på 1840-talet

Jordens dragningskraft gör arbete genom att röra om vatten i en termiskt isolerad behållare

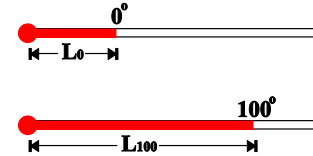


## Mekaniskt arbete blev till värme (lämpö)

Man såg nu att mekanisk energi kunde förvandlas via friktion till ett systems inre energi



# Temperatur (lämpötila)



Som i föregående fall, måste man kalibrera varje termometer skilt, vilket kan vara svårt eftersom vattnets kokpunkt t.ex. beror på lufttrycket

Alla gaser följer idealgaslagen ( $PV \equiv 2/3U$ ) där  $U$  bara beror av temperaturen:  $PV \equiv kT$

Vid konstant volym:  $T = AP$

Konstanten  $A$  fås vid trippelpunkten (TRP) för vatten, där is, vatten och vattenånga samexisterar. Vi väljer att denna punkt har 273.16 enheter

→  $273.16 = AP_{TRP}$

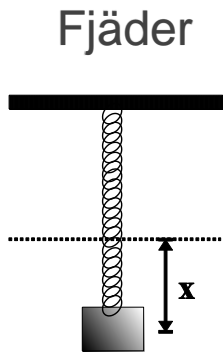
→  $A = \frac{273.16}{P_{TRP}}$



$$T = 273.16 \times \lim_{P_{TRP} \rightarrow 0} \left( \frac{P}{P_{TRP}} \right)$$

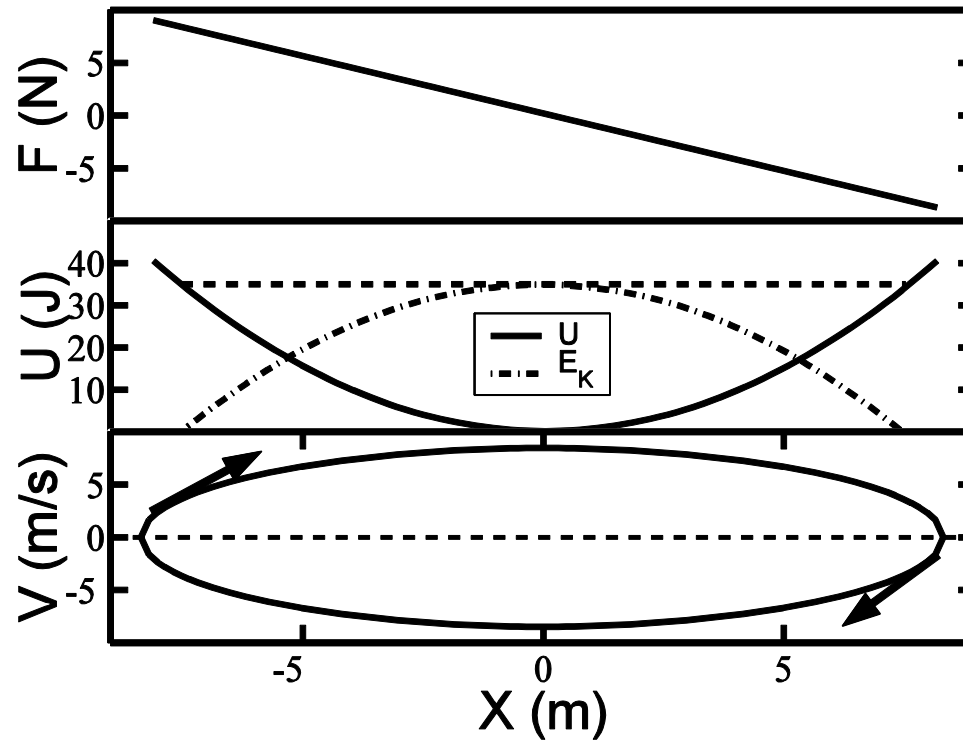


# Potentiell energi för fjädrar



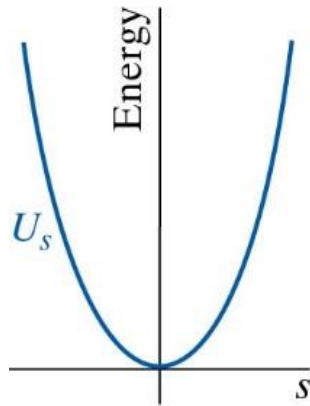
$$F = -kx \qquad U(x) = -\int F \cdot dx = \frac{1}{2} kx^2$$

$$E = K + U = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 \quad \Rightarrow \quad v(x) = \pm \sqrt{\frac{2E}{m} - \frac{kx^2}{m}}$$

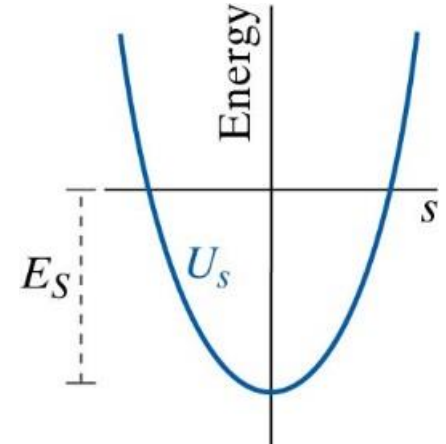


# Potentiell energi för fjädrar

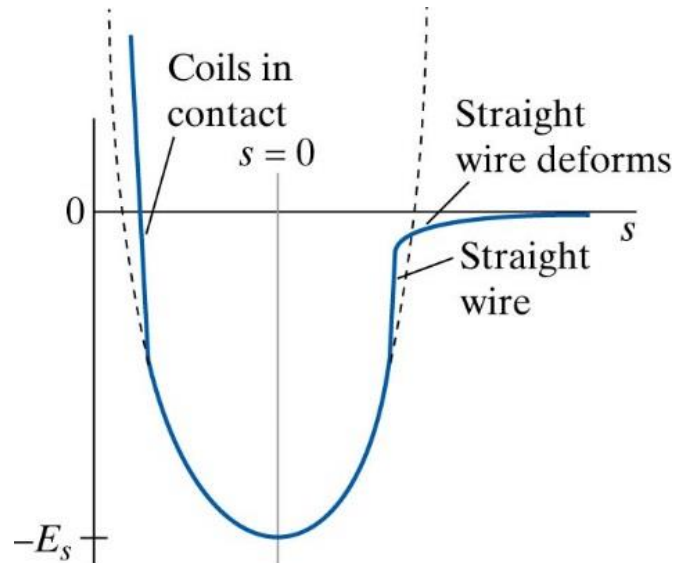
$$U_s = \frac{1}{2} k_s s^2$$



$$U_s = \frac{1}{2} k_s s^2 - E_s$$

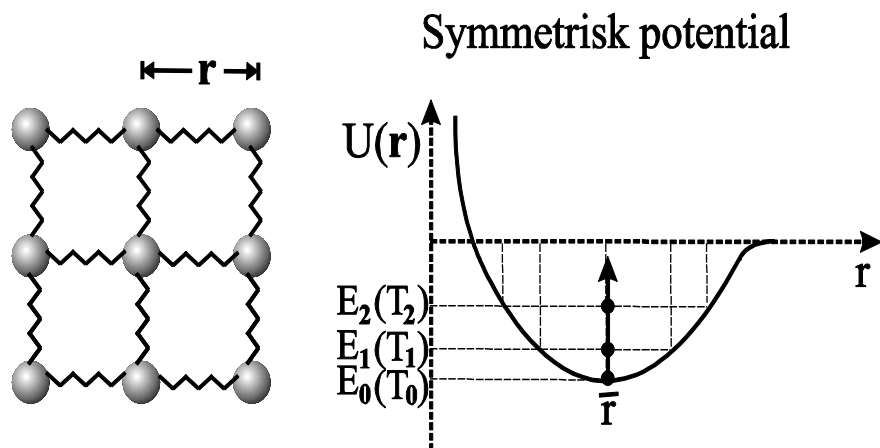


## I verkligheten



# Längdutvidgning (pituuslaajeneminen)

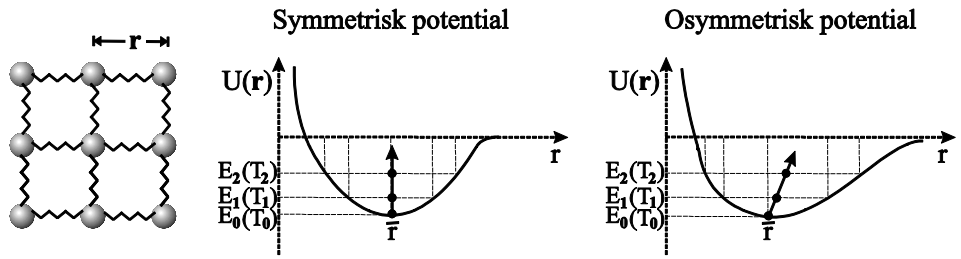
Man märkte också att en temperaturökning ledde till att material utvidgar sig, vilket kan användas för att mäta temperaturer



Materialet utvidgas **inte** när temperaturen stiger

Materialet **utvidgas** när temperaturen stiger





Längdförändringen  $\Delta L$  som en funktion av temperaturen  $T$

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

$L$  : Föremålets längd vid temperaturen  $T_0$   
 $\alpha_L$ : Lineära längdutvidgningskoefficienten

Längdutvidgningskoefficienten för olika material vid 20° C

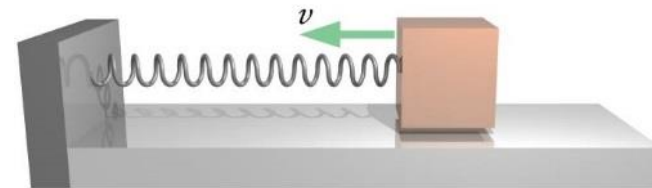
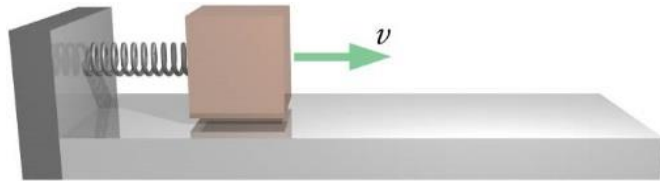
$\alpha_L$  [ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]

Gummi	77
Aluminium	23
Stål	10-20
Guld	14
Platina	9
Diamant	1
ZrW <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	< 0



# Val av system påverkar energierna

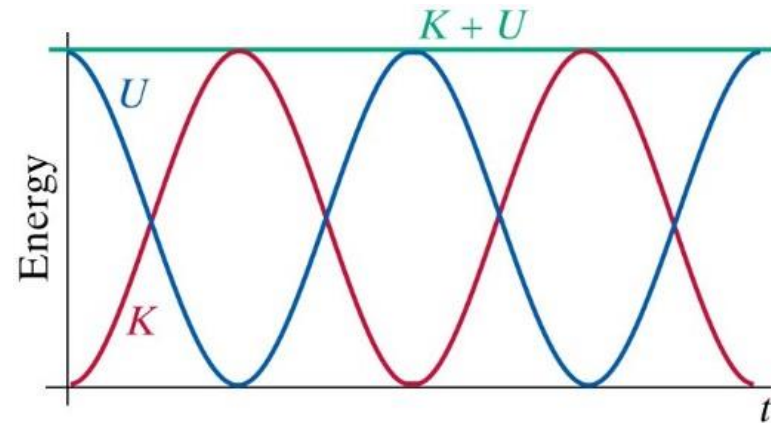
Kvinna hantel problemet löst för olika system



Rita kraften från väggen

Gör väggen arbete?

Energi från omgivningen = 0  
→ Systemets energi konstant



Hur förändras situationen om man betraktar systemet från ett koordinatsystem som rör sig med konstant hastighet  $V$  i relation till block fjädersystemet?

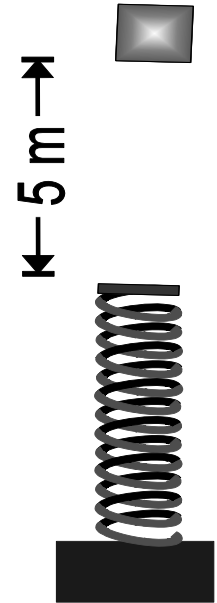




Ett block med massan 10 kg i vila faller 5.0 m och träffar en fjäder med fjäderkonstanten 200 N/m.

- Bestäm blockets hastighet som funktion av höjden över marken och fjäderns avlänkning från jämviktsläge
- Hur mycket maximalt kommer blocket att pressa ihop fjädern?
- Hur mycket är fjädern ihoppresad då blockets fart är som störst?
- Förklara resultatet i c) fallet med krafter på blocket, och utgående från det beräkna svaret på ett annat sätt.

block=kappale, vila=levossa, faller=tippuu, träffa=osua, fjäder=jousi, avlänkning=siirtymä, jämviktsläge=tasapainotilanne, pressa ihop=puristaa kasaan, fart=nopeus



# 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.

Definition: **Effekt**

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$$

Medeleffekt

$$\langle P \rangle = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Strålningseffekten från solen på jordytan (Area 1 m <sup>2</sup> )	1 kW	Solpanelernas verkningsgrad ca. 15 %
Kokplatta	1 kW	
Bastuugn	2 kW	
Bilens max. effekt	75 kW	~100 häst krafter, 1 HK≡746 W
Lovisa kärnkraftverk enhet	488 MW	(båda reaktorerna producerar ca. 7500 GWh / år)
Olkiluoto enhet	860 MW	
Ny Olkiluoto 3	1600 MW	



## Exempel

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

Arbete:  $\Delta W = \bar{F} \bullet \Delta \bar{r}$

Effekt:  $P = \frac{dW}{dt} = \frac{\bar{F} \bullet d\bar{r}}{dt} = \bar{F} \bullet \bar{v} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = \bar{F} \bullet \bar{v}}$

$$P = m\bar{g} \bullet \bar{v} = 1000 \text{ kg } 9.8 \text{ m/s}^2 2.1 \text{ m/s} \approx \underline{\underline{20.6 \text{ kW}}}$$



Fyra studerande springer uppför en trappa:

- A) 80 kg, 10 m hög trappa på 10 s
- B) 80 kg, 10 m hög trappa på 8 s
- C) 64 kg, 10 m hög trappa på 7 s
- D) 120 kg, 20 m hög trappa på 25 s

Vilken av studerandena har den största effekten under trappstigningen?

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cdot \Delta r}{\Delta t}$$

	F (N)	$\Delta r$ (m)	$\Delta t$ (s)	P (W)
A)	800	10	10	800
B)	800	10	8	1000
C)	640	10	7	914
D)	1200	20	25	960



# Värmekapacitet (lämpökapasiteetti)

Ett materials värmekapacitet berättar oss hur mycket dess temperatur  $\Delta T$  ändrar då dess inre energi  $\Delta U$  ändrar

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta U}{\Delta T} \right)$$

**specifik  
värmekapacitet**

$$c = \frac{C}{M}$$

Specifik värmekapacitet  
[JK<sup>-1</sup>kg<sup>-1</sup>]

Värmeledningskoefficienten  
[Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

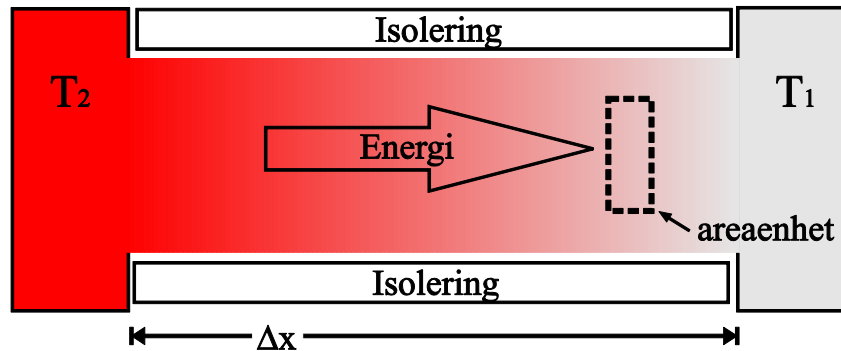
luft	1000	0.026
argon		0.016
glas		0.96
trä		0.126
bergull		0.042
silver	240	430
vatten (20°C)	4180	0.5
kol	712	1.59



# Värmeledning (lämmönjohtuminen)

Temperatur är ett mått på atomernas rörelse

Varmt betyder att atomernas oscillationsamplitud är stor, och den inre energin, eller atomernas kinetiska energi är stor



Energi flödar från högre temperatur mot lägre

Värmeeffektflöde per areaenhet:

där  $\lambda$  är **värmeledningskoefficienten**

$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



## Exempel

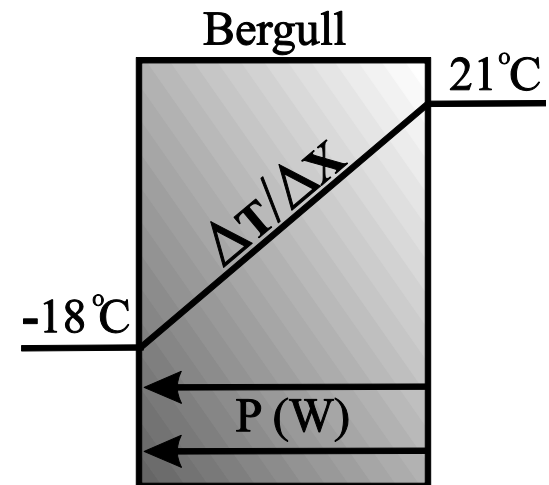
$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Beräkna hur stort är värmeflödet (W) genom en 3x5 m<sup>2</sup> 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  $\lambda$  för bergull är 0.042 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

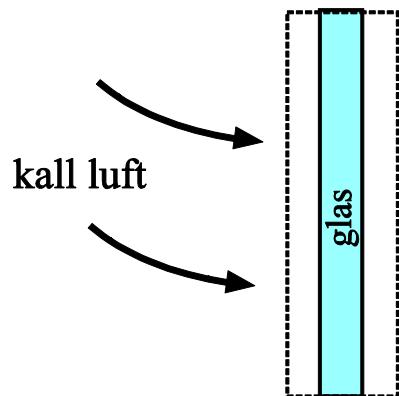
$$P = A\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\approx 15 \text{ m}^2 \cdot 0.042 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \frac{[21 - (-18)]}{0.15 \text{ m}} \approx \underline{\underline{160 \text{ W}}}$$

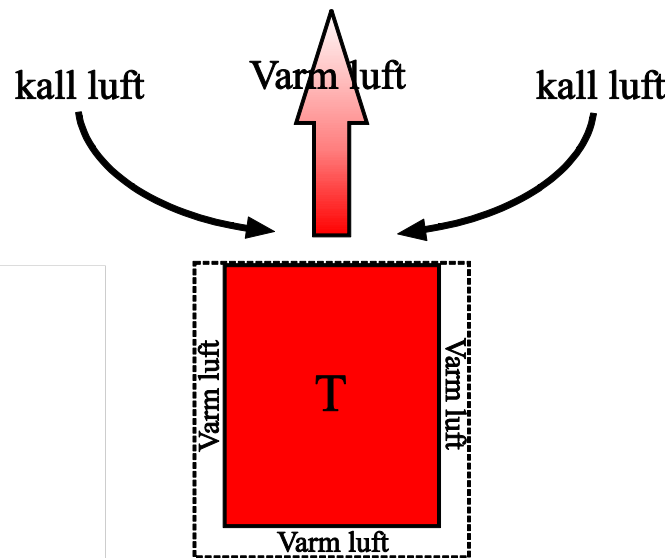


Varför rör man om varm vätska för att få den att kallna?  
Borde inte vätskans temperatur öka då skeden blandar om den?

**Konvektion** är den dominerande mekanismen för att kyla torra föremål i luft



Genom att sätta dubbla fönster, får man också stillastående luft mellan glasen som isolerar effektivt



Värmeledningskoefficient  
[Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>]

luft	0.026
argon	0.016
glas	0.96





# Värmestrålning (lämpösäteily)

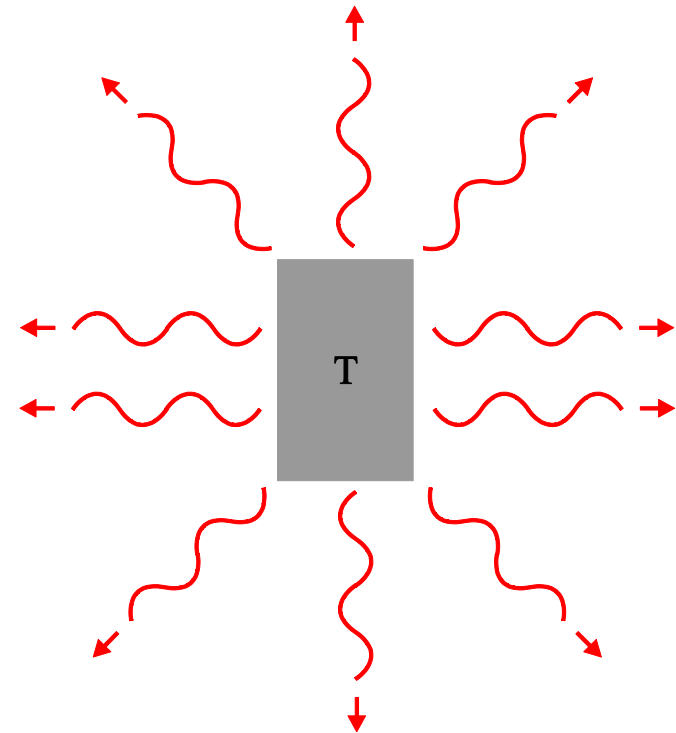
Också en varm kropp i vakuum förlorar värmeenergi (temperaturen minskar).

Kroppen avger värmestrålning

$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \varepsilon \sigma \cdot T^4$$

$0 < \varepsilon < 1$  är emissiviteten, som beror av ytans form färg m.m.

$\sigma \sim 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  är Stefan-Boltzmanns konstant



I exemplet med hur mycket värmeeffekt som leds genom en 15 m<sup>2</sup> husvägg, tog vi inte i beaktande effektförlust genom värmestrålning.

Beräkna denna effektförlust som värmestrålningen maximalt orsakar

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{\Delta A} &= \varepsilon \sigma \cdot T^4 & \Delta P &= P_{inomhus \rightarrow utomhus} - P_{utomhus \rightarrow inomhus} \\ & & &= A \varepsilon \sigma \cdot (T_{inne}^4 - T_{ute}^4) \approx \underline{\underline{2760 \text{ W}}}\end{aligned}$$

Emissiviteten  $\varepsilon \approx 1$

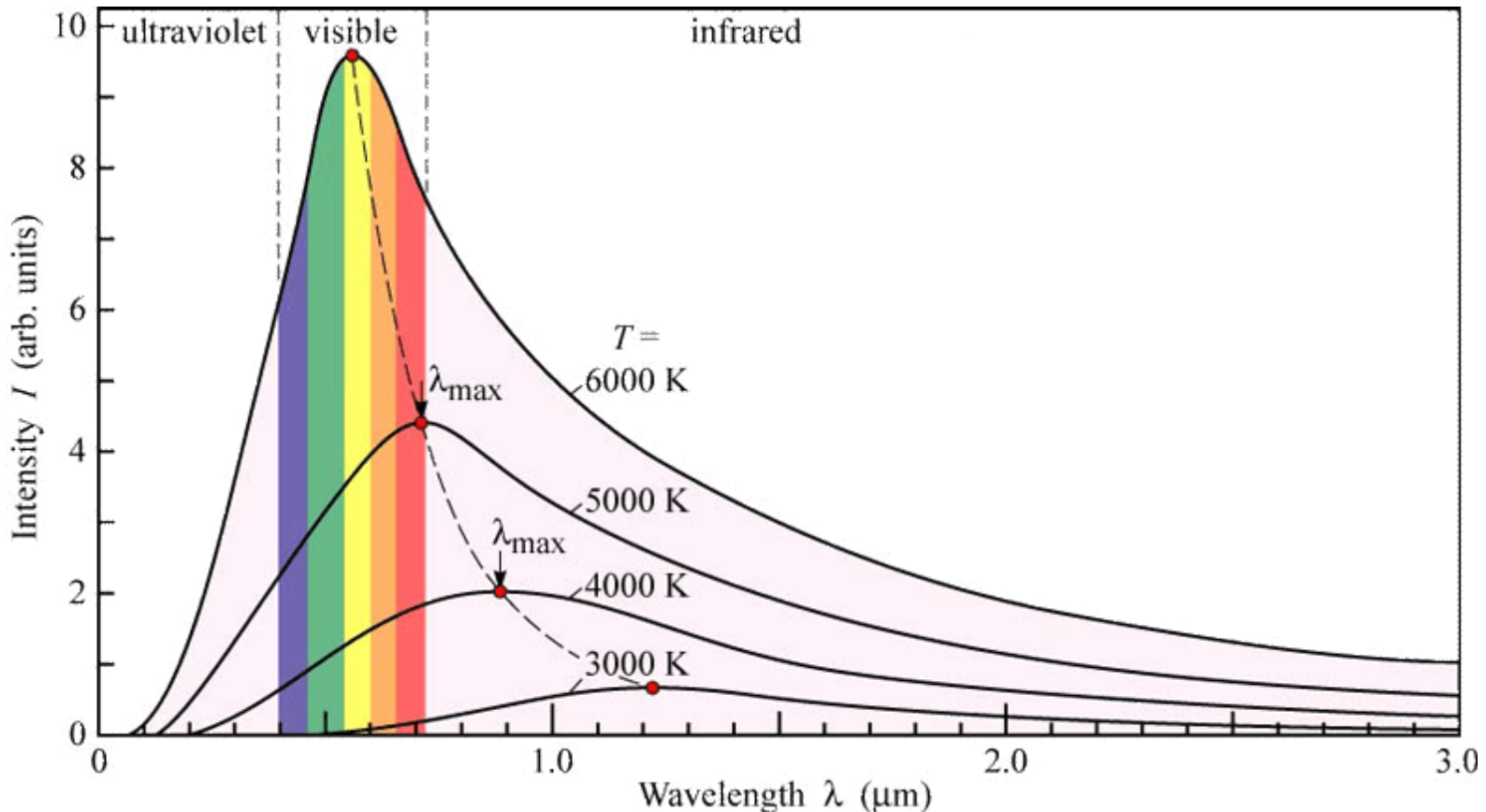
Stefan-Boltzmanns konstant

$$\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$



# Svarkroppstrålning (mustan kappaleen säteily)

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



$$P = A\varepsilon\sigma \cdot (T_{hud}^4 - T_{rum}^4)$$

$$A \approx 2 \text{ m}^2$$

$$T_{hud} \approx 33^\circ \text{ C, kläder} \rightarrow 28^\circ \text{ C}$$

$$T_{rum} \approx 20^\circ \text{ C}$$

$$P \approx \underline{\underline{100 \text{ W}}}$$

Vissa material är ogenomskinliga för synligt ljus (plastpåsen), och vissa material för infrarött (glas)

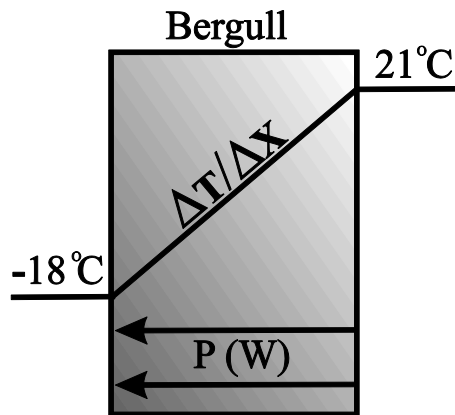


# Gruppdiskussion

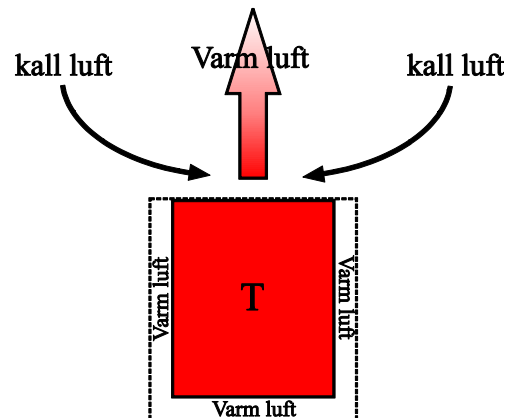
Hur skall man konstruera ett så bra isolerat och energieffektivt hus som möjligt?

## Värmeledning

$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

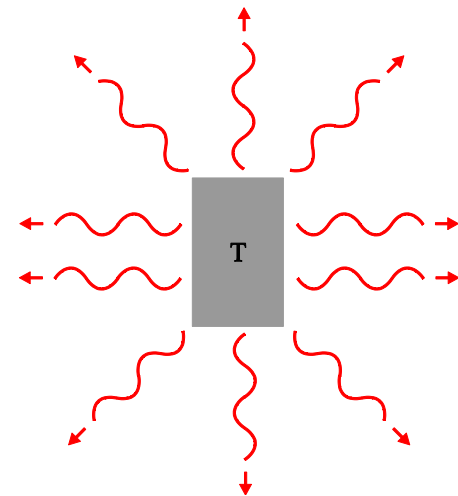


## Konvektion



## Värmestrålning

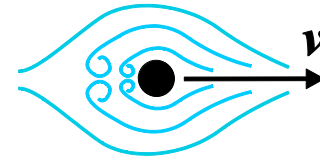
$$\frac{\Delta P}{\Delta A} = \varepsilon \sigma \cdot T^4$$



# Projektilrörelse med luftmotstånd

$R_e \gg 1000$ , turbulet flöde

$$F_{lm} = \frac{C_{lm} \cdot A \cdot \rho}{2} v^2$$



För bollar, människor och många andra objekt kan luftmotståndskoefficienten approximeras vara  $C_{lm} \approx 0.35$

Luftens densitet  $\rho \approx 1.2 \text{ kg/m}^3$

$$\Rightarrow F_{lm} \approx \frac{0.35 \cdot 1.2}{2} A v^2 \Rightarrow F_{lm} \approx \frac{1}{4} A v^2$$

Denna formel är bara en approximation som stämmer ganska bra för stora rundformiga objekt i luft som inte har allt för hög fart



# Fallrörelse i vätska (Putoamisliike nesteessä)

För låga hastigheter i luft och för rörelse i vatten är rörelsemotståndet  $F_{lm} = k \cdot v$   $k$  är motståndskoefficienten

Släpper man en sten i vatten, ger Newtons andra lag:

$$F = W - F_{lm} = m^* g - kv = ma \quad \text{där: } m^* = V(\rho - \rho_v)$$

$V$  Kroppens volym ( $m^3$ )

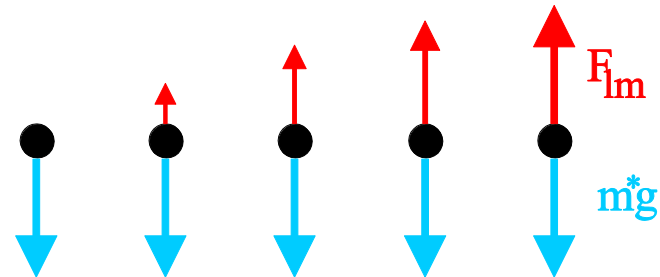
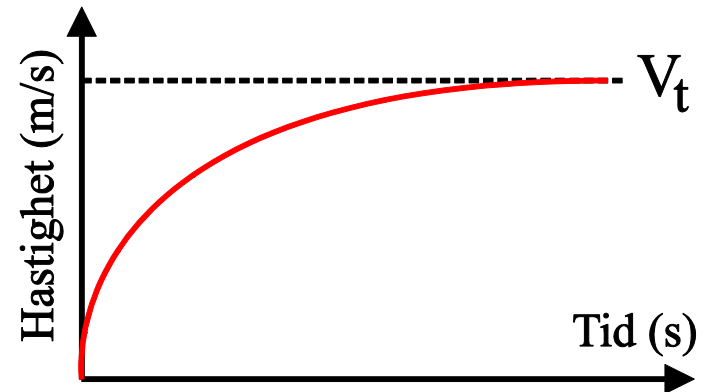
$\rho$  Kroppens densitet ( $kg/m^3$ )

$\rho_v$  Vattnets densitet ( $kg/m^3$ )

Terminalhastighet,  $v_t$  fås då gravitationskraften är lika med motståndskraften

$$F = W - F_{lm} = m^* g - kv = 0$$

➔ 
$$v_t = \frac{m^* g}{k}$$



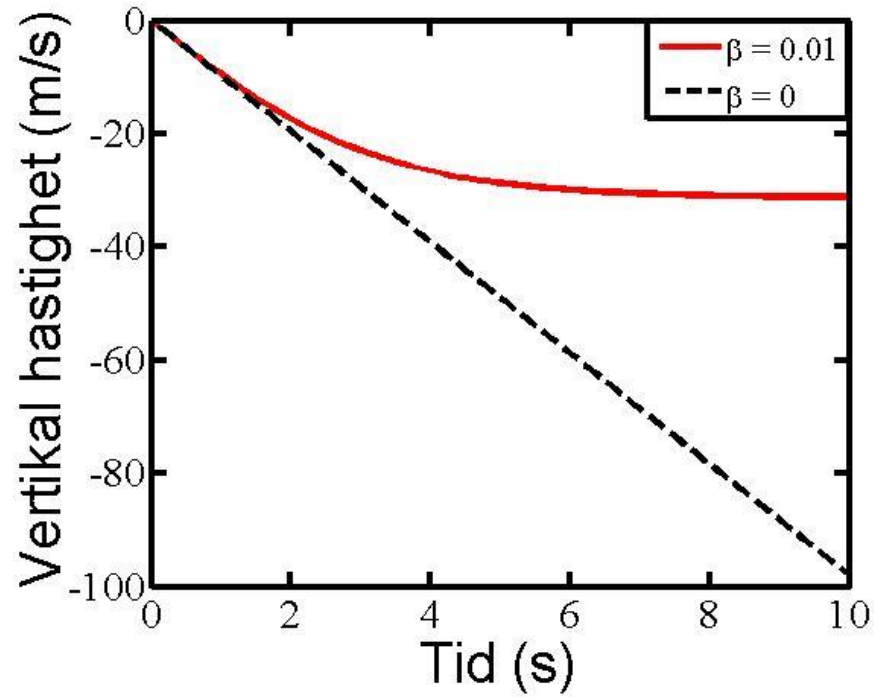
# Fallrörelse i en gas (Putoamisliike kaasussa)

För fallrörelse i en gas är luftmotståndsaccelerationen:  $a_{lm} = \beta \cdot v^2$

Terminalhastighet,  $v_t$  fås då gravitationskraften är lika med luftmotståndskraften

$$F = W - F_{lm} = mg - m\beta v^2 = 0$$

→ 
$$v_t = \sqrt{\frac{g}{\beta}}$$





## Lärandemål:

- Kunna förklara förändringar i en fast kropps inre energi på mikroskopisk nivå med hjälp av fjäder-boll modellen
- Kunna beräkna inre energiförändringar för en utsträckt kropp
- Kunna matematiskt relatera temperaturskillnader, energiöverföring p.g.a. temperaturskillnad och specifik värmekapacitet
- Kunna beräkna och använda potentiella energin för ett system med en fjäder

