

Föreläsning 1, Fysik B för D2

Thomas Nilsson

October 29, 1997

1 Temperatur

Temperatur - makroskopisk observabel av interna energin

1.1 Temperatur och termodynamikens nollte huvudsats

Termodynamikens nollte huvudsats: *Om två objekt A och B var och för sig är i termisk jämvikt med ett tredje objekt C, så är A och B i termisk jämvikt med varandra om de placeras med termisk kontakt* → vi kan använda termometrar

1.2 Termometrar

En termometer använder sig av någon mätbar fysikalisk storlek som är temperaturberoende, t. ex.

- volymsförändring hos en vätska eller gas - *kvicksilvertermometer*
- längdförändring - *bimetall*
- tryckförändring - *gastermometer*
- resistivitetsförändring - *termistor*
- färgförändring - *“remсор”*

1.3 Temperaturskalar, absoluta nollpunkten

De temperaturskalar som används har olika kalibreringspunkter:

- Celsius: vattnets fryspunkt → 0°C; vattnets kokpunkt → 100°C
- Fahrenheit: kvicksilvers fryspunkt → 0°F; människans temperatur → 100°F

- Kelvin: absoluta nollpunkten → 0 K; vattnets trippelpunkt → 273.16 K

I en gastermometer hålls en given mängd gas innesluten i en konstant volym. Då man plottar trycket som en funktion av temperaturen (klassiskt har vattnets frys- och kokpunkt använts) fås en rät linje som kan extrapoleras till $p = 0$ (fig. 19.4), varvid temperaturen -273.15°C erhålls oavsett vilken gas som används. Numera används vattnets **trippelpunkt** (= den temperatur där vattnets tre faser, is, vätska och ånga kan existera samtidigt) istället för fryspunkt, denna ligger vid 0.01°C.

Termodynamiska temperaturskalan 1 K = 1/273.16 av temperaturen vid vattnets trippelpunkt.

Klassisk fysik → ingen rörelse vid 0 K.

Kvantmekanik → nollpunktsrörelse

1.4 Termisk expansion

Gittervibrationer ökar (asymmetriskt) med ökande temperatur - expansion. Se fig. 19.6.

Linjär expansion:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

α - linjär expansionskoefficient

Alla dimensioner expanderar (Fig. 19.7)!

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

β - volymär expansionskoefficient

Antag att ett rätklock har sidorna l, w, h . Då är volymexpansionen:

$$V + \Delta V = (l + \Delta l)(w + \Delta w)(h + \Delta h) =$$

$$\begin{aligned} (l + \alpha l \Delta T)(w + \alpha w \Delta T)(h + \alpha h \Delta T) &= \\ lwh(1 + \alpha \Delta T)^3 &= \\ V[1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3] & \end{aligned}$$

Men

$$(V + \Delta V)/V = 1 + \Delta V/V$$

Då blir

$$\begin{aligned} \Delta V/V &= \\ 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3 &\approx \\ 3\alpha \Delta T & \end{aligned}$$

om $\alpha \Delta T \ll 1$. Detta ger:

$$\beta = 3\alpha$$

P.s.s. för ytexpansion:

$$\Delta A = 2\alpha A \Delta T$$

Bimetallfjädrar kan användas som enkla termometrar, se fig. 19.8.

Vatten har maximal densitet vid $4^\circ\text{C} \rightarrow$ sjöar bottenfrysar inte.

1.5 Ideala gaser

Ideala gaslagen (tillståndsekvation):

$$PV = nRT$$

där n - antal mol ($N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$) och $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

eller, om $N = n \cdot N_A$:

$$PV = Nk_B T$$

där $k_B = \frac{R}{N_A} = 1.3810^{-23} \text{ J/K}$

2 Värme och termisk energi

2.1 Värme

Skilj på :

- **Intern energi** - all energi som ett stationärt system har (alltså ingen kinetisk-, rotations- etc. energi). Denna kan vara nukleär, kemisk, termisk etc.

- **Termisk energi** - den del av den interna energin som ändras då temperaturen ändras

Värme är energi och mäts i *Joule*. För ekvivalensen mellan mekanisk och termisk energi, studera Joules försök (fig. 20.1 i Serway)

Specifika värmnet bestäms av den mängd termisk energi Q som man måste tillföra en substans med massan m för att höja temperaturen med ΔT :

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T}$$

c ges antingen i enheten $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ eller $\text{J/mol} \cdot \text{K}$ (molära specifika värmnet). c varierar beroende på om **trycket** (C_P) eller **volymen** (C_V) hålls konstant. För vätskor och fasta material är denna skillnad försumbar.

Detta gäller utan **fasövergångar**. Vid dessa krävs att termisk energi tillförs eller avges, men temperaturen är konstant (ex. vatten - is). Vid fasövergången gäller

$$Q = mL$$

2.2 Arbete

En gas som har trycket P expanderar långsamt mot en rörlig pistong med arean A (se fig. 20.3) utför ett **arbete**. För en infinitesimal expansion Δy utträttas ett arbete som är

$$dW = F dy = P A dy$$

Då $A dy = dV$ får vi

$$dW = P dV$$

Arbete sker endast vid volymförändring. Vi kan integrera det tidigare uttrycket:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Av detta följer:

- Arbetet som ett termodynamiskt system utför är arean under kurvan mellan initial- och finaltillståndet i ett PV -diagram.
- Vi måste känna till P och V för varje punkt mellan initial- och finaltillståndet, alla intermediära tillstånd.

Studera Fig. 20.6.

3 Första huvudsatsen

Termodynamikens första huvudsats: *Ett system kan avge/ta emot termisk energi respektive utföra/utsättas för arbete. Summan av dessa ändringar ger ändringen i inre energi* “energibalansräkning”:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W$$

Här är den termiska energin Q som **tillförs** systemet satt med positivt tecken, liksom det arbete W som systemet **utför**.

Infinitesimalt:

$$dU = dQ - dW$$

3.1 Isolerade processer

Här utför systemet inget arbete, och ingen värmeöverföring sker. Då är $Q = W = 0 \rightarrow \Delta U = 0$, den interna energin är konstant.

3.2 Cykliska processer

Om vi tar ett system igenom en cyklisk process så är $\Delta U = 0$. Första huvudsatsen ger då att $Q = W$, mao. nettot av den termiska energin som har tillförts systemet har ombildats till mekanisk energi som systemet har utfört.

Nettoarbetet per cykel ges av ytan som omsluts av kurvan i PV-diagrammet.

Table 1: Översättningar i urval

specific heat	specifikt värme
latent heat of fusion	smältentalpi
latent heat of vaporization	ångbildningsentalpi

A Ordlista