

5 Termodynamik

Temperatur, inre energi och värme

5.1 a) Temperatur är ett mått på den inre rörelseenergin i ett ämne, värme är energi som flyttas från en kropp till en annan p.g.a. kropparnas olika temperaturer.

b) Ideala gaslagen ger att

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant}$$

För en konstant volym fås

$$\frac{p}{T} = \text{konstant}$$

Kvoten mellan tryck och temperatur innan temperaturhöjningen är sålunda lika stor som kvoten mellan tryck och temperatur efter temperaturhöjningen.

$$\frac{p_{\text{före}}}{T_{\text{före}}} = \frac{p_{\text{efter}}}{T_{\text{efter}}}$$

$$p_{\text{efter}} = \frac{T_{\text{efter}}}{T_{\text{före}}} p_{\text{före}}$$

där $T_{\text{före}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$ och $T_{\text{efter}} = 313 \text{ }^\circ\text{C} = 586 \text{ K}$

vilket ger $p_{\text{efter}} = \frac{586}{293} p_{\text{före}} = 2 p_{\text{före}}$

Svar: a) Falskt och b) sant

5.2 Vi har nu två sätt att ange molekylerna rörelseenergi på

$$\frac{3}{2}kT = \frac{mv^2}{2}$$

ur vilket den sökta hastigheten fås

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

där $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, $T = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$, $m = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

$$\text{vilket ger } v = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293}{4,65 \cdot 10^{-26}}} \text{ m/s} = 510,7 \text{ m/s}$$

Svar: 510 m/s

5.3 Ideala gaslagen ger att

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant}$$

För en konstant volym fås

$$\frac{p}{T} = \text{konstant}$$

$$\text{Detta ger } \frac{p_{\text{före}}}{T_{\text{före}}} = \frac{p_{\text{efter}}}{T_{\text{efter}}}$$

$$\text{eller } T_{\text{efter}} = \frac{p_{\text{efter}}}{p_{\text{före}}} T_{\text{före}}$$

där $p_{\text{efter}} = 15 \text{ MPa}$, $p_{\text{före}} = 5,0 \text{ MPa}$

och $T_{\text{före}} = 17 \text{ °C} = 290 \text{ K}$

$$\text{vilket ger } T_{\text{efter}} = \frac{15}{5,0} 290 \text{ K} = 870 \text{ K} = 597 \text{ °C}$$

Svar: 597 °C

5.4 Ideala gaslagen ger att

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant}$$

Detta ger $\frac{p_{\text{före}} V_{\text{före}}}{T_{\text{före}}} = \frac{p_{\text{efter}} V_{\text{efter}}}{T_{\text{efter}}}$

eller $p_{\text{efter}} = \frac{p_{\text{före}} V_{\text{före}} T_{\text{efter}}}{T_{\text{före}} V_{\text{efter}}}$

där $p_{\text{före}} = 1,0 \text{ Pa}$, $V_{\text{före}} = 80 \text{ l}$, $T_{\text{efter}} = 67 \text{ °C} = 340 \text{ K}$

$T_{\text{före}} = 17 \text{ °C} = 290 \text{ K}$ och $V_{\text{efter}} = 1,5 \text{ l}$

vilket ger $p_{\text{efter}} = \frac{1,0 \cdot 80 \cdot 340}{290 \cdot 1,5} \text{ Pa} = 62,53 \text{ Pa}$

Svar: 63 Pa

Värmekapacitet och fasomvandlingar

5.5 Värmen för att smälta något ges av

$$Q = l_s m$$

Värmen är alltså linjärt beroende på massan vilket betyder att om massan fördubblas behövs det dubbelt så mycket värme för att smälta massan.

Svar: Sant

5.6 Smältning av isen och uppvärmning av smältvattnet sker i 2 steg:

1 Isen smälts

2 Vattnets temperatur höjs från 0 °C till 68 °C

Värmen för detta fås som summan av energierna för de 2 stegen.

1 $Q_1 = l_{s, \text{is}} m = 334 \cdot 10^3 \cdot 0,55 \text{ J} = 183700 \text{ J}$

2 $Q_2 = c_{\text{vatten}} m \Delta T_{\text{vatten}} = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,55 \cdot (68 - 0) \text{ J} = 156332 \text{ J}$

Den totala värmen blir då

$$Q = Q_1 + Q_2 = 340032 \text{ J}$$

Svar: 340 kJ

5.7 Värmen som avges ges av

$$Q = c_{\text{vatten}} m \Delta T_{\text{vatten}} = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 2,0 \cdot 90 \text{ J} = 752400 \text{ J}$$

Svar: 0,75 MJ

5.8 Värme går från det varmare vattnet till det kallare koncentratet tills de har samma temperatur, T .

$$Q_{\text{vatten}} = Q_{\text{konc}}$$

$$c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} \Delta T_{\text{vatten}} = c_{\text{konc}} m_{\text{konc}} \Delta T_{\text{konc}}$$

$$c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} (T_{\text{start, vatten}} - T) = c_{\text{konc}} m_{\text{konc}} (T - T_{\text{start, konc}})$$

där $c_{\text{vatten}} = c_{\text{konc}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$, $m_{\text{vatten}} = 4m_{\text{konc}}$,

$$T_{\text{start, vatten}} = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 291 \text{ K} \text{ och } T_{\text{start, konc}} = 8 \text{ }^\circ\text{C} = 281 \text{ K}$$

och T är den eftersökta, slutgiltiga, gemensamma temperaturen.

Detta ger $c_{\text{vatten}} 4m_{\text{konc}} (T_{\text{start, vatten}} - T) = c_{\text{vatten}} m_{\text{konc}} (T - T_{\text{start, konc}})$

$$4(T_{\text{start, vatten}} - T) = (T - T_{\text{start, konc}})$$

$$4T_{\text{start, vatten}} - 4T = T - T_{\text{start, konc}}$$

$$T + 4T = 4T_{\text{start, vatten}} + T_{\text{start, konc}}$$

$$5T = 4T_{\text{start, vatten}} + T_{\text{start, konc}}$$

$$T = \frac{4T_{\text{start, vatten}} + T_{\text{start, konc}}}{5} = \frac{4 \cdot 291 + 281}{5} \text{ K} = 289 \text{ K} =$$

$$= 289 - 273 \text{ }^\circ\text{C} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

Svar: 16 °C

- 5.9 Tillförd effekt $P_{\text{tillförd}} = 1000 \text{ W}$
 Verkningsgrad $\eta = 75 \% \text{ ger}$
 Nyttig effekt $P_{\text{nyttig}} = \eta P_{\text{tillförd}} = 0,75 \cdot 1000 \text{ W} = 750 \text{ W}$

Till vattnet tillförd energi/värme fås från

$$P_{\text{nyttig}} = \frac{E_{\text{nyttig}}}{t}$$

som $E_{\text{nyttig}} = P_{\text{nyttig}} \cdot t = 750 \cdot 12 \cdot 60 = 540000 \text{ J}$

Denna går till vattnet vars temperatur då höjs från $25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$ till T .

$$E_{\text{nyttig}} = cm\Delta T = cm(T - 298)$$

$$\frac{E_{\text{nyttig}}}{cm} = T - 298$$

$$T = \frac{E_{\text{nyttig}}}{cm} + 298 = \frac{540000}{4,18 \cdot 10^3 \cdot 2,0} + 298 \text{ K} =$$

$$= 362,6 \text{ K} = 89,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Svar: $90 \text{ }^\circ\text{C}$

- 5.10 Energin som behövs för att höja temperaturen ges av

$$Q = cm\Delta T$$

Eftersom $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ i både i) och ii) kräver uppvärmning i) lika mycket energi som uppvärmning ii)

Svar: c)

- 5.11 Värme går från det varmare vattnet till den kallare vätskan tills de har samma temperatur.

$$Q_{\text{vatten}} = Q_{\text{vätska}}$$

$$c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} \Delta T_{\text{vatten}} = c_{\text{vätska}} m_{\text{vätska}} \Delta T_{\text{vätska}}$$

ur vilket den sökta värmekapacitiveteten fås

$$c_{\text{vätska}} = \frac{c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} \Delta T_{\text{vatten}}}{m_{\text{vätska}} \Delta T_{\text{vätska}}}$$

där $c_{\text{vatten}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$, $m_{\text{vatten}} = 0,150 \text{ kg}$,

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 95 - 71 \text{ }^\circ\text{C} = 24 \text{ }^\circ\text{C}, m_{\text{vätska}} = 0,250 \text{ kg}$$

$$\text{och } \Delta T_{\text{vätska}} = 71 - 45 \text{ }^\circ\text{C} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Detta ger } c_{\text{vätska}} = \frac{4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,150 \cdot 24}{0,250 \cdot 26} \text{ J/(kgK)} = 2315 \text{ J/(kgK)}$$

Svar: $2,3 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$

Entropi och energikvalitet

- 5.12 Den totala entropin ökar vid alla verkliga energiomvandlingar.

Svar: Falskt

- 5.13 Värme går platsen med högre temperatur, i huset, till den med lägre temperatur, utanför huset.

Energien i det varma huset minskar med

$$Q_{\text{hus}} = -1,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

och lika mycket ökar energien utanför

$$Q_{\text{ute}} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Temperaturen i huset är $T_{\text{hus}} = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$,

vilket ger entropiförändringen hos det varma huset som

$$\Delta S_{\text{hus}} = \frac{Q_{\text{hus}}}{T_{\text{hus}}} = \frac{-1,4 \cdot 10^5}{293} \text{ J/K} = -477,8 \text{ J/K}$$

Temperaturen utanför huset är $T_{\text{ute}} = -20 \text{ }^\circ\text{C} = 253 \text{ K}$,

motsvarande entropiförändring utanför huset är sålunda

$$\Delta S_{\text{ute}} = \frac{Q_{\text{ute}}}{T_{\text{ute}}} = \frac{1,4 \cdot 10^5}{253} \text{ J/K} = 553,4 \text{ J/K}$$

Den totala entropiförändringen fås som summan av det varma husets och den kalla utsidans entropiförändringar.

$$\Delta S = \Delta S_{\text{hus}} + \Delta S_{\text{ute}} = -477,8 + 553,4 \text{ J/K} = 75,6 \text{ J/K}$$

Svar: Entropin ökar med 76 J/K.

- 5.14 Lådans ursprungliga lägesenergi omvandlas först till rörelseenergi och till sist till värme vid kraschen. Värmen som tillförs omgivningen vid kraschen är därmed

$$Q_{\text{krasch}} = E_k = E_p = mgh$$

där $m = 1,5 \text{ kg}$ och $h = 1,5 \text{ m}$.

Detta ger $Q_{\text{krasch}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 9,82 \text{ J} = 22,1 \text{ J}$

Motsvarande entropiökning ges av

$$\Delta S_{\text{krasch}} = \frac{Q_{\text{krasch}}}{T_{\text{krasch}}} = \frac{22,1}{273 + 20} \text{ J/K} = 0,0754 \text{ J/K}$$

Svar: 75 mJ/K

- 5.15 a) Värme går från kopparn till vattnet till dess att de har samma temperatur, T .

$$Q_{\text{koppar}} = Q_{\text{vatten}}$$

$$c_{\text{koppar}} m_{\text{koppar}} \Delta T_{\text{koppar}} = c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} \Delta T_{\text{vatten}}$$

$$c_{\text{koppar}} m_{\text{koppar}} (T_{\text{start,koppar}} - T) = c_{\text{vatten}} m_{\text{vatten}} (T - T_{\text{start,vatten}})$$

där $c_{\text{koppar}} = 0,386 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$, $c_{\text{vatten}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$,

$$m_{\text{koppar}} = 0,75 \text{ kg}, m_{\text{vatten}} = 3,0 \text{ kg},$$

$$T_{\text{start,koppar}} = 90 \text{ }^\circ\text{C} = 363 \text{ K} \text{ och } T_{\text{start,vatten}} = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

Detta ger $386 \cdot 0,75(363 - T) = 4180 \cdot 3,0(T - 273)$

ur vilket den slutliga gemensamma temperaturen fås som

$$T = 275,03 \text{ K}$$

Energien hos kopparn minskar därmed enligt

$$Q_{\text{koppar}} = -386 \cdot 0,75 \cdot (363 - 275,03) \text{ J} = -25467 \text{ J}$$

Kopporns medeltemperatur är

$$T_{\text{koppar}} = (363 + 275,03)/2 \text{ K} = 319,02 \text{ K}$$

och entropiförändringen hos kopparn fås som

$$\Delta S_{\text{koppar}} = \frac{Q_{\text{koppar}}}{T_{\text{koppar}}} = \frac{-25467}{319,02} \text{ J/K} = -79,83 \text{ J/K}$$

b) Energin hos vattnet ökar med lika mycket som den minskar hos kopparn

$$Q_{\text{vatten}} = 25467 \text{ J}$$

Vattnets medeltemperatur är

$$T_{\text{vatten}} = (275,03 + 273)/2 \text{ K} = 274,015 \text{ K}$$

och entropiförändringen hos vattnet fås som

$$\Delta S_{\text{vatten}} = \frac{Q_{\text{vatten}}}{T_{\text{vatten}}} = \frac{25467}{274,015} \text{ J/K} = 92,94 \text{ J/K}$$

c) Universums entropiförändring fås som summan av kopporns och vattnets entropiförändringar

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{universum}} &= \Delta S_{\text{koppar}} + \Delta S_{\text{vatten}} = -79,83 + 92,94 \text{ J/K} = \\ &= 13,11 \text{ J/K} \end{aligned}$$

Svar: a) -80 J/K , 93 J/K och c) 13 J/K

5.16 Energi går från vattnet/isen till frysfacket till dess att de har samma temperatur. Då vattnet fryser ändras energin hos det med

$$Q_1 = -l_{s, \text{is}} m = -334 \cdot 10^3 \cdot 0,100 \text{ J} = -33400 \text{ J}$$

Då isens temperatur sjunker till $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ minskar dess energi med

$$Q_2 = -c_{\text{is}} m_{\text{is}} \Delta T_{\text{is}} = -2,2 \cdot 10^3 \cdot 0,100 \cdot (273 - 266) \text{ J} = -1540 \text{ J}$$

Förändringen av universums entropi fås som summan av förändringen av is/vattnets entropi och frysfackets.

Vattnets medeltemperatur under frysningsen är

$$T_{\text{vatten}} = 273 \text{ K}$$

och entropiförändringen fås som

$$\Delta S_{\text{vatten}} = \frac{Q_1}{T_{\text{vatten}}} = \frac{-33400}{273} \text{ J/K} = -122,34 \text{ J/K}$$

Isens medeltemperatur under temperatursänkningen är

$$T_{\text{vatten}} = (273 + 266)/2 \text{ K} = 269,5 \text{ K}$$

och entropiförändringen fås som

$$\Delta S_{\text{is}} = \frac{Q_2}{T_{\text{vatten}}} = \frac{-1540}{269,5} \text{ J/K} = -5,71 \text{ J/K}$$

Fryssockets medeltemperatur under detta är

$$T_{\text{fryssock}} = -7 \text{ °C} = 266 \text{ K}$$

och dess entropiökning

$$\Delta S_{\text{fryssock}} = \frac{Q_1 + Q_2}{T_{\text{fryssock}}} = \frac{33400 + 1540}{266} \text{ J/K} = 131,35 \text{ J/K}$$

Universums entropiförändring fås som summan av dessa tre förändringar

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{universum}} &= \Delta S_{\text{vatten}} + \Delta S_{\text{is}} + \Delta S_{\text{fryssock}} = \\ &= -122,34 - 5,71 + 131,35 \text{ J/K} = 3,3 \text{ J/K} \end{aligned}$$

Svar: Ökar med 3,3 J/K

Energikällor

5.17 a) Fossila bränslen har varit utanför det naturliga kretsloppet i miljontals år och ger därmed ett nettotillskott av koldioxid till naturen. Biobränslen ger inget sådant nettotillskott i och med att den koldioxid som släpps ut vid deras förbränning balanseras av tillväxt i naturen.

b) Världens andel av förnybara energikällor fås som

$$7 \% (\text{vattenkraft}) + 2 \% (\text{biobränslen, torv mm}) = 9 \%$$

Sveriges motsvarande andel fås som

$$11 \% (\text{vattenkraft}) + 22 \% (\text{biobränslen, torv mm}) + 1 \%$$

(vindkraft) = 34 % vilket är nästan fyra gånger större än världens andel.

Svar: a) Falskt och b) sant

Energianvändning

- 5.18 Sveriges industrier står för 25 % av vår energianvändning. Alla våra transporter står för 14 % (Inrikes) + 10 % (Utrikes) = 24 %.

Svar: Sant

- 5.19 Ungefärlig klimatpåverkan från olika färdmedel per person och kilometer

Bil	100
Tåg, tunnelbana	2
Flyg	300
Buss	50

Tåg, tunnelbana och buss och tunnelbana är de mest miljövänliga motordrivna alternativen, räknat per person och rest kilometer. Bilen används betydligt mer än alla andra trafikslag. Därför har biltrafiken totalt sett mycket större miljöpåverkan än de andra färdmedlen. Störst effekt fås därför om så många bilresor som möjligt ersätts med miljövänligare alternativ – res inte alls, gå, cykla, ta bussen eller tåget. Ett tåg rymmer lika många resenärer som sex bussar eller nästan 140 bilar. Ett godståg klarar lika mycket last som 30 långtradare.

Energilagring

- 5.20 Vissa energiformer är lagringsbara, t.ex. lägesenergi.

Svar: Falskt