

Läs detta först:

[version 141008]

Denna text innehåller teori och korta instuderingsuppgifter som du ska lösa. Under varje uppgift finns ett horisontellt streck, och direkt nedanför strecket finns facit till uppgiften. För att slippa se det rätta svaret ska du låta ett pappersark dölja all text som finns nedanför den rad du just läser, och stanna upp så fort ett horisontellt streck dyker upp.

Har du förstått?

Ja. Om du missat att svara rätt på denna fråga ska du kontakta din lärare!

Nu kan vi börja!

Det ska handla om:

Uppvärmning, avsvälning och fasövergångar

När du är klar med den här övningen kommer du till exempel att kunna beräkna hur mycket energi som åtgår för att omvandla en viss mängd is till vattenånga. Materialet är åtta sidor långt och omfattar det väsentligaste i kapitel 7.5 i Ergo 1. Räkna med att det tar ca 60–90 minuter att arbeta igenom.

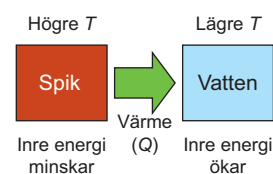
Innan vi går vidare behöver vi förstå de viktiga begreppen system, inre energi, temperatur och värme:

- När vi pratar om ett **system** menar vi framöver ett antal molekyler (eller atomer) som på något vis hör samman. Ett system kan vara en viss mängd vatten i en burk, det kan vara vattnet tillsammans med burken, det kan vara ett äpple, en liten bit granit, en stor blåbärs muffins, ...
- Ett systems **inre energi** är summan av molekylernas rörelseenergi (kallas ibland lite halvslarvigt för “värmeenergi”) och systemets totala potentiella energi (den senare kan vara olika stor beroende på hur molekylerna binder till varandra).
- Ett systems **temperatur** (T) är ett mått på den genomsnittliga oordnade rörelseenergin hos molekylerna i systemet. Ju högre temperatur, desto mer rör sig molekylerna i systemet.
- **Värme** (Q) är energi som överförs från ett system med högre temperatur till ett system med lägre temperatur.

Som ett exempel på ovanstående kan vi betrakta en varm spik ($T = 800\text{ K}$) som släpps ner i kallt vatten ($T = 275\text{ K}$). Energi kommer att överföras från spiken till vattnet. Spikens inre energi minskar samtidigt som vattnets inre energi ökar. Energiöverföringen pågår så länge temperaturen i spiken och vattnet är olika. (Hur *mycket* energi som överförs, och hur stor sluttemperaturen blir, kommer du snart att kunna räkna ut!)

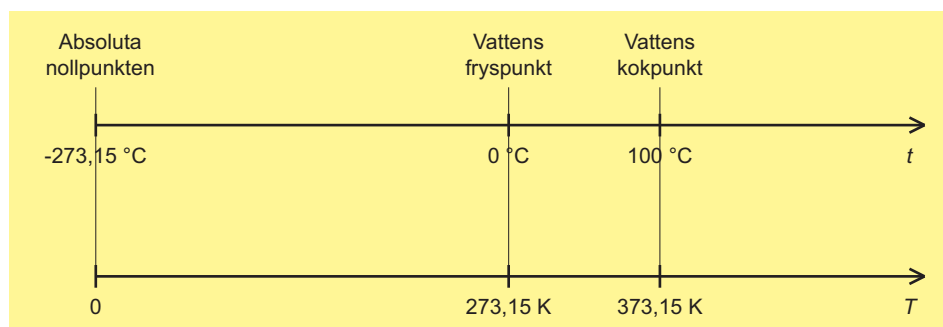


Schematiskt:



1.1 Olika temperaturenheter

Innan vi går vidare några ord om temperaturmätning. Temperatur kan mätas i olika enheter. De vanligaste är grader celsius ($^{\circ}\text{C}$) och kelvin (K). Hur de olika temperaturskalorna hänger ihop framgår förhoppningsvis av figuren nedan.



Det är viktigt att kunna omvandla mellan de olika enheterna. Testa om du kan detta genom att uttrycka temperaturen $t = 76^{\circ}\text{C}$ i kelvin!

▷ $T = (76 + 273,15) \text{ K} = 349 \text{ K}$.

Uttryck temperaturen $T = 65 \text{ K}$ i grader celsius!

▷ $t = (65 - 273,15) ^{\circ}\text{C} = -208 ^{\circ}\text{C}$.

Notera att **differensen** mellan två temperaturer har samma måttetal i båda enheterna. Vi kollar detta:

Hur stor är temperaturändringen om temperaturen i en kaffekopp ändras från 35°C till 67°C ?

▷ $\Delta t = (67 - 35) ^{\circ}\text{C} = 32 ^{\circ}\text{C}$.

Räkna om temperaturerna (35°C respektive 67°C) till kelvin och bestäm temperaturdifferensen i denna enhet!

▷ $35^{\circ}\text{C} = (35 + 273,15) \text{ K} = 308 \text{ K}$

▷ $67^{\circ}\text{C} = (67 + 273,15) \text{ K} = 340 \text{ K}$

▷ $\Delta T = (340 - 308) \text{ K} = 32 \text{ K}$.

En temperaturdifferens på 32°C är alltså precis lika mycket som en temperaturdifferens av 32 K !

1.2 Uppvärmning och avsvälning

Antag nu att vi vill öka temperaturen hos ett ämne, till exempel 1,0 kg vatten, med 10 K. Hur mycket energi måste tillföras? Jo, den upptagna energimängden, eller upptagna värmnet Q , när temperaturen ökar med ΔT i ett ämne med massan m ges av formeln

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

där c är ämnets **specifika värmekapacitet**. Den specifika värmekapaciteten är olika för olika material, och kan sägas vara ett mått på "värmetrogheten" hos ett material. Ju större värde på specifika värmekapaciteten, desto större energimängd krävs för att åstadkomma en given temperaturökning.

Leta upp den specifika värmekapaciteten för järn och vatten i formelsamlingen!

-
- ▷ Järn: $c = 0,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 0,45 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 - ▷ Vatten: $c = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Nu ska vi se hur detta kan användas. Hur mycket energi måste tillföras för att höja temperaturen i 10 kg vatten 45 K (det vill säga, hur stort är det upptagna värmnet)?

$$\triangleright Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 45 \text{ J} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Notera att om samma mängd vatten svalnar av så att temperaturen minskar med 45 K, så kommer precis samma energimängd att avges till omgivningen. Formeln ovan kan alltså användas för att beräkna det **upptagna** värmnet vid en temperaturhöjning, eller det **avgivna** värmnet vid en temperatursänkning!

I exemplet ovan, hur mycket ökar vattnets inre energi?

-
- ▷ Med lika mycket, $1,9 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Om temperaturen i samma mängd järn, 10 kg, ska öka lika mycket, hur stor energimängd måste tillföras (det vill säga, hur stort är det upptagna värmnet)?

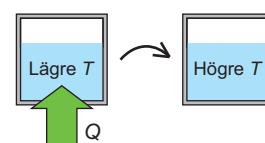
$$\triangleright Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,45 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 45 \text{ J} = 0,20 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Det krävs alltså mindre energi för att öka temperaturen med lika mycket i järn än i vatten!

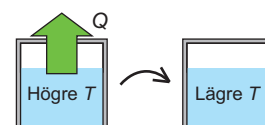
Vi tar en övning till på detta. Hur stor blir temperaturändringen om värmnet 19 kJ tillförs 2,4 kg koppar?

$$\triangleright Q = c \cdot m \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{19 \cdot 10^3}{0,39 \cdot 10^3 \cdot 2,4} \text{ K} = 20 \text{ K}.$$

Uppvärmning:



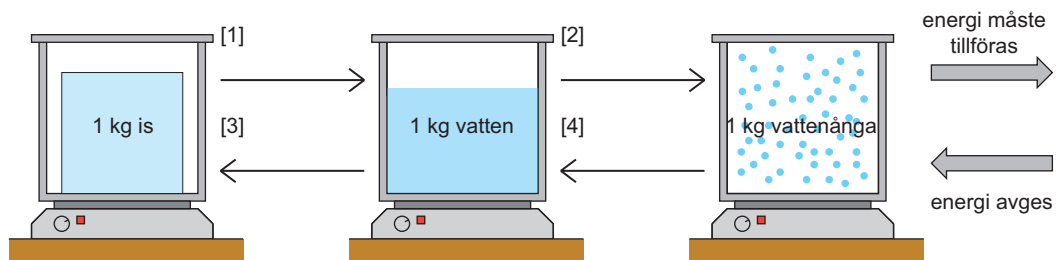
Avsvälning:



1.3 Fasövergångar

Nu ska vi se hur mycket energi som avges eller upptas av ämnen vid fasövergångar. Ett ämne kan beroende på omständigheterna (tryck och temperatur) befinna sig i olika **aggregeringsstillstånd**, eller **faser**: i fast fas, i flytande fas eller i gasfas. När ett ämne övergår från en fas till en annan säger man att det genomgår en **fasövergång**.

Pilarna i figuren nedan representerar fasövergångar. Fyll i rätt namn på respektive fasövergång.

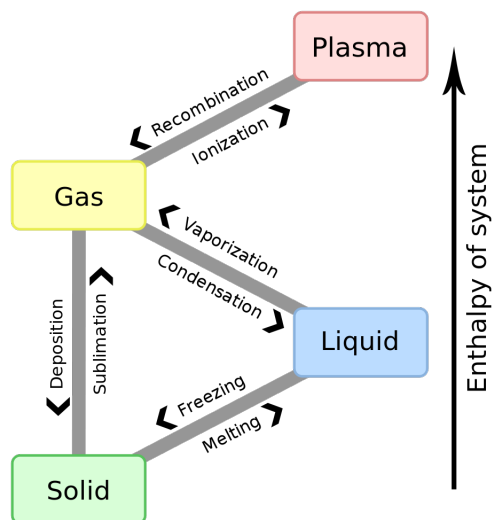


▷ [1]: smältning [2]: förångning [3]: stelning [4]: kondensation

Notera att för att orsaka smältning eller förångning av ett ämne måste energi **tillföras**. Detta eftersom det vid både smältning eller förångning är så att bindingar mellan molekyler bryts, och detta kostar alltid energi.

Omvänt är det så att energi **avges** vid stelning och kondensation.

En viktig sak att notera är att en **fasövergång alltid sker vid konstant temperatur**. Under en fasövergång förändras alltså inte temperaturen (vid till exempel smältning är det så att all energi som tillförs det smältande systemet går åt för att bryta bindingar).



Fasövergångar på engelska. Bild tagen från http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_transition

1.4 Smältning och stelning

Det upptagna (eller avgivna) värmets vid smältning (eller stelning) av ett ämne med massan m ges av

$$Q = l_s \cdot m,$$

där l_s är **smältentalpiteten** (eller specifika smältentalpin eller smältvärmets) för ämnet. Precis som specifika värmekapaciteten är smältentalpiteten en materialkonstant som är olika för olika ämnen (det är olika lätt att bryta bindningar i olika ämnen).

Leta upp smältentalpiteten för järn och vatten/is i formelsamlingen!

-
- ▷ Järn: $l_s = 247 \text{ kJ/kg} = 247 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
 - ▷ Vatten/is: $l_s = 334 \text{ kJ/kg} = 334 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

Hur mycket energi måste tillföras för att smälta 10 kg is?

-
- ▷ $Q = l_s \cdot m = 334 \cdot 10^3 \cdot 10 \text{ J} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ J}$.

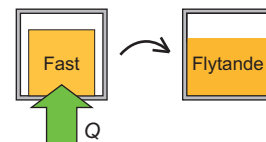
Notera att vid smältningen överförs 10 kg is med temperaturen 0°C till 10 kg vatten med temperaturen 0°C . Temperaturen förändras alltså inte vid själva smältningen.

Om samma mängd vatten stelnar till is, så kommer precis samma energimängd att avges till omgivningen. Formeln ovan kan alltså användas för att beräkna det **upptagna** värmets vid **smältning**, eller det **avgivna** värmets vid **stelning**!

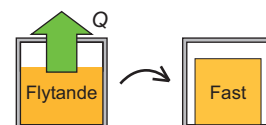
Hur stort värme avges när 400 kg smält järn stelnar?

-
- ▷ $Q = l_s \cdot m = 247 \cdot 10^3 \cdot 400 \text{ J} = 99 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Smältning:



Stelning:



1.5 Förångning och kondensation

Nu ska vi se hur man kan räkna på förångning och kondensation. Proceduren är väldigt lik den vi precis gått igenom.

Det upptagna (eller avgivna) värmets vid förångning (eller kondensation) av ett ämne med massan m ges av

$$Q = l_a \cdot m,$$

där l_a är **ångbildningsentalpiteten** (eller specifika ångbildningsentalpin eller ångbildningsvärmets) för ämnet. Precis som tidigare är ångbildningsentalpiteten en materialkonstant som är olika för olika ämnen (det är olika lätt att bryta bindningar i olika ämnen).

Leta upp ångbildningsentalpiteten för järn och vatten i formelsamlingen!

-
- ▷ Järn: $l_a = 6210 \text{ kJ/kg} = 6,2 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$
 - ▷ Vatten: $l_a = 2260 \text{ kJ/kg} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$

Hur mycket energi måste tillföras för att förånga 10 kg järn?

-
- ▷ $Q = l_a \cdot m = 6210 \cdot 10^3 \cdot 10 \text{ J} = 62 \cdot 10^6 \text{ J}.$

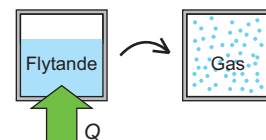
Notera att vid förångningen överförs 10 kg flytande järn vid kokpunkten ($2861 \text{ }^\circ\text{C}$) till 10 kg förångat järn med samma temperatur. Temperaturen förändras alltså inte vid själva förångningen.

Om samma mängd förångat järn kondenserar till flytande järn, så kommer precis samma energimängd att avges till omgivningen. Formeln ovan kan alltså användas för att beräkna det **upptagna** värmets vid **förångning**, eller det **avgivna** värmets vid **kondensation**.

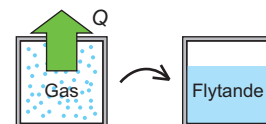
Hur stor energimängd avges när 2,4 kg vattenånga kondenserar?

-
- ▷ $Q = l_a \cdot m = 2260 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \text{ J} = 5,4 \cdot 10^6 \text{ J}.$

Förångning:



Kondensation:



1.6 Ett avslutande exempel

Nu ska vi använda allt vi lärt oss för att se hur mycket energi som åtgår för att förånga 1,0 kg is med temperaturen $-20\text{ }^\circ\text{C}$, det vill säga ta 1,0 kg is med temperaturen $-20\text{ }^\circ\text{C}$ till 1,0 kg vattenånga med temperaturen $100\text{ }^\circ\text{C}$. Vi behöver göra räkningarna i fyra steg.

Bestäm först hur mycket energi som måste tillföras för att värma isen från $-20\text{ }^\circ\text{C}$ till $0\text{ }^\circ\text{C}$.

▷ $Q = c_{\text{is}} \cdot m \cdot \Delta T = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 20\text{ J} = 44 \cdot 10^3\text{ J}$.

Beräkna sedan hur mycket energi som måste tillföras för att smälta isen!

▷ $Q = l_s \cdot m = 334 \cdot 10^3 \cdot 1,0\text{ J} = 334 \cdot 10^3\text{ J}$.

Hur mycket energi måste tillföras för att värma det 0-gradiga smältvattnet till $100\text{ }^\circ\text{C}$?

▷ $Q = c_{\text{vatten}} \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 100\text{ J} = 418 \cdot 10^3\text{ J}$.

Och till sist, beräkna hur mycket energi som måste tillföras för att förånga vattnet!

▷ $Q = l_a \cdot m = 2260 \cdot 10^3 \cdot 1,0\text{ J} = 2260 \cdot 10^3\text{ J}$.

Hur stor blir totala energin som måste tillföras? Vilket steg är mest energikrävande?

▷ $(44 + 334 + 418 + 2260)\text{ kJ} = 3056\text{ kJ} = 3,1\text{ MJ}$. Förångningen.

Så, nu har du kommit igång bra med att räkna på förändringar av ett systems inre energi (bokens kapitel 7.5), och kan exempelvis fortsätta med uppgift 7.23. Se läslappen för vidare anvisningar!

Observera dock att vi aldrig beräknar absoluta värden på ett systems inre energi. Det enda vi kan beräkna är upptagna eller avgivna värmen, och därmed endast **förändringar** av inre energi.

1.7 Ytterligare ett avslutande (och svårare) exempel

Om du vill kan du komma tillbaka till detta senare!

Vi ska återvända till spiken i vattnet i figuren på sidan 1. Antag att spiken var av järn och hade massan 0,012 kg. Antag vidare att vattnet hade massan 0,10 kg. Spiken kommer att avge värme som vattnet upptar så länge som spikens temperatur är högre än vattnets. Hur stor blir spikens och vattnets gemensamma sluttemperatur? Och hur stort värme har då överförts från spiken till vattnet? (Du kan försumma värmeutbyte med omgivningen.)

Ledtråd: 1) Låt sluttemperaturen vara x K. 2) Ställ upp uttryck för av spiken avgivet värme och för av vattnet upptaget värme, och sätt dessa lika.

Av spiken avgivet värme ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$):

$$Q_1 = 0,45 \cdot 10^3 \cdot 0,012 \cdot (800 - x) \text{ J}$$

Av vattnet upptaget värme:

$$Q_2 = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,10 \cdot (x - 275) \text{ J}$$

Inget energiutbyte med omgivningen innebär att $Q_1 = Q_2$, och vi får ekvationen

$$\begin{aligned} 0,45 \cdot 10^3 \cdot 0,012 \cdot (800 - x) &= 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,10 \cdot (x - 275) \\ 4320 - 5,4x &= 418x - 114950 \\ 4320 + 114950 &= 418x + 5,4x \\ 119270 &= 423,4x \\ x &= \frac{119270}{423,4} \\ x &= 281,7 \end{aligned} \quad (1)$$

Sluttemperaturen blir alltså 282 K, det vill säga vattentemperaturen ökar med 7 K från ursprungliga 275 K. Det överförda värmets är

$$Q_1 = 0,45 \cdot 10^3 \cdot 0,012 \cdot (800 - 281,7) \text{ J} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ J},$$

alltså 2,8 kJ. Vi hade precis lika gärna kunnat beräkna Q_2 , kolla själv!