Tutorato di Fisica 1 - AA 2014/15

Emanuele Fabbiani

21 febbraio 2015

1 Temperatura e calore

1.1 Esercizio 1

Un blocco di ghiaccio di massa $m = 2.3\ kg$ è alla temperatura $T_0 = -30\ ^\circ C$. Quale potenza P occorre per trasformarlo completamente in ghiaccio in $\Delta t = 15\ min$? Il calore specifico del ghiaccio è $c_g = 2090\ J/kg \cdot K$; il calore latente di fusione $L_f = 333.5\ kJ/kg$; quello di evaporazione $L_v = 2272\ kJ/kg$.

1.2 Esercizio 2

In un contenitore rigido a pareti adiabatiche sono contenuti $m_a = 2\ kg$ di acqua alla temperatura iniziale $T_a = 80\ ^\circ C$ e $m_v = 20\ g$ di vapore alla temperatura $T_v = 120\ ^\circ C$. Il calore latente di evaporazione dell'acqua è $L_v = 2272\ kJ/kg$ e il calore specifico del vapore $c_v = 1.9\ kJ/kg \cdot K$. Calcolare la temperatura nel contenitore quando viene raggiunto l'equilibrio termico.

1.3 Esercizio 3

Un numero $n = 10\ mol$ di acqua, inizialmente a temperatura $T_0 = 20\ ^\circ C$, sono scaldate per agitazione termica sfruttando la caduta di una massa $M = 100\ Kg$ per un dislivello $h = 10\ m$. 1. Calcolare l'aumento di temperatura ΔT della massa d'acqua.

1.4 Esercizio 4 (TE 4-Set-2006)

Una massa d'acqua $m = 5\ kg$ a temperatura $T_1 = 293K$ è trasformata in ghiaccio a temperatura $T_2 = 263\ K$. Supponendo che i calori specifici siano costanti negli intervalli di temperatura considerati e rispettivamente del valore: $c_a = 4186\ J/kg \cdot K$ e $c_g = 2093\ J/kg \cdot K$ e che il calore latente di fusione del ghiaccio sia $L_v = 3.34105\ J/kg$, calcolare la variazione d'entropia della massa d'acqua in corrispondenza al processo considerato.

2 Soluzioni

2.1 Esercizio 1

Il calore necessario per completare la trasformazione è la somma di quello assorbito dal corpo in ognuna della quattro fasi: da -30 a 0, fusione, da 0 a 100, vaporizzazione.

$$Q = c_g m \left(T_{fusione} - T_0\right) + L_f m + c_a m \left(T_{vaporizzazione} - T_{fusione}\right) + L_v m \tag{2.1}$$

$$Q = 2090 \cdot 2.5 \cdot 30 + 333500 \cdot 2.5 + 4186 \cdot 2.5 \cdot 100 + 2272000 \cdot 2.5 \simeq 7\ MJ \tag{2.2}$$

Il tempo in cui avviene la trasformazione deve essere misurato in secondi:

$$\Delta t\ \ [s] = 60 \cdot \Delta t\ \ [min] \tag{2.3}$$

$$\Delta t\ \ [s] = 60 \cdot 15 = 900\ s \tag{2.4}$$

La potenza si ottiene come rapporto tra energia e tempo:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{7 \cdot 10^6}{900} \simeq 7.8 \cdot 10^3\ W \tag{2.5}$$

2.2 Esercizio 2

Il contenitore è isolato dall'ambiente esterno: tutti gli scambi di calore riguardano solo il vapore e l'acqua in esso contenuti. Tutto il calore ceduto dal vapore viene quindi assorbito dall'acqua, fintanto che lo scambio non cessa.

$$\Delta Q_{tot} = \Delta Q_a + \Delta Q_v = 0 \tag{2.6}$$

Potrebbero presentarsi due differenti situazioni: il vapore potrebbe causare il passaggio di stato dell'acqua o viceversa. Per scoprirlo occorre calcolare il calore ceduto dal vapore fino al termine della condensazione e confrontarlo con quello necessario per giungere alla temperatura di ebollizione dell'acqua.
Il calore ceduto dal vapore per raffreddarsi fino a $T_{evap} = 100\ ^\circ C$ è:

$$Q_V\left(120 \to 100\right) = m_v c_v \left(T_{evap} - T_v\right) = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1900 \cdot (-20) = -760\ J \tag{2.7}$$

Quello ceduto nella condensazione è:

$$Q_v\left(vap \to liq\right) = -m_v L_v = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2272 \cdot 10^3 \simeq -45.4\ kJ \tag{2.8}$$

Il calore che l'acqua dovrebbe assorbire per portarsi alla temperatura di ebollizione è:

$$Q_a\left(80 \to 100\right) = m_a c_a \left(T_{evap} - T_a\right) = 2 \cdot 4196 \cdot 20 = 167\ kJ \tag{2.9}$$

Essendo $Q_a\left(80 \to 100\right) + Q_v\left(vap \to liq\right) + Q_V\left(120 \to 100\right) > 0$, il calore sprigionato dal vapore fino alla completa condensazione non è sufficiente a permettere all'acqua di raggiungere la temperatura di ebollizione. Di conseguenza, all'equilibrio, tutta la sostanza nel contenitore sarà acqua allo stato liquido.
Tornando all'equazione 2.6:

$$Q_a\left(80 \to eq\right) + Q_V\left(120 \to 100\right) + Q_v\left(vap \to liq\right) + Q_a\left(100 \to eq\right) = 0 \tag{2.10}$$

$$m_a c_a \left(T_e - T_a\right) + m_v c_v \left(T_{evap} - T_v\right) + \left(-m_v L_v\right) + m_v c_a \left(T_e - T_{evap}\right) = 0 \tag{2.11}$$

$$m_a c_a T_e - m_a c_a T_a + m_v c_v \left(T_{evap} - T_v\right) - m_v L_v + m_v c_a T_e - m_v c_a T_{evap} = 0 \tag{2.12}$$

$$m_a c_a T_e + m_v c_a T_e = m_a c_a T_a - m_v c_v \left(T_{evap} - T_v\right) + m_v L_v + m_v c_a T_{evap} \tag{2.13}$$

$$T_e = \frac{m_a c_a T_a - m_v c_v \left(T_{evap} - T_v\right) + m_v L_v + m_v c_a T_{evap}}{\left(m_a + m_v\right) c_a} = 359\ K \tag{2.14}$$

2.3 Esercizio 3

La massa molare dell'acqua è data dalla somma delle masse molari delle particelle che ne compongono la molecola.

$$MM_{H_2O} = 2MM_H + MM_O = 2 \cdot 1 + 16 = 18\ g/mol \tag{2.15}$$

La massa complessiva di acqua è quindi

$$m = nMM = 10 \cdot 18 = 180\ g = 0.18\ kg \tag{2.16}$$

La quantità di calore assorbita dall'acqua è esattamente pari all'energia cinetica persa dalla massa in caduta:

$$Q = U_g \tag{2.17}$$

$$mc_a \Delta T = Mgh \tag{2.18}$$

$$\Delta T = \frac{Mgh}{mc_a} = \frac{100 \cdot 9.8 \cdot 10}{0.18 \cdot 4186} = 13\ K \tag{2.19}$$

2.4 Esercizio 4

La variazione di entropia totale è la somma delle variazioni nelle fasi che caratterizzano la trasformazione:

$$\Delta S = \Delta S\,(293 \to 273) + \Delta S\,(congelamento) + \Delta S\,(273 \to 263) \tag{2.20}$$

La quantità di entropia assorbita durante uno scambio di calore è:

$$\Delta S\,(T_{iniziale} \to T_{finale}) = mc \ln \frac{T_{finale}}{T_{iniziale}} \tag{2.21}$$

Quindi:

$$\Delta S = mc_a \ln \frac{T_{cong}}{T_1} - \frac{mL}{T_{cong}} + mc_a \ln \frac{T_2}{T_{cong}} \simeq -8\ kJ/K \tag{2.22}$$

Dove il calore relativo al passaggio di stato è negativo perché ceduto dalla massa d'acqua.