Esercizi svolti sull'equilibrio termico e sui cambiamenti di fase

1.

Un blocco di ghiaccio di 3 kg alla temperatura di 0 °C fonde completamente. Quanto calore ha assorbito?

Soluzione

Il passaggio di stato del ghiaccio dalla fase solida a quella liquida avviene a temperatura costante, e la quantità di calore necessaria che deve assorbire affinché ciò avvenga è data da:

$$Q = m \cdot C_f = 3 \cdot 332{,}4 \cdot 10^3 = 997{,}2 \cdot 10^3 \, J$$

dove $C_f = 332{,}4 \cdot 10^3 \, J/kg$ è il calore latente di fusione del ghiaccio il cui valore è nella tabella del calore latente.

2.

Una massa m = 1,5 kg di acqua a 100 °C passa allo stato di vapore assorbendo una quantità di calore Q = $3384 \cdot 10^3$ J. Verifica che il valore del calore latente di vaporizzazione dell'acqua coincide con quello in tabella.

Soluzione

La vaporizzazione, ossia il passaggio dallo stato liquido a quello aeriforme, avviene a temperatura costante, e ciò è possibile se l'acqua assorbe una certa quantità di calore. Nota questa quantità di calore, il calore latente di vaporizzazione si calcola nel seguente modo:

$$C_V = \frac{Q}{m} = \frac{3384 \cdot 10^3}{1{,}5} = 2256 \cdot 10^3 \, J = 2256 kJ$$

Il valore ottenuto coincide proprio con il calore latente di vaporizzazione dell'acqua contenuto nella tabella.

3.

Una certa quantità di acqua a 100 °C assorbe $1,25 \cdot 10^6$ J di calore, vaporizzando completamente. Calcola la massa d'acqua.

SOLUZIONE

Poiché l'acqua vaporizza completamente, la sua massa la calcoliamo come formula inversa di quella del calore latente di vaporizzazione:

$$C_V = \frac{Q}{m} \Rightarrow m = \frac{Q}{C_V} = \frac{1,25 \cdot 10^6}{2256 \cdot 10^3} = 0,554\text{kg} = 554\text{g}$$

dove $C_V = 2256 \cdot 10^3 \, J/kg$ è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua il cui valore è nella tabella.

4.

Una massa di acqua pari a 5 kg si trova alla temperatura di 20 °C. Calcola la quantità di calore necessaria per portare l'acqua a completa vaporizzazione.

SOLUZIONE

Per prima cosa dobbiamo somministrare all'acqua una quantità di calore tale da portarla alla temperatura di vaporizzazione, ossia a 100 °C:

$$Q_1 = mc\Delta t = 5 \cdot 4186 \cdot 80 = 1674400\text{J} = 1,7 \cdot 10^6 \text{J}$$

dove c = 4186 J/kg·°C è il calore specifico dell'acqua.

In secondo luogo, dobbiamo somministrare altro calore per vaporizzare l'acqua:

$$Q_2 = m \cdot C_V = 5 \cdot 2256 \cdot 10^3 = 11,3 \cdot 10^6 \text{J}$$

dove $C_V = 2256 \cdot 10^3 \, J/kg$ è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua

In definitiva, la quantità di calore necessaria per portare l'acqua a completa vaporizzazione è:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1,7 \cdot 10^6 + 11,3 \cdot 10^6 = 13 \cdot 10^6 \text{J}$$

5.

150 g di mercurio si trovano alla temperatura di –122,3 °C e vengono riscaldati, in modo tale che assorbono complessivamente 3500 J. Stabilisci se, dopo avere raggiunto la temperatura di fusione, la massa di mercurio passa totalmente allo stato liquido.

Soluzione

Calcoliamo dapprima la quantità di calore necessaria per portare il mercurio fino alla temperatura di fusione:

$$Q_1 = mc\Delta t = 0{,}150 \cdot 138 \cdot (122{,}3 - 38{,}3) = 1739J$$

dove c = 138 J/kg·K è il calore specifico del mercurio e t = -38,3 °C è la temperatura di fusione del mercurio.

In secondo luogo calcoliamo la quantità di calore necessaria per portare il mercurio allo stato liquido (essendo nella fase di fusione, il passaggio di stato avviene a temperatura costante):

$$Q_2 = m \cdot C_f = 0{,}150 \cdot 11{,}7 \cdot 10^3 = 1755J$$

In definitiva, la massa di mercurio passa totalmente allo stato liquido perché la quantità di calore necessaria:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1739 + 1755 = 3494J$$

per portare completamente allo stato liquido la massa di mercurio è inferiore a quella assorbita (3500 J).

6.

A una massa di acqua pari a 175 g, appena giunta a ebollizione, vengono ulteriormente trasmessi 450 kJ di energia termica. Assumendo per il vapore d'acqua un calore specifico (a pressione costante) pari a 1988 J/kg·K, trova la temperatura finale del vapore

Soluzione

Calcoliamo la quantità di energia termica necessaria per vaporizzare la massa d'acqua:

$$Q_V = m \cdot C_V = 0{,}175 \cdot 2256 \cdot 10^3 = 394800\text{J}$$

dove $C_V = 2256 \cdot 10^3$ J/kg è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua.

Poiché all'acqua, una volta raggiunta l'ebollizione (100 °C), è stata somministrata una quantità di energia termica pari a 450 J, una parte di questa energia (Q_V = 394800 J) è stata utilizzata per il cambiamento di stato (liquido-vapore), mentre l'energia rimanente (Q = 450000 – 394800 = 55200 J) farà aumentare la temperatura del vapore fino ad un valore finale dato da:

$$\Delta t = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{55200}{0{,}175 \cdot 1988} = 159°\text{C} \Rightarrow t_{fin} = 100 + 159 = 259°\text{C}$$

7.

Un blocco di 12 kg di ghiaccio si trova alla temperatura di –15 °C. Quanto calore dobbiamo fornirgli per farlo evaporare completamente? (calore specifico del ghiaccio = 2090 J/kg·K; calore specifico dell'acqua = 4186 J/kg·K)

Soluzione

Il ghiaccio per evaporare completamente, deve passare attraverso le seguenti fasi:

1. Dalla temperatura di – 15 °C alla temperatura di fusione di 0 °C
2. Cambiamento di stato solido-liquido a temperatura costante di 0 °C
3. L'acqua, ottenuta dalla fusione del ghiaccio, dalla temperatura di 0 °C alla temperatura di ebollizione di 100 °C
4. Cambiamento di stato liquido-vapore a temperatura costante di 100 °C

Durante ciascuna delle fasi descritte ci sarà una quantità di calore assorbita che calcoleremo nel seguente modo:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta t = 12 \cdot 2090 \cdot 15 = 37 \cdot 10^4 \, J$$

$$Q_2 = m \cdot C_f = 12 \cdot 332{,}4 \cdot 10^3 = 399 \cdot 10^4 \, J$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta t = 12 \cdot 4186 \cdot 100 = 502 \cdot 10^4 \, J$$

$$Q_4 = m \cdot C_V = 12 \cdot 2256 \cdot 10^3 = 2707 \cdot 10^4 \, J$$

In definitiva, il ghiaccio per evaporare completamente dovrà assorbire una quantità di calore pari alla somma delle quantità di calore assorbite durante le quattro fasi descritte:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = (37 + 399 + 502 + 2707) \cdot 10^4 = 3645 \cdot 10^4 \, J$$

8.

Una sostanza con massa di 3 kg si trova alla temperatura di fusione. Cedendole $7{,}17 \cdot 10^4$ J fonde completamente.

1. Di quale sostanza si tratta?
2. Completato il processo di fusione, se vengono forniti altri 3456 J quale temperatura raggiunge la sostanza?

SOLUZIONE

Per capire di quale sostanza si tratta, basta calcolare il calore latente di fusione:

$$C_f = \frac{Q_f}{m} = \frac{7{,}17 \cdot 10^4}{3} = 23{,}9 \cdot 10^3 \, J / kg$$

Il valore trovato corrisponde al calore latente di fusione del piombo.

La sostanza, dopo aver completato il processo di fusione, poiché assorbe altra energia termica, raggiungerà la seguente temperatura finale:

$$\Delta t = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{3456}{3 \cdot 128} = 9 \Rightarrow t_{fin} = t_f + \Delta t = 327{,}3 + 9 = 336{,}3°C$$

dove c = 128 J/kg·K è il calore specifico del piombo e t_f = 327,3 °C è la temperatura di fusione del piombo.

Problema

In un contenitore si trovano 500 g di una bibita (calore specifico = 4000 J/kg·K) alla temperatura di 18 °C. Si mettono 4 cubetti di ghiaccio a 0 °C da 20 g ciascuno che si sciolgono raffreddando la bibita.

1. Alla fine del processo di fusione, qual è la temperatura della bibita?
2. Qual è la temperatura finale d'equilibrio?

Soluzione

1. Nell'ipotesi che il contenitore non assorba calore, gli scambi energetici avverranno solo tra la bibita e il ghiaccio, tenendo presente, però, che il ghiaccio assorbirà una quantità di calore necessaria a fonderlo, per cui:

$$Q_{ceduto} = Q_{assorbito}$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_{fin}) = m_2 \cdot C_f$$

L'equazione ottenuta contiene l'incognita temperatura della bibita (t_{fin}) alla fine del processo di fusione del ghiaccio, che calcoliamo come:

$$0{,}5 \cdot 4000 \cdot (18 - x) = 0{,}08 \cdot 332{,}4 \cdot 10^3$$
$$36000 - 2000x = 26592 \Rightarrow 2000x = 9408$$
$$x = \frac{9408}{2000} = 4{,}7°C$$

2. Per calcolare la temperatura di equilibrio finale del sistema, dobbiamo tener conto anche dell'energia termica assorbita dall'acqua ottenuta dalla fusione del ghiaccio, per cui:

$$Q_{ceduto} = Q_{assorbito}$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_i - t_e) = m_2 \cdot C_f + m_2 \cdot c_a \cdot (t_{eq} - t_i)$$

L'equazione ottenuta contiene l'incognita temperatura finale di equilibrio t_{eq}:

$$0{,}5 \cdot 4000 \cdot (18 - x) = 0{,}08 \cdot 332{,}4 \cdot 10^3 + 0{,}080 \cdot 4186 \cdot (x - 0)$$
$$36000 - 2000x = 26592 + 335x \Rightarrow 2335x = 9408$$
$$x = \frac{9408}{2335} = 4°C$$