

ESERCIZI DI FISICA GENERALE – nr. 22/07

1. Avete un blocco di alluminio di massa $m_A = 1.0$ kg che si trova alla temperatura $T_A = 200$ °C, un blocco di rame di massa $m_R = 2.0$ kg che si trova alla temperatura $T_R = 100$ °C, ed un secchio d'acqua, dal volume $V = 20$ l, che si trova alla temperatura $T_0 = 20$ °C. Tuffate alluminio e rame nel secchio ed aspettate un po' di tempo in modo che il sistema complessivo arrivi all'equilibrio termico.

a) Detti Q_A , Q_R e Q_0 i calori ceduti o assorbiti dai tre materiali nel processo, quale relazione deve sussistere tra loro supponendo trascurabili le perdite di calore verso l'esterno (pareti del recipiente isolate termicamente e/o processo così rapido che non c'è tempo perché il calore si disperda verso l'esterno)?

..... $Q_A + Q_R + Q_0 = 0$

b) Sapendo che il calore latente di vaporizzazione dell'acqua vale $\lambda_E = 2.3 \times 10^6$ J/kg (ovviamente alla temperatura di ebollizione, cioè $T_E = 100$ °C) e supponendo che il suo calore specifico sia $c_0 = 4.2 \times 10^3$ J/(kg °C), vi aspettate che l'acqua vada in ebollizione? [Prendete per la densità in massa dell'acqua $\rho = 1.0 \times 10^3$ kg/m³, e assumete che i calori specifici dell'alluminio e del rame siano rispettivamente $c_A = 900$ J/(kg °C) e $c_R = 400$ J/(kg °C) – notate che stiamo implicitamente supponendo che i calori specifici restino **costanti** in tutto l'intervallo di temperatura considerato, affermazione non molto ragionevole!]

sì no

Spiegazione sintetica della risposta: il calore che alluminio e rame possono fornire all'acqua supponendo che la loro temperatura diminuisca fino al punto di ebollizione dell'acqua vale $c_A m_A (T_A - T_E) + c_R m_R (T_R - T_E) = 9 \times 10^4$ J, mentre per portare l'acqua dalla temperatura T_0 al punto di ebollizione occorre una quantità di calore che vale, in modulo, $c_0 \rho V (T_E - T_0) = 3.4 \times 10^6$ J. Quindi si può ragionevolmente escludere che l'acqua possa andare in ebollizione.

c) Quanto vale la temperatura di equilibrio termico T del sistema?

$T = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$ °C $(c_A m_A T_A + c_R m_R T_R + c_0 \rho V T_0) / (c_A m_A + c_R m_R + c_0 \rho V) = 23.1$ °C [si ottiene risolvendo la conservazione del calore scritta prima]

d) Quanto vale il calore Q_A scambiato dal blocco di alluminio nel processo? [Specificate il segno]

$Q_A = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$ J $c_A m_A (T - T_A) = -159 \times 10^3$ J

e) Supponendo ora che il materiale del blocco A abbia un calore specifico che varia con la temperatura secondo una legge del tipo $c_A(T) = c'T/T'$, con c' e T' costanti opportunamente dimensionate, come esprimereste il calore Q' scambiato da A nella trasformazione? [Supponete che le temperature iniziali e finali siano le stesse di prima. Per la soluzione, tenete presente che il calore specifico è praticamente costante per una variazione piccola, cioè **infinitesima**, di temperatura]

$Q' = \dots\dots\dots m_A (c'/T') \int T dT = m_A (c'/T') (T^2 - T_A^2)$

2. In una fonderia trovate un lingotto di ferro di massa $m_F = 20$ kg e temperatura $T_F = 750$ °C. Per raffreddarlo, lo mettete a contatto con una massa $m_G = 10$ kg di ghiaccio alla temperatura $T_G = -10$ °C contenuta in una tinozza dotata di un coperchio a tenuta stagna e con pareti isolanti termicamente. Per i calori specifici (supposti costanti) prendete: $c_G = 2.0 \times 10^3$ J/(kg °C) per il ghiaccio, $c_A = 4.0 \times 10^3$ J/(kg °C) per l'acqua, $c_V = 2.0 \times 10^3$ J/(kg °C) per il vapore acqueo, $c_F = 4.0 \times 10^2$ J/(kg °C) per il ferro. I calori latenti siano: $\lambda_F = 3.0 \times 10^5$ J/kg per la fusione del ghiaccio e $\lambda_V = 2.0 \times 10^6$ J/kg per la vaporizzazione dell'acqua.

a) Il ghiaccio nella tinozza si scioglierà completamente?

sì no

Spiegazione sintetica della risposta: per portare il ghiaccio alla temperatura di fusione e per scioglierlo completamente occorre la quantità di calore $m_G c_G (T_{FUS} - T_G) + m_G \lambda_F = 3.2 \times 10^6$ J; quando il ferro diminuisce la sua temperatura fino alla temperatura di fusione del ghiaccio fornisce un calore pari a $m_F c_F (T_F - T_{FUS}) = 6.0 \times 10^6$ J.

b) Potrebbe il ghiaccio passare allo stato di vapore acqueo?

sì no

Spiegazione sintetica della risposta: per portare il ghiaccio (diventato acqua!) alla temperatura di ebollizione occorre un calore pari a $m_G c_A (T_{EBOLL} - T_{FUS}) = 4.0 \times 10^6$ J. Come risulta dalla risposta alla domanda precedente, il ferro non ha calore sufficiente per questo processo.

- c) Detti Q_G, Q_A, Q_F, Q_V i calori scambiati da ghiaccio, acqua, ferro, vapore acqueo (se presente!) e Q_{FUS}, Q_{VAP} i calori necessari per fondere il ghiaccio e fare vaporizzare l'acqua, come si scrive il bilancio dei flussi di energia?

$$Q_G + Q_{FUS} + Q_A + Q_F = 0 = m_G c_G (T_{FUS} - T_G) + m_G \lambda_F + m_{ACA} (T - T_{FUS}) + m_{FCF} (T - T_F) = -m_G c_G T_G + m_G \lambda_F + m_{GCA} T + m_{FCF} (T - T_F),$$

avendo notato che $m_a = m_G$ (la massa non cambia nel passaggio dallo stato solido a quello liquido) e che $T_{FUS} = 0$

- d) Quanto vale la temperatura di equilibrio termico T del sistema?

$$T = \frac{(m_G c_G T_G - m_G \lambda_F + m_{FCF} T_F)}{(c_A m_G + c_R m_R)} = 58.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

[fosse venuta una $T > 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ci saremmo dovuti preoccupare!]

3. Un pezzetto di "acqua allo stato solido" (cioè ghiaccio!) di massa $m = 18 \text{ g}$, che si trova inizialmente alla temperatura $T_0 = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$, viene messo in un recipiente chiuso di **capacità termica trascurabile**. Il recipiente viene quindi posto a contatto con un riscaldatore di potenza **costante** $W = 60 \text{ W}$. Nello svolgimento, supponete che tutto il calore prodotto dal riscaldatore venga assorbito dal ghiaccio, trascurando ogni possibile fenomeno di dissipazione termica.

- a. Quanto vale l'intervallo **minimo** di tempo, Δt_I , per il quale il riscaldatore deve essere tenuto acceso affinché il ghiaccio passi **interamente** allo stato liquido? [Assumete che il calore latente di fusione dell'acqua sia $c_{LF} = 3.3 \times 10^5 \text{ J/kg}$, e prendete come calore specifico del ghiaccio nell'intervallo di temperatura considerato il valore **costante** $c_G = 2.0 \times 10^3 \text{ J/(kg K)}$]

$$\Delta t_I = \frac{(m c_{LF} + m c_G (T_F - T_0))}{W} = 1.1 \times 10^2 \text{ s}$$

essendo $T_F = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ la temp. di fusione del ghiaccio

- b. Immaginate ora di aver riscaldato il recipiente al punto che tutto il ghiaccio è stato convertito in vapore, che si trova alla temperatura $T_I = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$. Sapendo che il recipiente è costituito da un cilindro di sezione di base $S = 50 \text{ cm}^2$ ed altezza $h = 10 \text{ cm}$, e sapendo che la pressione atmosferica che agisce dall'esterno sulle pareti del recipiente (supposte di massa trascurabile) vale $P_{ATM} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, quanto vale il modulo della forza F che agisce sul tappo del recipiente? [Approssimate il vapore come un gas perfetto; ricordate che la massa atomica della molecola di acqua vale $\mu = 18$ uma, e che la costante dei gas perfetti vale $R = 8.3 \text{ J/(K mole)}$]

$$F = \frac{n R T_I}{h} = 3.1 \times 10^4 \text{ N}$$

[la forza è data dal prodotto PS , ma $P = n R T_I / V = n R T_I / (S h)$, dove n è il numero di moli, pari al rapporto tra la massa del campione (in grammi!) e la massa atomica della molecola di acqua (cioè il campione è fatto di una mole, o grammomolecola, di acqua)]

- c. Dopo che il vapore ha raggiunto la temperatura T_I , nel recipiente viene introdotto un blocchetto di rame, di massa $m_R = 50 \text{ g}$ e temperatura iniziale $T_2 = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$. Supponendo che gli scambi di calore avvengano solo tra vapore di acqua e rame e che non ci sia alcuna dissipazione di calore, quanto vale la temperatura di equilibrio T del sistema? [Ponete i valori costanti $c_A = 2.2 \times 10^3 \text{ J/(kg K)}$ e $c_R = 4.0 \times 10^2 \text{ J/(kg K)}$ per i calori specifici rispettivamente di vapore acqueo e rame nelle condizioni considerate]

$$T = \frac{(m_{ACA} T_I + m_{RCR} T_2)}{(m_{ACA} + m_{RCR})} = 2.3 \times 10^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

[viene dal bilancio dei flussi di energia, cioè $0 = Q_A + Q_R$, dove Q_A e Q_R sono i calori scambiati da vapore e rame per raggiungere l'equilibrio]