

A

ATTENZIONE

In particolari condizioni, che sulla Terra si verificano molto raramente, la materia può trovarsi in un quarto stato di aggregazione, il **plasma**, costituito da atomi ionizzati (che hanno cioè perso gli elettroni) ed elettroni liberi. Le stelle, le cui temperature centrali sono dell'ordine di 10^7 K, sono fatte di plasma.

2. Gli stati di aggregazione della materia

La materia ordinaria si presenta in tre forme fondamentali, dette **stati di aggregazione**: lo **stato solido**, lo **stato liquido** e lo **stato gassoso**.

Il passaggio di una sostanza da uno stato di aggregazione a un altro è detto *cambiamento di stato*. Le caratteristiche dei diversi stati di aggregazione e i cambiamenti di stato di una sostanza molto comune, l'acqua, sono sintetizzati nello schema di figura 1.

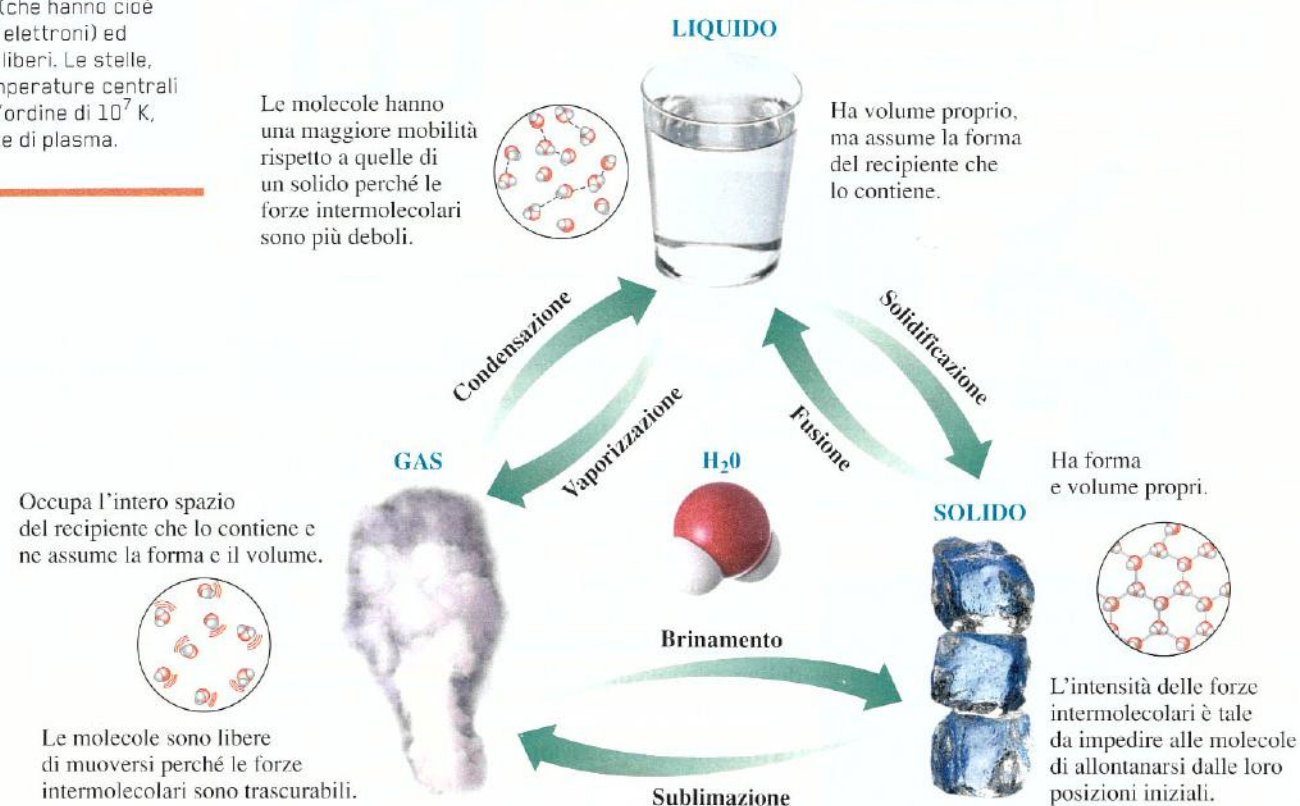


figura 1

Stati della materia e cambiamenti di stato

Da un punto di vista microscopico, le caratteristiche dei solidi, dei liquidi e dei gas sono una conseguenza della maggiore o minore intensità delle **interazioni tra le molecole**. In un **solido** l'intensità delle forze intermolecolari è tale da impedire alle molecole di allontanarsi dalle loro posizioni iniziali. Nel caso dei *solidi cristallini*, le molecole formano reticoli geometrici molto ordinati, come mostrato nella figura 2a. Altri solidi, detti *amorfi* non presentano invece reticoli regolari; un tipico esempio è la struttura del vetro mostrata in figura 2b.

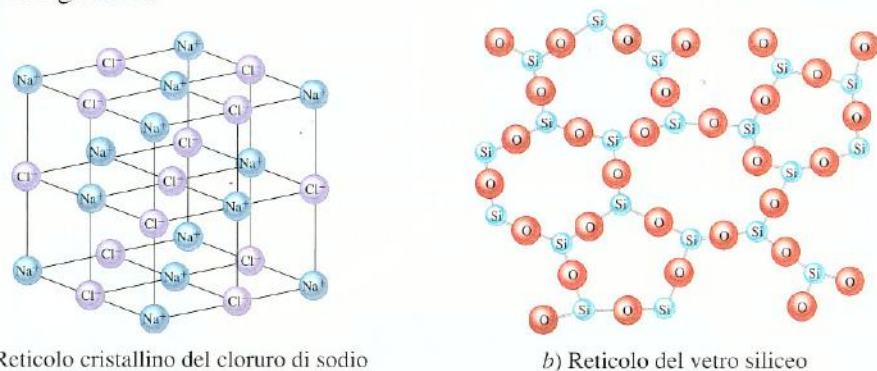


figura 2

Reticoli dei solidi cristallini e dei solidi amorfi

In un **liquido** le forze intermolecolari sono più deboli e le molecole hanno una maggiore mobilità. Ciò permette al liquido di modificare la propria forma.

In un **gas**, infine, le forze intermolecolari sono trascurabili e le molecole sono pressoché libere. Il loro volume complessivo è molto piccolo, ed è per questo che il gas può essere facilmente compresso.

3. I cambiamenti di stato

Il passaggio di una sostanza da uno stato di aggregazione a un altro è detto **passaggio di stato** o **cambiamento di stato**.

I cambiamenti di stato sono sintetizzati nello schema della figura 1.

Come vedremo nella prosecuzione del corso di fisica, i sistemi che scambiano energia e calore con l'ambiente esterno si chiamano **sistemi termodinamici**. Una parte fisicamente omogenea di un sistema termodinamico è detta **fase**.

Un sistema in un definito stato di aggregazione ha una singola fase, come ad esempio l'acqua in un bicchiere, che si presenta nella fase liquida. Invece, un sistema come quello dell'acqua che bolle in una pentola, ha due fasi (fase liquida e fase di vapore).

I cambiamenti di stato vengono quindi anche chiamati *transizioni di fase*.

Vaporizzazione e condensazione

Consideriamo un recipiente chiuso, parzialmente riempito con un **liquido**, come mostrato nella figura 3.

Il sistema è mantenuto a temperatura costante T_0 e inizialmente lo spazio al di sopra del liquido, è vuoto. Tuttavia, alcune molecole del liquido più veloci delle altre, iniziano presto a sfuggire all'attrazione intermolecolare delle molecole vicine, e vanno a formare un gas a bassa densità (il **vapore**) nello spazio al di sopra del liquido. Occasionalmente qualche molecola del gas entra in contatto con il liquido e vi rientra, ma all'inizio è maggiore il numero di molecole che entrano a far parte del gas rispetto a quello delle molecole che tornano nel liquido.

Il processo continua finché il gas è così denso che il numero di molecole che ritornano nel liquido uguaglia il numero di molecole che vanno a formare il gas. Quando il flusso di molecole che passa dallo stato liquido allo stato di vapore è uguale al flusso di molecole che passa dallo stato di vapore allo stato liquido, si dice che si è raggiunto l'**equilibrio di fase**, nel senso che le due fasi, liquida e gassosa, coesistono in maniera bilanciata.

La pressione del gas alla quale si stabilisce l'equilibrio è detta **pressione del vapore saturo**.



figura 3

Un liquido in equilibrio con il suo vapore

Il passaggio dallo stato liquido a quello di vapore è detto **vaporizzazione**, o **evaporazione**. Il passaggio inverso, dallo stato di vapore a quello liquido, è detto **condensazione**.

Che cosa succede se varia la temperatura? Se la temperatura aumenta, nel liquido ci saranno più molecole ad alta velocità che riescono a sfuggire verso il gas. Perciò, per avere un numero uguale di molecole che ritornano nel liquido, sarà necessario che la pressione del vapore raggiunga un valore maggiore. Quindi la *pressione del vapore saturo aumenta con la temperatura*. A ogni valore della temperatura corrisponde uno specifico valore della pressione per la quale vi è equilibrio tra le fasi liquida e gassosa.

La curva della pressione del vapore saturo dell'acqua è mostrata nella figura 4.

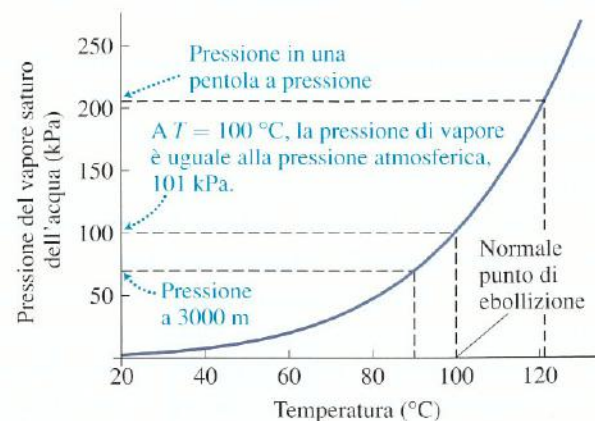


figura 4
Curva della pressione del vapore saturo dell'acqua al variare della temperatura

REAL PHYSICS

- Perché un pavimento bagnato asciuga più rapidamente se apriamo una finestra?

Che cosa succede se apriamo il contenitore della figura 3 e soffiame, in modo da rimuovere gran parte del gas? In questo caso, l'evaporazione continua senza raggiungere l'equilibrio e, poiché le molecole vengono continuamente rimosse, il liquido progressivamente evapora finché non si esaurisce. Questo è il meccanismo alla base dell'evaporazione dei mari e, in scala ridotta, dell'acqua che usiamo per lavare i pavimenti e del nostro stesso sudore.

Ebollizione

Torniamo all'esempio iniziale sull'evaporazione di un liquido, illustrato in figura 3. In quella situazione l'evaporazione interessa solo la superficie del liquido. Se però continuiamo a riscaldare il liquido, a un certo punto si formano al suo interno delle bollicine di vapore che si dilatano e salgono in superficie. Aumentando ancora la temperatura, il fenomeno diventa turbolento e coinvolge l'intera massa del liquido.

Questa particolare modalità di passaggio allo stato gassoso è detta **ebollizione** e la temperatura alla quale si verifica è chiamata **punto di ebollizione**.

Il punto di ebollizione di un liquido è determinato dalla sua curva del vapore saturo. In particolare:

Punto di ebollizione di un liquido

Il **punto di ebollizione** è la temperatura alla quale la pressione del vapore saturo uguaglia la pressione esterna.

Dal grafico della figura 4 possiamo osservare che, per l'acqua, la pressione del vapore saturo uguaglia la pressione atmosferica, $p_{at} = 101 \text{ kPa}$, quando la temperatura dell'acqua è 100 °C .

I punti di ebollizione di alcune sostanze, a pressione atmosferica, sono riportati nella tabella 1.

tabella 1 Punto di ebollizione di alcune sostanze a pressione atmosferica

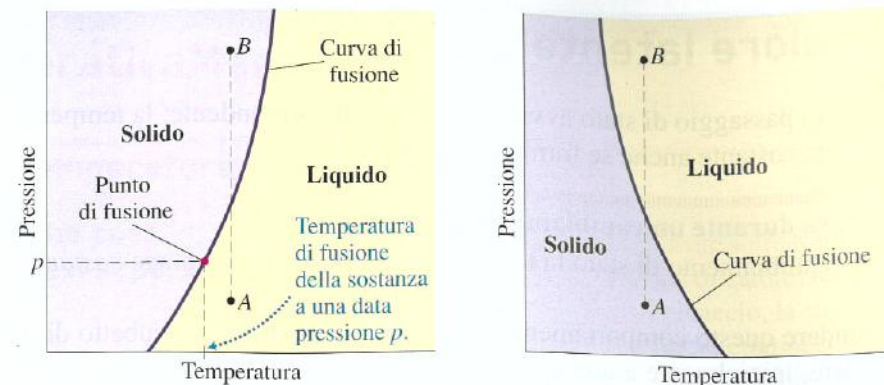
Sostanza	Punto di ebollizione (°C)
Oro	2856
Piombo	1749
Mercurio	357
Olio di oliva	300
Acqua	100
Alcol etilico	78
Ammoniaca	-33
Ossigeno	-183
Azoto	-196

Fusione e solidificazione

Il passaggio dalla fase solida a quella liquida è detto **fusione** o **liquefazione**. Il passaggio inverso, dalla fase liquida a quella solida, è detto **solidificazione**.

Nel diagramma pressione-temperatura una curva simile a quella della pressione del vapore saturo rappresenta i punti in cui le fasi solida e liquida sono in equilibrio. Tale curva è detta **curva di fusione**. Nella maggior parte delle sostanze questa curva ha una pendenza positiva, come mostrato nella figura 5. Ciò significa che, all'aumentare della pressione, anche la temperatura di fusione di una sostanza aumenta. Questo è ragionevole, perché un solido è generalmente più denso del corrispondente liquido. Quindi, se esercitiamo una pressione su un liquido, mantenendo la temperatura costante, il sistema tenderà a diventare più denso e alla fine solidificherà. Tutto ciò è mostrato nella figura 5a, dove vediamo che un aumento di pressione a temperatura costante (ad esempio dal punto A al punto B) produce l'attraversamento della curva di fusione.

PLUS
Approfondimento Diagramma di fase



a) Curva di fusione di una sostanza comune b) Curva di fusione dell'acqua

figura 5
Curve di fusione in un diagramma pressione-temperatura

tabella 2 Punto di fusione di alcune sostanze a pressione atmosferica

Sostanza	Punto di fusione (°C)
Ferro	1538
Rame	1085
Oro	1064
Argento	962
Alluminio	660
Zinco	420
Piombo	327
Stagno	232
Naftalina	78
Acqua	0
Mercurio	-39
Alcol etilico	-114

Ci sono tuttavia delle eccezioni a questa regola e l'acqua è una di queste: ciò è collegato al fatto che il ghiaccio è meno denso dell'acqua. La curva di fusione dell'acqua ha una pendenza negativa, come mostrato nella figura 5b, e questo significa che, mantenendo la temperatura costante, il ghiaccio si scioglie se la pressione esercitata su di esso aumenta. Per questo motivo, ad esempio, la pressione esercitata dalla lama di un pattino può causare lo scioglimento del ghiaccio sottostante.

La temperatura alla quale una sostanza passa dalla fase solida a quella liquida, e viceversa, è detta **punto di fusione** o **temperatura di fusione**. Essa è determinata dall'intersezione tra la curva di fusione e la retta orizzontale che rappresenta la pressione alla quale è sottoposto il sistema, come mostrato in figura 5a.

I punti di fusione di alcune sostanze, a pressione atmosferica, sono riportati in tabella 2.

Fisica e... tecnologia

Come innalzare la temperatura di ebollizione dell'acqua

Per sterilizzare gli strumenti chirurgici, negli ospedali vengono utilizzate delle **autoclavi**, particolari macchine che sfruttano il fatto che la temperatura di ebollizione cresce all'aumentare della pressione. Se gli strumenti chirurgici fossero riscaldati nell'acqua che bolle in una pentola aperta, sottoposta quindi alla pressione atmosferica, la loro temperatura sarebbe di 100 °C , insufficiente a eliminare del tutto i germi. Nell'autoclave, che è un contenitore sigillato, la pressione raggiunge valori molto maggiori della pressione atmosferica. Di conseguenza, l'acqua ha una temperatura di ebollizione molto più elevata e la sterilizzazione è di gran lunga più efficace.

Le normali pentole a pressione funzionano nello stesso modo: la maggiore temperatura di ebollizione si traduce in questo caso in un minor tempo di cottura degli alimenti.

Un altro modo per innalzare la temperatura di ebollizione dell'acqua è aggiungere un pizzico di sale (cloruro di sodio), il quale si dissocia nell'acqua in ioni sodio e ioni cloro. Questi ioni manifestano una forte interazione con le molecole d'acqua, rendendo più difficile il loro passaggio alla fase di vapore.

Cristallo di NaCl **NaCl in acqua**

Dissociazione del cloruro di sodio in acqua

4. Il calore latente

Quando vi è un passaggio di stato avviene qualcosa di sorprendente: la temperatura del sistema rimane costante anche se forniamo del calore.

Temperatura durante un cambiamento di stato

Durante un cambiamento di stato la temperatura di un sistema rimane *costante*.

Per comprendere questo comportamento, esaminiamo dapprima un cubetto di ghiaccio in un bicchiere, inizialmente a una temperatura inferiore a 0 °C. Fornendo una quantità di calore Q sufficiente, possiamo portare il cubetto di ghiaccio alla temperatura di 0 °C. Se a questo punto forniamo ancora calore, non osserviamo un ulteriore aumento di temperatura: il calore, infatti, è utilizzato per trasformare una certa quantità di ghiaccio in acqua. A livello microscopico, il calore fornito fa sì che le molecole del solido oscillino attorno alle loro posizioni reticolari, con un'energia sufficiente a rompere i legami con le molecole vicine, e diventino così parte del liquido. Perciò, finché rimane del ghiaccio nel bicchiere e l'acqua e il ghiaccio sono in equilibrio, possiamo essere sicuri che sia l'acqua sia il ghiaccio si trovano a 0 °C. Se forniamo calore al sistema diminuisce la quantità di ghiaccio, se sottraiamo calore la quantità di ghiaccio aumenta.

La quantità di calore necessaria per trasformare completamente in acqua una massa unitaria di ghiaccio è chiamata **calore latente** dell'acqua.

Calore latente, L

Il calore latente L di una sostanza è il calore che deve essere fornito o sottratto a una massa unitaria di quella sostanza per farla passare da una fase a un'altra, cioè:

$$L = \frac{Q}{m}$$

Nel SI il calore latente si misura in joule/kilogrammo (J/kg).

Dalla formula precedente possiamo ricavare il calore Q necessario per far passare una massa m di sostanza da una fase a un'altra:

$$Q = mL$$

Il calore latente dipende dalle fasi che sono coinvolte:

- il calore latente necessario per fondere (o sciogliere) una sostanza è chiamato **calore latente di fusione** e indicato con L_f ;
- il calore latente necessario per trasformare un liquido in un gas è il **calore latente di vaporizzazione** (o di evaporazione), indicato con L_v ;
- il calore latente necessario per trasformare un solido direttamente in un gas è il **calore latente di sublimazione**, indicato con L_s .

Alcuni valori tipici di calori latenti di fusione e di vaporizzazione sono riportati nella tabella 3.

tabella 3 Calori latenti di alcune sostanze

Sostanza	Calore latente di fusione (J/kg)	Calore latente di vaporizzazione (J/kg)
Acqua	$33,5 \cdot 10^4$	$22,6 \cdot 10^5$
Ammoniaca	$33,2 \cdot 10^4$	$13,7 \cdot 10^5$
Rame	$20,7 \cdot 10^4$	$47,3 \cdot 10^5$
Benzene	$12,6 \cdot 10^4$	$3,94 \cdot 10^5$
Alcol etilico	$10,8 \cdot 10^4$	$8,55 \cdot 10^5$
Oro	$6,28 \cdot 10^4$	$17,2 \cdot 10^5$
Azoto	$2,57 \cdot 10^4$	$2,00 \cdot 10^5$
Piombo	$2,32 \cdot 10^4$	$8,59 \cdot 10^5$
Ossigeno	$1,39 \cdot 10^4$	$2,13 \cdot 10^5$

↑ Fino a che rimane del ghiaccio nel bicchiere, la temperatura del sistema ghiaccio + acqua rimane costante a 0 °C.

PLUS
Laboratorio Il calore latente di fusione del ghiaccio

OperativaMente

La temperatura nei passaggi di stato

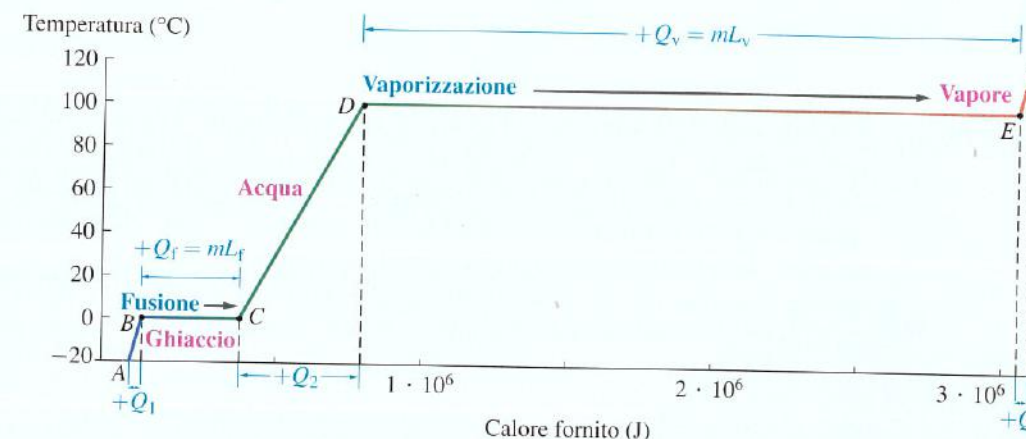
Che cosa devi sapere

Considera 1,0 kg di acqua inizialmente sotto forma di ghiaccio alla temperatura di -20 °C a cui viene fornita una certa quantità di calore. Ricorda che:

- quando viene fornito calore al ghiaccio, la sua temperatura aumenta fino a 0 °C;
- alla temperatura di 0 °C, il ghiaccio comincia a fondere e, da questo momento, la temperatura rimane costante fino a quando tutto il ghiaccio si è fuso. Si ha quindi una massa di acqua pari a quella del ghiaccio alla temperatura di 0 °C;
- continuando a fornire calore si ha nuovamente un aumento di temperatura dell'acqua;
- quando la temperatura dell'acqua raggiunge i 100 °C, l'acqua inizia a bollire e la temperatura rimane nuovamente costante, finché l'intero sistema si è trasformato in vapore;
- l'aggiunta di ulteriore calore provoca nuovamente un innalzamento della temperatura.

Che cosa devi fare

Per costruire il grafico calore-temperatura del sistema in esame, calcola le quantità di calore necessarie nei vari tratti, seguendo la procedura indicata.



TUTOR
Operativamente

Il calore specifico è legato alle variazioni di temperatura in una data fase, perciò per calcolare il calore fornito per le variazioni di temperatura devi utilizzare il calore specifico. Il calore latente è legato ai cambiamenti di fase, perciò per calcolare il calore necessario per far avvenire il passaggio di stato devi utilizzare il calore latente.

1. Nel tratto AB viene fornito il calore necessario al ghiaccio per portarsi dalla temperatura iniziale $T_A = -20$ °C alla temperatura $T_B = 0$ °C:
 $+Q_1 = mc_s \Delta T = (1,0 \text{ kg})[4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})](20 \text{ }^\circ\text{C}) = 8,4 \cdot 10^4 \text{ J}$
2. Nel tratto BC viene fornito il calore necessario al ghiaccio per fondere completamente (la temperatura rimane $T_B = 0$ °C durante il passaggio di stato):
 $+Q_f = mL_f = (1,0 \text{ kg})(33,5 \cdot 10^4 \text{ J/kg}) = 3,4 \cdot 10^5 \text{ J}$
3. Nel tratto CD viene fornito il calore necessario all'acqua per portarsi dalla temperatura $T_C = 0$ °C alla temperatura $T_D = 100$ °C:
 $+Q_2 = mc_s \Delta T = (1,0 \text{ kg})[4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})](100 \text{ }^\circ\text{C}) = 4,2 \cdot 10^5 \text{ J}$
4. Nel tratto DE viene fornito il calore necessario all'acqua per vaporizzare completamente (la temperatura rimane $T_D = 100$ °C durante il passaggio di stato):
 $+Q_v = mL_v = (1,0 \text{ kg})(22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}) = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J}$
5. Nel tratto EF viene fornito il calore necessario al vapore per aumentare ancora la temperatura da $T_E = 100$ °C alla temperatura $T_F = 120$ °C:
 $+Q_3 = mc_s \Delta T = Q_1 = 8,4 \cdot 10^4 \text{ J}$

Prova tu

Modifica il grafico precedente in modo che rappresenti la relazione calore-temperatura di un sistema composto da 1,0 kg di acqua, inizialmente sotto forma di vapore alla temperatura di 120 °C, a cui viene sottratto calore.

Problem solving 1



La temperatura del vapore

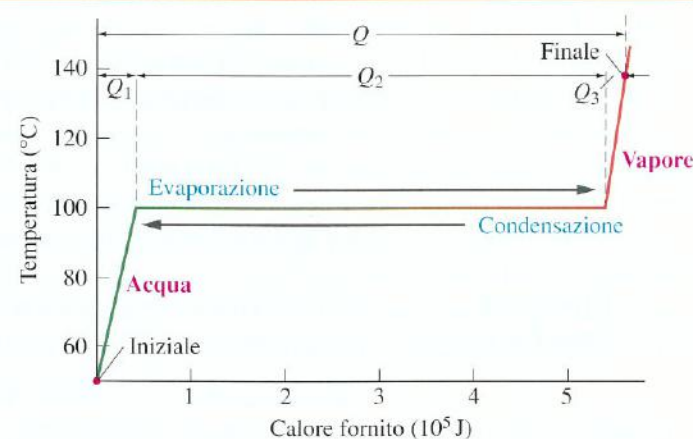
Per ottenere del vapore, fornisci $5,60 \cdot 10^5$ J di calore a $0,220$ kg di acqua a una temperatura iniziale di $50,0$ °C. Determina la temperatura finale del vapore.

Descrizione del problema

La figura mostra la variazione della temperatura dell'acqua in funzione del calore fornito.

Il punto iniziale di questo sistema, posto nell'origine, è a $50,0$ °C.

Come vedremo, fornendo la quantità di calore data, $Q = 5,60 \cdot 10^5$ J, la temperatura sale fino al punto indicato come punto finale nel grafico.



Strategia

Per determinare la temperatura finale, prima calcoliamo la quantità di calore che deve essere fornito per riscaldare l'acqua a 100 °C. Se questa è minore della quantità di calore totale fornita, continuiamo calcolando la quantità di calore necessario per vaporizzare tutta l'acqua. Se la somma di queste due quantità è ancora minore della quantità di calore totale fornita all'acqua, calcoliamo l'aumento di temperatura dovuto al calore rimanente fornito al vapore.

Ricordiamo che, per calcolare il calore necessario per le variazioni di temperatura, dobbiamo usare il calore specifico, mentre per calcolare il calore necessario a far avvenire un cambiamento di fase a una data temperatura dobbiamo usare il calore latente.

Soluzione

Calcoliamo il calore Q_1 che deve essere fornito all'acqua per riscaldarla a 100 °C:

$$Q_1 = Q_{\text{acqua}} \Delta T = (0,220 \text{ kg})[4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}](50,0 \text{ °C}) = 4,60 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore Q_2 che deve essere fornito all'acqua per trasformarla in vapore:

$$Q_2 = mL_f = (0,220 \text{ kg})(22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}) = 4,97 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore Q_3 che può essere ancora fornito al sistema:

$$Q_3 = 5,60 \cdot 10^5 \text{ J} - Q_1 - Q_2 = 5,60 \cdot 10^5 \text{ J} - 4,60 \cdot 10^4 \text{ J} - 4,97 \cdot 10^5 \text{ J} = 17000 \text{ J}$$

Utilizziamo Q_3 per determinare l'aumento di temperatura del vapore:

$$Q_3 = mc_{\text{vapore}} \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q_3}{mc_{\text{vapore}}} = \frac{17000 \text{ J}}{(0,220 \text{ kg})[2010 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}]} = 38 \text{ °C}$$

Osservazioni

Il sistema si trova alla fine completamente nella fase di vapore a una temperatura di 138 °C. Se la quantità di calore fornita al sistema fosse stata maggiore di Q_1 , ma minore di $Q_1 + Q_2$, la temperatura finale del sistema sarebbe stata di 100 °C. In questo caso lo stato finale del sistema sarebbe stato una miscela di acqua liquida e vapore.

Prova tu

Determina la temperatura finale nel caso in cui la quantità di calore fornito al sistema sia $3,40 \cdot 10^5$ J.

[In questo caso solo $0,130$ kg di acqua passano alla fase di vapore: la temperatura finale è 100 °C, con acqua e vapore in equilibrio]

5. Cambiamenti di stato e conservazione dell'energia

Nel paragrafo precedente abbiamo preso in considerazione situazioni nelle quali è semplicemente fornita o sottratta a un sistema una data quantità di calore. Ora vediamo un tipo di problemi più interessanti, che coinvolgono la conservazione dell'energia.

In questi problemi è scambiato calore all'interno del sistema, cioè tra le sue parti, ma non con l'ambiente esterno. Di conseguenza l'energia totale del sistema è costante. Naturalmente, il calore che fluisce all'interno del sistema può causare cambiamenti di temperatura e di fase.

L'idea di base per risolvere problemi che coinvolgono la conservazione dell'energia è la seguente: il calore ceduto da una parte del sistema è uguale al calore acquistato dall'altra.



ATTENZIONE

In generale in questi problemi è più semplice calcolare il modulo di ciascun calore, in modo che tutti i calori siano positivi, e quindi uguagliare le quantità perse a quelle acquistate.

Problem solving 2



Niente pasta!

Per prepararti un buon piatto di pasta riempi una pentola con $2,50$ kg di acqua alla temperatura di $24,5$ °C e la metti sul fuoco. Poi ti distrai navigando in rete e quando ti ricordi di buttare la pasta è ormai tardi: arrivi giusto in tempo per vedere le ultime goccioline vaporizzarsi. Calcola il calore che hai sprecato per far vaporizzare completamente l'acqua.

Descrizione del problema

Nella figura è mostrata la situazione iniziale con la pentola di acqua sul fornello. L'acqua viene riscaldata fino alla temperatura di 100 °C, temperatura alla quale inizia a passare allo stato di vapore. Se, quando ti ricordi di controllare, vedi le ultime goccioline di acqua vaporizzarsi, significa che il processo di vaporizzazione è avvenuto completamente.



Strategia

Calcoliamo il calore trasferito dal fornello all'acqua utilizzando la legge della termologia, poi calcoliamo il calore latente di vaporizzazione dell'acqua. Il calore sprecato è la somma delle due quantità precedenti.

Soluzione

Calcoliamo il calore necessario per innalzare la temperatura dell'acqua da $24,5$ °C fino a 100 °C (calore acquistato dall'acqua):

$$Q_{\text{acqua}} = m_{\text{acqua}} c_{\text{acqua}} \Delta T = (2,50 \text{ kg})[4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}](100 - 24,5) \text{ °C} = 7,90 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore necessario per vaporizzare tutta l'acqua (utilizzando il calore latente di vaporizzazione):

$$Q_v = m_{\text{acqua}} L_v = (2,50 \text{ kg})(22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}) = 56,5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore per vaporizzare tutta l'acqua dopo averla portata alla temperatura di vaporizzazione:

$$Q_{\text{totale}} = Q_{\text{acqua}} + Q_v = 7,90 \cdot 10^5 \text{ J} + 56,5 \cdot 10^5 \text{ J} = 64,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Osservazioni

Dimenticando l'acqua sul fuoco hai sprecato più di 6000 kJ di calore.

Prova tu

Quanto calore avresti sprecato se ti fossi ricordato di controllare prima la pentola, quando c'erano ancora $1,10$ kg di acqua?

[$39,5 \cdot 10^5$ J]

Problem solving 3



La limonata è fresca?

In una grande scodella contenente 3,95 kg di limonata (che è fondamentalmente acqua) a 20,0 °C immergi un cubetto di ghiaccio di 0,0450 kg a 0 °C. Trascurando gli scambi di calore con la scodella e l'ambiente circostante, calcola la temperatura finale del sistema. Pensi che alla fine rimanga del ghiaccio? Se sì, determinane la quantità.

Descrizione del problema

La figura mostra i vari scambi di calore che possiamo ipotizzare in questo problema, partendo dalla condizione iniziale nella quale il ghiaccio è a 0 °C e la limonata (acqua) è a 20,0 °C. Come possiamo immaginare, considerando la gran quantità di limonata e la piccola quantità di ghiaccio, tutto il ghiaccio si scioglie. Pertanto nella situazione finale abbiamo il contenitore con la limonata allo stato liquido a una temperatura finale T_f .

Strategia

Calcoliamo dapprima il calore Q_{acqua} che perderebbe l'acqua se si raffreddasse fino a 0 °C. Immaginiamo quindi di utilizzare una parte di questo calore, Q_{ghiaccio} , per sciogliere il ghiaccio. Calcoliamo infine l'aumento di temperatura del sistema dovuto al calore rimanente, $Q = Q_{\text{acqua}} - Q_{\text{ghiaccio}}$.



Soluzione

Calcoliamo il calore Q_{acqua} ceduto dall'acqua quando viene raffreddata fino a 0 °C:

$$Q_{\text{acqua}} = m_{\text{acqua}} c_{\text{acqua}} \Delta T = (3,95 \text{ kg}) [4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})] (20,0 ^\circ\text{C}) = 3,31 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore Q_{ghiaccio} necessario per fondere tutto il ghiaccio:

$$Q_{\text{ghiaccio}} = m_{\text{ghiaccio}} L_f = (0,0450 \text{ kg}) (33,5 \cdot 10^4 \text{ J/kg}) = 1,51 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Determiniamo la quantità di calore Q rimasta:

$$Q = Q_{\text{acqua}} - Q_{\text{ghiaccio}} = 3,31 \cdot 10^5 \text{ J} - 1,51 \cdot 10^4 \text{ J} = 3,16 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Utilizziamo la quantità di calore Q per riscaldare 3,95 kg + 0,0450 kg di acqua a 0 °C fino alla temperatura finale:

$$Q = (m_{\text{acqua}} + m_{\text{ghiaccio}}) c_{\text{acqua}} \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{(m_{\text{acqua}} + m_{\text{ghiaccio}}) c_{\text{acqua}}} = \frac{3,16 \cdot 10^5 \text{ J}}{(3,95 \text{ kg} + 0,0450 \text{ kg}) [4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]} = 18,9 ^\circ\text{C}$$

Osservazioni

La temperatura finale del sistema è 18,9 °C. Come previsto, il piccolo cubetto di ghiaccio non abbassa di molto la temperatura del sistema.

Prova tu

Quale sarebbe la temperatura finale del sistema se il cubetto di ghiaccio avesse una massa di 0,0750 kg? [18,2 °C]

Problem solving 4



L'acqua che congela

Immergi un cubetto di ghiaccio di 42,0 g a -10,0 °C in una tazza che contiene 350 g di acqua a 0 °C. Supponendo di mantenere la temperatura della tazza a 0 °C, determina la massa di ghiaccio presente nel sistema quando è raggiunta la temperatura di equilibrio di 0 °C.

Descrizione del problema

La figura mostra la situazione iniziale in cui il cubetto di ghiaccio viene immerso nell'acqua, una fase intermedia e la situazione finale. Poiché l'acqua è più calda del ghiaccio, il calore passa dall'acqua al ghiaccio. Per la conservazione dell'energia, la quantità di calore ceduta dall'acqua è uguale, in modulo, alla quantità di calore acquistata dal ghiaccio. Ma il calore trasferito al ghiaccio è stato sottratto all'acqua che, trovandosi a 0 °C, si trasforma in parte in ghiaccio.



Strategia

Calcoliamo il calore trasferito dall'acqua al ghiaccio con la legge della termologia e poi determiniamo la massa di acqua che si trasforma in ghiaccio utilizzando la formula del calore latente di fusione.

Soluzione

Calcoliamo il calore trasferito dall'acqua al ghiaccio, cioè il calore necessario per innalzare la temperatura del ghiaccio da -10 °C a 0 °C:

$$Q_{\text{ghiaccio}} = m c_{\text{ghiaccio}} \Delta T = (0,0420 \text{ kg}) [2090 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})] (10 ^\circ\text{C}) = 878 \text{ J}$$

Imponiamo la conservazione dell'energia:

$$\text{calore ceduto dall'acqua} = \text{calore acquistato dal ghiaccio} = 878 \text{ J}$$

Scriviamo l'espressione del calore necessario per la fusione (ricordiamo che sottrarre calore all'acqua a 0 °C non produce un abbassamento della temperatura, ma trasforma una certa quantità d'acqua in ghiaccio):

$$Q_f = \text{calore ceduto dall'acqua} = m L_f = 878 \text{ J}$$

Ricaviamo la massa della quantità di acqua trasformata in ghiaccio:

$$m = \frac{Q}{L_f} = \frac{878 \text{ J}}{33,5 \cdot 10^4 \text{ J/kg}} = 0,00262 \text{ kg}$$

Calcoliamo la quantità finale di ghiaccio:

$$m_{\text{ghiaccio}} = 0,0420 \text{ kg} + 0,00262 \text{ kg} = 0,0446 \text{ kg} = 44,6 \text{ g}$$

Osservazioni

La massa del ghiaccio è aumentata del 6%, valore che dipende solo dalla sua temperatura iniziale e non dalla quantità di acqua in cui è immerso.

Prova tu

A che temperatura dovrebbe trovarsi inizialmente il ghiaccio perché all'equilibrio la sua massa sia aumentata del 50%? [-80 °C]

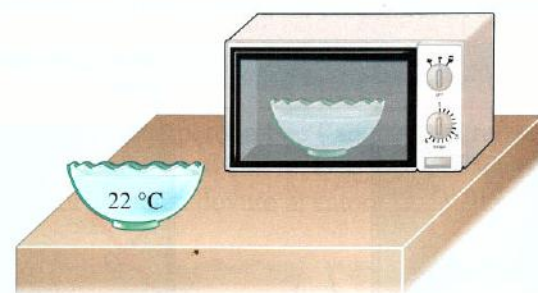
Problem solving 5



L'acqua che evapora

Una scodella contiene 500 g di acqua che si trova alla temperatura ambiente di 22 °C. La scodella viene messa per 5,0 minuti in un forno che eroga una potenza termica di 1200 W. Calcola la quantità di acqua che evapora, considerando che tutto il calore venga trasferito all'acqua.

Descrizione del problema L'acqua che si trova nella scodella viene riscaldata per 5 minuti dal forno: la temperatura sale fino a 100 °C, poi l'acqua comincia a vaporizzare. A seconda del calore fornito dal forno l'acqua passa completamente o solo in parte allo stato di vapore.



Strategia Calcoliamo il calore fornito dal forno in 5,0 minuti; calcoliamo il calore necessario per portare l'acqua alla temperatura di 100 °C e poi, utilizzando il calore latente, determiniamo la massa di acqua che vaporizza.

Soluzione Calcoliamo il calore fornito dal forno moltiplicando la potenza per il tempo espresso in secondi:

$$Q_{\text{forno}} = P \cdot \Delta t = (1220 \text{ W})(300 \text{ s}) = 3,66 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore necessario per innalzare la temperatura dell'acqua da 22 °C a 100 °C:

$$Q_{\text{acqua}} = m_{\text{acqua}} c_{\text{acqua}} \Delta T = (0,500 \text{ kg})[4186 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}] (100 - 22) ^\circ\text{C} = 1,63 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Determiniamo la quantità di calore ancora a disposizione:

$$Q = Q_{\text{forno}} - Q_{\text{acqua}} = 3,66 \cdot 10^5 \text{ J} - 1,63 \cdot 10^5 \text{ J} = 2,03 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calcoliamo il calore necessario per vaporizzare tutta l'acqua:

$$Q_v = m_{\text{acqua}} L_v = (0,500 \text{ kg})(22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}) = 11,3 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Poiché il calore a disposizione è $2,03 \cdot 10^5 \text{ J}$, minore di $11,3 \cdot 10^5 \text{ J}$, il calore fornito dal forno non è sufficiente per far vaporizzare tutta l'acqua.

Calcoliamo quindi la massa di acqua che vaporizza:

$$m_{\text{acqua}} = \frac{Q}{L_v} = \frac{2,03 \cdot 10^5 \text{ J}}{22,6 \cdot 10^5 \text{ J/kg}} = 0,090 \text{ kg}$$

Osservazioni Il calore fornito dal forno non è sufficiente a far vaporizzare completamente l'acqua; conviene però calcolarlo comunque per verificare se è avvenuto il passaggio di stato.

Prova tu

Quanto dovresti tenere ancora acceso il forno alla stessa potenza per poter vaporizzare completamente l'acqua? [760 s]

Attività per lo studio

Test, quesiti, discussioni, problemi

PLUS
Ripassa i CONCETTI CHIAVE



Verifica CONOSCENZE e ABILITÀ

TUTOR
Test interattivo

- L'ordine di grandezza del diametro di un atomo è:

<input type="checkbox"/> A 10 nm	<input type="checkbox"/> C 1 μm
<input type="checkbox"/> B 0,1 nm	<input type="checkbox"/> D 1 fm
- Il passaggio dallo stato solido allo stato gassoso si chiama:

<input type="checkbox"/> A liquefazione.	<input type="checkbox"/> C fusione.
<input type="checkbox"/> B sublimazione.	<input type="checkbox"/> D condensazione.
- Quale dei seguenti fenomeni non è un cambiamento di stato?

<input type="checkbox"/> A La fusione.
<input type="checkbox"/> B La vaporizzazione.
<input type="checkbox"/> C Il brinamento.
<input type="checkbox"/> D La dilatazione.
- Il ghiaccio è meno denso dell'acqua. V F
- La pressione del vapore saturo è la pressione di equilibrio tra:

<input type="checkbox"/> A la fase liquida e la fase gassosa.
<input type="checkbox"/> B la fase liquida e la fase solida.
<input type="checkbox"/> C la fase solida e la fase gassosa.
<input type="checkbox"/> D tutte e tre le fasi.
- Un liquido bolle quando la sua pressione di vapore saturo:

<input type="checkbox"/> A aumenta.
<input type="checkbox"/> B uguaglia la pressione esterna.
<input type="checkbox"/> C è minore della pressione esterna.
<input type="checkbox"/> D nessuna delle precedenti.
- La Paz, in Bolivia, si trova a un'altitudine di 3650 m sul livello del mare. A La Paz, l'acqua bolle:

<input type="checkbox"/> A a 100 °C.
<input type="checkbox"/> B al di sotto di 100 °C.
<input type="checkbox"/> C al di sopra di 100 °C.
<input type="checkbox"/> D non sono fornite sufficienti informazioni per rispondere.
- Dopo una nevicata si cospargono le strade di sale. Perché?

<input type="checkbox"/> A Il sale assorbe l'acqua.
<input type="checkbox"/> B Il sale innalza la temperatura di solidificazione dell'acqua.
<input type="checkbox"/> C Il sale abbassa la temperatura di solidificazione dell'acqua.
<input type="checkbox"/> D Il sale diminuisce la densità dell'acqua.



- Forrendo 214 kJ di calore a 250 g di alcol etilico, l'alcol vaporizza totalmente. Qual è il calore latente di vaporizzazione dell'alcol etilico?

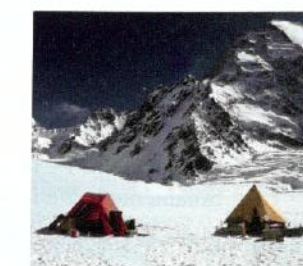
<input type="checkbox"/> A 54 kJ/kg	<input type="checkbox"/> C 856 kJ/kg
<input type="checkbox"/> B 428 kJ/kg	<input type="checkbox"/> D 540 kJ/kg
- Il calore latente di fusione del ghiaccio è 335 kJ/kg. Quanto calore è necessario per fondere 2 kg di ghiaccio?

<input type="checkbox"/> A 1340 kJ	<input type="checkbox"/> C 335 kJ
<input type="checkbox"/> B 168 kJ	<input type="checkbox"/> D 670 kJ
- Puoi affermare che la formazione di ghiaccio dall'acqua è accompagnata da:

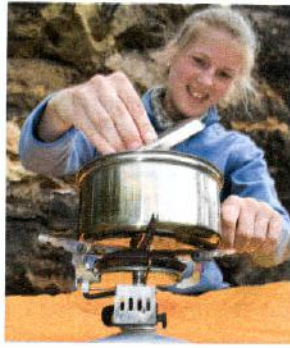
<input type="checkbox"/> A un assorbimento di calore da parte dell'acqua.
<input type="checkbox"/> B un aumento di temperatura.
<input type="checkbox"/> C una perdita di calore da parte dell'acqua.
<input type="checkbox"/> D una diminuzione di temperatura.

RAGIONA e RISPONDI

- Quali sono i livelli microscopici di organizzazione della materia?
- L'acqua in una bacinella evapora più rapidamente dell'acqua in una bottiglia. Spiega perché.
- L'acqua bolle sempre a 100 °C?
- Se bagni con alcol il bulbo di un termometro, dopo un po' la temperatura segnata dal termometro diminuisce. Perché?
- Quando l'acqua bolle sulla cima di una montagna, la sua temperatura è maggiore, minore o uguale a 100 °C? Spiega perché è difficile cuocere cibo nell'acqua bollente a queste altitudini.



6. Con un fornello da campeggio riesci a malapena a far bollire l'acqua sulla cima di una montagna. Se utilizzi lo stesso fornello al mare, riesci a far bollire l'acqua? Giustifica la risposta.



7. Che cos'è il calore latente di fusione?
 8. Qual è l'unità di misura del calore latente nel SI?
 9. Supponi di riscaldare dell'acqua e di riportare in un diagramma cartesiano il tempo in ascissa e la temperatura dell'acqua in ordinata. Quando l'acqua comincia a bollire, che grafico avrai?
 10. Se getti un cubetto di ghiaccio in una piscina, l'acqua della piscina scende a 0 °C? Giustifica la risposta.

Lavora in gruppo

11. L'iceberg più grande

Il più grande iceberg mai registrato è il B-15, fotografato da un satellite della NASA nel 2000. L'iceberg, staccatosi dalla Barriera di Ross, nell'Antartico, era lungo 275 km e largo 40 km e aveva una massa stimata di circa 1800 miliardi di tonnellate. A fine 2011 esistevano ancora due grossi frammenti dell'iceberg originale a sud-est della Nuova Zelanda, per una superficie di circa 215 km² e un'altezza stimata di un terzo dell'originale. Ipotizzando completamente sciolta la parte mancante dell'iceberg originale, calcolate quanto calore è stato necessario per fonderla.



12. Ice coffee

Un ice coffee viene preparato mettendo in un bicchiere 110 g di caffè a 25 °C e 83 g di ghiaccio alla temperatura di -18 °C. A che temperatura si può bere il caffè, aspettando l'equilibrio termico e ipotizzando trascurabili gli scambi termici con il bicchiere e con l'ambiente?

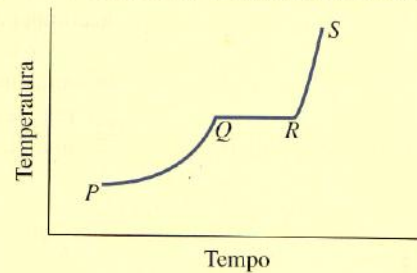


13. Dalle Olimpiadi



Ecco un quesito proposto alle Olimpiadi italiane di Fisica 1995.

Un contenitore con una certa quantità di sostanza solida è stato riscaldato uniformemente con un riscaldatore che eroga calore al tasso costante di 20 Js⁻¹. Le perdite di calore sono considerate trascurabili. Il grafico mostra l'andamento della temperatura della sostanza, rilevata a intervalli regolari di tempo.



Dal grafico si può dedurre che:

- 1) La sostanza fonde completamente tra Q ed R.
- 2) Il calore specifico della sostanza è maggiore tra P e Q che tra R ed S.
- 3) La sostanza non ha assorbito calore tra Q ed R.

Quali delle precedenti deduzioni sono corrette?

- A) Tutte e tre. D) Solamente la 1.
 B) Solamente la 1 e la 2. E) Solamente la 3.
 C) Solamente la 2 e la 3.

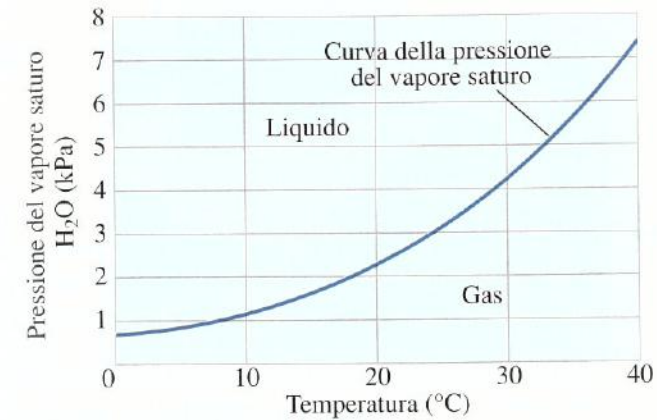
Scegliete la risposta corretta, fornendo un'esauriente spiegazione.

Risolvi i PROBLEMI

I cambiamenti di stato

1. A che pressione bolle l'acqua?

Nella figura seguente è mostrato un tratto della curva della pressione del vapore saturo dell'acqua. Facendo riferimento alla curva, stima la pressione esterna necessaria per far bollire l'acqua a 30 °C.

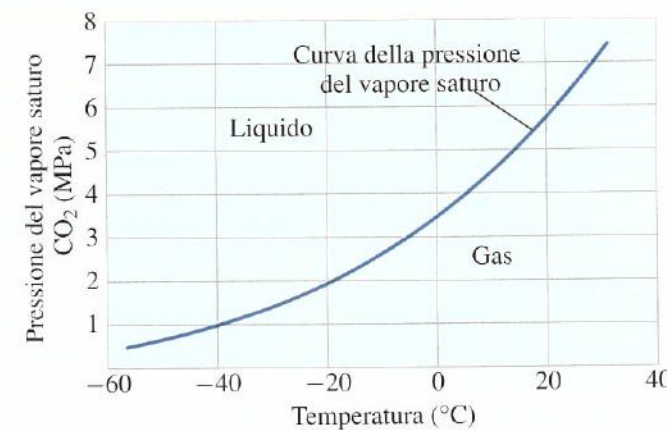


2. A che temperatura bolle l'acqua?

Utilizzando la curva della pressione del vapore saturo data nel problema precedente, stima la temperatura di ebollizione dell'acqua quando la pressione esterna è di 1,5 kPa. [circa 13 °C]

3. A che pressione bolle la CO₂?

Nella figura seguente è mostrato un tratto della curva della pressione del vapore saturo per il biossido di carbonio, CO₂.
 a) Stima la pressione necessaria per far bollire il CO₂ a 0 °C.
 b) Se si aumenta la temperatura, la pressione alla quale il biossido bolle aumenta, diminuisce o rimane invariata? Giustifica la risposta.



4. A che temperatura bolle la CO₂?

Utilizzando la curva della pressione del vapore saturo data nel problema precedente, stima la temperatura di ebollizione del biossido di carbonio quando la pressione è di 1,5 · 10⁶ Pa. [circa -28 °C]

Il calore latente

5. Quanto calore devi sottrarre da 0,96 kg di acqua a 0 °C per formare dei cubetti di ghiaccio alla temperatura di 0 °C? [3,2 · 10⁵ J]

6. PROBLEMA SVOLTO

Calcola l'energia termica necessaria per far passare la temperatura di 0,550 kg di ghiaccio da -20 °C a 20 °C. Rappresenta il processo in un diagramma calore-temperatura.

SOLUZIONE

Determina il calore necessario per scaldare il ghiaccio da -20 °C a 0 °C (il calore specifico del ghiaccio è $c_{\text{ghiaccio}} = 2090 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$):

$$Q_1 = mc_{\text{ghiaccio}}\Delta T = (0,550 \text{ kg})[2090 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}](20 \text{ °C}) = 2,30 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Calcola il calore necessario per fondere il ghiaccio a 0 °C (il calore latente di fusione del ghiaccio è $L_f = 33,5 \cdot 10^4 \text{ J/kg}$):

$$Q_f = mL_f = (0,550 \text{ kg})(33,5 \cdot 10^4 \text{ J/kg}) = 1,84 \cdot 10^5 \text{ J}$$

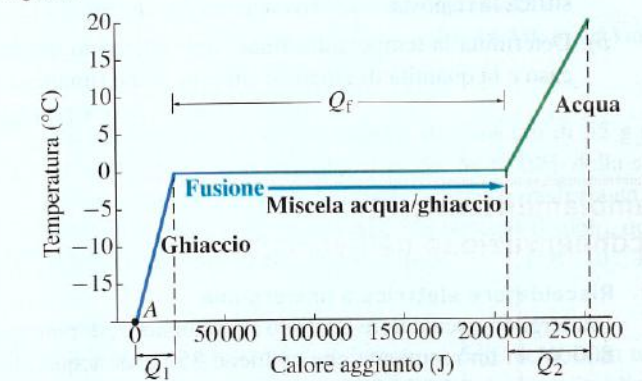
Infine, calcola il calore necessario per scaldare l'acqua da 0 °C a 20 °C (il calore specifico dell'acqua è $c_{\text{acqua}} = 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$):

$$Q_2 = mc_{\text{acqua}}\Delta T = (0,550 \text{ kg})[4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}](20 \text{ °C}) = 4,60 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Somma Q_1 , Q_f e Q_2 per ottenere il calore totale necessario per l'intero processo:

$$Q = Q_1 + Q_f + Q_2 = 2,53 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Il diagramma calore-temperatura del processo è mostrato in figura:



7. IN ENGLISH

Suppose the 0,550 kg of ice in problem 6 starts at point A. How much ice is left in the system after: a) $5,00 \cdot 10^4 \text{ J}$, b) $1,00 \cdot 10^5 \text{ J}$, and c) $1,50 \cdot 10^5 \text{ J}$ of heat are added to the system? [a) 0,469 kg; b) 0,320 kg; c) 0,171 kg]

8. Blocco di ghiaccio

Per trasformare un blocco di ghiaccio a -15 °C in acqua a 15 °C è necessario un trasferimento di calore di $9,5 \cdot 10^5 \text{ J}$. Qual è la massa del blocco di ghiaccio? [2,2 kg]

9. **Rame liquido**
 Quanto calore deve essere fornito a 1,75 kg di rame per trasformarlo dallo stato solido alla temperatura di 1358 K allo stato liquido alla stessa temperatura? [362 kJ]

10. Quanto calore è necessario sottrarre a una massa di acqua a 24,0 °C per ottenere la stessa quantità di ghiaccio? [435 J/g]

11. **Rimane del ghiaccio?**
 Un blocco di ghiaccio di 1,1 kg si trova inizialmente a una temperatura di -5,0 °C.

- a) Se al ghiaccio viene fornita una quantità di calore pari a $5,2 \cdot 10^5$ J, qual è la temperatura finale del sistema? Determina la quantità di ghiaccio rimasta, se ne rimane.
 b) Supponi di raddoppiare la quantità di calore somministrata al ghiaccio. Di quale fattore dovrebbe essere aumentata la massa del ghiaccio per ottenere la stessa temperatura finale? Giustifica la risposta.



[a) 30 °C; b) deve essere raddoppiata]

12. **Variazione di temperatura**
 Con riferimento al problema precedente, supponi che la quantità di calore fornita al ghiaccio sia dimezzata, cioè sia $2,6 \cdot 10^5$ J. Osserva che tale quantità di calore è ancora sufficiente per sciogliere almeno una parte del ghiaccio.

- a) Ti aspetti che l'aumento di temperatura sia uguale alla metà di quello trovato nel problema precedente? Giustifica la risposta.
 b) Determina la temperatura finale del sistema in questo caso e la quantità di ghiaccio rimasta, se ne rimane. [a) no; b) 0 °C; 0,4 kg]

Cambiamenti di stato e conservazione dell'energia

13. **Riscaldatore elettrico a immersione**
 Immergi un riscaldatore elettrico a immersione, di potenza 800 W, in un recipiente che contiene 350 g di acqua alla temperatura di 24,5 °C. Quanto tempo è necessario perché evaporino metà dell'acqua presente nel contenitore? [700 s = 11 minuti e 40 s]

14. **La temperatura della limonata**
 Un grande bicchiere contiene 3,99 kg di limonata (che è essenzialmente acqua) a 20,5 °C. Nella limonata viene immerso un cubetto di ghiaccio di 0,0550 kg a -10,2 °C. Quali sono la temperatura finale del sistema e la quantità di ghiaccio rimasto (assumendo che ne sia rimasto)? Ignora qualunque scambio di calore tra il bicchiere e l'ambiente circostante. [19,1 °C]

15. **Un bel tè fresco**
 A Roberta piace molto il tè, ma oggi fa troppo caldo e lei non vuole bere bibite bollenti. Se mette 1 litro di tè a 80 °C in un recipiente isolato, quanto ghiaccio deve aggiungere per portare il tè alla temperatura di 8 °C? (Tieni presente che il tè è essenzialmente acqua). [0,9 kg]



16. **Raffreddare con l'azoto liquido**
 Un cilindro di alluminio che pesa 155 g è rimosso da un bagno di azoto liquido, dove è stato raffreddato a una temperatura di -196 °C. Il cilindro è immediatamente posto in un contenitore isolato che contiene 80 g di acqua a 15,0 °C. Qual è la temperatura di equilibrio di questo sistema? Se la tua risposta è 0 °C, determina la quantità di acqua che si è congelata. (Il calore specifico medio dell'alluminio in questo intervallo di temperatura è 653 J/(kg · K)). [44 g]

17. **La bottega del fabbro**
 Un blocco di ferro che pesa 825 g è riscaldato fino a raggiungere la temperatura di 352 °C e quindi è posto in un contenitore isolato (con capacità termica trascurabile) che contiene 40,0 g di acqua a 20,0 °C. Qual è la temperatura di equilibrio di questo sistema? Se la tua risposta è 100 °C, determina la quantità di acqua trasformata in vapore. (Il calore specifico medio del ferro in questo intervallo di temperatura è 560 J/(kg · K)). [123 °C]

18. **Rame e alluminio**
 Un blocco di rame di 48 g alla temperatura di -12 °C è immerso in 110 g di acqua contenuti in una tazza di alluminio di 75 g. La tazza e l'acqua hanno una temperatura iniziale di 4,1 °C.
 a) Determina la temperatura di equilibrio della tazza e del suo contenuto.
 b) Quanto ghiaccio è presente, se ce n'è, quando il sistema raggiunge l'equilibrio? [a) 3,6 °C; b) non c'è ghiaccio]

19. **Patate bollenti**
 La mamma mette sempre le patate appena cotte dentro un recipiente contenente acqua fredda, per non scottarsi quando le pela.
 a) Calcola il calore specifico delle patate considerando che tre patate di massa complessiva 380 g alla temperatura di 87,5 °C vengono immerse in 5,00 kg di acqua a 17,0 °C e che la temperatura di equilibrio raggiunta nel recipiente è 19,2 °C.
 b) Se aggiungi all'acqua tre cubetti di ghiaccio di massa 25 g ciascuno, che temperatura di equilibrio raggiunge l'acqua? [a) 1,77 J/kg; b) 11 °C]

Risolvi i PROBLEMI DI RIEPILOGO

20. **Freddo polare**
 In una fredda giornata d'inverno sul parabrezza della tua automobile si è formato uno strato di ghiaccio che ha uno spessore di 0,58 cm e un'area di 1,6 m². Se la temperatura del ghiaccio è -2,0 °C e la sua densità è 917 kg/m³, qual è il calore necessario per fonderlo completamente? [2,9 MJ]



21. **Tazze di alluminio e d'argento**
 Un cubetto di ghiaccio di 35 g a 0 °C è immerso in 110 g di acqua contenuti in una tazza di alluminio di 62 g. La tazza e l'acqua hanno una temperatura iniziale di 23 °C.
 a) Determina la temperatura di equilibrio della tazza e del suo contenuto.
 b) Supponi che la tazza di alluminio sia sostituita con una uguale tazza d'argento. La temperatura di equilibrio è in questo caso maggiore, minore o uguale a quella raggiunta con la tazza di alluminio? Giustifica la risposta. [a) 0,22 °C; b) minore]

22. **IN ENGLISH**
 Steam can cause more serious burns than water at the same temperature. Let us examine this effect quantitatively, noting that flesh becomes badly damaged when its temperature reaches 50,0 °C.
 a) Calculate the heat released as 12,5 g of liquid water at 100 °C is cooled to 50,0 °C.
 b) Calculate the heat released when 12,5 g of steam at 100 °C is condensed and cooled to 50,0 °C.
 c) Find the mass of flesh that can be heated from 37,0 °C (normal body temperature) to 50,0 °C for the cases considered in parts a) and b). (The average specific heat of flesh is 3500 J/kg · K.) [a) 2,62 kJ; b) 30,9 kJ; c) 0,058 kg; 0,68 kg]

23. **Energie alternative**
 Per mantenere caldo il suo granaio durante i giorni freddi, un contadino immagazzina 865 kg di acqua calda nel granaio. Per quante ore dovrebbe essere tenuto in funzione un riscaldatore elettrico da 2,00 kW per fornire la stessa quantità di calore emessa dall'acqua durante il suo periodo di raffreddamento da 20,0 °C a 0 °C e successivamente di congelamento a 0 °C? [50,3 h]

24. **La potenza del bollitore**
 a) Calcola la potenza minima necessaria per far bollire in un bollitore in 6,5 minuti 2,0 litri di acqua che si trova inizialmente a 5,0 °C.
 b) In quanto tempo evapora tutta l'acqua se si ha a disposizione una potenza di 4,5 kW? [a) 2,0 kW; b) 17 minuti]

25. **Calore dal computer**
 Alcuni ricercatori stanno sviluppando degli "scambiatori di calore" per i computer portatili che prelevano calore dal computer, per evitare che si danneggi a causa del surriscaldamento, e lo utilizzano per vaporizzare metanolo. Dato che 5100 J di calore prelevati dal computer vaporizzano 4,6 g di metanolo, qual è il calore latente di vaporizzazione del metanolo? [$1,1 \cdot 10^6$ J/kg]



26. **Blocco di ghiaccio "ad alta velocità"**
 a) Determina la quantità di calore che devi sottrarre a 1,5 kg di vapore a 110 °C per convertirlo in ghiaccio a 0,0 °C.
 b) Quale velocità avrebbe questo blocco di ghiaccio da 1,5 kg se la sua energia cinetica di traslazione fosse uguale all'energia termica calcolata in a)? [a) 4,6 MJ; b) 2,5 km/s]

27. **Caduta libera del cubetto**
 Fai cadere (da fermo) un cubetto di ghiaccio di 55 g da un'altezza di 1,0 m rispetto al suolo. Se il 10% della sua energia potenziale gravitazionale iniziale è trasformata in energia termica al momento dell'impatto con il suolo, qual è la quantità di ghiaccio che si è fuso? [$1,6 \cdot 10^{-7}$ kg]

28. **Calore per attrito**
 Un blocco di ghiaccio di 5,0 kg a -1,5 °C scivola su una superficie orizzontale con un coefficiente di attrito dinamico uguale a 0,062. La velocità iniziale del blocco è di 6,9 m/s e quella finale di 5,5 m/s. Supponendo che tutta l'energia dissipata dall'attrito dinamico sia utilizzata per fondere una parte del ghiaccio, e la restante parte del ghiaccio rimanga a -1,5 °C, determina la massa del ghiaccio che si è fuso. [$1,3 \cdot 10^{-4}$ kg]