

VAPORIZZAZIONE, CONDENSAZIONE E SUBLIMAZIONE

In questa lezione esamineremo:

- la vaporizzazione
- la condensazione
- la sublimazione

La vaporizzazione

Il passaggio di una sostanza dallo stato liquido a quello aeriforme può avvenire in due modi: per *evaporazione* e per *ebollizione*.

Come si definisce l'evaporazione

Si parla di **evaporazione** quando il **passaggio di stato liquido-aeriforme avviene senza riferimento a particolari condizioni di temperatura e di pressione**.

Tale processo può avvenire in modo più o meno rapido, a seconda della sostanza liquida considerata.

Per esempio, delle gocce di alcol o di etere versate su una superficie vaporizzano rapidamente. Delle gocce d'acqua, al contrario, impiegano più tempo per passare allo stato di vapore.

Come si definisce l'ebollizione

Si parla di **ebollizione** quando il **passaggio di stato liquido-aeriforme avviene, in modo abbastanza tumultuoso, a ben determinate condizioni di temperatura e di pressione**.

Per esempio, l'acqua contenuta in una pentola, sottoposta alla pressione atmosferica, bolle alla temperatura di 100 °C.

Se il processo di ebollizione dura per un tempo adeguato, tutto il liquido passa allo stato di vapore.

Noi tratteremo in modo separato i due fenomeni, date le loro diverse caratteristiche di svolgimento.

L'evaporazione

Il fatto che un liquido evapori trova piena giustificazione nelle teorie molecolari di cui abbiamo già parlato.

Secondo tali teorie le molecole sarebbero in continuo e disordinato movimento. In tale situazione è abbastanza ovvio pensare che le molecole superficiali di un liquido possano abbandonare quest'ultimo più o meno agevolmente (fig. 1).



1. Il moto continuo e disordinato delle molecole fa sì che alcune di esse possano staccarsi dalla superficie libera del liquido.

Il fatto, poi, che il fenomeno sia più rilevante (fig. 2) quando la superficie del liquido è estesa (per esempio, nel caso dell'acqua versata su un pavimento) piuttosto che quando essa è limitata (per esempio, nel caso dell'acqua contenuta in un bicchiere) è giustificato dal fatto che, nel primo caso, un maggior numero di molecole ha probabilità di abbandonare il liquido.

2. Maggiore è l'estensione della superficie di un liquido, più intenso è il processo di evaporazione. L'acqua sul pavimento manifesta un'evaporazione più intensa dell'acqua contenuta nel bicchiere.

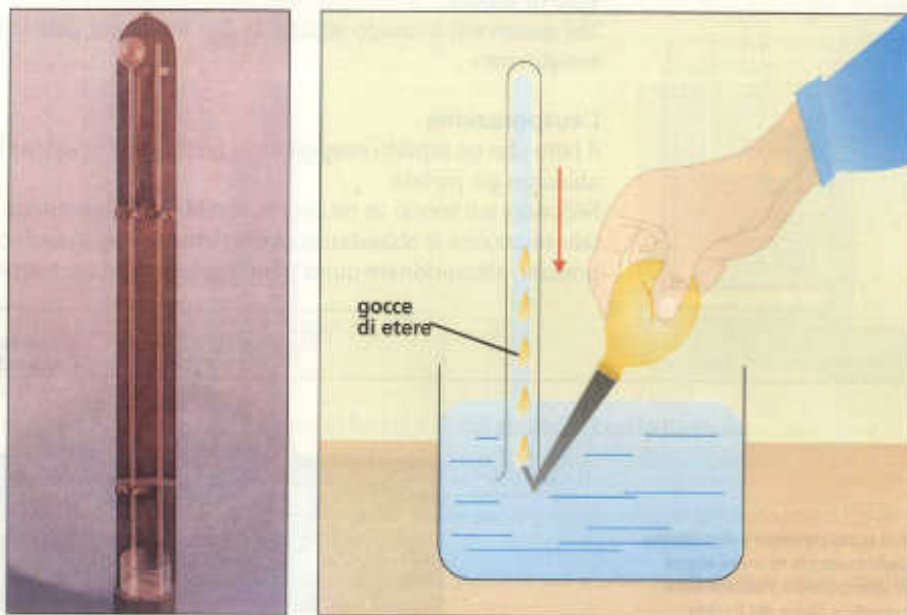


Il fatto che un aumento di temperatura renda più rapido il processo di evaporazione è spiegabile anch'esso con la teoria molecolare.

L'aumento di temperatura, infatti, si traduce in una crescita di velocità delle molecole che, in tal modo, possono raggiungere l'energia sufficiente a vincere le forze di coesione e abbandonare il liquido.

L'evaporazione può avvenire sia nel vuoto, sia in ambiente gassoso. Lo studio dei due casi mette in luce il condizionamento esercitato dalla pressione in tale fenomeno.

Lo studio dell'evaporazione nel vuoto può essere compiuto per mezzo di un tubo torricelliano. Come è noto, nel tubo torricelliano, al di sopra della colonna di mercurio, c'è praticamente il vuoto. Se spruzziamo alla base del tubo delle gocce di etere (liquido estremamente volatile) queste, per il principio di Archimede, risalgono lungo il tubo attraverso il mercurio. Raggiunta la superficie, data la mancanza di pressione esterna, evaporano istantaneamente (fig. 3).



3. A fianco. Barometro a mercurio di tipo torricelliano. Estrema destra. Tubo torricelliano per lo studio dell'evaporazione nel vuoto.

Continuando a spruzzare etere alla base del tubo, il vapore che si viene a formare in continuazione esercita sulla colonnina di mercurio una pressione, detta anche **tensione di vapore**, evidenziata dall'abbassamento della colonnina stessa. Tale abbassamento si verifica fino a un certo punto e poi si arresta.

Sulla superficie libera del mercurio si forma uno strato di gocce di etere allo stato liquido: ogni ulteriore goccia di etere spruzzata non evapora più. O meglio, la pressione del vapore di etere sulla superficie libera del mercurio della colonnina è tale che il numero di molecole che passano dal liquido al vapore è uguale al numero di molecole che nello stesso tempo passano dal vapore al liquido.

L'etere ha raggiunto, in tali condizioni, l'equilibrio fra lo stato liquido e lo stato di vapore. Quando si verifica tale situazione, si suol dire che il vapore è saturo e la corrispondente pressione da esso esercitata è detta **tensione di saturazione**.

Tensione di saturazione e temperatura

la **tensione di saturazione varia da liquido a liquido. Inoltre, per lo stesso liquido, essa aumenta al crescere della temperatura.**

L'evaporazione di un liquido in presenza di un gas quale l'aria è ostacolata dalla pressione esercitata dall'aria stessa.

Così, degli indumenti lavati e stesi ad asciugare o una strada bagnata si asciugano molto più rapidamente in presenza del vento, in quanto il vento determina una diminuzione del valore della pressione.

Ricordiamo, infine, che:

Il calore latente di evaporazione

la **quantità di calore Q_{le} necessaria per fare evaporare 1 kg della massa m di un dato liquido è definita **calore latente di evaporazione**.**

Il calore latente di evaporazione è espresso dalla relazione:

$$Q_{le} = \frac{Q}{m}$$

dove Q è la quantità di calore necessaria per fare evaporare tutta la massa m del liquido in questione.

L'ebollizione

La vaporizzazione di un liquido può avvenire anche per **ebollizione** (fig. 4). In tale pro-



4. A sinistra. Vaporizzazione per ebollizione. Le molecole che vaporizzano coinvolgono l'intera massa del liquido.

5. Al centro. La pentola di Papin, il prototipo della moderna pentola a pressione. Sopra. Pentola a pressione.

cesso le molecole del liquido che vaporizzano non coinvolgono più solo la superficie libera della massa del liquido, ma l'intera massa.

Ciò è dovuto al fatto che all'interno del liquido sono sempre presenti delle bollicine gassose. Tali bollicine sono costituite dai vapori del liquido circostante a tensione di saturazione.

Un aumento di temperatura del liquido fa sì che le bollicine, aumentando la tensione di vapore, si ingrossino al punto tale che, sotto l'azione della spinta archimedeica, salgono in superficie, scoppiano e liberano il vapore in esse contenuto. Quando si verifica tale fenomeno si dice che il liquido è in ebollizione.

I liquidi e la temperatura di ebollizione

Ogni liquido, a una **determinata pressione**, ha una propria **temperatura di ebollizione**.

Per esempio l'acqua, a pressione atmosferica, bolle a 100 °C, l'alcol a 78 °C, il mercurio a 357 °C ecc.

È evidente, inoltre, che la temperatura di ebollizione aumenta o diminuisce in relazione all'aumento o alla diminuzione della pressione esterna.

Infatti, perché avvenga l'ebollizione, la tensione di saturazione deve essere quanto meno uguale alla pressione esterna. Di conseguenza, al variare di quest'ultima, varia la temperatura di ebollizione del liquido: essa aumenta se aumenta la pressione e diminuisce se diminuisce la pressione.

Tutti sanno che l'acqua in alta montagna, dove la pressione è più bassa, bolle a una temperatura inferiore ai 100 °C.

Viceversa, con la cosiddetta pentola a pressione, per esempio, è possibile far bollire l'acqua a una temperatura notevolmente superiore ai 100 °C. Il prototipo della pentola a pressione può essere considerata la pentola di Papin, inventata nel 1679 dal fisico francese Denis Papin. La fig. 5 ne dà un'illustrazione schematica.

Durante la *fase di ebollizione*, fino a quando non si è completata la vaporizzazione del liquido, la temperatura resta costante.

Il calore latente di ebollizione

la **quantità di calore Q_{Leb} che è necessario somministrare a un liquido perché vaporizzi 1 kg della sua massa m è definita calore latente di ebollizione**.

Il calore latente di ebollizione è espresso dalla relazione:

$$Q_{Leb} = \frac{Q_E' - Q_E}{m}$$

dove Q_E' è la quantità di calore totale e Q_E è la quantità di calore fornita per portare la sostanza alla temperatura di ebollizione.

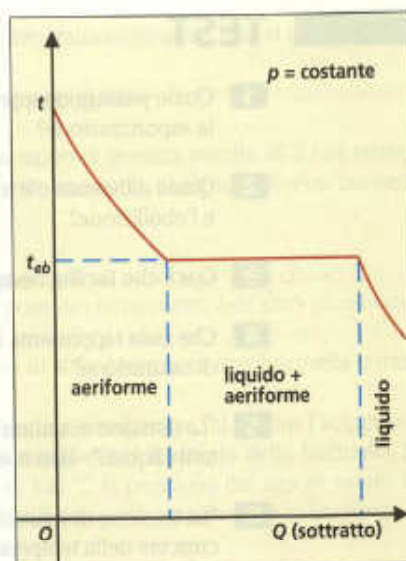
La condensazione

Il passaggio di una sostanza dallo stato aeriforme allo stato liquido è detto **liquefazione** o **condensazione**. Esso può avvenire in due modi: per **abbassamento della temperatura** della sostanza aeriforme o per compressione.

Sia l'abbassamento della temperatura, sia la compressione determinano un incremento del valore delle forze di coesione tra le molecole della sostanza aeriforme. Nel caso della condensazione *per raffreddamento a pressione costante*, la temperatura dell'aeriforme varia in funzione del calore sottratto, secondo l'andamento illustrato nel grafico della fig. 6. Si noti che la temperatura alla quale l'aeriforme inizia a condensare è la stessa alla quale il liquido, a parità di pressione, bolle. Durante la fase di condensazione, la temperatura si mantiene costante.

La condensazione di un aeriforme per compressione comporta alcuni problemi.

6. A fianco. Un esempio di condensazione per raffreddamento a pressione costante. Estrema destra. Diagramma del processo di condensazione per raffreddamento a pressione costante.



Ricordiamo che:

vengono detti **vapori** quegli aeriformi che, alle **temperature normali**, si trovano allo **stato liquido**, mentre vengono detti **gas** quegli aeriformi che, alle **temperature normali**, si trovano allo **stato aeriforme**.

Ora, mentre i primi possono, per compressione, essere facilmente liquefatti, i secondi, anche se sono sottoposti a notevole compressione, restano allo stato aeriforme. Tale fenomeno è dovuto al fatto che:

per ogni aeriforme – sia che si tratti di un vapore, sia che si tratti di un gas – esiste una temperatura, detta **temperatura critica**, al di sopra della quale esso non può essere liquefatto, anche se è sottoposto a notevolissime compressioni.

I gas hanno temperature critiche bassissime: quella dell'idrogeno, per esempio, è -240 °C, quella dell'ossigeno è -118 °C. Essi, quindi, alle temperature normali, si trovano molto al di sopra del valore critico. Da qui l'impossibilità di liquefarli utilizzando la sola compressione.

Il vapore acqueo, al contrario, ha una temperatura critica di circa $+365$ °C. Esso, dunque, a temperatura normale si trova molto al di sotto del valore critico; di conseguenza può essere facilmente condensato.

La sublimazione

Alcune sostanze, come la canfora e la naftalina, alle normali condizioni di temperatura e di pressione evaporano, cioè passano direttamente dallo stato solido a quello aeriforme.

A tale fenomeno si dà il nome di **sublimazione**.

Può accadere anche l'opposto: una sostanza può passare direttamente dallo stato aeriforme allo stato solido.

Sappiamo che nel caso del ghiaccio, per esempio, un piccolo numero di molecole può avere energia sufficiente per vincere le forze molecolari e andare a formare una piccola coltre di vapore acqueo.

Ma al vapore acqueo può accadere anche il processo opposto: esso può trasformarsi direttamente in ghiaccio, come nel fenomeno della formazione della brina.

Differenza
tra vapori e gas

Temperatura
critica di un aeriforme

TEST

- 1 Quale passaggio rappresenta la vaporizzazione?
- 2 Quale differenza c'è tra l'evaporazione e l'ebollizione?
- 3 Cos'è che facilita l'evaporazione?
- 4 Che cosa rappresenta la tensione di saturazione?
- 5 "La tensione di saturazione è la stessa per tutti i liquidi". *Vero o falso?*
- 6 "La tensione di saturazione aumenta al crescere della temperatura". *Vero o falso?*
- 7 Che cosa ostacola l'evaporazione di un liquido?
- 8 L'acqua in alta montagna bolle a una temperatura superiore o inferiore ai 100 °C?
- 9 Qual è il prototipo della moderna pentola a pressione?
- 10 Quale passaggio viene indicato con il termine condensazione?
- 11 In quali modi può avvenire la condensazione?
- 12 Che differenza c'è tra gli aeriformi detti vapori e quelli detti gas?
- 13 Che cosa indica la temperatura critica?
- 14 Che cosa rappresenta la sublimazione?

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Dallo stato solido a quello di vapore e viceversa

Introduzione

Il seguente esperimento consente di osservare il passaggio dallo stato solido a quello di vapore e il passaggio inverso vapore-solido.

Materiali occorrenti: iodio solido, capsula di porcellana, carta da filtro, imbuto di vetro.

Procedimento

- Introduci dello iodio solido in una capsula di porcellana a fondo piatto.
- Ricopri la capsula con carta da filtro.
- Appoggia sopra la carta un imbuto di vetro capovolto, dello stesso diametro dell'apertura della capsula e fai in modo che i bordi coincidano.
- Riscalda blandamente la capsula.
- A questo punto si possono osservare i vapori volatili prodotti dalla sublimazione dello iodio. Tali vapori, salendo lungo le pareti fredde dell'imbuto, solidificano formando dei cristalli.

Determinazione della curva di tensione del vapore saturo dell'acqua in funzione della temperatura

Introduzione

La tensione del vapore saturo è il valore della pressione esercitata da un vapore in condizioni di saturazione. Essa varia da liquido a liquido e, per uno stesso liquido, da temperatura a temperatura.

Scopo dell'esperienza: disegnare il grafico che illustra come varia la tensione di

vapore saturo dell'acqua in funzione della temperatura alla quale esso si trova.

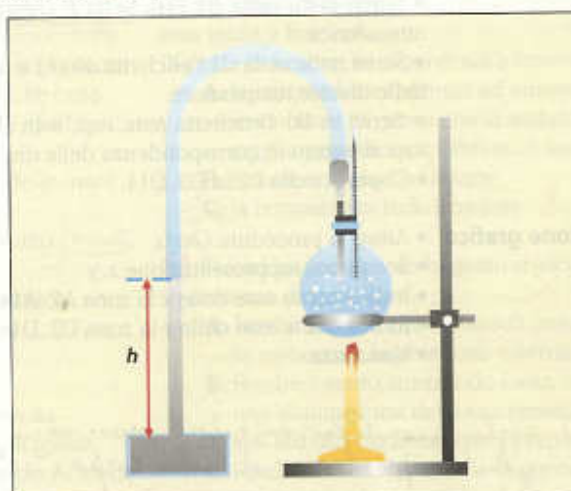
Prerequisiti: conoscenza della teoria dei passaggi di stato.

Materiali occorrenti: pallone di vetro con tappo di gomma munito di 2 fori, termometro, tubo di vetro a U, bacinella contenente mercurio, barometro, becco bunsen, sostegno con asta e anello.

Procedimento

- Monta il dispositivo illustrato in *fig. 7*, composto di un pallone di vetro chiuso con un tappo di gomma recante due fori: in uno è posto un termometro, nell'altro un estremo del tubicino di vetro a U.
- Il secondo estremo, al momento opportuno, lo si fa pescare in una bacinella contenente mercurio.
- Versa dell'acqua nel pallone, tappalo e porta a ebollizione. Fai bollire l'acqua per qualche minuto, poi immergi l'estremo del tubicino nel mercurio della bacinella. Si ricorda, in proposito, che alla temperatura di 100 °C la pressione del vapore saturo di acqua è uguale a quella atmosferica, per cui il mercurio comincerà a salire lungo il tubicino man mano che l'acqua si raffredda.

Fig. 7



L'esperienza consiste nel rilevamento della pressione del vapore saturo come differenza di quella letta al barometro p_a (in mm) e l'altezza h raggiunta dal mercurio nel tubicino.

I rilevamenti vanno fatti a intervalli di 5 gradi, a partire da 95 gradi fino a 30 gradi:

$t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$	$h = ..$
	$p_a - h = ...$
$t = 90 \text{ }^\circ\text{C}$	$h = ...$
	$p_a - h = ...$
$t = 85 \text{ }^\circ\text{C}$	$h = ...$
	$p_a - h = ...$

e così via.

- Traccia un grafico su carta millimetrata, riportando in ascissa la temperatura e in ordinata le tensioni.



Elaborazione al computer

Preparazione del foglio

- Scrivi in A1 l'etichetta *temp.* e nelle celle sottostanti i valori delle temperature a cui si è operato.

	A	B	C	D
1	<i>temp.</i>	<i>P (atm)</i>	<i>alt. (h)</i>	<i>tens. vap.</i>
2	95	+SB\$2 - C2
...
...
14	30

- Scrivi nella cella B1 l'etichetta *P (atm)* e in B2 il valore misurato della pressione atmosferica.
- Scrivi nella cella C1 l'etichetta *alt. (h)* e in C2..C14 i valori misurati in corrispondenza delle diverse temperature.
- Scrivi in D1 l'etichetta *tens. vap.* e in D2 l'espressione che fornisce la tensione di vapore saturo in corrispondenza delle diverse temperature.
- Copia la cella D2 in D3..D14.

Rappresentazione grafica

- Attiva la procedura *Grafo*.
- Scegli una rappresentazione *x, y*.
- Indica come asse delle *x* la zona A2..A14.
- Indica come asse delle *y* la zona D2..D14.
- Visualizza.

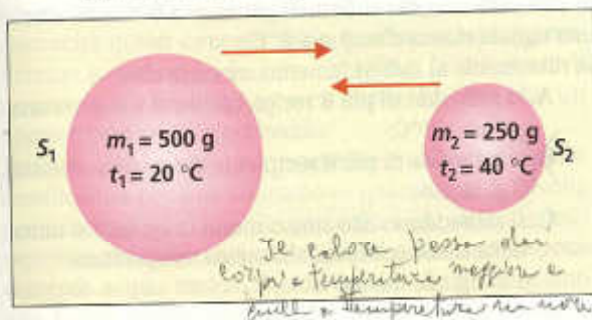
③ A) La quantità di calore necessaria per incrementare di ΔT la temperatura di un corpo è espressa dall'equazione $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, dove c è il calore specifico del corpo, m è la massa e ΔT è la variazione di temperatura. Per un dato ΔT , il calore richiesto è maggiore per un corpo con un calore specifico maggiore. Per un dato corpo, il calore richiesto è maggiore per un ΔT maggiore.

Determinazione della curva di tensione del vapore saturo
della acqua in funzione della temperatura

TEST DI AUTOVERIFICA Risposte a pag. 648

1 Mettendo a contatto le due sfere dell'illustrazione succederà che:

- A. la sfera S_1 cede calore alla sfera S_2 ;
- B. la sfera S_2 cede calore alla sfera S_1 ;
- C. non si ha scambio di calore, in quanto la diversità di massa è compensata esattamente dalla diversità di temperatura.



2 Per riscaldarci le mani possiamo strofinarle una con l'altra o avvicinarle a una sorgente di calore. Che cosa c'è di simile e che cosa c'è di diverso nei due casi?

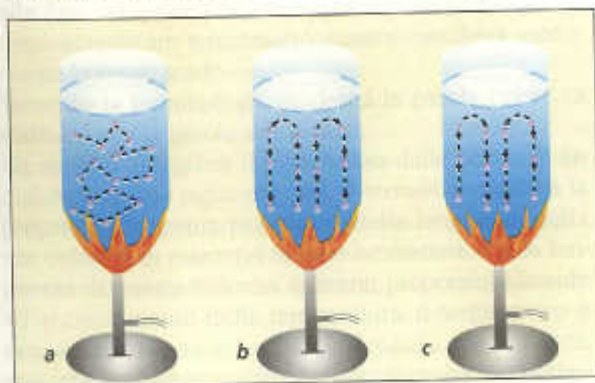
- A. C'è di simile l'aumento dell'energia di agitazione termica delle molecole delle mani che si otterrebbe in entrambi i casi.
- B. C'è di simile la modalità del trasferimento di energia alle molecole delle mani.
- C. C'è di diverso l'origine dell'energia termica che si trasferisce alle mani.

Quali delle suddette risposte è errata?

3 Abbiamo dell'acqua, dell'alcol e del benzolo. Si vuole sapere, nel caso che abbiano la stessa massa e la stessa temperatura, quale delle tre sostanze richiede più calore per incrementare la propria temperatura di un'uguale quantità.

- A. L'alcol.
- B. L'acqua.
- C. Il benzolo.

4 Il recipiente dell'illustrazione è riscaldato con una fiamma. Se nel bicchiere versiamo delle goccioline



colorate, quale delle tre raffigurazioni rappresentanti il moto delle goccioline è più aderente alla realtà?

- A. Disegno a.
- B. Disegno b.
- C. Disegno c.

5 In riferimento alla temperatura di ebollizione di un liquido si può affermare che essa:

- A. aumenta all'aumentare della pressione esterna;
- B. diminuisce all'aumentare della pressione esterna;
- C. è indipendente dalla pressione esterna.

6 Fornendo calore a una sostanza allo stato solido, la sua temperatura cresce fino ad arrivare a un valore (temperatura di fusione) in corrispondenza del quale essa inizia a fondere.

Durante la fusione, se si continua a fornire calore:

- A. la temperatura continua ad aumentare, ma più lentamente di prima che la sostanza raggiungesse la temperatura di fusione;
- B. la temperatura diminuisce;
- C. la temperatura resta costante.

7 Perché un indumento bagnato si asciuga prima in presenza di vento?

- A. Perché il vento che soffia sull'indumento fa aumentare la pressione esterna dell'aria.
- B. Perché il vento, spazzando l'aria, determina una diminuzione della sua pressione sull'indumento, favorendo l'evaporazione.
- C. Perché il vento spazza via le goccioline del liquido che bagna l'indumento.

8 Un gas può essere liquefatto o raffreddandolo o comprimendolo. In riferimento all'azione della pressione si può dire che:

- A. è sempre possibile liquefare un gas sottoponendolo a un'opportuna compressione;
- B. è possibile liquefare un gas comprimendolo solo se la sua temperatura non è inferiore a $0\text{ }^\circ\text{C}$;
- C. per ogni aeriforme esiste una temperatura al di sopra della quale esso non può essere liquefatto anche se sottoposto a notevolissime pressioni.

9 Quando ci mettiamo vicino a una sorgente di calore ci riscaldiamo perché una certa quantità di calore passa dalla sorgente al nostro corpo. Se ci mettiamo davanti a un caminetto acceso, il calore ci giunge:

- A. per conduzione;
- B. per convezione;
- C. per irraggiamento.

- 10 A che temperatura bollirebbe l'acqua sulla Luna?
 A. A temperatura superiore ai 100 °C.
 B. A temperatura inferiore ai 100 °C.
 C. A qualunque temperatura, in quanto sulla Luna, non essendoci atmosfera, non c'è pressione esterna.



- 11 Sotto la campana di vetro dell'illustrazione è posta dell'acqua contenuta in un recipiente. Se con una pompa pneumatica si estrae l'aria, succede che:
 A. l'acqua solidifica;
 B. l'acqua si mette a bollire;
 C. l'acqua si riscalda

- 12 Abbiamo due recipienti contenenti la stessa quantità d'acqua alla stessa temperatura. In uno versiamo dei cubetti di ghiaccio a 0 °C, nell'altro una uguale massa d'acqua a 0 °C. In riferimento al raffreddamento, succede che:
 A. si raffredda di più il recipiente dove viene versata acqua a 0 °C;
 B. si raffredda di più il recipiente dove viene versato il ghiaccio;
 C. si raffreddano allo stesso modo in quanto si tratta della stessa sostanza, alla stessa temperatura e di uguale massa.