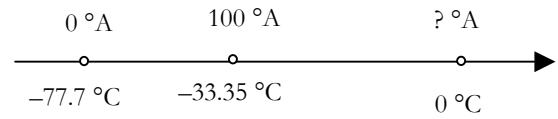


## 1F 27/03/02: termologia e cambiamenti di stato

- 1) Gli abitanti del pianeta A che ha una atmosfera di ammoniaca e una pressione circa pari alla nostra adottano per misurare la temperatura le proprietà dell'ammoniaca e fissano a  $0^\circ\text{A}$  la temperatura di fusione della ammoniaca e a  $100^\circ\text{A}$  la temperatura di ebollizione. Un giorno esplorano la terra e scoprono che per i terrestri la temperatura di fusione della ammoniaca  $t_{ca} = -77.7^\circ\text{C}$  mentre quella di ebollizione  $t_{ca} = -33.35^\circ\text{C}$ . Tornano su A portandosi un campione di acqua e svolgono le loro misure sui punti fissi dell'acqua. Quanto vale la temperatura di fusione dell'acqua in  $^\circ\text{A}$ ? Aiutarsi con lo schema qui a lato.



Poiché le due scale sono lineari e cambiano solo i punti fissi basta scrivere e risolvere una proporzione; si ha così  $(100 - 0) : [-33.35 - (-77.7)] = (x - 0) : [0 - (-77.7)]$  e cioè  $44.35x = 100 \cdot 77.7$  Dunque  $x = \frac{100 \cdot 77.7}{44.35} = 175^\circ\text{C}$

**Note dopo la correzione:** la lunghezza di un segmento di cui sono note le coordinate si ottiene sempre facendo la differenza tra la maggiore (quella più a destra) e la minore.

- 2) Un blocco di piombo a forma di parallelepipedo ha come spigoli alla temperatura di  $0^\circ\text{C}$   $a = 2.55\text{ cm}$ ,  $b = 3.29\text{ cm}$  e  $c = 1.68\text{ cm}$ . a) Trovare il volume  $V$  b) Determinare il volume alla temperatura  $t = 140^\circ\text{C}$  sapendo che il coefficiente di dilatazione lineare è  $\alpha = 29 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

a)  $V = abc = 2.55 \cdot 3.29 \cdot 1.68 = 14.1\text{ cm}^3$

b)  $\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta t = 3 \cdot 29 \cdot 10^{-6} \cdot 14.1 \cdot 140 = 0.17 \approx 0.2\text{ cm}^3$  Pertanto  $V = V_0 + \Delta V = 14.3\text{ cm}^3$ .

**Note dopo la correzione:** Il volume si poteva esprimere tranquillamente in  $\text{cm}^3$  dato che  $\alpha \Delta t$  è un numero puro. Bisogna scrivere la relazione che si usa e far risultare in qualche forma che il coefficiente di dilatazione cubica è triplo di quello lineare. Se si voleva si poteva anche usare la relazione più precisa ma che non porta modifiche nei risultati  $V = V_0(1 + \alpha t)^3$

- 3) In uno scaldabagno bisogna portare una massa d'acqua  $m = 70.0\text{ kg}$  dalla temperatura  $t_1 = 15.0^\circ\text{C}$  alla temperatura  $t_2 = 64.5^\circ\text{C}$ . a) quanta energia occorre  $\mathcal{E}$ ? b) se lo scaldabagno ha una resa dell'80% quanta energia termica  $\mathcal{E}_f$  bisogna fornire c) se per riscaldare si usa del metano che fornisce una energia al metro cubo  $A = 3.56 \cdot 10^7\text{ J/m}^3$  quanti metri cubi  $V$  di metano occorrono?

$$\mathcal{E} = m c \Delta t = 70.0 \cdot 4.180 \cdot 10^3 \cdot (64.5 - 15.0) = 1.45 \cdot 10^7\text{ J}$$

Si sa che  $\mathcal{E} = \frac{80}{100} \mathcal{E}_f$  pertanto  $\mathcal{E}_f = \frac{100}{80} \mathcal{E} = 1.81 \cdot 10^7\text{ J}$

$$V = \frac{\mathcal{E}_f}{A} = \frac{1.81 \cdot 10^7}{3.56 \cdot 10^7} = 0.51\text{ m}^3$$

**Note dopo la correzione:** imparare ad usare la notazione scientifica ed approssimare correttamente; utilizzare i simboli forniti. Ho visto un sacco di contorcimenti ed errori nel calcolo di  $\mathcal{E}_f$ . Ricordarsi che il calcolo deve essere preceduto da una breve motivazione e dalla relazione utilizzata.

- 4) Un blocco di rame di massa  $m_{cu} = 154\text{ g}$  viene riscaldato in un forno sino ad una temperatura  $x$  incognita. A questo punto lo si mette in una miscela di acqua e ghiaccio in equilibrio della quale è nota la quantità di ghiaccio  $m = 62\text{ g}$ . Si mescola il tutto e si osserva che il ghiaccio fonde completamente mentre la temperatura del bagno rimane a  $0^\circ\text{C}$ . Sapendo che il calore specifico del rame è  $c_{cu} = 390\text{ J/(kg }^\circ\text{C)}$  e che il calore di fusione del ghiaccio  $\lambda = 334\text{ kJ/kg}$  determinare la temperatura incognita  $x$ . Perché in un esercizio del genere è lecito aspettarsi che la temperatura del rame fosse un po' più alta di quella che si è trovata?

Si tratta di eguagliare il calore di fusione del ghiaccio al calore ceduto dal rame per raffreddarsi sino a  $0^\circ\text{C}$ . Pertanto  $m_{cu} c_{cu} (x - 0) = m \lambda$  da cui  $x = \frac{m \lambda}{c_{cu} m_{cu}} = \frac{0.062 \cdot 334 \cdot 10^3}{0.154 \cdot 390} = 345^\circ\text{C}$

Poiché si può ipotizzare che una parte della energia ceduta dal rame si sia trasferita al contenitore e all'ambiente è realistico pensare ad una temperatura più alta.

**Note dopo la correzione:** scrivere la relazione tenendo presente che i calori vanno eguagliati in valore assoluto. Ho riscontrato una notevole resistenza all'uso dei simboli forniti.

## 1F 09/05/02: conoscenze termodinamica

1. Cosa distingue la conduzione dalla convezione? Come avviene il trasporto di energia nei due casi?

Nella prima la trasmissione del calore avviene senza trasporto di materia per trasmissione (dovuta a contatto diretto) delle vibrazioni del reticolo cristallino; un ruolo importante è anche giocato dalla presenza di elettroni liberi di muoversi che si comportano come un gas come accade nei metalli. Nella convezione (tipica dei fluidi) c'è trasporto di materia a causa delle diversità di densità che produce fenomeni di diffusione e di galleggiamento; la diversità di densità è a sua volta dovuta alla diversità di temperatura.

**Note di correzione:** è fondamentale descrivere il processo di conduzione e le sue cause; ricordo che la conduzione può avvenire anche nei fluidi anche se in quel caso il processo risulta difficoltoso

2. Perché tra 0° e 4°C è difficile raffreddare acqua agendo dall'alto verso il basso?

L'acqua presenta un massimo relativo di densità a 4° pertanto raffreddandola dall'alto non si ha convezione (perché la parte meno densa si trova in alto) ma solo conduzione e il coefficiente di conduzione dell'acqua è molto basso.

**Note di correzione:** nella risposta è necessario fare riferimento all'impedimento dei moti convettivi che sono la principale causa di trasferimento di calore nei liquidi.

3. Perché per isolare pareti e finestre delle abitazioni si usano materiali quali lana di vetro, polistirolo, lana di roccia, doppi vetri e mattoni forati?

Perché in tutti questi casi si intrappola dell'aria impedendole moti convettivi; così la parete può condurre solo per conduzione e il coefficiente di conduzione dell'aria è molto basso.

**Note di correzione:** Nella risposta non basta fare riferimento al fatto che questi materiali sono degli isolanti; bisogna capire cosa hanno in comune e perché isolano.

4. La legge  $\frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta t} = \frac{\sigma \Delta T}{\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2}}$  in quale contesto si applica? Cosa sono  $d_1, k_1, d_2, k_2$

Quando si applicano in serie (cioè una dopo l'altra) due materiali diversi e si deve calcolare la potenza trasmessa;  $d_1, k_1, d_2, k_2$  sono gli spessori e i coefficienti di conduzione delle due sostanze.

**Note di correzione:** la relazione vale tutte le volte che due materiali della stessa sezione vengono posti l'uno dopo l'altro e non solo per gli isolanti o per un isolante e una parete.

5. Prese due sorgenti di calore di forma cubica e dello stesso materiale con lato  $l$  e  $2l$  alla stessa temperatura perché la seconda irraggia 4 volte di più della prima?

Perché la potenza irradiata è proporzionale alla superficie che a sua volta è proporzionale allo spigolo al quadrato.

**Note di correzione:** chi ha difficoltà con la matematica può anche rispondere a parole come ho fatto io. In forma simbolica si doveva invece scrivere  $P \propto \sigma$  mentre  $\sigma \propto l^2$  pertanto  $P \propto l^2$

6. Se in una sorgente di calore la temperatura passa da 200°C a 400° C la potenza emessa diventa 4.1 volte più grande. Come mai? Attenzione alla temperatura assoluta.

Si passa da 473 a 673 K. Il loro rapporto è  $\frac{673}{473} \approx 1.42$  e poiché la potenza emessa è proporzionale alla quarta potenza della

temperatura  $\frac{P_2}{P_1} \approx 1.42^4 \approx 4.1$

**Note di correzione:** vedi risposta precedente; ricordo che nella proporzionalità si lavora con i rapporti delle grandezze considerate.

7. Presa una sostanza di cui è nota la formula chimica come si trova il peso molecolare?

Bisogna sommare il prodotto tra il peso atomico di ogni atomo costituente la molecola e il numero di atomi di quel tipo presenti nella molecola. La somma va eseguita per tutti gli atomi presenti.

**Note di correzione:** i pesi atomici si trovano sulla tabella degli elementi; attenzione perché questa domanda e le successive servono tutte per il compito sulle competenze.

8. Come si trova il numero di moli  $n$  se sono note la massa in chilogrammi  $m$  e il peso molecolare  $\mu$ ?

$$n = 10^3 \frac{m}{\mu}$$

**Note di correzione:** non dimenticare il coefficiente  $10^3$  che trasforma i kg in g.

9. Come si trova il numero di molecole  $N$  noto il numero di moli  $n$ ?

$N = n \mathcal{N}_A$  dove  $\mathcal{N}_A$  è il numero di Avogadro pari a  $6.02 \times 10^{23}$  molecole/mole

**Note di correzione:** se in una legge si cita una costante universale bisogna dire cos'è e quanto vale

10. Se si tratta di una gas monoatomico alla temperatura  $T$  come si trova l'energia interna?

Basta moltiplicare la temperatura assoluta per  $\frac{3}{2} n R$  dove  $R$  è la costante dei gas perfetti pari a 8.31 J/(mol K).



## 1F 22/05/02: termodinamica competenze

1. Una bombola del volume  $V = 26.0 \text{ dm}^3$  contiene biossido di carbonio  $\text{CO}_2$  alla pressione  $p = 20.0 \text{ atm}$  e alla temperatura  $t = 80.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Determinare a) il numero di moli  $n$  b) la massa in grammi di  $\text{CO}_2$  c) la densità del gas nelle condizioni date in  $\text{g/dm}^3$ .

a) dalla equazione dei gas perfetti  $pV = n R T$  si ha  $n = \frac{pV}{RT} = \frac{20.0 \cdot 1.013 \cdot 10^5 \cdot 26.0 \cdot 10^{-3}}{8.314 \cdot (80.0 + 273.15)} = 17.9 \text{ moli}$

b)  $\mu_{\text{CO}_2} = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ amu}$ . Per trovare  $m$  in grammi basta usare  $n$  e  $\mu$ ; si ha  $m_g = n \mu = 17.9 \cdot 44 = 788 \text{ g}$

c)  $\delta = \frac{m}{V} = \frac{788}{26.0} = 30.3 \text{ g/dm}^3$

**Note di correzione:** quando si calcola il peso molecolare e non sono richiesti calcoli raffinati basati sulla isotopia si può arrotondare il peso atomico all'intero. I pesi atomici e molecolari si misurano in amu (atomic mass unity). Provate a calcolarne il valore tenendo conto che per definizione 1 amu = 1/12 della massa di un atomo di  $\text{C}^{12}$

Non bisogna sbagliare a invertire la equazione del gas perfetto

2. Si hanno 4.00 moli di gas metano ( $\text{CH}_4$ ). Determinare a) la massa  $m$  in grammi e b) il numero  $N$  di molecole in essa contenute.

a)  $= 12 + 4 \cdot 1 = 16 \text{ amu}$ ;  $m_g = n \mu = 4.00 \cdot 16 = 64.0 \text{ g}$

b)  $N = n N_A = 4.00 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 2.41 \cdot 10^{24} \text{ molecole}$

3. In un locale a forma di parallelepipedo di lati  $a = 5.45 \text{ m}$ ,  $b = 8.55 \text{ m}$ ,  $h = 3.40 \text{ m}$  si trova dell'aria (molecola biatomica e peso molecolare medio  $\mu = 29.3$ ) alla pressione  $p = 1.00 \text{ atm}$  e alla temperatura  $t = 37.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . a) determinare il numero  $n$  di moli b) determinare il numero  $N$  di molecole c) calcolare la energia cinetica media  $\mathcal{E}_k$  di una molecola d) calcolare l'energia interna del gas nella stanza e) quanto vale la velocità molecolare media ? f) calcolare quanta energia bisogna fornire se la temperatura aumenta di  $30^\circ\text{C}$  senza che sfuggano molecole

a) Poiché non è richiesto il calcolo separato del volume il conto va eseguito in una sola passata; dalla equazione dei gas perfetti si ha:  $n = \frac{pV}{RT} = \frac{1.000 \cdot 1.013 \cdot 10^5 \cdot 5.45 \cdot 8.55 \cdot 3.40}{8.314 \cdot (37.9 + 273.15)} = 6.21 \cdot 10^3 \text{ moli}$

b)  $N = n N_A = 6.21 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 3.74 \cdot 10^{27} \text{ molecole}$

c) Poiché si tratta di una molecola biatomica la energia cinetica è dovuta ad una componente traslazionale ( $3/2 kT$ ) e ad una componente rotazionale ( $kT$ ) la cui somma fa  $\mathcal{E}_k = \frac{5}{2} k_B T = \frac{5}{2} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 311 = 1.07 \cdot 10^{-20} \text{ J}$

d) Poiché si tratta di una gas l'energia interna ha solo origine cinetica e pertanto  $U = N \mathcal{E}_k = 3.74 \cdot 10^{27} \cdot 1.07 \cdot 10^{-20} = 4.00 \cdot 10^7 \text{ J}$

e) La velocità molecolare media è legata solo alla componente traslazionale e si ha pertanto  $\frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m' v^2$  dove  $m'$  è la massa (in kg) di una molecola che si trova dividendo la massa dell'intero gas per il numero di molecole. Si ha pertanto  $m' = \frac{\mu n}{N} = \frac{29.3 \cdot 6.21 \cdot 10^3}{3.74 \cdot 10^{27}} = 4.87 \cdot 10^{-23} \text{ g} = 4.87 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ . Mentre  $v = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m'}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 311}{4.87 \cdot 10^{-26}}} = 514 \text{ m/s}$

**Note di correzione:** Il valore di  $n$  dipende già sulla seconda cifra dal numero di cifre usate per le costanti universali; per la determinazione della massa di una molecola si può anche moltiplicare  $\mu$  per il valore della unità di massa atomica.

f) La variazione di energia interna  $\Delta U = \frac{5}{2} n R \Delta T = 2.5 \cdot 6.21 \cdot 10^3 \cdot 30.0 = 0.38 \cdot 10^7 \text{ J}$

**Nota di correzione:** la precisazione sulle molecole che non sfuggono serve a poter utilizzare lo stesso valore di  $n$ .

## 2F 12/10/2001: temperatura e calore

**conoscenze**

- Spiegare in 3 o 4 righe cosa sono e a cosa servono i punti fissi nella definizione della temperatura  
I punti fissi sono fenomeni (per esempio i cambiamenti di stato di aggregazione) caratterizzati da invarianza di temperatura nel tempo e nello spazio come si può constatare utilizzando termoscopi diversi. Servono a tarare i termometri.
- Perché per costruire i termometri clinici si preferisce il mercurio all'alcool anche se questo ha un coefficiente di dilatazione molto superiore?  
Perché l'alcool ha una tensione di vapore molto più alta ed evaporando intensamente ostacola la dilatazione termica
- Scrivere la relazione di proporzionalità che consente di passare dalla temperatura Celsius  $t_C$  a quella Fahrenheit  $t_F$  e viceversa  
 $(t_F - 32):180 = t_C:100$
- Illustrare in 3 righe la differenza tra capacità termica e calore specifico  
La capacità termica è la costante di proporzionalità tra calore assorbito e variazione di temperatura di un corpo. Il calore specifico è la capacità termica per unità di massa e dipende solo dal materiale  $C = c m$
- In un calorimetro c'è una massa d'acqua  $m_1$  a temperatura  $t_1$ ; si versa una massa  $m_2$  e il miscuglio si porta ad una nuova temperatura  $t$ . Scrivere l'equazione che collega le grandezze citate.  
 $m_1 (t - t_1) = m_2 (t_2 - t)$
- Con riferimento alla domanda precedente da cosa si capisce che bisogna aggiungere a  $m_1$  una quantità  $m_c$  detta equivalente in acqua del calorimetro?  
Dal fatto che la temperatura finale risulta diversa da quella prevista dalla equazione a causa del calore che viene ceduto o assorbito dal calorimetro

**competenze**

Un fornellino elettrico ha una potenza di 500 W (J/s) e viene usato per scaldare dell'acqua con un rendimento  $\eta\% = 80\%$  dovuto alle dispersioni verso l'ambiente.

- quanta energia elettrica  $\mathcal{E}$  si consuma nel tempo  $\tau = 5'$  ?  
 $\mathcal{E} = P \tau = 500 \times 5 \times 60 = 1.50 \times 10^5 \text{ J}$
- quanta energia si trasforma in calore  $Q$  ?  
 $Q = \mathcal{E} \eta = 1.50 \times 10^5 \times 0.80 = 1.20 \times 10^5 \text{ J}$
- se l'acqua ha una massa  $m_1 = 10.0 \text{ kg}$  e una temperatura iniziale  $t_1 = 12.5 \text{ }^\circ\text{C}$  calcolare la temperatura finale  $t_2$  (calore specifico dell'acqua  $c = 4.182 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ )  
 $Q = m_1 c \Delta t$  pertanto  $\Delta t = \frac{Q}{m_1 c} = \frac{1.20 \times 10^5}{10.0 \times 4.182 \times 10^3} = 2.9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pertanto  $t_2 = 12.5 + 2.9 = 15.4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Nell'acqua a temperatura  $t_2$  si immerge un pezzo di ferro di massa  $m_2 = 12.0 \text{ kg}$  alla temperatura  $t_3 = 10.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Determinare la temperatura finale  $t_4$  sapendo che il calore specifico del ferro  $c_{FE} = 4.60 \times 10^2 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$   
Dalla eguaglianza tra calore ceduto e assorbito si ha:  $m_1 c (t_2 - t_4) = m_2 c_{FE} (t_4 - t_3)$  e l'equazione risolta porta a:  $(m_1 c t_2 + m_2 c_{FE} t_3) = t_4 (m_2 c_{FE} + m_1 c)$  da cui si ottiene  $t_4 = \frac{m_1 c t_2 + m_2 c_{FE} t_3}{m_2 c_{FE} + m_1 c} = 14.8 \text{ }^\circ\text{C}$

## 2F 14/11/2001 Cambiamenti di stato

1. Due barrette una di alluminio ( $\lambda_{AL} = 2.4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e l'altra di rame ( $\lambda_{CU} = 1.7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) hanno la stessa lunghezza  $l_0$  alla temperatura di  $0^\circ\text{C}$  e differiscono di  $\Delta l = 1 \text{ mm}$  alla temperatura  $t = 100^\circ\text{C}$ . Determinare  $l_0$ .

Quindi, o contestualmente, di mostrare che  $l_0 = \frac{\Delta l}{\Delta \lambda \cdot t}$

L'alluminio si dilata di più e pertanto alla temperatura  $t$  si ha  $\Delta l = l_{AL} - l_{CU} = l_0(1 + \lambda_{AL}t) - l_0(1 + \lambda_{CU}t) = l_0(\lambda_{AL} - \lambda_{CU})t$  da cui  $l_0 = \frac{\Delta l}{\Delta \lambda \cdot t} = \frac{10^{-3}}{0.7 \times 10^{-5} \times 10^2} = 1.4 \text{ m}$

In generale siete partiti da  $\Delta l = \lambda / \Delta t$  ma nel nostro caso essendo la temperatura iniziale 0 si ha  $l - l_0 = l_0 \lambda t$  o anche  $l = l_0(1 + \lambda t)$  cioè la relazione più conveniente per il calcolo richiesto.

2. Una quantità d'acqua  $m_1 = 2.543 \text{ kg}$  si trova alla temperatura  $t_1 = 86.3^\circ\text{C}$ . In essa viene immessa una quantità  $m_2 = 0.457 \text{ kg}$  di ghiaccio a  $t_2 = 0^\circ\text{C}$  che si porta in equilibrio con il bagno. Successivamente si fornisce della energia attraverso un fornello elettrico di potenza elettrica  $P_e = 5.00 \times 10^2 \text{ W}$  con un rendimento  $\eta = 0.820$  per un tempo  $\tau = 4'$  e  $34 \text{ s}$ . Descrivere i passi da seguire per determinare la temperatura finale del sistema e quindi determinarla (indicare con  $t_3$  la temperatura dopo lo scioglimento del ghiaccio e con  $t_4$  la temperatura finale). Calore specifico medio dell'acqua  $c = 4.182 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ , calore di fusione  $c_F = 0.334 \times 10^6 \text{ J}/\text{kg}$ .

Per determinare  $t_3$  basta eguagliare il calore ceduto dall'acqua a quello ricevuto dal ghiaccio (che prima fonde e poi si scalda). Si determina poi la energia termica ceduta dal fornello alla massa d'acqua  $m_1 + m_2$  nel tempo dato e, tenendo conto del calore specifico dell'acqua si trova la temperatura finale.

$$c m_1 (t_1 - t_3) = c_F m_2 + c m_2 (t_3 - 0) \Leftrightarrow (c m_2 + c m_1) t_3 = c m_1 t_1 - c_F m_2 \Leftrightarrow t_3 = \frac{c m_1 t_1 - c_F m_2}{c(m_2 + m_1)} = \frac{4.182 \times 10^3 \times 2.543 \times 86.3 - 0.334 \times 10^6 \times 0.457}{4.182 \times 10^3 \times (2.543 + 0.457)} = 61.0^\circ\text{C}$$

$$P_e = \frac{\mathcal{E}_e}{\tau} \text{ da cui } \mathcal{E}_e = P_e \tau = 5.00 \times 10^2 \times (4 \times 60 + 34) = 1.37 \times 10^5 \text{ J}$$

Per effetto del rendimento si ha  $\eta = \frac{\mathcal{E}_{te}}{\mathcal{E}_{el}}$  e pertanto  $\mathcal{E}_{te} = \eta \times \mathcal{E}_{el} = 1.37 \times 10^5 \times 0.80 = 1.10 \times 10^5 \text{ J}$

$$\mathcal{E}_{te} = c(m_1 + m_2)(t_4 - t_3) \Leftrightarrow t_4 = \frac{\mathcal{E}_{te}}{c(m_1 + m_2)} + t_3 = \frac{1.10 \times 10^5}{4.182 \times 10^3 \times 3.000} + 61.0 = 69.8^\circ\text{C}$$

## 2F 16/11/2001: trasmissione del calore conoscenze

1. Spiegare cosa accade entro un liquido sottoposto ad una pressione esterna  $p$  man mano che la sua temperatura cresce finché si raggiunge la temperatura  $t$  tale che  $p =$  tensione di vapore alla temperatura  $t$  (5 o 6 righe)  
Entro il liquido si formano (in particolare a contatto con il recipiente che si trova a temperatura più alta del liquido) delle piccole bolle di vapore che però non riescono ad espandersi perché sono schiacciate dalla pressione esercitata da  $p$ . Le bolle hanno una pressione interna pari alla tensione di vapore a quella temperatura  $p' < p$ . Al crescere di  $t$  cresce anche  $p'$  finché  $p'=p$ ; a quel punto le bolle si possono espandere, salgono in superficie e il liquido bolle, cioè evapora in tutto il suo volume.
2. Cos'è la conducibilità (conduttività) termica di un solido (descrivere la legge che la definisce)? Fornire almeno un ordine di grandezza per un conduttore e per un isolante. (5 o 6 righe compresa la definizione dei simboli usati)  
In un solido omogeneo a forma di parallelepipedo con pareti a distanza  $d$ , superficie  $S$  a temperature  $\tau_1$  e  $\tau_2$  si ha un passaggio di energia  $\Delta\mathcal{E}$  nel tempo  $\Delta t$  secondo la relazione  $\Delta\mathcal{E} \propto S \frac{\Delta\tau}{d} \Delta t$  o anche  $\frac{\Delta\mathcal{E}}{\Delta t} \propto S \frac{\Delta\tau}{d}$ ; la potenza trasmessa è proporzionale a  $S$  e al *gradiente di temperatura*. La costante di proporzionalità  $k$  è detta conducibilità termica  $\frac{\Delta\mathcal{E}}{\Delta t} = k S \frac{\Delta\tau}{d}$ .  
Per il rame  $k \approx 400 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$  Per il vetro  $k \approx 1 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$
3. Perché i metalli sono ottimi conduttori di calore? (3 o 4 righe)  
Perché il gas di elettroni che ne caratterizza il reticolo cristallino (1 o 2 elettroni per atomo) è molto mobile a causa della piccola massa degli elettroni e ciò garantisce veloci scambi di calore e di elettricità
4. Se l'aria è un isolante come mai essa costituisce il veicolo attraverso cui avvengono gli scambi termici nell'atmosfera? (2 o 3 righe)  
Le masse d'aria a temperatura diversa hanno densità diversa e si muovono puntando a compensare le differenze di densità. Ciò determina i moti convettivi che trasportano insieme alle masse d'aria anche l'energia termica.
5. Cosa sono l'irraggiamento e la costante solare? L'irraggiamento dipende dalla distanza dalla sorgente? (4 o 5 righe)  
Il Sole emette energia in tutte le direzioni e l'irraggiamento è il rapporto tra la potenza termica ricevuta da una superficie ortogonale ai raggi e la superficie stessa. L'irraggiamento diminuisce con il quadrato della distanza e la costante solare (irraggiamento negli strati alti dell'atmosfera) vale  $1'350 \text{ W/m}^2$
6. Noto l'irraggiamento solare come si può calcolare la potenza emessa dal sole? (2 righe)  
Basta moltiplicare la costante solare per la superficie di una sfera di raggio pari alla distanza terra sole ( $4\pi r^2$  con  $r \approx 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ).
7. Spiegare in cosa consiste l'effetto serra (4 o 5 righe)  
La Terra riceve calore tramite radiazioni di alta frequenza (calde) e riemette calore tramite radiazioni di bassa frequenza. Ma l'atmosfera che è trasparente alle prime tende a riflettere le seconde creando così una zona che tende a scaldarsi (clima temperato). Se, per effetto dei cambiamenti atmosferici ( $\text{CO}_2$ ), cambiano le capacità di riflessione, si possono determinare riscaldamenti eccessivi del pianeta.

## 4G gr. 1 termodinamica 17/11/99

1. A quale fenomeno corrisponde il punto triplo dell'acqua e a quale temperatura  $T$  (Kelvin) corrisponde? Il valore di  $T$  dipende dal valore di pressione a cui si opera?

Il punto triplo è il punto in cui si incontrano le linee di equilibrio tra le diverse fasi (diagrammi pressione temperatura) cioè il punto in cui le tre fasi di cristallo, liquido e vapore coesistono. Ciò avviene per ogni sostanza ad un ben preciso valore di pressione e temperatura. La temperatura del punto triplo dell'acqua è di 273.16 K e la pressione è univocamente determinata e per l'acqua corrisponde a 4.5 mm di Hg.

2. Un gas è composto da una miscela di due gas perfetti in equilibrio con masse molecolari  $\mu_1$  e  $\mu_2$  diverse e con quantità  $n_1$  e  $n_2$  date. Indicata con  $T$  la temperatura della miscela e con  $m_u$  l'unità di massa atomica si indichi (precisando la modalità di deduzione): 1) Da cosa dipende la velocità quadratica media del primo gas  $v_{1qm}$  2) Quanto vale il rapporto  $v_{1qm} / v_{2qm}$  3) Come  $v_{qm}$  di un singolo gas dipenda dalla pressione e dalla densità

1) dalla temperatura e dalla massa molecolare infatti  $\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$  con  $m = \mu_1 m_u$

2) Poiché  $v_{qm} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$  si ha che nel rapporto si elidono le costanti (unità di massa atomica, temperatura e costante di Boltzmann) e rimane:  $\frac{v_{1qm}}{v_{2qm}} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$

3) Se scriviamo l'equazione del gas perfetto dedotta dal modello cinetico in modo di far comparire la densità (rapporto tra massa e volume) avremo che:  $pV = \frac{1}{3} N m \langle v^2 \rangle = \frac{1}{3} M \langle v^2 \rangle$  da cui  $v_{qm} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3 p V}{M}} = \sqrt{\frac{3 p}{\rho}}$

3. Con un ragionamento di natura qualitativa si spieghi perché la pressione esercitata da una sferetta che si muove disordinatamente in una scatola è proporzionale al quadrato della sua velocità.

La pressione è determinata dall'effetto medio di ogni urto il quale dipende singolarmente dalla variazione di quantità di moto (proporzionale alla velocità); ma quanto più elevata è la velocità tanto più frequentemente la molecola urta la parete. Di qui la dipendenza dal quadrato della velocità.

1. Alla luce del modello cinetico si spieghi come mai se le velocità molecolari hanno ordini di grandezza tra  $10^2$  e  $10^3$  m/s gli odori si propagano in un gas con velocità molto più basse (dell'ordine del decimetro al secondo).

Il fenomeno di cui si parla si chiama diffusione ed è largamente governato dal libero cammino medio. Le molecole si muovono velocemente ma cambiano continuamente direzione per effetto degli urti che subiscono con altre molecole, pertanto affinché una molecola riesca a percorrere uno spazio macroscopico significativo in linea retta occorrono tempi molto lunghi nonostante le velocità molecolari elevate. Per questo le velocità di diffusione sono basse.

2. Si illustrino brevemente le 5 ipotesi che stanno alla base del modello cinetico molecolare e se ne dia una breve giustificazione di plausibilità.

- ogni massa gassosa è costituita da un numero molto elevato di particelle identiche per una stessa specie chimica: conoscenze chimiche e numero di Avogadro
- le particelle si comportano come sfere rigide ed elastiche di dimensioni trascurabili: dalla applicazione della ipotesi si ricava la legge dei gas; le dimensioni lineari delle molecole sono inferiori di almeno un ordine di grandezza alla dimensione disponibile ricavabile dalla densità dei gas
- ipotesi del disordine sia per quanto riguarda la direzione del moto sia per quanto riguarda la distribuzione delle velocità: non esistenza di direzioni privilegiate in un gas in equilibrio, conferme sperimentali della distribuzione di Maxwell
- si trascurano le forze di interazione tra le molecole per cui si suppone che tra un urto e l'altro si muovano di moto rettilineo uniforme; conoscenze sulle caratteristiche delle forze elettriche di interazione che diminuiscono molto rapidamente con la distanza
- gli urti con le pareti sono di tipo perfettamente elastico e pertanto non si ha, in media, cessione di energia alle pareti: un gas in equilibrio con il recipiente non cede né acquista energia (temperatura)

3. Dare la definizione di tensione di vapore, precisare da cosa dipende e disegnare l'andamento della tensione di vapore dell'acqua al variare della temperatura. Perché questa curva influenza la temperatura di ebollizione? Cosa si intende con umidità relativa?



- a) Si chiama tensione di vapore di un sistema liquido gas ad una certa temperatura il valore della pressione del vapore sulla superficie del liquido in corrispondenza del quale cessa il fenomeno della evaporazione (detta anche pressione del vapor saturo).
- b) La tensione di vapore dipende solo dalla sostanza e dalla temperatura; non dipende invece dalla superficie esposta o dalla quantità di sostanza considerata. Se si riporta sulle ordinate la tensione di vapore e sulle ascisse la temperatura la curva ha un andamento rapidamente crescente di tipo simil parabolico
- c) Il fenomeno della ebollizione si verifica quando in un liquido la evaporazione interessa tutta la massa e non solo la superficie. Perché ciò avvenga bisogna che le bolle di vapore che si formano nel liquido e che si trovano alla tensione di vapore di quella temperatura abbiano una pressione interna maggiore o eguale alla pressione che si esercita sul liquido dalla superficie in modo di potersi espandere e salire in superficie. Pertanto per far bollire un liquido bisogna portarlo a quella temperatura per la quale la tensione di vapore è pari alla pressione esercitata sul liquido (solitamente quella atmosferica)
- d) Per umidità relativa percentuale si intende il rapporto tra la pressione del vapore e la corrispondente tensione di vapore a quella temperatura. Quando l'umidità è del 100% il vapore è saturo e l'evaporazione cessa. Per questa ragione il sudore non evapora e si ha la sensazione di afa per il mancato raffreddamento dovuto alla mancata evaporazione.

1. Nel dispositivo sperimentale per la misura delle velocità molecolari sono presenti due dischi di raggio  $r$  posti a distanza  $d$  che ruotano solidalmente con velocità angolare  $\omega$  con due fenditure di apertura  $\delta\varphi$  sfasate di un angolo  $\varphi$ . a) Scrivere (motivando) la relazione che lega la velocità  $v$  di una molecola che attraversa i due dischi con le altre grandezze fornite. b) In realtà, a causa della larghezza finita della fenditura passano sia molecole leggermente più lente che molecole leggermente più veloci. Quanto vale  $\delta v$ ? (si consiglia di calcolare la velocità delle molecole più veloci per le quali l'angolo utile ha apertura  $\varphi - \delta\varphi$ )

a) Nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  in cui la molecola si sposta di  $d$  bisogna che il disco ruoti di  $\varphi$  pertanto deve essere  $\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{\varphi}{\omega}$  e

$$\text{pertanto passano le molecole con velocità } v = \frac{d \omega}{\varphi}$$

b) Le molecole meno veloci che riescono a passare sono quelle con velocità  $v' = \frac{d \omega}{\varphi + \delta\varphi}$  e pertanto lo spettro di velocità  $\delta v =$

$$v - v' - \delta v = \frac{d \omega}{\varphi} - \frac{d \omega}{\varphi + \delta\varphi} = d \omega \frac{\delta\varphi}{\varphi(\varphi + \delta\varphi)} \approx \frac{d \omega \delta\varphi}{\varphi^2}$$

2. La relazione che fornisce il libero cammino medio è  $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} 4\pi r^2 n}$ . a) Definire le diverse grandezze che compaiono nella relazione. b) Indicata con  $v_{qm}$  la velocità quadratica media determinare il numero di urti nell'unità di tempo  $\nu$ . c) Fornire qualche valore tipico di tutte le grandezze coinvolte.

a)  $\lambda$  detto *libero cammino medio* rappresenta il percorso medio di una molecola tra un urto e il successivo  $r$  è il raggio molecolare e  $n$  corrisponde alla *concentrazione molecolare* (numero di molecole per unità di volume).

b) La frequenza d'urto  $\nu$  è l'inverso del tempo che intercorre tra un urto e il successivo e con buona approssimazione (identificazione della velocità media con la velocità quadratica media) esso può essere calcolata come  $\nu = \frac{1}{\Delta t} = \frac{v_{qm}}{\lambda} =$

$$\sqrt{2} 4\pi r^2 v_{qm} n$$

c)  $v_{qm} = 10^2 \div 10^3$  m/s;  $\lambda \approx 10^{-7}$  m;  $r = 10^{-10} \div 10^{-9}$  m;  $n = 10^{25} \div 10^{26}$  molecole/m<sup>3</sup>

3. a) Disegnare una isoterma di un gas reale e spiegare il significato dei 3 tratti che la caratterizzano. b) Spiegare perché a temperature ordinarie non è possibile liquefare l'ossigeno per compressione e spiegare la differenza tra gas e vapore.

a) In una isoterma reale (curva di van der Waals) procedendo da destra a sinistra nel diagramma pressione volume si ha un tratto di iperbole in cui il vapore segue (grosso modo) l'equazione del gas perfetto, poi un tratto orizzontale (la pressione rimane costante mentre il volume diminuisce) corrispondente al passaggio vapore liquido per compressione e infine un tratto rapidamente crescente (grandi variazioni di pressione per piccole variazioni di volume) corrispondente alla fase liquida. Il tratto orizzontale diviene sempre più breve al crescere della temperatura (ad alta temperatura e pressione la differenza di densità tra liquido e vapore tende a diminuire). La isoterma in corrispondenza della quale le due densità si

identificano è detta isoterma critica e la corrispondenza temperatura è detta *temperatura critica*. Al di sopra di questa temperatura il vapore non può più essere liquefatto per compressione e si parla di gas.

- b) La temperatura critica dell'ossigeno è di circa  $-118^\circ\text{C}$  e pertanto l'ossigeno, e a maggior ragione l'azoto che ha una temperatura critica ancora inferiore si presentano come gas e non come *vapori di aria liquida*

1. Alla luce della teoria cinetica dei gas e della legge di distribuzione maxwelliana delle velocità spiegare i seguenti elementi: a) in cosa consiste l'evaporazione b) perché un liquido esposto all'aria evapora c) come mai dopo un certo tempo, visto che nel liquido sono rimaste solo le molecole più lente, l'evaporazione non cessa e il liquido a furia di raffreddarsi non solidifica d) perché il fenomeno si arresta se si copre il recipiente e quando ciò avviene e) perché se si riscalda un liquido coperto il fenomeno della evaporazione riprende

- a) L'evaporazione corrisponde ad una situazione di squilibrio alla superficie di separazione tra liquido e vapore: nel moto disordinato che caratterizza l'agitazione termica delle due fasi il numero di molecole che passano dalla fase liquida a quella di vapore è maggiore del numero di quelle che compiono il passaggio inverso. Le molecole per entrare ed uscire devono superare la barriera superficiale del liquido (tensione superficiale)
- b) Un liquido esposto all'aria evapora perché le molecole più veloci del liquido hanno energia cinetica sufficiente a superare la barriera di energia potenziale costituita dalla superficie ed una volta uscite hanno a disposizione uno spazio potenzialmente immenso ed è dunque raro che rientrano.
- c) Perché l'ambiente, a contatto con il liquido tramite il recipiente e la superficie, tende a ripristinare l'equilibrio termico tra i due e dunque nel liquido si riformano continuamente molecole veloci
- d) Se si copre il liquido con un recipiente le molecole passate allo stato di vapore non sfuggono più e prima o poi si stabilisce un equilibrio dinamico tra quelle che escono e quelle che rientrano.
- e) Se si scalda il liquido nuove molecole veloci creano uno squilibrio a favore della evaporazione e l'equilibrio si ristabilisce ad una pressione del vapore più alta (la tensione di vapore cresce al crescere della temperatura).

2. Descrivere i risultati di Maxwell in relazione alla distribuzione delle velocità molecolari e precisare cosa si intende per velocità media, velocità più probabile e velocità quadratica media. Le tre grandezze sono tra loro correlate?

Maxwell applicando i postulati del massimo disordine è riuscito a determinare la legge di distribuzione delle velocità molecolari e a determinare come tale distribuzione è influenzata dalla temperatura. Sull'asse delle ascisse si mettono le velocità e su quello delle ordinate la *distribuzione di velocità*  $\delta N/\delta v$  una grandezza che moltiplicata per un generico intervallo elementare di velocità mi fornisce attraverso l'area del rettangolino di diagramma il numero di molecole con velocità comprese tra  $v$  e  $v + \delta v$ . In questo modo l'area dell'intero diagramma dà il numero di molecole e si aggira l'ostacolo secondo cui il numero di molecole è finito e le possibili velocità sono infinite per cui il numero di molecole che hanno un ben preciso valore di velocità è sempre nullo.

La curva cresce inizialmente con andamento parabolico assume un valore massimo e decresce poi con andamento esponenziale. L'ascissa del punto di massimo corrisponde alla velocità più probabile. La velocità media si trova un po' più a destra e la quadratica media ancora più a destra secondo rapporti fissi.

Infine si tenga presente che al crescere della temperatura aumenta il disordine e ciò si evidenzia con un allargamento della curva (il massimo si abbassa e si sposta verso destra).

3. Si diano i valori con almeno 3 cifre significative e le unità di  $R$ ,  $\mathcal{N}_A$  e  $k_B$ , si scriva la relazione che connette le tre unità e si dica che differenza c'è tra  $3/2 RT$  e  $3/2 k_B T$

$$R = 8.316 \text{ Joule/(mole Kelvin)} \quad \mathcal{N}_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ molecole/mole} \quad k_B = 1.381 \cdot 10^{23} \text{ Joule/Kelvin}$$

$k_B = \frac{R}{\mathcal{N}_A}$  si tratta di una relazione importante perché essendo il numero di Avogadro il ponte tra il mondo microscopico e quello macroscopico ci dice che  $k_B$  ci fornisce sul piano microscopico le stesse informazioni che ci dà  $R$  su quello macroscopico. Così  $3/2 RT$  è l'energia interna di una mole di gas mentre  $3/2 k_B T$  ci dà l'energia interna di una molecola di gas perfetto monoatomico.

1. Sul diagramma pressione volume di un gas perfetto, ad ogni punto corrisponde un solo valore di temperatura e tale valore può essere interpretato geometricamente. Come?  $\Rightarrow 3$   
In un gas perfetto si ha  $T = pV / (nR)$  e dunque la temperatura è proporzionale all'area del rettangolo individuato dalle due coordinate del punto. Un punto è *tanto più caldo* maggiore è l'area del rettangolo che individua sugli assi.

2. Supponendo che un gas perfetto subisca una trasformazione ciclica descritta da un rettangolo e che siano noti il vertice superiore sinistro ( $p_1, V_1, T_1$ ), la temperatura  $T_2$  e la temperatura  $T_3$ , calcolare il lavoro compiuto in funzione dei soli dati noti. Il risultato dipende dal numero di moli? Nello scrivere il risultato è consentito usare anche altri simboli purché essi siano stati calcolati in funzione delle grandezze date.  $\Rightarrow$  6

Il lavoro compiuto è dato dall'area del rettangolo pari a  $\mathcal{L} = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1)$  dove si indicano con 1, 2, 3, 4 i 4 vertici del rettangolo. Essendo completamente noto il punto di partenza è noto il numero di moli  $n = \frac{pV}{RT}$  che però, come si nota dai calcoli successivi, non influenza il risultato finale. Durante la prima espansione isobarica si ha  $V \propto T$  mentre  $p_2 = p_1$  e pertanto  $V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$ . Durante il raffreddamento isocoro la pressione è proporzionale alla temperatura e pertanto  $p_3 = p_1 \frac{T_3}{T_2}$ . Complessivamente si ha pertanto:  $\mathcal{L} = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1) = p_1 \left(1 - \frac{T_3}{T_2}\right) V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)$

3. Utilizzando il principio di equipartizione dell'energia, la relazione di Mayer, e il modello a manubrio per la molecola biatomica, dimostrare che il calore specifico molare a pressione costante del gas perfetto biatomico vale secondo il modello classico  $\frac{7}{2} R$   $\Rightarrow$  5

Secondo il modello classico la molecola biatomica possiede 5 gradi di libertà (3 energie traslazionali e 2 energie rotazionali) e pertanto la sua energia interna  $U$  è legata alla temperatura assoluta dalla relazione  $U = 5n \left(\frac{1}{2} R T\right) = \frac{5}{2} nRT$ . Ne consegue che (per una trasformazione isocora) è possibile collegare la variazione di energia interna con il calore fornito (essendo nullo il lavoro) scrivendo  $n c_v \Delta T = \frac{5}{2} n R \Delta T$  da cui si ha  $c_v = \frac{5}{2} R$ .

Se ora si tiene conto che in base alla relazione di Mayer  $c_p = c_v + R$  si ha che  $c_p = \frac{7}{2} R$

1. Quando un gas perfetto subisce una trasformazione quasi statica esso compie un lavoro pari all'area sottesa dal diagramma  $pV$ . Se la trasformazione non è quasi statica non si può disegnare il diagramma e pertanto non ha senso il calcolo precedente. Come si può calcolare il lavoro in questo caso (quali grandezze relative alla trasformazione bisogna conoscere)?  $\Rightarrow$  3

Basta tener conto del I principio della termodinamica e calcolare separatamente la variazione di energia interna  $\Delta U$  (determinabile dalla conoscenza della variazione di temperatura) e il calore scambiato  $Q$ . Si ha poi  $\mathcal{L} = Q - \Delta U$ . Dunque le grandezze da conoscere sono  $Q$ ,  $n$ ,  $c_v$  e  $\Delta T$ .

2. Descrivere tutte le caratteristiche di una trasformazione adiabatica di un gas perfetto: definizione, equazione della trasformazione, variazione di energia interna, lavoro. Supponendo che siano dati il punto iniziale ( $p_1, V_1, T_1$ ) e il volume finale  $V_2$  quanto vale il lavoro? (è consentito usare anche altri simboli purché essi siano stati calcolati in funzione delle grandezze date).  $\Rightarrow$  6

In una trasformazione adiabatica il calore scambiato è nullo ( $Q = 0$ ). Applicando l'equazione del gas perfetto e il I principio della termodinamica con strumenti matematici di tipo superiore si dimostra l'equazione di Poisson

$pV^\gamma = \text{cost}$  dove  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ ; la variazione di energia interna dipende dalla variazione di temperatura e vale  $\Delta U =$

$n c_v \Delta T$  dove  $n = \frac{p_1 V_1}{R T_1}$ ; il lavoro  $\mathcal{L}$ , in base al I principio della termodinamica  $= -\Delta U$ . Per rispondere all'ultima domanda si tratta di calcolare la temperatura  $T_2$  e per farlo basta tener conto simultaneamente della equazione di Poisson e della equazione del gas perfetto per eliminare la pressione e far comparire la temperatura. In

effetti da  $pV^\gamma = \text{cost}$  e  $p = \frac{nRT}{V}$  si ha  $T V^{\gamma-1} = \text{cost}$  e pertanto  $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$ . Riassumendo i risultati trovati  $\mathcal{L}$

$$= -\Delta U = -n c_v \Delta T = n c_v (T_1 - T_2) = n c_v T_1 \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right)$$

3. Spiegare come si calcola, in generale, la variazione di energia interna di un gas perfetto.  $\Rightarrow$  4

Nel gas perfetto si può affermare in base a considerazioni sperimentali (esperienza di Joule) e teoriche (modello cinetico molecolare) che l'energia interna dipenda esclusivamente dalla temperatura e, trattandosi di una funzione di stato, la sua variazione può essere calcolata scegliendo una qualsiasi trasformazione che unisca i due punti del piano  $pV$ . Se scegliamo allora di unire i due punti con una isoterma seguita da una isocora avremo che  $\Delta U = \Delta U_T + \Delta U_V = 0 + n c_v \Delta T = n c_v \Delta T$

1. Perché operando con i gas perfetti si preferisce utilizzare il calore specifico molare rispetto a quello massico? Indicati con  $\mathcal{C}$  il primo, con  $c$  il secondo e con  $\mu$  il peso molecolare dedurre la relazione tra  $\mathcal{C}$  e  $c$ .  $\Rightarrow 3$

Perché il calore molare presenta proprietà unitarie per tutti i gas perfetti cosa che non accade per quello

massico. Se teniamo conto della relazione tra massa  $m$  e numero di moli e cioè che  $n = \frac{m_g}{\mu} = \frac{10^3 m}{\mu}$  avremo

$$\text{dunque } \mathcal{C} = \frac{Q}{n \Delta T} = \frac{Q \mu}{10^3 m \Delta T} = \frac{c \mu}{10^3 m}$$

2. Descrivere tutte le caratteristiche di una trasformazione isoterma di un gas perfetto: definizione, equazione della trasformazione, variazione di energia interna, lavoro. Supponendo che siano dati il punto iniziale ( $p_1, V_1, T_1$ ) e il volume finale  $V_2$  quanto vale il lavoro? (è consentito usare anche altri simboli purché essi siano stati calcolati in funzione delle grandezze date).  $\Rightarrow 5$

Nella trasformazione isoterma la temperatura rimane costante e pertanto dalla equazione del gas perfetto si deduce la legge di Boyle  $pV = \text{cost}$ ; la variazione di energia interna è nulla e pertanto, in base al I principio della termodinamica  $\mathcal{L} = Q$  ovvero il gas compie lavoro convertendo integralmente il calore ricevuto dal termostato. Il lavoro compiuto è pari all'area sottesa dal diagramma e vale (calcolo di analisi matematica)  $n R T$

$$\ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

3. Una trasformazione ciclica di un gas perfetto è composta da una espansione adiabatica seguita da una compressione isoterma e da un successivo riscaldamento isocoro. Sono noti il punto di partenza ( $p_1, V_1, T_1$ ), il coefficiente adiabatico  $\gamma$  e il rapporto di compressione  $\alpha = \frac{p_1}{p_2}$ . Determinare il volume  $V_2$  e la temperatura  $T_2$  usando l'equazione di Poisson. Calcolare poi il lavoro complessivo svolto in funzione dei dati e dei valori trovati.  $\Rightarrow 7$

Il calcolo iniziale relativo all'adiabatica si può svolgere come per la risposta 2 del secondo gruppo o anche così

(cambia solo la tecnica). Durante la espansione adiabatica la temperatura diminuisce. In effetti  $T_2 = T_1 \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} =$

$T_1 \frac{V_2}{\alpha V_1}$ . Ma, in base alla equazione di Poisson  $\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma = \frac{p_1}{p_2}$  e  $\frac{p_1}{p_2} = \alpha$  pertanto  $\frac{V_2}{V_1} = \alpha^{1/\gamma}$  e si conclude che  $T_2 =$

$$T_1 \frac{V_2}{\alpha V_1} = T_1 \alpha^{(1/\gamma - 1)}$$

Dopo aver determinato  $T_2$  è possibile calcolare il lavoro svolto nella espansione adiabatica; esso vale  $\mathcal{L}_Q = -$

$\Delta U = - n \mathcal{C}_V \Delta T$ . Il valore di  $n$  si può determinare dall'equazione del gas perfetto e vale  $\frac{pV}{RT}$

Il lavoro nella compressione isoterma (che va da  $V_2$  a  $V_1$ ) vale  $\mathcal{L}_T = nRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} = nRT_2 \ln \alpha^{1/\gamma}$ . Durante il riscaldamento isocoro che riporta la temperatura da  $T_2$  a  $T_1$  non si compie lavoro e pertanto il lavoro durante l'intero ciclo è dato dalla somma di un numero positivo  $\mathcal{L}_T$  e di uno negativo  $\mathcal{L}_Q$ . In valore assoluto è maggiore quello della adiabatica (basta ragionare sul I principio per comprenderlo).

1. Una trasformazione ciclica è composta da una espansione isoterma seguita da una compressione isobarica e da un successivo riscaldamento isocoro. Sono noti il punto di partenza ( $p_1, V_1, T_1$ ), il rapporto di compressione  $\alpha = \frac{p_1}{p_2}$  e il calore specifico molare  $\mathcal{C}_V$  del gas perfetto. Si chiede di determinare il lavoro compiuto durante il ciclo (calcolando i valori delle trasformazioni componenti) dimostrando che esso vale

$$\mathcal{L} = p_1 V_1 \left( \ln \alpha + \frac{1}{\alpha} - 1 \right) \Rightarrow 6$$

Durante l'espansione isoterma  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$  mentre il lavoro vale  $\mathcal{L}_T = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = p_1 V_1 \ln \alpha$ . A questo punto si ha la compressione isobara da  $V_2$  a  $V_1$  mentre  $p = p_2$  e il lavoro negativo, pari all'area vale  $\mathcal{L}_p = p_2 (V_1 - V_2) =$

$\frac{p_1}{\alpha} V_1 (1 - \alpha) = p_1 V_1 \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)$ . Pertanto il valore complessivo del lavoro compiuto (non si compie lavoro nel corso

dell'isocora) è pari a  $\mathcal{L} = p_1 V_1 \ln \alpha + p_1 V_1 \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right) = p_1 V_1 \left( \ln \alpha + \frac{1}{\alpha} - 1 \right)$

2. Un gas perfetto subisce una espansione rettilinea di cui sono noti il punto di partenza ( $p_1, V_1, T_1$ ) il coefficiente angolare  $m = \frac{\Delta p}{\Delta V} > 0$  della retta,  $\mathcal{C}_V$  e il volume finale  $V_2$ . Determinare la variazione di

energia interna (è consentito usare anche altri simboli purché essi siano stati calcolati in funzione delle grandezze date).  $\Rightarrow 4$

Per calcolare la variazione di energia interna  $\Delta U$  bisogna calcolare la temperatura finale che è a sua volta calcolabile dalla equazione del gas perfetto. Si sa infatti che  $\Delta p = p_2 - p_1 = m (V_2 - V_1)$  e pertanto anche  $p_2$  è nota  $p_2 = p_1 + m (V_2 - V_1)$ . Si ha pertanto  $n = \frac{p_1 V_1}{T_1}$  e infine  $T_2 = \frac{p_2 V_2}{n R}$ . A questo punto  $\Delta U = n c_v \Delta T$ .

3. Dimostrare la relazione di Mayer tra calore specifico molare a pressione costante  $c_p$  e calore specifico molare a volume costante  $c_v$   $\Rightarrow 5$

Per definizione si ha che il calore fornito durante la trasformazione isobara vale  $Q = n c_p \Delta T$  e tale calore può essere analizzato tramite il I principio  $Q = \mathcal{L} + \Delta U$ . Questi due termini si calcolano molto facilmente perché  $\mathcal{L}$  corrisponde all'area di un rettangolo  $p\Delta V = n R \Delta T$  mentre  $\Delta U$  essendo la variazione di una funzione di stato può essere calcolata tramite la sola variazione di temperatura da  $\Delta U = n c_v \Delta T$  si ha pertanto  $n c_p \Delta T = n R \Delta T + n c_v \Delta T$  e dunque  $c_p = R + c_v$

## 4G 19/10/2000 termodinamica, primi elementi

**Conoscenze: scegliere 4 domande e rispondere; ne è ammessa una quinta facoltativa**

1. Enunciare la legge delle proporzioni definite e spiegare come essa venga spiegata dalla teoria atomica
2. Correggere il seguente enunciato della legge delle proporzioni multiple individuando l'errore al suo interno: *se due elementi si combinano tra loro per formare composti diversi i rapporti in peso con cui il secondo composto si combina con una definita massa del primo sono espressi da numeri interi*
3. Per la chimica prima dell'avvento della teoria atomistica di tipo fisico cosa sono i pesi atomici? Cosa diventano dopo e come avviene la loro determinazione?
4. Si consideri una serie di termoscopi a liquido e un fenomeno cosiddetto *punto fisso*. Spiegare in cosa consista, dal punto di vista sperimentale *essere un punto fisso*. Ovviamente non si può riferirsi alla misura di temperatura visto che i punti fissi servono a definirla.
5. Dare la definizione di forze di adesione e di forze di coesione citando i fenomeni relativi all'una e all'altra.
6. Il principio zero della termodinamica afferma che: *presi tre corpi A, B e C la proprietà di essere in equilibrio termico gode della proprietà transitiva*. Si chiama temperatura di un corpo la temperatura di un termometro in equilibrio con esso. Cosa ci garantisce il principio zero rispetto al fatto che due corpi abbiano la stessa temperatura?
7. Enunciare la legge di dilatazione lineare di un solido e spiegare il significato del coefficiente di dilatazione lineare  $\lambda$ . Fornire almeno un ordine di grandezza.
8. Illustrare il comportamento anomalo dell'acqua che garantisce la persistenza anche a temperature atmosferiche molto basse di uno strato liquido sul fondo.
9. In cosa i gas perfetti (gas rarefatti e a temperature non molto basse) differiscono in maniera sostanziale dai solidi e dai liquidi con riferimento alla legge di dilatazione?

**Competenze: scegliere due questioni che non siano 1 e 2 e rispondere**

1. Eseguire una stima approssimata della massa di ferro contenuta in un banco e quindi determinare la quantità di atomi di ferro che contiene. Infine trovare la dimensione approssimativa di un atomo di ferro (sono note la massa atomica  $\mu = 55.8$  e la densità  $\delta = 7.87$  kg/dm<sup>3</sup>).
2. Dimostrare che il numero di atomi per unità di volume di una data sostanza  $N / V = \frac{10^3 \mathcal{N} \delta}{\mu}$  dove  $\mathcal{N}$  è il numero di Avogadro,  $\delta$  la densità e  $\mu$  il peso atomico.
3. Uno dei metodi usati dai fisici per ottenere delle unità di lunghezza indipendenti dalla temperatura consiste nel sovrapporre 2 aste rigide di lunghezza a 0° C pari a  $l_{0a}$  e  $l_{0b}$  fatte con due materiali di coefficiente di dilatazione diversi  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$ . Dimostrare che se si sceglie  $\frac{l_{0b}}{l_{0a}} = \frac{\lambda_a}{\lambda_b}$  allora la quantità  $l_a - l_b$  non dipende dalla temperatura e può essere usata come unità di lunghezza. Suggerimento: calcolare  $l_a - l_b$  e utilizzare l'ipotesi.
4. A livello del mare e a 35° C il volume di 1 m<sup>3</sup> d'aria si trova alla pressione di 1 atmosfera (1.013·10<sup>5</sup> Pa). Supponiamo di portare questa massa d'aria sino alla quota di 5'000 m dove  $t = -20.0$  °C e la pressione si porta al 53% del valore iniziale. Che volume occupa ora la massa d'aria iniziale? Se la densità iniziale era 1.2 kg/m<sup>3</sup> a che valore si porta a 5000 m?

## 4G 20/11/2000 termodinamica: teoria cinetica e calore

## Conoscenze e capacità: (scegliere 4 domande)

1) Energia interna di gas perfetti e reali

a) L'energia interna di un gas reale è data da ...

Dalla somma della energia cinetica dovuta ai moti di agitazione molecolare e da tutte le forme di energia potenziale dovute alle interazioni tra molecole. Ciò tradotto in termini macroscopici significa temperatura, viscosità, adesione, stati di aggregazione, legami molecolari, ...

b) mentre quella di un gas perfetto differisce per ...

La mancanza delle componenti di energia potenziale

c) Se le forze di interazione molecolare fossero repulsive invece che attrattive la energia interna diminuirebbe o aumenterebbe e l'aumento sarebbe rilevante o trascurabile?

Poiché l'energia potenziale attrattiva è negativa e quella repulsiva positiva si avrebbe un aumento: trascurabile per il gas perfetto e più significativo per i gas reali.

2) Applicando il modello cinetico molecolare di gas perfetto si dimostra che  $pV = \frac{2}{3} N \langle \frac{1}{2} mv^2 \rangle$ .a) A cosa corrisponde  $\langle v^2 \rangle$  ?

$\langle v^2 \rangle = \frac{\sum v^2}{N}$  interviene perché nel valutare la forza si sommano i contributi di tutte le molecole ciascuno dei quali è proporzionale a  $v^2$ ; da  $\sum v^2$  si ottiene  $N \langle v^2 \rangle$

b) Tenendo conto della equazione del gas perfetto  $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} k_B T$ . La costante di Boltzmann dipende da altre costanti universali e vale...

$$pV = \frac{2}{3} N \langle \frac{1}{2} mv^2 \rangle \text{ e } pV = n R T \text{ si ha pertanto } \frac{2}{3} N \langle \frac{1}{2} mv^2 \rangle = n R T \text{ e dunque } \langle \frac{1}{2} mv^2 \rangle = \frac{3}{2} \frac{n}{N} R T$$

$$= \frac{3}{2} \frac{1}{\mathcal{N}} R T = \frac{3}{2} k_B T \text{ con } k_B = \frac{R}{\mathcal{N}} = \frac{8.31451}{6.0221367 \cdot 10^{23}} = 1.38066 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

3) Nel calcolo della pressione esercitata dagli urti molecolari si dimostra che la forza media esercitata da una molecola che colpisce una parete yz vale  $\langle f_x \rangle = \frac{2mv_x}{\Delta t}$  dove  $\Delta t$  rappresenta il tempo tra un urto e il successivo. Indicata con  $l$  la lunghezza lungo x rispondere alle seguenti domande:

a) Da dove viene il 2

Nel calcolo la forza normale esercitata da una singola molecola viene calcolata attraverso il teorema dell'impulso e la corrispondente variazione di quantità di moto lungo x risulta pari a  $2mv_x$  a causa dell'urto elastico contro la parete.

b) Dopo aver calcolato  $\Delta t$  la forza media risulta ...

Poiché il tempo  $\Delta t$  tra un urto e il successivo contro la stessa parete vale  $\frac{2l}{v_x}$  si ha che  $\langle f_x \rangle = \frac{2mv_x}{\Delta t}$

$$= \frac{mv_x^2}{l}$$

c) La forza complessiva esercitata dalle molecole  $F_x = \sum \langle f_x \rangle$ . Come si arriva a dimostrare che  $F_x = \frac{m}{l} \frac{\sum v^2}{3}$

$$F_x = \sum \langle f_x \rangle = \sum \frac{mv_x^2}{l} = \frac{m}{l} \sum v_x^2. \text{ Ma } v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \text{ (calcolo vettoriale) e } \langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$$

$$\text{(isotropia delle velocità) pertanto } \langle v^2 \rangle = 3 \langle v_x^2 \rangle \text{ e dunque } F_x = \sum \langle f_x \rangle = \frac{m}{l} \sum v_x^2 = \frac{m}{3l} \sum v^2 = \frac{m}{3l} \sum v^2 \\ = \frac{m}{3l} N \langle v^2 \rangle$$

4. Discutere i diversi modi in cui si può evidenziare un cambiamento di energia interna di una sostanza

Cambiamento di temperatura, di stato di aggregazione e di composizione chimica. Eseguire una discussione ed illustrazione dei diversi fenomeni.

5. Enunciare i due risultati sperimentali che portano a definire rispettivamente il concetto di capacità termica e di calore specifico

Preso un corpo solido o liquido si osserva che quando gli si fornisce energia e il corpo reagisce con il solo aumento di temperatura  $\Delta T \propto \Delta E$ . Ciò consente di definire una caratteristica del corpo definita come rapporto costante  $\Delta E/\Delta T$ ; tale caratteristica è detta capacità termica.

Preso un corpo solido o liquido omogeneo si osserva che a parità di energia l'aumento di temperatura è inversamente proporzionale alla massa. Ciò consente di affermare che la capacità termica è proporzionale alla massa e la costante di proporzionalità (tipica del materiale, ma non del corpo) è detta calore specifico.

6. Completare le seguenti questioni:

a)  $1 \text{ J} = \text{_____ kcal} = \text{_____ eV}$

$$1 \text{ J} = \frac{1}{4.180} \text{ cal} = 0.2392 \cdot 10^{-3} \text{ kcal} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$$

b) Il coefficiente di conducibilità termica si misura in \_\_\_\_\_

$$\text{Poiché } \frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow [\lambda] = \text{w}/(\text{m K})$$

- c) Se dovessimo misurare il calore specifico invece che per unità di massa per moli le sue unità sarebbero

$$\Delta E = n c' \Delta T \Rightarrow [c'] = \text{J}/(\text{mol K})$$

- d) In un dato contesto di temperatura, per diminuire la dispersione verso l'esterno di un ambiente di cubatura data quali 3 accorgimenti bisogna prendere. In particolare quale sarebbe la forma migliore?

Rendere spesse le pareti, minimizzare la superficie, usare un materiale con  $\lambda$  molto piccolo. La forma migliore sarebbe quella sferica (la sfera ha il massimo volume con il minimo di superficie).

7. Tenendo presenti i concetti di calore specifico e di coefficiente di conduzione con che criterio vanno scelti i materiali in modo di garantire che un ambiente si scaldi poco d'estate e si raffreddi poco d'inverno?

Elevato calore specifico in modo che le pareti facciano un effetto calmierante e bassa conducibilità per isolare l'interno e l'esterno.

### Competenze: (rispondere ad entrambe)

8. Consideriamo un gas formato da sole 5 molecole non interagenti a distanza e che urtano le pareti del recipiente con urti perfettamente elastici. Le molecole hanno massa  $m = 4.0 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  e velocità pari a  $v_1 = 2.5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 1.2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ ;  $v_3 = 9.5 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ ;  $v_4 = 3.0 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ ;  $v_5 = 4.9 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ . Determina la energia interna del gas, la energia cinetica media e la temperatura equivalente.

$$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 + \dots = \frac{1}{2} m (v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^2 + v_5^2) = 6.5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\langle \frac{1}{2} m v^2 \rangle = E_{\text{int}} / 5 = 1.3 \cdot 10^{-19} \text{ J. Infine } \langle \frac{1}{2} m v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T \Rightarrow T = \frac{2}{3} \langle \frac{1}{2} m v^2 \rangle / k_B = 6.3 \cdot 10^3 \text{ K}$$

9. Il marmo ha calore specifico  $c = 8.80 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  e densità  $\delta = 2.70 \text{ kg dm}^{-3}$ . Una lastra quadrata di lato  $l = 1.40 \text{ m}$  e spessore  $d = 3.5 \text{ cm}$  riceve dal sole un irraggiamento medio di  $6.00 \cdot 10^2$



$w/m^2$  e riflette il 60% della radiazione incidente. Calcolare l'aumento di temperatura  $\Delta T$  nel tempo di 4.00 minuti.

Indicata con  $\Delta E/(S \Delta t)$  l'irraggiamento e tenuto conto del fatto che viene assorbito solo il 40% della energia incidente la energia assorbita per metro quadro di superficie irradiata sarà  $\Delta E'/\Delta S = 0.4 \Delta E/\Delta t \cdot \Delta t = 0.4 \cdot 6.00 \cdot 10^2 \cdot 4 \cdot 60 = 5.76 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ . Dunque  $\Delta E' = 5.76 \cdot 10^4 \cdot \Delta S = 5.76 \cdot 10^4 \cdot 1.40^2 = 1.13 \cdot 10^5 \text{ J}$

Tenendo conto della relazione tra energia ed incremento di temperatura:

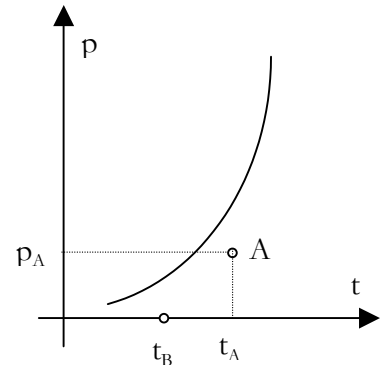
$\Delta E' = c M \Delta T$  si ha che  $\Delta T = \frac{\Delta E'}{c M}$ . Dobbiamo calcolare  $M = \delta V = \delta S d = 2.70 \cdot (1.40 \cdot 10)^2 \cdot 0.35 =$

$185 \text{ kg}$ . Dunque:  $\Delta T = \frac{\Delta E'}{c M} = \frac{1.13 \cdot 10^5}{185 \cdot 8.80} = 69.4 \text{ K}$

## 4G 15/12/00 cambiamenti di stato e primo principio

### Conoscenza e comprensione

- Spiegare cosa si intende per ebollizione e, come e perché la pressione esercitata sul liquido e la temperatura influenzano il processo.
- Spiegare a cosa serve il meccanismo della sudorazione e da quali parametri sia influenzato
- Si consideri un diagramma della tensione di vapore dell'acqua del tipo rappresentato in figura e si supponga che il vapore considerato si trovi nella condizione A.
  - Come si calcola l'umidità relativa (rispondere simbolicamente indicando sul diagramma la grandezza usata per la definizione)
  - Supponendo che la temperatura passi al valore  $t_B$  dire cosa accade al vapore e a che valore si porta l'umidità relativa.
- Precisare cosa si intende per fluido omogeneo, per equilibrio termodinamico, per trasformazione quasistatica e per funzione di stato.
- Si considerino  $n$  moli di un gas perfetto di calore specifico  $\mathcal{C}_V$  che nel sistema  $pV$  compie un ciclo rettangolare di vertici A, B, C, D in senso orario con  $A \equiv (p_A, V_A)$ ,  $B \equiv (p_A, V_B)$ ,  $C \equiv (p_C, V_B)$ ,  $D \equiv (p_C, V_A)$ .
  - Scrivere l'espressione del lavoro compiuto in un ciclo
  - Determinare le 4 temperature  $T_A, T_B, T_C, T_D$
  - Calcolare la variazione di energia interna nella trasformazione  $D \rightarrow A$  in funzione dei dati



### Comprensione e competenza

- L'equazione della trasformazione adiabatica reversibile per il gas perfetto è  $p V^\gamma = \text{costante}$ . Utilizzando la equazione di stato scrivere le corrispondenti leggi che legano pressione e temperatura e volume e temperatura.
- Un blocco di ghiaccio di massa  $m = 15.8 \text{ kg}$  alla temperatura  $t_1 = -5.00^\circ\text{C}$  inizia a sciogliersi sino a portarsi alla temperatura  $t_2 = 18.00^\circ\text{C}$  dell'ambiente. Dopo aver determinato il numero di moli termina l'energia assorbita dal processo sapendo che i calori specifici molari del ghiaccio e dell'acqua valgono rispettivamente  $\mathcal{C}_g = 39.6 \text{ J / (mol K)}$ ,  $\mathcal{C}_a = 75.3 \text{ J / (mol K)}$  mentre il calore latente di fusione dell'acqua vale  $\lambda_f = 334 \text{ kJ / kg}$
- Una mezza mole di gas perfetto monoatomico di massa molare  $\mu = 4 \text{ g/mol}$ , si trova alla pressione iniziale  $p_0 = 5.00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  e occupa un volume  $V_0 = 2.00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Il gas subisce una espansione adiabatica sino al volume  $V_1 = 5.00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Quanto vale la pressione finale  $p_1$  del gas? Quanto vale la sua temperatura  $T_1$ ? Successivamente il gas viene compresso a pressione costante sino al volume iniziale. Quanto calore e lavoro si scambiano il gas e l'ambiente in questa trasformazione? Infine il gas è riportato alle condizioni di partenza attraverso una trasformazione isocora. Quanto calore deve essere ceduto al gas in questo caso? Se non la si è già calcolata come valore intermedio si calcoli anche la temperatura finale.

Nome e cognome: \_\_\_\_\_  
 termodinamica

4 f 28 maggio 2004 -

Punteggio base 3/10.

- La distribuzione delle velocità molecolari di un gas, secondo Maxwell, è data dalla seguente funzione di distribuzione:  $F(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$  che può essere scritta nella forma  $F(v) = A v^2 e^{-Bv^2}$  dove  $B = \frac{m}{2kT}$ . a) Determinare il valore di  $v$  che corrisponde alla velocità più probabile dimostrando che  $v_p = \frac{1}{\sqrt{B}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$  b) Dimostrare che  $\frac{v_{qm}}{v_p} = \sqrt{\frac{3}{2}}$  **3 punti**
- Un recipiente di volume  $2V = 100 \text{ dm}^3$  è isolato da mondo esterno ed è diviso in due parti di uguale volume contenenti rispettivamente  $n_1 = 2$  moli di ossigeno  $O_2$  e  $n_2 = 4$  moli di azoto  $N_2$  rispettivamente a temperature  $T_1 = 300 \text{ K}$  e  $T_2 = 350 \text{ K}$ . Si assuma che i due gas possiedano 5 gradi di libertà. La parete divisoria viene eliminata e i due gas autodiffondono l'uno nell'altro. Determinare: a) l'energia interna b) la temperatura finale della miscela c) la pressione finale della miscela. **3 punti**
- Un cilindro di volume  $V_1 = 2$  litri contiene  $n = 2$  moli di ossigeno  $O_2$  (5 gradi di libertà) alla pressione  $p_1 = 75$  atmosfere. a) Determinare la temperatura  $T_1$  b) Il gas subisce una espansione adiabatica sino a  $V_2 = 10 V_1$ . Determinare la temperatura  $T_2$ . c) Determinare il lavoro compiuto  $\mathcal{L}$  durante tale espansione. d) Se invece di una adiabatica viene compiuta una espansione isoterma allo stesso volume finale quanto vale  $\mathcal{L}'$ ? e) Quanto calore  $Q'$  viene ceduto nel passare dalla posizione finale della isoterma a quella finale della adiabatica mediante una isocora? f) Il sistema compie un ciclo formato da espansione isoterma, raffreddamento isocoro sino a  $T_2$  e compressione adiabatica sino al punto iniziale. Scrivere il lavoro compiuto  $\mathcal{L}''$  **6 punti**

## 1 ottobre 2004 2F PNI calorimetria conoscenze

Scegliere 12 domande e rispondere sul proprio foglio numerando le risposte. Man mano che si risponde scrivere il numero corrispondente sulla griglia di correzione in fondo al testo. Le risposte secche, pertinenti e con linguaggio appropriato devono avere una estensione massima di 3 o 4 righe. Evitare di iniziare la risposta ripetendo la domanda.

1. Cosa si intende con proprietà termometrica?

Una qualsiasi proprietà del corpo (volume, pressione corrente elettrica, ...) che risulti sensibile al suo stato termico, cioè la proprietà che useremo per realizzare il termometro.

2. Perché è sbagliato dire che i punti fissi sono fenomeni caratterizzati dalla stessa temperatura? Cosa sono allora i punti fissi?

I punti fissi servono a costruire il termometro che poi definisce la temperatura. Sono fenomeni caratterizzati da una elevata riproducibilità e che presentano lo stesso valore della grandezza termometrica scelta.

3. Perché in un termometro a liquido il bulbo è grande e il tubo è sottile?

Perché una data variazione di temperatura produce una variazione di volume proporzionale al volume del bulbo e questa variazione di volume diventa variazione di lunghezza della colonna in maniera inversamente proporzionale alla sezione del tubo.

4. Indicate con  $t_C$  e  $t_F$  le temperature Celsius e Fahrenheit scrivi la relazione che le collega.

$t_C : t_F = 100 : 180$  dove 180 è il numero di divisioni in Fahrenheit tra lo 0 e il 100 centigrado (212 – 32)

5. Perché è bene che il bulbo di un termometro sia di spessore sottile (due motivazioni)

Se è sottile aumenta la prontezza (tempo che impiega il termometro per andare all'equilibrio) inoltre diminuisce la capacità termica del termometro con conseguente bassa invasività (la misura non modifica l'oggetto)

6. Visto che il coefficiente di dilatazione dell'alcool è nettamente maggiore di quello del mercurio, perché i termometri a mercurio vengono preferiti?

Le ragioni sono due: il mercurio presenta un intervallo di utilizzabilità molto più ampio e inoltre ha una bassa tensione di vapore, molto più bassa dell'alcool che come è noto evapora facilmente determinando una pressione nella parte alta del capillare diversa alle diverse temperature.

7. Cosa si intende per temperatura di un corpo?

La temperatura di un termometro in equilibrio con esso.

8. Se non valesse il principio zero della termodinamica quale difficoltà si avrebbe nella definizione di temperatura?

Due termometri che segnano la stessa temperatura a contatto con un corpo potrebbero non essere in equilibrio. Cadrebbe la definizione di temperatura.

9. Ad un corpo omogeneo di massa  $m$  si fornisce una quantità variabile di energia termica  $\Delta \mathcal{E}$  e per effetto di essa il corpo subisce una variazione di temperatura  $\Delta t$ . Su quale proprietà osservabile si basa la definizione di calore specifico?

Il rapporto  $\frac{\Delta \mathcal{E}}{m \Delta t}$  rimane costante e risulta dipendere solo dalla sostanza scelta

10. Perché gli arrostiti e i brasati cuociono meglio in un recipiente con il fondo più spesso?

Perché un brusco sbalzo termico impiega più tempo a determinare un nuovo equilibrio. Inoltre la elevata capacità termica tende a rendere uniformi le temperature interne e a rallentare tutti i processi di variazione di temperatura.

11. Cos'è l'equivalente in acqua di un calorimetro?

La massa del calorimetro tradotta in equivalente quantità d'acqua per tener conto di dispersioni e del calore assorbito dal calorimetro (che ha una propria capacità termica).

12. Quando si fornisce calore ad un solido possono avvenire quattro fenomeni diversi. Citarli e dire quali sono le costanti fisiche che vengono ad essi associate.

Calore specifico:  $\Rightarrow$  variazione di temperatura

Calore di evaporazione:  $\Rightarrow$  cambia la massa di liquido

Calore di fusione:  $\Rightarrow$  cambia la massa di solido

Calore di reazione:  $\Rightarrow$  si innescano reazioni chimiche

13. Come mai nel costruire i termometri non si tiene conto della dilatazione termica del bulbo di vetro?

Perché il coefficiente di dilatazione volumico dei liquidi è molto maggiore di quello del vetro

14. Perché durante la fase di solidificazione della superficie di un lago non si hanno moti convettivi? Che conseguenza si determina rispetto alla glaciazione superficiale?



## 1 ottobre 2004 2F PNI calorimetria competenze

Svolgere due dei quattro problemi proposti indicandone il numero nella griglia di correzione in fondo al testo.

1. Il periodo di oscillazione del pendolo è proporzionale alla radice della sua lunghezza  $l$ , cioè  $T \propto \sqrt{l}$ . Il filo ha un coefficiente di dilatazione lineare  $\lambda = 6.5 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e, alla temperatura  $t_1 = 5.0 \text{ } ^\circ\text{C}$  presenta un periodo  $\tau_1 = 1.000 \text{ s}$ . Trovare il periodo  $\tau_2$  alla temperatura  $t_2 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

In base alla proporzionalità fornita possiamo affermare che

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} \text{ ma d'altra parte in base alla legge sulla dilatazione lineare si ha } l = l_0(1 + \lambda t) \text{ e pertanto:}$$

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \sqrt{\frac{l_0(1 + \lambda t_2)}{l_0(1 + \lambda t_1)}} = \sqrt{\frac{1 + \lambda t_2}{1 + \lambda t_1}} = 1.00001$$

La differenza incide sulla sesta cifra significativa ma può dar luogo ad una variazione apprezzabile nell'arco di una giornata. Infatti mentre a  $5^\circ\text{C}$  l'orologio batterà  $3'600.24 \text{ s}$  a  $35 \text{ } ^\circ\text{C}$  si determinerà una differenza di  $3'600.24 \cdot 0.00001 = 0.9 \text{ s}$

2. Il potere calorico del legno secco  $\lambda_c = 14.7 \text{ MJ/kg} = 5.3 \text{ GJ/m}^3$ . Usare questa informazione per trovare la densità  $\delta$  del legno. Se si usa la combustione del legno per portare una massa  $m = 250 \text{ kg}$  di acqua dal  $t_1 = 13.5 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $t_2 = 65.8 \text{ } ^\circ\text{C}$  con rendimento  $\eta = 0.7$  determinare la massa di legno da bruciare.

La densità del legno può essere trovata facendo il rapporto dei due valori riferiti al volume e alla massa:

$$\delta = \frac{5.3 \cdot 10^9 \text{ J/m}^3}{14.7 \cdot 10^6 \text{ J/kg}} = 361 \text{ kg/m}^3$$

In base alla relazione sul riscaldamento e raffreddamento di un corpo si ha:

$$\Delta \mathcal{E} = m c (t_2 - t_1) = 250 \cdot 4 \cdot 180 \cdot (65.8 - 13.5) = 5.47 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Tenuto conto che il rendimento del processo di combustione  $\eta = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta \mathcal{E}_c}$  l'energia necessaria alla combustione è pari a

$$\Delta \mathcal{E}_c = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\eta} = \frac{5.47 \cdot 10^7}{0.7} = 7.81 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Tenendo conto che la quantità di energia prodotta è proporzionale alla massa  $\Delta m$  combusta si ha:

$$\Delta m = \frac{\Delta \mathcal{E}_c}{\lambda_c} = \frac{7.81 \cdot 10^7}{14.7 \cdot 10^6} = 5.3 \text{ kg}$$

3. Un recipiente contiene una massa  $m$  di acqua a  $0^\circ \text{C}$  allo stato liquido. Viene aspirata l'aria sovrastante e l'acqua inizia un processo di evaporazione rapida che determina il congelamento della massa d'acqua rimanente. Se indichiamo con  $m_1$  la massa d'acqua evaporata con  $\lambda_e = 2.543 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$  il calore latente di evaporazione e con  $\lambda_s = 3.35 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$  il calore latente di solidificazione determinare la percentuale  $100 \cdot \frac{m_1}{m}$  di acqua che evapora trovando prima la relazione e poi il valore numerico.

Il processo di evaporazione assorbe energia interna dal liquido che, come anticipato a lezione, congela.

Basta eguagliare la energia richiesta per la evaporazione con quella ceduta nella solidificazione per ottenere il risultato richiesto. Naturalmente, se la massa che evapora è  $m_1$ , quella che solidifica è  $m - m_1$  avremo dunque:

$$\lambda_e m_1 = \lambda_s (m - m_1) \Leftrightarrow 1 = \frac{\lambda_s}{\lambda_e} \left( \frac{m}{m_1} - 1 \right) \Leftrightarrow \frac{m}{m_1} = 1 + \frac{\lambda_e}{\lambda_s} \Leftrightarrow 100 \frac{m_1}{m} = \frac{100}{1 + \frac{\lambda_e}{\lambda_s}} = \frac{100}{1 + \frac{2.543}{0.335}} = 11.6 \%$$

4. Una parete è costituita da due strati di spessore  $d_1$  e  $d_2$  con coefficienti di conducibilità diversi  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ . La temperatura su un lato è  $t_1$  e l'altra è  $t_2$ . Determinare, in condizioni di equilibrio dinamico, cioè quando la quantità di calore che attraversa i due strati è la stessa, la temperatura  $t$  della separazione tra i due strati.

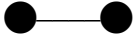
Indichiamo con  $t$  la temperatura intermedia e con  $\Delta \tau$  un generico intervallo di tempo. In condizioni di equilibrio la potenza che attraversa la parete nei suoi diversi punti è la stessa e pertanto:

$$\frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta \tau} = \lambda_1 \frac{S}{d_1} (t - t_1) = \lambda_2 \frac{S}{d_2} (t_2 - t) \text{ passando al rapporto si ottiene:}$$

$\frac{\lambda_1 d_2}{\lambda_2 d_1} \frac{t - t_1}{t_2 - t} = 1$ . Per semplicità di calcolo conviene indicare con  $\alpha$  la quantità costante  $\frac{\lambda_1 d_2}{\lambda_2 d_1}$ . Si ha allora:

$$\alpha(t - t_1) = t_2 - t \Leftrightarrow t(\alpha + 1) = t_2 + \alpha t_1 \text{ e infine } t = \frac{t_2 + \alpha t_1}{1 + \alpha}$$

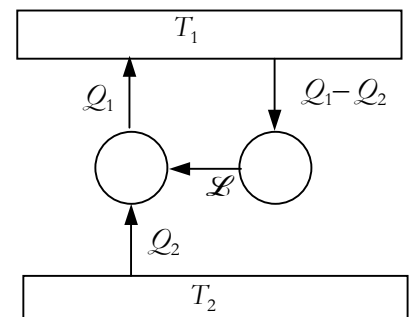
2F 10/12/2004 principi della termodinamica conoscenze

1. Cos'è l'energia interna di un corpo?  
E' la somma delle energie cinetiche e potenziali di tutti i suoi costituenti microscopici
2. Cita il maggior numero di forme di energia potenziale microscopica che caratterizza un cristallo di Cloruro di sodio (sono quattro) mettendole in ordine crescente.  
L'energia di legame tra le molecole a formare il cristallo, l'energia di legame tra atomo di sodio e di cloro a formare la molecola, energie di legame tra gli elettroni e il nucleo dei due atomi, energie di legame nucleare tra protoni e neutroni nei due nuclei.
3. Cos'è la costante di Boltzmann, quanto vale, in quali calcoli interviene e a quali altre costanti universali si correla?  
E' la costante di proporzionalità tra la temperatura assoluta e l'energia cinetica media a livello microscopico; vale  $1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K; interviene nei calcoli in cui si valuta la energia di un sistema partendo dai suoi costituenti microscopici;  
 $k_B = \frac{R}{N_A}$ . In effetti l'equazione dei gas perfetti si può scrivere  $pV = Nk_B T = nRT$  da cui  $N/n = N_A = R/k_B$
4. In quale tipo di trasformazione di un gas perfetto il calore si trasforma tutto in variazione di energia interna ? (spiegare usando il I principio).  
Nelle trasformazioni a volume costante perché in quel caso  $\mathcal{L} = 0$  e dunque  $Q = \Delta U$
5. L'energia interna ha diverse forme in particolare per la presenza di diversi tipi di energia potenziale dei legami. Di quali energie bisogna tener conto quando si analizza una trasformazione?  
Solo di quelle che cambiano nel corso della trasformazione.
6. Cosa rappresenta la quantità  $\frac{1}{2} k_B T$  in un gas? Cos'è il numero di gradi di libertà di una molecola? Quanti gradi di libertà ha una molecola biatomica ipotizzando che abbia una forma come in figura?  
  
E' l'energia cinetica media per ogni grado di libertà della molecola. Il numero di gradi di libertà è il numero di coordinate che occorrono per descrivere il movimento o anche il numero di movimenti indipendenti che la molecola è in grado di compiere. La molecola biatomica ha 5 gradi di libertà (6 coordinate per i due punti materiali meno uno perché la distanza è fissa).
7.  $n$  moli di gas perfetto monoatomico sono formate da  $N = \underline{\underline{n N_A}}$  atomi. Se il gas si trova a temperatura  $T$  l'energia media di un atomo è  $\underline{\underline{3/2 k_B T}}$  e quella dell'intero gas è  $\underline{\underline{3/2 nR T}}$   
In effetti se  $U = N 3/2 k_B T = N_A n 3/2 k_B T = 3/2 nRT$
8. Sapresti spiegare perché in un gas non ha senso parlare di calore specifico se non si precisa a quale tipo di trasformazione ci si riferisce?  
Il calore necessario a produrre una data variazione di temperatura dipende dal lavoro che viene compiuto. Tanto più lavoro si compie e tanto meno calore si trasforma in variazione energia interna (cioè variazione di temperatura).
9. Perché in una espansione adiabatica (cioè senza scambio di calore) il lavoro compiuto è minore che nella corrispondente trasformazione isoterma (si parte dallo stesso punto e si dà la stessa variazione di volume).  
Nel primo caso il gas si raffredda perché compie lavoro a spese della sua energia interna. Dunque, nel corso della trasformazione la linea che descrive la trasformazione è al di sotto della isoterma (se si raffredda la pressione è più bassa) e pertanto l'area del diagramma è minore.
10. Nella macchina a vapore di Watt ci sono due importanti differenze rispetto a quella di Newcomen: a) il condensatore separato b) il meccanismo biella manovella. A cosa servono questi due perfezionamenti?  
Il primo permette di avere effetto utile durante la fase di espansione e di aumentare il numero di cicli al minuto perché il cilindro rimane sempre caldo. Il secondo permette di trasformare il moto alternativo in moto circolare utile per il funzionamento delle macchine (la macchina di Newcomen veniva usata solo per azionare pompe).

11. Commenta e spiega le due parti di questa relazione  $\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \leq 1 -$

$$\frac{T_f}{T_c}$$

Nella prima si definisce il rendimento come rapporto tra il calore trasformato ( $Q_c - Q_f$ ) e il calore assorbito  $Q_c$  e si fa vedere che il rendimento è sempre minore di 1 a causa della necessità di buttar via una parte del calore (enunciato di Kelvin del II principio).





Nella seconda si osserva che c'è un limite teorico al rendimento definito dal salto termico. Tale rendimento è quello posseduto dalla macchina reversibile e senza attriti (macchina ideale).

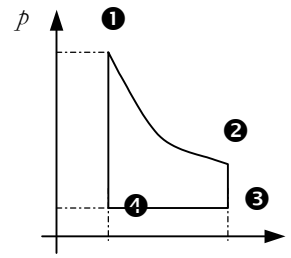
12. In questa figura è condensato un aspetto del secondo principio della termodinamica. Quale?

Nel lato di sinistra si ammette l'esistenza di una macchina ciclica in grado di convertire integralmente calore in lavoro (negazione dell'enunciato di Kelvin). Accoppiando tale macchina ad una pompa di calore si ottiene una macchina che trasferisce calore da una sorgente fredda ad una calda senza consumo di energia (negazione dell'enunciato di Clausius). Dunque  $\overline{K} \Rightarrow \overline{C}$  e ciò equivale a  $C \Rightarrow K$

2F PNI 15 dicembre 2004 principi della termodinamica

Una macchina termica funziona con un pistone contenente una massa di Argon pari a  $m = 25.0$  g (numero atomico  $Z = 18$ , massa atomica  $\mu = 39.948$ , gas monoatomico).

Il gas compie il ciclo **1 2 3 4 1** indicato in figura e sono noti i seguenti dati:  $t_1 = 825$  °C,  $V_1 = 15$  dm<sup>3</sup>, il tratto **1 2** corrisponde ad una isoterma,  $V_2 = 3 V_1$ ,  $p_3 = 1/5 p_1$ .



- a) Determinare il numero di moli  $n$ , il numero di atomi  $N$  di cui è costituito il gas e la pressione  $p_1$ .
- b) utilizzando la equazione dei gas perfetti e le corrispondenti relazioni di proporzionalità determinare in funzione di  $p_1, V_1, T_1$  le coordinate degli altri tre punti del ciclo. Raccomando di essere molto ordinati: punto **1** ... punto **2** ...
- c) Da calcoli matematici di tipo superiore è possibile calcolare il lavoro (area) del tratto **1 2** esso risulta  $\mathcal{L}_{12} = 6275$  J. Ricordando la I legge della termodinamica e la dipendenza della energia interna dalla temperatura  $U = 3/2 n R T$  determinare le altre grandezze termodinamiche coinvolte nel ciclo e cioè  $Q_{12}, \mathcal{L}_{23}, Q_{23}, \mathcal{L}_{34}, Q_{34}, \mathcal{L}_{41}, Q_{41}$ . Si ricorda che  $R = 8.314$  J/(mol K). Poiché nei calcoli ritorna frequentemente la quantità  $p_1 V_1$  conviene calcolarne il valore una volta per tutte in occasione della prima necessità.
- d) Determinare il rendimento  $\eta$  della macchina termica come rapporto tra il lavoro compiuto e il calore assorbito  $\frac{\mathcal{L}}{Q_{as}}$
- e) Confrontare il valore trovato con quello teorico previsto per una macchina di Carnot che operi tra la temperatura più alta  $T_1$  e quella più bassa  $T_4$ . Riflettendo sugli scambi termici che avvengono motivare la ragione per cui, nonostante si sia operato con una macchina reversibile il rendimento del nostro ciclo è molto minore di quello di Carnot.

a)  $n = \frac{m_g}{\mu} = \frac{25.0}{39.948} = 0.626$  moli

$N = N_A n = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 0.626 = 3.77 \cdot 10^{23}$  atomi

Poiché la temperatura  $T_1 = t_1 + 273 = 1098$  K si ha applicando l'equazione del gas perfetto:  $p_1 = \frac{nRT_1}{V_1} =$

$\frac{0.626 \cdot 8.314 \cdot 1098}{15.0 \cdot 10^{-3}} = 3.81 \cdot 10^5$  Pa

b) Punto **2**

Poiché la prima trasformazione è isoterma con  $V_2 = 3V_1$  si ha  $T_2 = T_1$  e  $p_2 = p_1 \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{3} p_1$

Punto **3**

$V_3 = V_2 = 3V_1$ ;  $p_3 = \frac{1}{5} p_1$ ; poiché la trasformazione avviene a volume costante la temperatura è proporzionale alla

pressione e dunque  $T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2} = T_1 \frac{1/5 p_1}{1/3 p_1} = \frac{3}{5} T_1$

Punto **4**

$p_4 = p_3 = \frac{1}{5} p_1$ ;  $V_4 = V_1$  la trasformazione è isobara e pertanto la temperatura è proporzionale al volume ovvero  $T_4 = T_3$

$\frac{V_4}{V_3} = \frac{3}{5} T_1 \frac{V_1}{3V_1} = \frac{1}{5} T_1$

c) Tratto **1 2**

La trasformazione è isoterma, l'energia interna non cambia, il lavoro è già stato fornito  $\mathcal{L}_{12} = 6275$  J e applicando il primo principio si ha:  $Q_{12} = \mathcal{L}_{12} = 6275$  J

Tratto **2 3**

La trasformazione è a volume costante e pertanto  $\mathcal{L}_{23} = 0$ . La variazione di energia interna  $\Delta U$  è calcolabile tramite il salto termico; si ha  $\Delta U = 3/2 n R \Delta T = 3/2 \cdot 0.626 \cdot 8.314 \cdot (3/5 - 1) T_1 = -3427$  J. Per il primo principio  $Q_{23} = \Delta U = -3427$  J; durante questo tratto il gas si raffredda senza compiere lavoro e dunque cede calore

Tratto **3 4**

La trasformazione è a pressione costante e viene compiuto un lavoro negativo  $\mathcal{L}_{34} = \text{area} = p_3(V_4 - V_3) = 1/5 p_1(-2V_1)$   
 $= -2/5 p_1 V_1 = -0.4 \cdot 5715 = -2286 \text{ J}$

$$\Delta U = 3/2 nR\Delta T = 7.803(1/5 - 3/5)T_1 = -3427$$

Il gas si raffredda mentre viene compiuto del lavoro su di esso e pertanto cederà una grande quantità di calore; in effetti  $Q_{34} = \Delta U + \mathcal{L}_{34} = -3427 - 2286 = -5713 \text{ J}$

Tratto **4 1**

La trasformazione è a volume costante; il gas non compie lavoro e la sua energia interna aumenta grazie all'assorbimento di calore.

$$\mathcal{L}_{41} = 0 \text{ mentre } \Delta U = 3/2 nR\Delta T = \Delta U = 3/2 nR(T_1 - 1/5 T_1) = 6854 \text{ J inoltre } Q_{41} = \Delta U = 6854 \text{ J}$$

d) Per calcolare il rendimento avremo:

$$\eta = \frac{\mathcal{L}_{12} + \mathcal{L}_{41}}{Q_{12} + Q_{41}} = \frac{6275 - 2286}{6275 + 6854} = 0.304$$

e) Una ipotetica macchina di Carnot che avesse lavorato tra la temperatura più alta  $T_1$  e quella più bassa  $T_4$  avrebbe avuto un rendimento ideale

$$\eta' = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{1}{5} = \frac{4}{5} = 0.8$$

Il rendimento ideale è molto più alto perchè si assorbe un sacco di calore inutile che viene buttato via con le cessioni nei tratti da **2** a **3** e da **3** a **4** senza che questo calore venga utilizzato per produrre altro lavoro facendo lavorare una macchina tra la temperatura intermedia a cui viene ceduto e la temperatura  $T_4$ . La macchina ideale è tale se lavora solo tra due temperature (dilatazione isoterma, dilatazione adiabatica, compressione isoterma, compressione adiabatica)

## 1F 21 aprile 2005 conoscenze termologia e gas

Scegli 10 domande tra quelle proposte e rispondi indicando nella griglia sottostante quelle scelte.

- Per misurare la temperatura si usano i termometri. Per definire le temperature di riferimento sui termometri si usano i punti fissi. Come facciamo a sapere che in corrispondenza dei punti fissi la temperatura è sempre la stessa, visto che non abbiamo ancora costruito i termometri?  
Si usano come provvisori indicatori di temperatura i termoscoopi (che poi tarati diverranno termometri) e si osserva che in corrispondenza dei punti fissi (cambiamenti di stato) termoscoopi identici danno una indicazione costante nel tempo e nello spazio mentre termoscoopi diversi danno comunque sempre la stessa indicazione nel tempo. Si assegna allora, per definizione, una temperatura di riferimento ad ogni punto fisso.
- Nella scala Fahrenheit a cosa corrispondono lo  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$ ? Come mai sono stati scelti dei valori così strani?  
 $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$  e  $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$ ; questi due numeri strani derivano dal fatto che lo  $0^{\circ}\text{F}$  risulta pari ad una temperatura inferiore allo  $0^{\circ}\text{C}$  e che corrisponde ad un inverno freddo di una città del nord europa simulabile con una miscela di ghiaccio e sale mentre  $100^{\circ}\text{F}$  corrispondono, grosso modo, alla temperatura media del corpo umano.
- Per costruire i termometri a liquido si usano sia l'alcool sia il mercurio. Che differenza c'è? (ampiezza della scala, rapidità di evaporazione, forma del menisco nel capillare).  
la scala dell'alcool è vasta sotto lo 0 e ristretta sopra perché la temperatura di ebollizione è bassa; accade il contrario al mercurio  
l'alcool ha una elevata tensione di vapore e ciò falsifica le letture sopra lo zero  
i due liquidi hanno menischi opposti
- Come mai nella unità di misura del calore latente di fusione di un solido  $\text{J/kg}$  non compare il Kelvin (K) che compare invece in quella del calore specifico  $\text{J}/(\text{kg K})$ ?  
Durante il cambiamento di stato non si ha variazione di temperatura mentre  $\Delta m \propto Q$ . Invece durante il riscaldamento si ha  $Q \propto \Delta m \Delta t$
- Come mai il calore latente di fusione di un solido è generalmente molto minore di quello di evaporazione della stessa sostanza?  
Perché nel solido e nel liquido si ha ancora interazione tra le molecole e dunque la fusione richiede solo l'energia necessaria ad indebolire il legame; nella evaporazione invece le molecole si allontanano molto e ciò richiede una energia unitaria più elevata
- Come mai un liquido può evaporare anche a temperature basse? Cosa accade mentre evapora?  
In un liquido sono presenti molecole con velocità diverse (l'energia media è proporzionale alla temperatura). Pertanto le molecole più veloci sono in grado di vincere le forze di coesione e lasciano il liquido. Ciò determina una diminuzione di energia totale del liquido (che si raffredda). Ma altre molecole avranno nuovamente energia elevata e saranno in grado di evaporare. Ciò che blocca il processo è solo il ritorno di molecole dal vapore al liquido.
- Un liquido messo in una stanza con le finestre chiuse ha smesso di evaporare. Cosa si può fare per far riprendere l'evaporazione? (2 cose).  
O si apre la finestra facendo così diminuire la pressione del vapore o si alza la temperatura facendo alzare la tensione di vapore. In entrambi i casi la evaporazione riprende e prosegue finché la pressione di vapore non ridiventa uguale alla tensione di vapore
- Cos'è la tensione di vapore (o pressione del vapore saturo) di un liquido ad una data temperatura? Da cosa dipende? (tipo di liquido, quantità di liquido, temperatura del liquido, quantità di vapore presente nella stanza, presenza o meno di altri gas)  
E' la pressione che il vapore esercita sulla superficie del liquido quando c'è equilibrio (numero di molecole in uscita pari a quelle in ingresso). Dipende solo dalla temperatura e dalle caratteristiche del liquido.
- Quella che segue è la definizione di calore specifico di una sostanza  $c = \frac{Q}{m \Delta T} = \text{costante}$ .  
Supponendo che il calore necessario al riscaldamento venga fornito da una sorgente in maniera costante nel tempo, spiegare perché se si indica con  $\Delta t$  l'intervallo di tempo necessario a produrre  $\Delta T$  si ha che  $\Delta t \propto \Delta T$ . Il simbolo  $\propto$  indica proporzionalità.  
Per definizione di calore specifico si ha  $\Delta T \propto Q$  ma  $\Delta t \propto Q$  per ipotesi e dunque  $\Delta t \propto \Delta T$
- Secondo l'equazione dei gas perfetti  $\frac{pV}{nT} = R$ . Cosa rappresentano i diversi simboli?  
 $p$  è pressione in Pascal;  $V$  il volume in  $\text{m}^3$ ;  $n$  il numero di moli (massa in grammi diviso peso molecolare);  $T$  è la temperatura assoluta in Kelvin e  $R$  una costante universale detta costante dei gas perfetti pari a  $8.3145 \text{ J}/(\text{mole}\cdot\text{K})$ .

11. Se conosco la massa  $m$  di un gas e la sua composizione molecolare (per esempio  $\text{CH}_4 = \text{metano}$ ) come faccio a trovare il numero di moli  $n$ ? Descrivere come si fa.  
 $n = m/\mu$  dove  $m$  è la massa in grammi mentre  $\mu$  è il peso molecolare in amu che si ottiene sommando il numero di atomi di ogni tipo per il rispettivo peso atomico.

12. Qual è il legame tra la costante  $R$  e la costante  $k_B$ ? Quanto valgono in unità del SI?

$pV = nRT = N \mathcal{N} R T = N k_B T$  dunque  $\mathcal{N} R = k_B$  con  $\mathcal{N} = 6.02 \cdot 10^{23}$  molecole/mole,  $R = 8.3145 \text{ J}/(\text{mole} \cdot \text{K})$  e  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J}/(\text{molecola} \cdot \text{K})$ . Le due costanti si usano rispettivamente quando si opera sul piano macroscopico (moli) e microscopico (molecole).

13. Durante la trasformazione a pressione costante qual è il legame tra temperatura e volume? e Quello tra temperatura e densità? (spiegare la risposta).

Se si ragiona sulla equazione dei gas perfetti si ha che  $V \propto T$  e poiché  $\delta \propto 1/V$  si ha che  $\delta \propto 1/T$

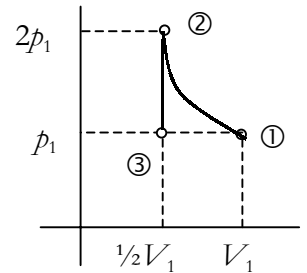
14. Una mole di gas si trova nello stato indicato dal punto ① e viene dapprima compresso a temperatura costante finché il volume si dimezza (punto ②). A questo punto viene raffreddato a volume costante finché la pressione ritorna a  $p_1$  (punto ③). Disegna sul diagramma i punti ② e ③ e le due trasformazioni. Indica sul foglio come faresti a trovare  $T_1$ ,  $p_2$  e  $T_3$ .

Da ① a ② viene percorso un ramo di iperbole sino a  $p_2 = 2p_1$  e  $V_2 = \frac{1}{2} V_1$  mentre da ② a ③  $V_3 = V_2$  mentre la temperatura, proporzionale alla pressione dimezza con essa

15. Illustrare il legame tra energia media  $\mathcal{E}$  di una molecola e temperatura  $T$  e quello tra  $T$  ed energia interna  $U$  di una quantità  $n$  di gas. Precisare i valori delle costanti.

$\mathcal{E} = \frac{3}{2} k_B T$  mentre  $U = N \mathcal{E} = N \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} n R T$ . Le due costanti sono già state indicate nelle altre risposte (vedi

12)



### 3 maggio 2005 competenze termologia e teoria cinetica

1. Il gas neon bolle a pressione atmosferica alla temperatura  $T = 27.10$  K. Trovare le corrispondenti temperature  $t_C$  e  $t_F$  in gradi centigradi e Fahrenheit.

$$t_C = T - 273.15 = -246.05^\circ\text{C}$$

Tenendo conto della definizione della scala Fahrenheit si ha  $\frac{t_F - 32}{t_C} = \frac{180}{100}$  da cui si ottiene  $t_F = \frac{9}{5} t_C + 32 = -410.89^\circ\text{F}$

**Nota di correzione:** evitare di imparare a memoria le formule. A memoria si imparano solo le costanti universali sperimentali.

2. Un filo di rame presenta alla temperatura  $t_1 = 28^\circ\text{C}$  la lunghezza  $l_1 = 126.4$  cm mentre alla temperatura  $t_2$  la sua lunghezza è  $l_2 = 126.7$  cm. Quanto vale  $t_2$  sapendo che  $\lambda = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ? Si ricordi che la legge di dilatazione è lineare e dunque  $\Delta l = \lambda l \Delta t$  qualunque sia la temperatura iniziale

$$l_2 - l_1 = \lambda l_1 (t_2 - t_1) \text{ pertanto } t_2 - t_1 = \frac{l_2 - l_1}{\lambda l_1} = 140^\circ\text{C} \text{ e dunque } t_2 = t_1 + 140 = 168^\circ\text{C}$$

**Nota di correzione :** evitare di ricavare  $t_2$  dalla equazione

3. Il potere calorico del gasolio  $\lambda_g = 10'200$  kcal/kg, mentre quello del metano  $\lambda_m = 8'950$  kcal/m<sup>3</sup> con una densità  $\delta = 0.678$  kg/m<sup>3</sup>. a) Determinare  $\lambda_m$  in kcal/kg. b) Se per fornire l'energia termica  $Q$  occorre bruciare  $m_g = 2.5$  kg di gasolio quanto metano  $m_m$  bisogna bruciare?

$$\lambda_m = \frac{8'950 \text{ kcal/m}^3}{0.678 \text{ kg/m}^3} = 13'200 \text{ kcal/kg.}$$

A parità di calore la massa di combustibile è inversamente proporzionale al potere calorico e dunque:

$$m_m \lambda_m = m_g \lambda_g \text{ da cui } m_m = \frac{m_g \lambda_g}{\lambda_m} = \frac{2.5 \cdot 10'200}{13'200} = 1.93 \text{ kg}$$

**Nota di correzione:** quando si ha un dubbio se dividere o moltiplicare si ricorre al controllo dimensionale.

4. In un volume  $V = 20$  m<sup>3</sup> di aria sono presenti  $m = 240$  g di vapor acqueo un igrometro (misuratore di umidità) indica una umidità relativa  $u\% = 60\%$  quanta acqua sarebbe presente se alla stessa temperatura il vapore fosse saturo? Spiegare il calcolo

L'umidità relativa è un rapporto di due pressioni e ogni pressione, a parità di volume e temperatura, è proporzionale alle

moli, cioè alla massa; si avrà dunque  $\frac{m}{m'} = \frac{p}{p'} = 0.60$  e dunque  $m' = \frac{m}{0.60} = 400$  g.

**Nota di correzione:** il punteggio pieno richiedeva la corretta argomentazione

5. Una data quantità di gas occupa alla temperatura  $t = 55.4^\circ\text{C}$  un volume  $V = 7.5$  dm<sup>3</sup> alla pressione  $p = 2.54 \cdot 10^5$  Pa. a) Trovare il numero di moli  $n$  b) sapendo che si tratta di Neon ( $\mu = 20.18$  uma) determinare il numero di molecole  $N$  e la densità  $\delta$ . c) Quanto vale l'energia interna del gas? d) Quanto vale la velocità quadratica media delle molecole ( $1 \text{ amu} = 1.66 \cdot 10^{-27}$  kg; indicare con  $m_m$  la massa di una molecola)

a) applicando l'equazione del gas perfetto si ha  $n = \frac{pV}{RT} = \frac{2.54 \cdot 10^5 \cdot 7.5 \cdot 10^{-3}}{8.3145 \cdot (273.15 + 55.4)} = 0.697$  moli

**Nota di correzione:** corretto valore di  $R$ , volume in m<sup>3</sup>,  $T$  in K

b)  $N = N_A n = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 0.697 = 4.20 \cdot 10^{23}$  molecole

$$\delta = \frac{m}{V} = \frac{n \mu}{V} = \frac{0.697 \cdot 20.18}{7.5} = 1.87 \text{ g/dm}^3 = 1.87 \text{ kg/m}^3$$

**Nota di correzione:** se sono note le moli è nota la massa in grammi e dunque per la densità conviene operare in dm<sup>3</sup>

c)  $U = \frac{3}{2} nRT = 2.86 \cdot 10^3 \text{ J}$

**Nota di correzione:** volendo si può passare per l'energia di una molecola e moltiplicare per  $N$

d) In base a quanto previsto dalla teoria cinetica si ha  $\frac{1}{2} m_m v^2 = \frac{3}{2} k_B T$  da cui  $v = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m_m}} =$

$$\sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot (55.4 + 273.15)}{20.18 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}}} = 637 \text{ m/s}$$

**Nota di correzione:** la massa di una molecola  $m_m = \mu \cdot \text{amu}$ . Naturalmente se lo si desidera si può calcolare prima l'energia di una singola molecola (ma il calcolo non era richiesto)

## 11/04/06 5F PNI termodinamica tipologia B - A

Rispondere a 10 domande: risposte essenziali, estensione tra le 4 e le 8 righe a domanda a seconda degli argomenti. Meglio 8 buone che 10 generiche

- 1) Dare la definizione di ambiente adiabatico, di scambio termico e di calore
- 2) Perché si parla di conservazione dell'energia solo nella II metà dell'800 e non nel 700 in pieno trionfo della meccanica?
- 3) Definire la tensione di vapore e indicare come il suo valore influenzi la ebollizione. Che ruolo gioca la temperatura?
- 4) Perché è sbagliato affermare che la massa è una misura della quantità di sostanza presente in un corpo? Cos'è l'unità di massa atomica?
- 5) La determinazione delle velocità molecolari non richiede la conoscenza delle grandezze tipiche del mondo microscopico (massa molecolare e costante di Boltzmann). Spiegare.
- 6) Come mai in un ciclo rappresentato nel diagramma pV si ha un lavoro positivo quando il diagramma viene percorso in verso orario?
- 7) Perché i calori specifici di un gas sono infiniti?
- 8) Cosa dice e come si dimostra la relazione di Mayer?
- 9) Come si spiega alla luce della teoria quantistica il passaggio da  $3/2 R$  a  $5/2 R$  per il  $C_V$  dell'idrogeno?
- 10) Dimostra che dall'enunciato di Clausius (C) del II principio segue quello di Kelvin (K) (schematizzare)
- 11) Tra due corpi a temperature  $T_1$  e  $T_2$  con  $T_1 > T_2$  viene scambiata la quantità di calore  $Q$ . Si vuol calcolare la variazione di entropia cosa si deve fare?
- 12) Come spiega la meccanica statistica il passaggio dall'ordine al disordine?

## 11/04/06 5F PNI termodinamica tipologia B - B

Rispondere a 10 domande: risposte essenziali, estensione tra le 4 e le 8 righe a domanda a seconda degli argomenti. Meglio 8 buone che 10 generiche

- 1) In cosa consistono e cosa riguardano gli esperimenti di Joule
- 2) Riduzionismo, modelli, nuove leggi
- 3) Cos'è il libero cammino medio e da quali parametri esso è influenzato?
- 4) Le grandezze termodinamiche  $Q$ ,  $\mathcal{L}$ ,  $\Delta U$  e  $\Delta S$  in una trasformazione isocora di un gas perfetto
- 5) Disegna una adiabatica e una isoterma passanti (non inizianti) per uno stesso punto. Spiega fisicamente l'andamento dell'una rispetto all'altra.
- 6) Carnot su cosa fonda il fatto che le macchine reversibili devono avere tutte lo stesso rendimento?
- 7) Cosa sono un *perpetuum mobile* di I e di II specie?
- 8) Enuncia la disuguaglianza di Clausius e chiarisci l'uso che se ne fa nella definizione di entropia.
- 9) Quale argomento è stato storicamente usato dai positivisti contro il riduzionismo meccanicista?
- 10) Microstato e macrostato.
- 11) Come è fatto il motore di Feynmann che violerebbe la II legge della termodinamica?
- 12) Cosa dice la legge sulla distribuzione barometrica di un gas? Come la si usa per misurare il numero di Avogadro?

## 11/04/06 5F PNI termodinamica tipologia B - C

Rispondere a 10 domande: risposte essenziali, estensione tra le 4 e le 8 righe a domanda a seconda degli argomenti. Meglio 8 buone che 10 generiche

- 1) L'equazione di stato dei gas perfetti condensa numerose leggi; enuncia quella delle pressioni parziali.
- 2) Perché nel modello cinetico molecolare la pressione è proporzionale al quadrato della velocità? Da dove deriva il fattore  $1/3$  presente nella relazione  $pV = \frac{1}{3} N m \langle v^2 \rangle$ ?

- 3) Quali parametri si devono confrontare per stabilire se in corrispondenza di un pianeta è possibile l'esistenza di una atmosfera gassosa?
- 4) Spiega come mai, nel diagramma p-V l'area sottesa rappresenta il lavoro compiuto? Quali precisazioni bisogna fare sulla trasformazione?
- 5) Cos'è il coefficiente adiabatico  $\gamma$ . Scrivi il valore di  $\mathcal{C}_V$  e  $\mathcal{C}_p$  in funzione di  $\gamma$
- 6) Come mai il calore specifico dell'ossigeno varia con la temperatura e, partendo a  $5/2 R$ , tende a  $7/2 R$ ?
- 7) Nella visione di Carnot a cosa serve la sorgente fredda? Perché il motore migliore alterna isoterme ad adiabatiche?
- 8) Quali precisazioni fa Planck agli enunciati del II principio?
- 9) Disegna e commenta il ciclo ideale del motore a scoppio.
- 10) Se positivista è sinonimo di antimetafisico e antispiritualista come mai i positivisti sono stati così nemici dell'atomismo?
- 11) Definizione di entropia alla Boltzmann: perché si usa la funzione logaritmo?
- 12) Perché non si può usare l'interpretazione della temperatura come misura della energia media per misurare il numero di Avogadro?

### 11/04/06 5F PNI termodinamica tipologia B - D

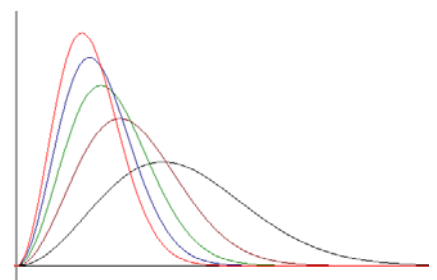
Rispondere a 10 domande: risposte essenziali, estensione tra le 4 e le 8 righe a domanda a seconda degli argomenti. Meglio 8 buone che 10 generiche

- 1) Primi modelli sugli stati di aggregazione: autore e descrizione
- 2) Come è possibile avere una idea delle velocità molecolari anche se non si conosce il numero di Avogadro?
- 3) Perché quando si scrive la I legge della termodinamica si usa il  $\Delta$  solo davanti alla energia interna e non davanti a Q e  $\mathcal{L}$ ?
- 4) Dal punto di vista macroscopico su cosa si basa la definizione di energia interna?
- 5) Il modello classico cosa afferma circa la teoria dei calori specifici?
- 6) Spiega perché questa affermazione è sbagliata: *non si può produrre lavoro convertendo integralmente calore estratto da una sorgente ad una sola temperatura.*
- 7) Dimostra che dall'enunciato di Kelvin (K) del II principio segue quello di Clausius (C) (schematizzare)
- 8) Nella brevetto della macchina di Watt sono citati 6 perfezionamenti rispetto alle macchine precedenti: cita e spiega quelli che ricordi.
- 9) Cos'è una pompa di calore? Come si definisce il suo coefficiente di prestazione? Come mai può essere anche notevolmente  $> 1$ ?
- 10) Dimostra che nel ciclo di Carnot il rapporto di espansione e quello di compressione sono uguali, cioè che
 
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$
- 11) Che differenza c'è nella formulazione apodittica e statistica del II principio della termodinamica?
- 12) Cos'è il moto browniano e a cosa è dovuto?

### 11/04/06 5F PNI termodinamica tipologia B - E

Rispondere a 10 domande: risposte essenziali, estensione tra le 4 e le 8 righe a domanda a seconda degli argomenti. Meglio 8 buone che 10 generiche

- 1) Spiegare cosa rappresenta la seguente famiglia di curve discutendone gli aspetti essenziali (grandezze rappresentate, valori caratteristici, parametriche la influenzano).
- 2) Cosa si vuole intendere dicendo che non esistono un magazzino del calore e un magazzino del lavoro?
- 3) Dal punto di vista microscopico a cosa corrisponde l'energia interna di un corpo (non necessariamente un gas perfetto).
- 4) Perché in termodinamica si preferisce utilizzare per i gas perfetti il calore specifico molare? Qual è il suo legame con quello massico?





- 5) Se si disegna un diagramma del calore specifico a volume costante di un gas in funzione di  $T$  si osservano delle anomalie rispetto al modello classico. Quali?
- 6) Alla luce della II legge della termodinamica perché non può esistere uno scambio termico isothermico reversibile?
- 7) Scrivi e commenta la relazione fondamentale che caratterizza il ciclo di Carnot e quindi esprimi il rendimento in funzione di  $T_2$  e di  $\Delta T$  cosa ne deduci a proposito della degradazione energetica?
- 8) In cosa differisce il motore diesel rispetto al motore a scoppio?
- 9) Spiega la differenza tra *meccanicismo* e *riduzionismo*.
- 10) Cos'è il *diavoletto di Maxwell*?
- 11) In che senso uno scambio termico corrisponde ad un passaggio ordine disordine?
- 12) Cos'è una fluttuazione statistica? In quali contesti una fluttuazione presenta probabilità accettabili?

## 17 maggio 2007 1F termologia e termodinamica – tipologia B

1) E' nota una trasformazione eseguita da un gas perfetto attraverso la sua rappresentazione nel diagramma p-V. Come di può determinare il diagramma T-V?

Dalla conoscenza di p e V attraverso l'equazione dei gas perfetti si trova  $nT = pV/R$  per ogni punto e poiché n non cambia si può affermare di aver trovato T-V a meno di un fattore di scala che non cambia la forma del digramma

2) Cosa sono le bollicine attaccate ad una pentola di metallo posta sul fuoco quando l'acqua è intorno agli 80-90 °C? Perché non si espandono e non salgono in superficie?

Sono bollicine di vapore formatesi a contatto con la parete a sua volta a contatto con la fiamma; ma la loro pressione interna è la tensione di vapore che a quella temperatura è minore della pressione atmosferica (quella idrostatica è trascurabile). Per questa ragione le bolle non crescono e non si staccano (ma si ingrossano al crescere della temperatura) sino alla ebollizione.

3) Perché per un gas non ha senso parlare di calore specifico se non si precisa che tipo di trasformazione ha subito?

Perché il calore (I principio della termodinamica) va in parte in aumento di energia interna (variazione di temperatura) e in parte si converte in lavoro. Dunque se non si precisa il tipo di trasformazione, non si sa il lavoro e non si può stabilire la corrispondente variazione di temperatura.

4) Cos'è la potenza in una trasformazione energetica?

E' il rapporto tra la variazione energetica (conversione) e l'intervallo di tempo in cui avviene. E' una sorta di velocità della conversione e si misura in  $J/s = w$

5) Cosa dice il principio zero della termodinamica? A cosa serve?

Dice che l'equilibrio termico gode della proprietà transitiva. Serve a definire la temperatura di un corpo (temperatura di un termometro in equilibrio con esso). Se non fosse vero due termometri in equilibrio con uno stesso corpo potrebbero non essere in equilibrio tra loro (temperature diverse).

6) Cos'è il moto browniano?

E' il moto casuale e irregolare, ma osservabile al microscopio, di particelle immerse in un fluido e con dimensioni intermedie tra il livello microscopico e macroscopico ( $10^{-5}$ - $10^{-6}$  m). E' dovuto agli urti tra le molecole del fluido e le particelle browniane e ci dimostra la correttezza delle ipotesi sul carattere cinetico dei fenomeni termici.

7) Perché per definire il calore specifico di una sostanza essa deve essere omogenea?

Il concetto di calore specifico nasce dalla osservazione che  $\frac{Q}{m \Delta T}$  è costante. Se il corpo non è omogeneo tale rapporto, come è ovvio, non è più costante

8) Nel calorimetro delle mescolanze l'equazione che stabilisce la eguaglianza tra calore ceduto da una e calore assorbito dall'altra si scrive  $c_1(m_1 + m_2)(T_f - T_1) = c_2 m_2 (T_2 - T_f)$ . Come si chiama  $m_e$  e perché viene introdotto?

Si chiama equivalente in acqua del calorimetro e serve a tener conto del fatto che il calorimetro ha una sua capacità termica e dunque una parte del calore trasferito tra i due corpi va al calorimetro.

9) Sapresti spiegare perché l'energia interna di n moli di un gas perfetto monoatomico è  $3/2 nRT$  partendo dal fatto che l'energia cinetica media di una molecola è  $3/2 k_B T$ ?

$U = N \epsilon_k = N \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} n N_A k_B T = \frac{3}{2} n R T$  dove si è tenuto conto del fatto che (per definizione)  $N_A k_B = R$

10) Perché in un lago ghiacciato in superficie gli scambi termici verso il basso sono molto ridotti?

In un lago ghiacciato l'acqua più densa (alla temperatura di 4°) è sul fondo e dalla superficie la temperatura sale da 0° a 4 °C. Non si hanno moti convettivi e dunque l'unica forma di scambio termico è per conduzione, ma l'acqua è un pessimo conduttore di calore.

1) Che implicazioni derivano dal fatto che l'acqua ha un calore specifico elevato?

L'acqua *tempera* il clima cioè rallenta tutte le variazioni climatiche perché per dare una apprezzabile variazione di temperatura ad una grande massa d'acqua servono grandi quantità di energia. Ciò vale sia tra il di e la notte, sia nei cicli stagionali.

2) Perché nei locali poco arieggiati tende a condensare dell'acqua sulle pareti a nord?

La tensione di vapore scende al decrescere della temperatura. Il vapore presente nella stanza non è saturo ma si trova ad una certa pressione (cui corrisponde un tasso di umidità). Quello a contatto con la parete fredda si raffredda e dunque da vapore non saturo diventa saturo e condensa sulla parete.

3) Perché per convertire una temperatura da °F a °C e viceversa basta avere la corrispondenza di una coppia di temperature?

Perché le due scale sono entrambe lineari e dunque tra due punti basta tracciare la retta di conversione.

4) Perché per tutte le sostanze  $\lambda_F \ll \lambda_E$ ? (calori latenti di fusione ed evaporazione)?

Perché il passaggio dallo stato solido a quello liquido implica rottura di un ordine senza apprezzabili cambiamenti di distanza tra le molecole (nell'acqua addirittura la distanza diminuisce) mentre nel passaggio liquido gas si devono allontanare sensibilmente le molecole contro l'azione attrattiva delle forze intermolecolari.

5) Come ben sai la densità del ghiaccio è minore di quella dell'acqua liquida (e infatti il ghiaccio galleggia sull'acqua). Che conseguenza ne trai sul piano microscopico?

Che a differenza degli altri solidi che nel passaggio allo stato liquido aumentano (di poco) le distanze interatomiche, nell'acqua accade il contrario. Ovvero nel ghiaccio le molecole sono ordinate ma distanti e sono più vicine allo stato liquido.

6) Sul piano microscopico come avviene il trasferimento di calore in un solido?

Gli atomi del reticolo solido vibrano e sono le energie di vibrazione a trasferire (come tante molle) il calore. Nel caso dei metalli a questo fenomeno si somma il movimento degli elettroni liberi che rende i metalli degli ottimi conduttori di calore (oltre che di elettricità).

7) Cos'è l'effetto serra riferito alla atmosfera?

L'atmosfera è trasparente per la radiazione solare (visibile e infrarossa ad alta temperatura) che arriva così sulla terra. Una parte di essa è assorbita e riemessa durante la notte a temperature (frequenze) inferiori. Per queste onde l'atmosfera non è più trasparente e le riflette verso terra impedendo alla terra di raffreddarsi eccessivamente. Responsabili di questo fenomeno sono i gas serra in primo luogo  $\text{CO}_2$ . Per questa ragione l'aumentata produzione di  $\text{CO}_2$  da parte dell'uomo rischia di modificare pesantemente il clima.

8) Da cosa è nata l'idea di una scala assoluta di temperature?

Secondo le leggi di Gay Lussac le trasformazioni dei gas a pressione e a volume costante sono rette che convergono ad una medesima temperatura che corrisponderebbe rispettivamente all'annullamento della pressione o del volume. A questo limite teorico e irraggiungibile si è dato il nome di zero assoluto e misurando le temperature rispetto ad esso le leggi acquistano la forma molto semplice  $pV \propto T$

9) Perché per misurazioni precise i termometri vengono tarati usando come punto fisso il punto triplo dell'acqua?

Perché il punto triplo (equilibrio delle tre fasi solida, liquida e gassosa) corrisponde ad un ben preciso e invariabile valore di  $p$  e  $T$ . Ciò rende questo *punto fisso* particolarmente *fisso* e ben riproducibile (non è vero che l'acqua bolle a  $100^\circ$ , bolle a  $100^\circ$  ad una particolare pressione).

10) Spiega perché nel diagramma  $p$ - $V$  la espansione adiabatica ha una linea che sta sotto l'isoterma.

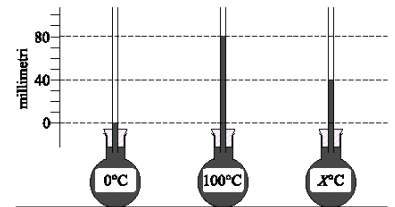
Durante l'espansione adiabatica il gas si raffredda perché compie lavoro a spese della sua energia interna. Se si raffredda per un dato volume la pressione è più bassa e dunque il punto sta sotto alla isoterma.

1F termologia e termodinamica tip. C 24/5/07

1. Di seguito sono indicate le equazioni dimensionali e le corrispondenti unità di misura di alcune grandezze. In un solo caso l'accoppiamento è quello giusto: quale? ...

- A  $\frac{[massa][lunghezza]}{[tempo]}$  e wa      C  $\frac{[massa][lunghezza]^2}{[tempo]^2}$  e joule      D  $\frac{[massa][lunghezza]}{[tempo]^3}$  e joule  
 B  $\frac{[massa][lunghezza]^2}{[tempo]}$  e watt      E  $\frac{[massa][lunghezza]^2}{[tempo]^3}$  e joule

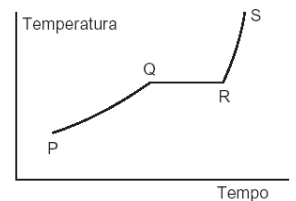
2. Un'ampolla di vetro è riempita con un liquido colorato e chiusa con un tappo. Attraverso il tappo viene inserito un tubo sottilissimo che pesca nel liquido. In figura si vede il livello della colonna di liquido quando l'ampolla si trova, rispettivamente, a 0°C, a 100°C e ad una temperatura incognita X. Il liquido si espande in modo proporzionale alla variazione della temperatura. Quanto vale la temperatura X?



- A ...40°C     B ...50°C     C ...60°C     D ...80°C  
E ...circa 40°C

3. Tutte le qualità elencate qui sotto sono proprietà caratteristiche di una sostanza fuorché una: quale?  
A ...La densità     B ...La massa     C ...Il punto di fusione     D ...Il calore specifico  
E ...Lo stato di aggregazione

4. Un contenitore con una certa quantità di una sostanza solida è stato riscaldato uniformemente con un riscaldatore che eroga calore al tasso costante di 20 J/s. Le perdite di calore sono state rese trascurabili. Il grafico mostra l'andamento della temperatura della sostanza, rilevata a intervalli regolari di tempo. Dal grafico si può dedurre che:



- I - la sostanza assorbe meno calore tra P e Q che tra R e S  
II - il calore specifico della sostanza è maggiore tra P e Q che tra R ed S.  
III - la sostanza non ha assorbito calore tra Q ed R.

Quali delle precedenti deduzioni sono corrette?

- A ...Tutte e tre.     B ...Solamente la I e la II.  
C ...Solamente la II e la III.     D ...Solamente la I.  
E ...Solamente la II.

5. Se ti capita di versare dell'alcool sul braccio, per esempio per disinfettare una zona di pelle, provi una sensazione di freddo, anche quando l'alcool è alla stessa temperatura del tuo corpo. Questo avviene perché...

- A ...l'alcool è più caldo dell'ambiente circostante.     B ...l'alcool è un buon conduttore del calore.  
C ...l'alcool condensa rapidamente sul braccio.     D ...l'alcool congela rapidamente a contatto con il braccio.  
E ...l'alcool evapora rapidamente dal braccio.

6. In una giornata molto calda vuoi raffreddare una bibita. Perché la raffreddi di più se aggiungi un cubetto di ghiaccio a 0°C che una massa uguale d'acqua a 0°C?

- A ...Il ghiaccio fonde lentamente e la bibita rimane fresca più a lungo.  
B ...Il ghiaccio fondendo assorbe energia dall'acqua.  
C ...Il ghiaccio rimane in superficie e ciò riduce l'effetto di riscaldamento della bibita da parte dell'aria calda.  
D ...L'acqua di fusione del ghiaccio scende sul fondo del bicchiere e ciò assicura un raffreddamento più omogeneo della bibita.  
E ...L'affermazione è sbagliata perché le masse del ghiaccio e dell'acqua sono uguali e quindi i due metodi di raffreddamento sono equivalenti.

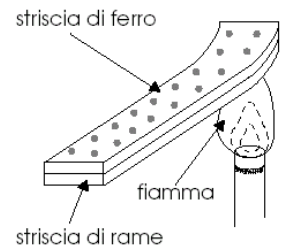
7. A due blocchi di rame, P e Q, viene trasferita la stessa quantità di calore W. La temperatura iniziale dei due blocchi è di 20° C. Si osserva che alla fine la temperatura di P è cresciuta la metà di quanto è cresciuta la temperatura di Q. Se non ci sono perdite di calore si può affermare che...

- A ...la sostanza di cui è fatto P ha un calore specifico doppio di quella di cui è fatto Q.  
B ...la capacità termica di P è doppia della capacità termica di Q.  
C ...la sostanza di cui è fatto P ha un calore specifico che è la metà di quello di cui è fatto Q.

D ...la capacità termica di P è la metà della capacità termica di Q.  
 E ...uno dei due blocchi non è omogeneo

8. Per il rame ed il ferro si conoscono i seguenti valori caratteristici

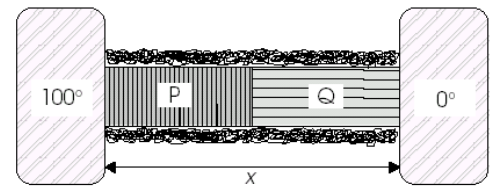
	Ferro	Rame
A Coefficiente di dilatazione termica lineare	$11.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$16.8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
B Calore specifico	$0.60 \times 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$	$0.40 \times 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
C Densità	$7.8 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$	$9.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
D Conduttività termica	$80.4 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	$390 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$



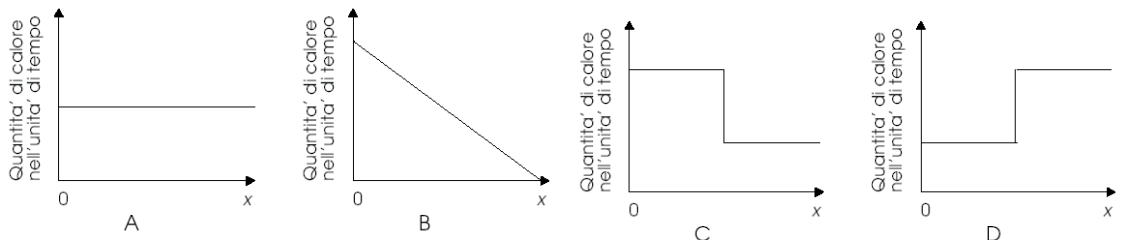
Due sottili strisce uguali, una di ferro ed una di rame, sono attaccate insieme. Riscaldando uniformemente con una fiamma la lamina bimetallica così ottenuta questa si incurva, come si vede nella figura. Il fenomeno illustrato è giustificato da una delle caratteristiche indicate sopra: quale?

A...A e B      B...A      C...D e B      D...A e C      E...A e D

9. Gli estremi di una sbarra sono inseriti, rispettivamente, in un forno a 100°C e in un recipiente contenente una grande quantità di ghiaccio ed acqua a 0°C. La sbarra è isolata termicamente al di fuori dei due recipienti ed è costituita da due parti, P e Q, di uguale lunghezza e sezione, ma di materiali diversi; P conduce il calore meglio di Q. Dopo che si è stabilita una situazione stazionaria, quale dei seguenti grafici rappresenta meglio la velocità del flusso di calore nelle diverse posizioni x lungo la sbarra?



A ...perché il sistema è stazionario      B ... perché si raffredda      C ... perché Q conduce meno bene      D ...perché Q conduce meno bene      E ...come in C ma con una discontinuità più dolce



10. Quando si prende dal congelatore un recipiente metallico spesso accade che questo si attacchi alla pelle. Ciò non succede con un contenitore di vetro perché il metallo

A ...ha calore specifico più basso di quello del vetro.      B ...ha elettroni liberi che passano attraverso la pelle.      C ...conduce il calore meglio del vetro.      D ...è più freddo del vetro.  
 E ... perché le cellule morte della pelle aderiscono meglio ai metalli

11. Una certa quantità di olio da cucina caldo viene lasciata raffreddare fino alla temperatura ambiente. Puoi determinare il calore ceduto dall'olio durante il raffreddamento conoscendone soltanto ...

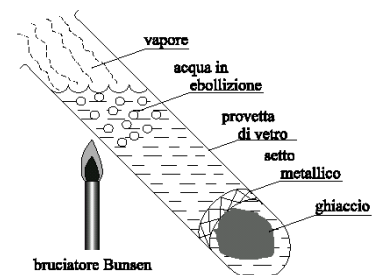
A ...la densità, il volume e la variazione di temperatura  
 B ...il volume, il calore specifico e la variazione di temperatura  
 C ...la densità, il volume e il calore specifico  
 D ...la densità, il volume, la differenza di temperatura e il coefficiente di conduzione  
 E ...la massa, il calore specifico e la variazione di temperatura

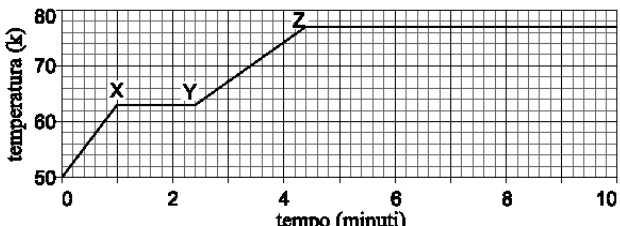
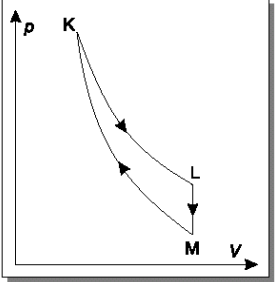
12. Una quantità d'acqua, di massa  $m$  e, inizialmente, a temperatura  $t$  (misurata in °C), viene mescolata in un recipiente termicamente isolante ad una quantità di ghiaccio, di massa  $M$ . Il ghiaccio si trova alla temperatura di fusione. Dopo un certo tempo si raggiunge l'equilibrio termico e non tutto il ghiaccio si è sciolto. Indicando con  $c$  il calore specifico dell'acqua e con  $L$  il calore latente di fusione del ghiaccio, la massa di ghiaccio sciolto è

A ...  $\frac{ML}{c m t}$       B ...  $\frac{c m t}{ML}$       C ...  $\frac{c m t}{L}$       D ...  $\frac{c M t}{L}$

E ...non si può rispondere perché non si conosce la temperatura finale

13. Viene effettuato un esperimento come in figura. Perché il ghiaccio impiega molto tempo per fondersi benché l'acqua all'estremo opposto della provetta stia bollendo? ...



- A ...Non può avvenire convezione nell'acqua.  
 B ...Il ghiaccio irradia il calore molto debolmente.  
 C ...Per effetto della densità anomala dell'acqua  
 D ...L'anello metallico impedisce all'energia di raggiungere il ghiaccio.  
 E ...L'acqua è un cattivo conduttore di calore.
14. Un campione di un certo materiale è stato riscaldato per 10 minuti. Alla temperatura iniziale di 50 K il materiale, con massa 0.15 kg, si presentava allo stato solido. Il grafico qui sotto mostra l'andamento della temperatura del campione mentre gli viene fornito calore a ritmo costante, cioè uguali quantità di calore in tempi uguali e quindi potenza costante. Si sa che il riscaldatore fornisce calore al campione con una potenza di 100 W. Quale affermazione tra quelle indicate è corretta?
- 
- A ...nel primo riscaldamento sono stati forniti 600 J  
 B ...il calore specifico della fase solida è  $3.5 \cdot 10^3$  J/K kg)  
 C ... il calore latente di fusione è maggiore di quello di evaporazione  
 D ... il calore specifico nella fase solida è maggiore di quello nella fase liquida  
 E ... nel tratto XY non c'è cambiamento di energia interna
15. Perché uscendo dall'acqua dopo un bagno, ci si asciuga per non sentire freddo?  
 A ...Perché l'acqua sulla pelle bagnata evapora.      B ...Perché l'acqua isola la pelle dall'aria calda.  
 C ...Perché l'acqua è un buon conduttore del calore.      D ...Perché l'acqua è più fredda dell'aria  
 E ...Perché l'acqua annulla le capacità isolanti del grasso della pelle
16. Una data massa di gas perfetto esegue il ciclo mostrato in figura, dove KL è un'isoterma e MK è un'adiabatica. Quali delle seguenti affermazioni sono corrette? 1 – Il gas non compie lavoro nella trasformazione LM. 2 – La temperatura dello stato K è maggiore di quella dello stato L. 3 – La temperatura dello stato K è maggiore di quella dello stato M. ...
- 
- A ...Tutte e tre      B ...Solo la 3      C ...Solo la 1 e la 3  
 D ...Solo la 1 e la 2      E ...Solo la 2
17. Nei pannelli solari c'è un vetro trasparente, un fondo verniciato di nero, un circuito in cui circola dell'acqua.  
 A ...Si usa il vetro perché è un buon isolante  
 B ...Il fondo nero serve a riflettere la radiazione.  
 C ...Il fondo nero assorbe la radiazione e la cede per contatto alla tubazione  
 D ...Il vetro assorbe la radiazione in ingresso  
 E ...Il vetro ha la funzione dei gas serra dell'atmosfera e il fondo nero prende il posto della terra.
18. Il blocco 1 ha massa doppia rispetto a quella del blocco 2 ed è fatto di un materiale con calore specifico pari al 90% di quello del materiale di cui è fatto il blocco 2. Entrambi i blocchi inizialmente si trovano alla stessa temperatura e, in seguito, vengono entrambi portati ad una stessa temperatura finale maggiore della precedente. La quantità di calore fornita al blocco 1 rispetto a quella fornita al blocco 2 è ...  
 A ... il 180%      B ...il doppio.      C ... il 222%      D ... il 90%  
 E ...non è determinabile se non si conosce la temperatura iniziale.
19. Un forno solare usato per scaldare acqua è costituito da uno specchio concavo di area  $0.50 \text{ m}^2$ . La potenza radiante per unità di superficie, che arriva dal Sole sullo specchio, è  $P = 10^3 \text{ Wm}^{-2}$ . La migliore stima del minimo tempo necessario per riscaldare nel forno 1 kg di acqua da  $30^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$  è ...  
 A ...0.8 min      B ...1.5 min      C ...2.8 min      D ...3.5 min      E ...10 min
20. Un gas in equilibrio termico contiene una miscela di vari tipi di atomi, tra cui elio (He) e neon (Ne) le cui masse atomiche stanno, con buona approssimazione, nel rapporto 1:5. Se la velocità quadratica media degli atomi di elio è  $v_{\text{He}}$ , qual è la velocità quadratica media degli atomi di neon? ...  
 A ...  $1/5 v_{\text{He}}$       B ...  $5v_{\text{He}}$       C ...  $v_{\text{He}}$       D ...  $\sqrt{5} v_{\text{He}}$       E ...  $1/\sqrt{5} v_{\text{He}}$
1. Sia  $g$  l'accelerazione di gravità sulla superficie di un pianeta di raggio  $R$  e sia  $E_c$  la minima energia cinetica che un proiettile di massa  $m$  deve avere sulla superficie del pianeta in modo da poter sfuggire alla sua

attrazione gravitazionale. Quale delle seguenti formule per l'energia cinetica  $E_c$  è dimensionalmente corretta?

[A]  $E_c = \sqrt{gR}$     [B]  $E_c = mgR$     [C]  $E_c = \frac{mg}{R}$     [D]  $E_c = m\sqrt{\frac{g}{R}}$     [E]  $E_c = gR$

2. Per misurare il calore specifico di un metallo, questo è stato riscaldato elettricamente e si sono prese le seguenti misure in modo da rendere trascurabili le dispersioni di calore nell'ambiente:  
 massa del metallo ... 2 kg    differenza di potenziale applicata ... 240 V    intensità di corrente ... 3 A  
 durata del riscaldamento ... 20 s    variazione di temperatura del metallo ... 10°C

Qual è il calore specifico del metallo (ricorda che  $V A = W$ )?

A ...  $(240 \times 3^2 \times 2) : (2 \times 10 \times 20) \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$     B ...  $(2 \times 10 \times 20) : (240 \times 3 \times 60) \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

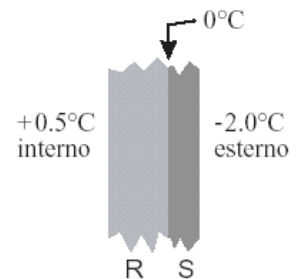
C ...  $(2 \times 10 \times 20) : (240 \times 3) \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$     D ...  $(2 \times 10) : (240 \times 3 \times 20) : \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

E ...  $(240 \times 3 \times 20) : (2 \times 10) \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

3. Una macchina a vapore preleva il vapore da una sorgente a 300°C e lo cede all'ambiente esterno a 100°C. Il rendimento ideale di questa macchina a vapore è circa uguale al ...

A ... 44%    B ... 35%    C ... 47%    D ... 11%    E ... 25%

4. Un contenitore chiuso è termicamente isolato da pareti costituite da due strati di diversi materiali, indicati in figura con R e S. Lo spessore del materiale R che si trova all'interno del contenitore è la metà di quello formato con il materiale S. Nella figura sono riportate le temperature interna ed esterna al contenitore e quella alla giunzione fra gli strati che ne costituiscono le pareti. Determinare il valore del rapporto fra la conducibilità termica di R e quella di S.



A ... 1    B ... 2    C ... 4    D ... 8    E ... 16

5. Il flusso di calore attraverso una lastra di vetro a facce piane parallele, in condizioni stazionarie: 1) è proporzionale alla differenza di temperatura tra le due facce della lastra. 2) raddoppia se l'area della lastra di vetro viene raddoppiata. 3) Vale 3.4 kW per una lastra avente la superficie di 1.5 m<sup>2</sup> sapendo che il gradiente di temperatura è di 2500K/m e la conducibilità termica del vetro è 0.9W/(m·K). Quali delle precedenti affermazioni sono corrette? ...

A ... Tutte e tre    B ... Solo la 1 e la 2    C ... Solo la 2 e la 3    D ... Solo la 1    E ... Solo la 3

6. Un blocco omogeneo di legno galleggia in una vaschetta piena d'acqua a 1°C. La parte immersa del blocco ha volume V. Cosa accade al volume V della parte immersa se la temperatura dell'acqua viene portata lentamente da 1°C a 20°C?

A ... Rimane costante.

B ... Non si può rispondere perché non si conosce il coefficiente di dilatazione del legno.

C ... Diminuisce dall'inizio alla fine del riscaldamento.

D ... Diminuisce fino a che la temperatura è di 4°C e poi aumenta.

E ... Aumenta fino a che la temperatura è di 4°C e poi diminuisce.

7. Il blocco 1 ha massa doppia rispetto a quella del blocco 2 ed è fatto di un materiale con calore specifico doppio di quello del materiale di cui è fatto il blocco 2. Entrambi i blocchi inizialmente si trovano alla stessa temperatura che non viene però precisata e, in seguito, ricevono la stessa quantità di calore. La temperatura finale del blocco 1 rispetto a quella del blocco 2 è ...

A ... un quarto    B ... la stessa    C ... la metà    D ... il doppio

E ... non è determinabile se non si conosce la temperatura iniziale.

8. Un recipiente cilindrico, chiuso in alto da un pistone mobile, contiene una determinata quantità di un gas perfetto. Del calore viene fornito al gas, causando la sua espansione e la salita del pistone. Se tutto il calore fornito è stato convertito in lavoro necessario a sollevare il pistone, allora :

A l'energia interna del gas decresce e la temperatura cresce.

B l'energia interna del gas cresce e la temperatura cresce.

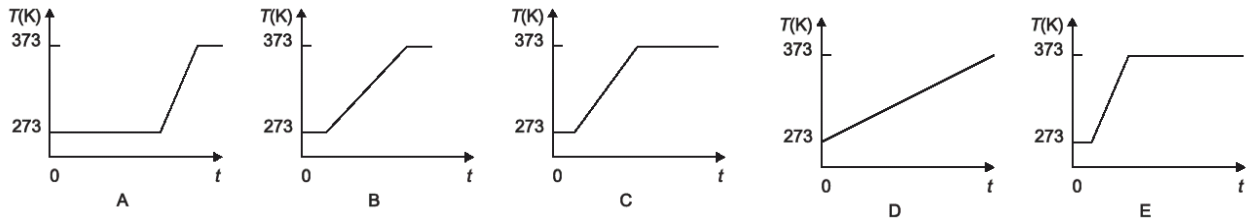
C l'energia interna del gas rimane inalterata e la temperatura cresce.

D l'energia interna del gas rimane inalterata e la temperatura rimane inalterata.

E l'energia interna del gas cresce e la temperatura rimane inalterata.



9. Il calore specifico dell'acqua vale approssimativamente  $4 \times 10^3 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ , il calore latente di fusione del ghiaccio  $3 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$  ed il calore latente di evaporazione dell'acqua  $2 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ . Un chilogrammo di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$  viene fuso interamente, poi viene riscaldato in fase liquida ed infine trasformato completamente in vapore usando un riscaldatore che fornisce una potenza costante. Quale fra i grafici seguenti rappresenta meglio l'andamento della temperatura del sistema al passare del tempo? ...



10. Una sonda spaziale, che si trova alla distanza di  $3 \times 10^{11} \text{ m}$  dal Sole, è dotata di pannelli solari di superficie pari a  $4 \text{ m}^2$  per ricevere l'energia sufficiente al suo corretto funzionamento. Quanto dovrebbe essere al minimo l'area dei pannelli solari per far funzionare la sonda, se questa dovesse essere posta alla distanza di  $6 \times 10^{11} \text{ m}$  dal Sole? ...  
 A ...  $1 \text{ m}^2$       B ...  $2 \text{ m}^2$       C ...  $4 \text{ m}^2$       D ...  $8 \text{ m}^2$       E ...  $16 \text{ m}^2$
11. Una massa di  $10 \text{ kg}$  di acqua alla temperatura di  $10^\circ\text{C}$  viene aggiunta ad una massa di  $20 \text{ kg}$  di acqua alla temperatura di  $40^\circ\text{C}$ . Trascurando la capacità termica del recipiente e le perdite di calore, la temperatura di equilibrio sarà prossima a ...  
 A ...  $20^\circ\text{C}$       B ...  $25^\circ\text{C}$       C ...  $30^\circ\text{C}$       D ...  $33^\circ\text{C}$       E ...  $35^\circ\text{C}$
12. Una sbarra metallica ha lunghezza  $L$  e sezione trasversale di area  $A$ . Un'estremità della sbarra è tenuta a temperatura costante  $t_1$ , l'altra a temperatura costante  $t_2$ . Sia  $t_1 > t_2$ . Quali, tra le seguenti affermazioni riguardanti il flusso termico (quantità di calore trasportato per unità di tempo) attraverso la sbarra, sono corrette? ...  
 1 - Il flusso termico è proporzionale a  $1/(t_1 - t_2)$   
 2 - Il flusso termico è proporzionale ad  $A$ .  
 3 - Il flusso termico è proporzionale a  $L$ .  
 A .... Solo la 1      B .... Solo la 2      C .... Solo la 1 e la 2      D .... Solo la 1 e la 3  
 E .... Solo la 2 e la 3
13. Il volume di un cilindro contenente un gas perfetto si raddoppia senza che vari la temperatura e la quantità di gas contenuto. Tra i cambiamenti indicati qui sotto, quali sono quelli che avvengono nel gas? ...  
 A ...La densità raddoppia e la pressione raddoppia  
 B ...La pressione si dimezza e la densità raddoppia  
 C ...La pressione raddoppia e la densità si dimezza  
 D ...Tanto la pressione quanto la densità si dimezzano  
 E ...La pressione raddoppia e sulla densità non ci si può pronunciare perché dipende dalla massa atomica
14. Quale dei seguenti valori rappresenta la stima migliore del numero di molecole presenti nell'aria contenuta in  $1 \text{ m}^3$  d'aria? ... (numero di massa 30, densità  $1.3 \text{ kg/m}^3$ )  
 A ...  $10^{18}$       B ...  $10^{20}$       C ...  $10^{22}$       D ...  $10^{25}$       E ...  $10^{27}$
15. Il foro di una pompa da bicicletta è otturato con un piccolo tappo di gomma in modo tale da intrappolare l'aria contenuta nella camera C, come mostrato in figura. Il pistone viene ora premuto lentamente in modo da comprimere l'aria contenuta nella camera C senza far aumentare la temperatura grazie ad uno scambio termico con l'ambiente esterno. Quale delle seguenti affermazioni spiega perché la pressione aumenta? 1) Le molecole d'aria aumentano la loro velocità quadratica media 2) Le molecole d'aria urtano più frequentemente con le pareti della camera C. 3) Ogni molecola d'aria colpisce le pareti della camera con una forza maggiore.  
 A ...Soltanto la 1      B ...Soltanto la 2      C ...Sia la 1 che la 2  
 D ...Sia la 1 che la 3      E ...Tutte e tre





suo volume a partire dalle stesse condizioni iniziali, il gas compie un lavoro  $\mathcal{L}_a$ . Quale affermazione è corretta?

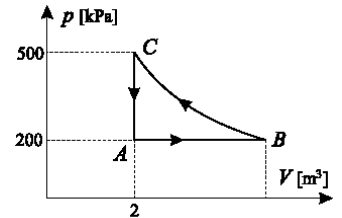
- A ...  $\mathcal{L}_i = \mathcal{L}_a$       B ...  $0 = \mathcal{L}_i < \mathcal{L}_a$       C ...  $0 < \mathcal{L}_i < \mathcal{L}_a$   
 D ...  $0 = \mathcal{L}_a < \mathcal{L}_i$       E ...  $0 < \mathcal{L}_a < \mathcal{L}_i$

17. Un motore ideale assorbe calore da una sorgente termica a temperatura maggiore e cede calore ad una sorgente a temperatura minore. Se il calore ceduto alla sorgente a bassa temperatura è 5 volte il lavoro fatto dal motore, il suo rendimento è:

- A 0.17      B 0.21      C 0.25      D 0.33  
 E 0.50

18. Una certa quantità di gas perfetto esegue il ciclo reversibile nel verso mostrato in figura. Il lavoro sviluppato dal gas in un ciclo ha un valore prossimo a ...

- A ...600 kJ      B ...300 kJ      C ...0      D ...-300 kJ  
 E ... -600 kJ



19. Appena accesa una lampadina ad incandescenza, se vi avvicini la mano, senti caldo ma se tocchi il vetro del bulbo senti che è ancora freddo. Quale dei seguenti processi può spiegare questo fatto? ...

- A ...II filamento trasmette calore per convezione al gas dentro la lampadina e questo riscalda l'aria circostante.  
 B ...II vetro del bulbo è trasparente alla radiazione termica proveniente dal filamento incandescente.  
 C ...L'aria trasmette il calore meglio del vetro.  
 D ...II vetro del bulbo riflette la radiazione termica proveniente dal filamento incandescente.  
 E ...Si tratta di una sensazione falsa

20. Il primo principio della termodinamica può essere espresso dall'equazione  $\Delta U = Q - \mathcal{L}$  dove  $\Delta U$  è la variazione dell'energia interna di un corpo,  $Q$  è il calore trasmesso al corpo e  $\mathcal{L}$  il lavoro fatto dal corpo sull'ambiente. Quali delle seguenti affermazioni relative all'applicazione dell'equazione ad un gas perfetto sono vere? 1) Se  $\Delta U$  è positiva, allora la temperatura del gas aumenta. 2) Se  $Q$  è positivo, allora  $\mathcal{L}$  è positivo. 3) Se  $Q$  è positivo, allora la temperatura del gas cresce. ...

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