

qua situati a quote differenti.

Si stabilisca quali grandezze meccaniche corrisponderanno alle temperature dei termostati; si individuino anche i difetti fondamentali dell'analogia.

- 18 Sviluppare un percorso logico a partire dai seguenti termini: *velocità traslazionale delle molecole; temperatura; calore; energia molecolare.*

- 19 La pressione esercitata dalle molecole di un gas su una parete è sicuramente proporzionale all'impulso trasferito dalle molecole alla parete stessa. La pressione dovrebbe pertanto risultare proporzionale alla prima potenza della velocità delle molecole. Perché invece risulta proporzionale al quadrato della velocità?

- 20 In un gas, pressione e temperatura assoluta si dimezzano; come varia il volume?

- 21 Se la velocità, supposta identica, di tutte le molecole di un gas ideale si dimezzasse, quale sarebbe il rapporto fra la temperatura iniziale e finale del gas?

- 22 In un contenitore sono mescolate, alla medesima temperatura, molecole di elio e molecole di argon. Hanno la stessa energia cinetica? Hanno la stessa velocità?

- 23 È dato un certo volume di un gas ideale. Se si raddoppia la pressione tenendo costante il volume, come variano la temperatura e la velocità delle molecole del gas?

- 24 È dato un volume V di un gas ideale. Se si dimezza la temperatura, mantenendo costante la pressione, come variano il volume del gas e la velocità delle molecole che costituiscono il gas?

Problemi

Unità 1

- 1 La temperatura di un corpo è di 390 K. Esprimerla in $^{\circ}\text{C}$.
[$t = 116,85^{\circ}\text{C}$]

- 2 Trasformare in kelvin le seguenti temperature centigrade: 50°C ; -200°C ; $-373,15^{\circ}\text{C}$.
[323,15 K; 73,15 K; fisicamente impossibile]

- 3 La temperatura di un liquido passa da 0°C a 320 K. Calcolare il salto termico corrispondente in $^{\circ}\text{C}$.
[$\Delta t = 46,85^{\circ}\text{C}$]

- 4 Una fune metallica che a 0°C è lunga 50 m si allunga di 2 mm a seguito di un innalzamento di temperatura di 20°C . Determinare il coefficiente di dilatazione lineare del metallo di cui è costituita.
[$\lambda = 2 \cdot 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$]

- 5 Un cubo a 0°C è realizzato con un materiale avente coefficiente di dilatazione volumica pari a $10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$. Determinare

la variazione volumica percentuale $[(V_t - V_0)/V_0] \cdot 100$ quando la sua temperatura viene portata al valore $t = 200^{\circ}\text{C}$.

[0,2%]

- 6 Un ipotetico materiale ha un coefficiente di dilatazione lineare pari a $10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$. Un filo di questo materiale, alla temperatura di 100°C , è lungo 1000 m. Quale sarà la sua lunghezza alla temperatura di 200°C ?

[$l_{200^{\circ}\text{C}} = 1090 \text{ m}$]

- 7 Il mercurio ha un coefficiente di dilatazione volumica $k = 0,18 \cdot 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$. Calcolare la variazione percentuale della sua densità relativa $[100(\delta_{100} - \delta_0)/\delta_0]$ quando viene portato dalla temperatura di 0°C alla temperatura di 100°C .

[−1,77%]

- 8 Un pendolo viene realizzato con un sottilissimo filo di acciaio ($\lambda = 1,1 \cdot 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$). Alla temperatura di 0°C e in una zona in cui $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, esso batte esattamente il secondo. A un certo istante il pendolo viene portato in un ambiente la cui temperatura è 30°C . Determinare il ritardo del pendolo dopo un giorno rispetto a un cronometro campione. (Tenere presente che il periodo T del pendolo è dato da $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, con l = lunghezza del pendolo e g = accelerazione di gravità).

[$\Delta t = 14,25 \text{ s}$]

- 9 Dimostrare che il coefficiente di dilatazione volumica di una sostanza è all'incirca pari a tre volte il corrispondente coefficiente di dilatazione lineare.

- 10 Dimostrare che se S_0 è l'area di una superficie solida isotropa quadrata alla temperatura di 0°C , l'area S_t della medesima superficie a $t^{\circ}\text{C}$ è data, in prima approssimazione, da: $S_t = S_0(1 + \sigma t)$, con $\sigma = 2\lambda$, essendo λ il coefficiente di dilatazione lineare.

- 11 Un recipiente di vetro a 0°C contiene 150 cm^3 d'acqua anch'essa a 0°C . Il sistema viene portato a 60°C e si nota che, così operando, fuoriescono $3,9 \text{ cm}^3$ di acqua. Sapendo che il coefficiente di dilatazione volumica del vetro è $2,7 \cdot 10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$, determinare il coefficiente di dilatazione volumica dell'acqua. Trascurare l'effetto dell'evaporazione.
[$K_{\text{acqua}} = 4,56 \cdot 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$]

- 12 A un corpo di massa 0,5 kg vengono fornite 1500 cal. A seguito di ciò la temperatura del corpo aumenta di 30°C . Determinare il calore specifico del corpo in $\text{cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$.
[$C = 0,1 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$]

- 13 Un corpo di massa 2 kg e calore specifico uguale a $0,2 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ si trova alla temperatura di -20°C . A esso vengono fornite 6 kcal. Determinare la temperatura finale del corpo in kelvin.
[$T_f = 268,15 \text{ K}$]

- 14 Una stessa quantità di calore viene fornita una volta a un corpo di massa M e una volta a un corpo di massa $4M$. Nel primo caso si ottiene un salto termico che risulta il doppio

del salto termico che si ottiene con il secondo corpo. Determinare il rapporto tra il calore specifico del primo corpo e del secondo corpo.

[$C_1/C_2 = 2$]

- 15 Un fornello elettrico è in grado di fornire 5000 cal/minuto. Su di esso viene posto un recipiente metallico contenente 2 kg di acqua a 20°C . Determinare dopo quanto tempo l'acqua si è portata alla temperatura di 50°C sapendo che il 40% del calore erogato dal fornello viene assorbito dall'ambiente che circonda l'acqua.

[$t = 20 \text{ minuti}$]

- 16 In un calorimetro si mescolano 200 g di acqua a 50°C con 400 g di acqua a 90°C . Si determini la temperatura finale t_f dell'acqua supponendo che non vi siano perdite di calore verso l'esterno.

[$t_f = 76,7^{\circ}\text{C}$]

- 17 Un corpo di massa 250 g e calore specifico $0,2 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ viene immerso in 150 g di acqua che si trovano alla temperatura di 20°C . La temperatura iniziale del corpo è di 120°C . Determinare la temperatura di equilibrio del sistema.

[$t = 45^{\circ}\text{C}$]

- 18 Calcolare il calore specifico di una sostanza solida sapendo che 250 g di questa, immersi in 500 g di acqua contenuta in un calorimetro, ne innalzano la temperatura da 20°C a 25°C . La temperatura del corpo, al momento dell'immersione, era di 100°C . Si trascurino tutte le eventuali dissipazioni di calore.

[$C = 0,13 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$]

- 19 Una massa di acqua di 900 g si trova a 80°C . In essa viene introdotto un blocchetto di alluminio alla temperatura di -20°C . In assenza di perdite di calore verso l'esterno, il sistema raggiunge la temperatura di equilibrio di 65°C . Sapendo che il calore specifico dell'alluminio vale $0,23 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$, si determini la massa del cubetto di alluminio.
[$m = 691 \text{ g}$]

- 20 Un miscuglio di due sostanze avente massa complessiva di 5 kg alla temperatura di 50°C viene immerso in 8 kg di acqua a 10°C . Il calore specifico delle due sostanze è, rispettivamente, $0,14 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ e $0,07 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ e la temperatura finale del sistema è di 13°C . Calcolare la quantità delle due sostanze che costituiscono il miscuglio.
[$m_1 = 4266 \text{ g}$; $m_2 = 734 \text{ g}$]

- 21 In un calorimetro delle mescolanze contenente 300 g di acqua a 20°C vengono introdotti un blocco di rame di 200 g e uno di argento di 150 g, entrambi a 100°C . Determinare il salto termico dell'acqua (calore specifico del rame = $0,092 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$; calore specifico dell'argento = $0,0558 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$).
[$\Delta t_{\text{acqua}} = 6,6^{\circ}\text{C}$]

- 22 Per fondere 10 kg di una sostanza solida che si trova già alla temperatura di fusione si dimostrano necessarie $5 \cdot 10^6 \text{ cal}$. Determinare il calore di fusione della sostanza.
[$c_f = 50 \text{ cal/g}$]

- 23 Una sostanza è caratterizzata dai seguenti valori: calore specifico allo stato solido = $0,5 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$; calore di fusione = 40 cal/g ; calore specifico allo stato liquido = $1,2 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$; calore di ebollizione = 200 cal/g ; temperatura di fusione = 30°C ; temperatura di ebollizione = 120°C . Determinare quanto calore si deve fornire alla sostanza (in assenza di ogni tipo di perdite di calore) per far passare 100 g di essa dalla temperatura di 0°C allo stato di aeriforme alla temperatura di 120°C .

[$Q = 36300 \text{ cal} = 36,3 \text{ Kcal}$]

- 24 In un bicchiere contenente 100 cm^3 di acqua a 20°C viene introdotto un cubetto di ghiaccio di 10 g, alla temperatura di 0°C . Quale sarà la temperatura dell'acqua dopo che tutto il ghiaccio sarà fuso, supponendo che, nel frattempo, l'ambiente esterno abbia fornito all'acqua 200 cal? (Assumere per il calore latente del ghiaccio il valore di 80 cal/g).
[$t_{\text{acqua}} = 12,7^{\circ}\text{C}$]

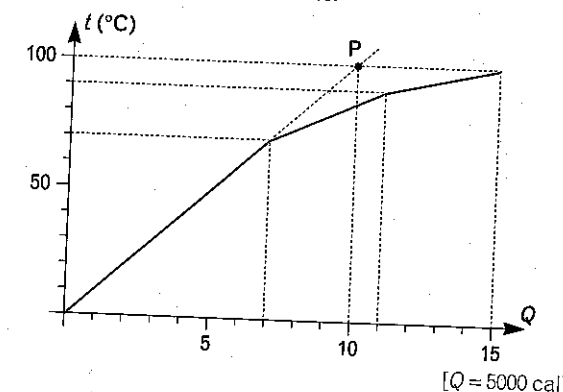
- 25 100 g di latte ($C = 1 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$) a 20°C vengono riscaldati con un getto di vapore che si trova a 100°C . Alla fine, la massa di liquido è di 103 g. Trascurando gli scambi di calore con l'esterno, prevedere quale sarà la temperatura finale del latte. (Assumere per il calore latente di condensazione del vapore il valore di 540 cal/g).

[$t_{\text{finale}} = 38,1^{\circ}\text{C}$]

- 26 In un lento processo di riscaldamento di 200 g di acqua da 60°C a 100°C evaporano 10 g di acqua. Assumendo per il calore latente di vaporizzazione dell'acqua il valore costante di 540 cal/g , stabilire, con un calcolo di prima approssimazione, il calore totale che si deve fornire all'acqua per eseguire il riscaldamento.

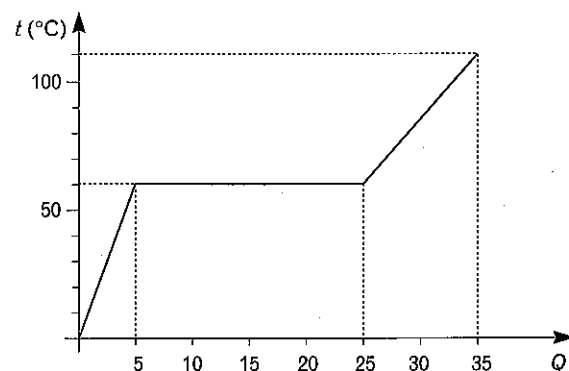
[$Q = \text{circa } 13000 \text{ cal}$]

- 27 A causa delle dispersioni di calore e della concomitante evaporazione di parte dell'acqua, il riscaldamento di 100 g di acqua da 0°C a 100°C può essere schematizzato come in figura (in realtà la spezzata diviene una linea continua). Determinare quanto calore in più si deve fornire all'acqua per realizzare il processo rispetto a quello che sarebbe necessario per portarla da 0°C a 100°C in assenza di dispersioni di calore e di evaporazione. Attenzione che le divisioni dell'asse Q sono arbitrarie.



- 28 Sulla base del grafico riportato in figura e sapendo che il calore specifico della sostanza, della quale il grafico rap-

presenta il passaggio di stato, nella sua fase liquida vale $0,8 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$, determinare il calore latente di fusione della sostanza e il calore specifico della sua fase solida. La massa della sostanza che esegue la trasformazione è 100 g . Attenzione che l'unità di scala per l'asse Q è da determinare.



$$[c(\text{fusione}) = 80 \text{ cal/g; } C(\text{solido}) = 0,33 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})]$$

- 29** 200 g di ferro alla temperatura di 200°C vengono gettati in una pentola dove sta bollendo una notevole quantità d'acqua (temperatura di ebollizione = 100°C). Determinare quanta acqua evapora a seguito del fenomeno. Assumere per il ferro il calore specifico di $0,1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ e per il calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 100°C il valore di 540 cal/g .

$$[m_{\text{acqua}} = 3,7 \text{ g}]$$

- 30** Il Sole invia, in media, sulle regioni del nostro pianeta disposte perpendicolarmente ai suoi raggi, $2 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \text{ minuto})$. Determinare quanta acqua evapora da una superficie di 1 km^2 in un'ora durante la quale il Sole si può ritenere perpendicolare a essa e supponendo che tutto il calore venga impiegato per l'evaporazione. La temperatura dell'acqua sia di 20°C e il calore latente di vaporizzazione a quella temperatura valga 580 kcal/kg .

$$[m_{\text{acqua}} = 2,07 \cdot 10^6 \text{ kg}]$$

- 31** In un calorimetro perfettamente isolante vengono posti 500 g di acqua alla temperatura di 40°C . Successivamente vengono introdotti 60 g di ghiaccio appena estratti da un congelatore alla temperatura di -20°C . Determinare la temperatura finale del sistema (assumendo come calore latente del ghiaccio a 0°C il valore di 80 cal/g e come calore specifico del ghiaccio il valore di $0,5 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$).

$$[t_f = 26,1^\circ\text{C}]$$

- 32** In un calorimetro sono contenuti 200 g di acqua alla temperatura di 20°C . Esso viene posto sotto una campana per vuoto, nella quale viene stabilita una pressione molto bassa, tale da consentire l'ebollizione dell'acqua. Dopo un po' di tempo, il processo di ebollizione viene interrotto e si trova che la massa d'acqua si è ridotta a 195 g . Supponendo che tutto il calore necessario per l'evaporazione dell'acqua sia stato assorbito dall'acqua stessa e che il calore latente di evaporazione, nelle condizioni in cui essa è avvenuta, valga 580 cal/g , determinare approssimativamente la temperatura finale dell'acqua.

$$[t_f = 5,5^\circ\text{C}]$$

Unità 2

- 33** Un cilindro dotato di pistone mobile di massa trascurabile racchiude un gas ideale in un volume di 10 dm^3 quando la sua temperatura vale 0°C . La massa del gas è di 10 g e il suo calore specifico vale $0,2 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$. Al gas vengono ora fornite 100 cal . Determinare il volume finale del gas supponendo che la pressione esterna al cilindro non subisca alcuna variazione.

$$[V_f = 11,8 \text{ dm}^3]$$

- 34** Un gas si trova in un recipiente ermeticamente chiuso. La sua temperatura è di 0°C e la sua pressione di 10^5 Pa . La temperatura viene abbassata di 30°C . Determinare la pressione P_f del gas in questa nuova situazione.

$$[P_f = 0,89 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$$

- 35** Un gas ideale è contenuto in un recipiente di volume costante. La sua temperatura è di 200°C , mentre la sua pressione vale $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Determinare il valore della pressione del gas dopo che la sua temperatura è stata portata a 400°C .

$$[P_f = 2,85 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$$

- 36** In un gas ideale, a volume costante, raddoppia la pressione. Se la temperatura iniziale del gas è pari a 17°C , quale sarà la temperatura finale, sempre espressa in gradi centigradi?

$$[T_f = 580 \text{ K} = 307^\circ\text{C}]$$

- 37** 56 g di azoto sono contenuti in un recipiente di volume 10 dm^3 alla temperatura di 27°C . Determinare la pressione esercitata dal gas. Si tenga presente che la massa molare dell'azoto è 28 g/mol .

$$[P = 4,99 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$$

- 38** Due recipienti di ugual volume contengono due gas diversi alla temperatura identica di 300 K . Nel primo recipiente si rileva una pressione tripla di quella dell'altro. Determinare il rapporto tra il numero di moli del gas contenute nel primo recipiente e il numero di moli del gas contenute nel secondo recipiente.

$$[n_1/n_2 = 3]$$

- 39** Un recipiente di 2 m^3 contiene un aeriforme a 0°C e 760 torr . Il volume del recipiente viene portato a 3 m^3 , mentre la temperatura dell'aeriforme viene portata a 100°C . Determinare la pressione finale dell'aeriforme in pascal.

$$[P = 0,92 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$$

- 40** Un aeriforme alla temperatura di 500 K occupa il volume di 2 m^3 . Quale volume occuperà alla temperatura di 300 K nell'ipotesi che la variazione termica sia avvenuta a pressione costante?

$$[V_{300 \text{ K}} = 1,2 \text{ m}^3]$$

- 41** Due moli di un gas sono inizialmente a 3 atm e occupano il volume di 20 l . Calcolare il volume finale V_f del gas se la pressione dimezza e la temperatura scende di 100°C . Calcolare inoltre la temperatura finale T_f del gas.

$$[V_f = 29 \text{ l; } T_f = 264 \text{ K}]$$

- 42** La densità dell'azoto alla temperatura di 0°C e alla pressione di $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ è di $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$. Determinare la densità del medesimo a 100°C e alla pressione di $2,02 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

$$[\delta = 1,83 \text{ kg/m}^3]$$

- 43** Un gas ha un volume di $0,8 \text{ dm}^3$ e una pressione di $3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ alla temperatura di -100°C . Quale temperatura assume il gas se la pressione scende a $2,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e il volume aumenta a $1,2 \text{ dm}^3$? Di quante moli è composto il gas?

$$[t = -65,4^\circ\text{C; } n = 0,195 \text{ mol}]$$

- 44** 10 l di ossigeno a 5 atm e 30°C vengono introdotti in una bombola di capacità 20 l unitamente a 25 l di azoto a 10 atm e 20°C . Al termine dell'operazione, che avviene con contemporaneo riscaldamento, la temperatura della bombola è di 40°C . Determinare la massa di gas contenuta nella bombola e la sua pressione in pascal.

$$[\text{massa totale di gas} = 354 \text{ g; pressione} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Pa}]$$

- 45** Un gas ha un volume iniziale $V = 40 \text{ l}$, una pressione $P = 3 \text{ atm}$ e una temperatura $t = 400^\circ\text{C}$. A temperatura costante, il volume è ridotto a 30 l . Successivamente, tenendo costante il nuovo volume, la temperatura viene fatta scendere a 200°C . Calcolare la pressione finale, il numero di moli del gas e fare un grafico delle due trasformazioni subite.

$$[P_f = 2,81 \text{ atm; } n_{\text{moli}} = 2,17]$$

- 46** Una bombola di capacità $V = 20 \text{ dm}^3$ contiene azoto alla pressione di 10^7 Pa e 20°C . La bombola viene posta in comunicazione con un'altra, vuota e di capacità 10 dm^3 . Dopo che l'ae-

riforme ha riacquisito la temperatura di equilibrio (identica a quella che possedeva quando era contenuto nella prima bombola) quanto vale la sua pressione nelle bombole? Quanti kilogrammi di azoto sono contenuti in ciascuna bombola?

$$[P = 6,67 \cdot 10^6 \text{ Pa; } m_1 = 1,55 \text{ kg; } m_2 = 0,776 \text{ kg}]$$

Unità 3

- 47** In un recipiente di 20 dm^3 sono contenute due moli di elio. La pressione esercitata dal gas è di $2,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Determinare la velocità media delle molecole di elio.

$$[v = 1370 \text{ m/s}]$$

- 48** Un gas ideale è costituito da atomi di massa molare 70 g/mole . La velocità media delle sue molecole risulta uguale a 450 m/s . Determinare la sua temperatura.

$$[T = 571 \text{ K}]$$

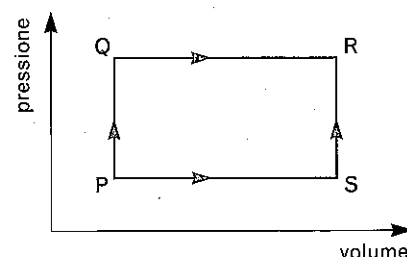
- 49** Un recipiente contiene neon alla temperatura di 273 K . Il recipiente viene riscaldato a volume costante fino alla temperatura di 373 K . Determinare la velocità media delle molecole di neon prima e dopo il riscaldamento.

$$[v_1 = 579 \text{ m/s; } v_2 = 676 \text{ m/s}]$$

- 50** Due gas si trovano nello stesso recipiente alla stessa temperatura. Le molecole del primo gas hanno massa doppia di quelle del secondo gas. Determinare il rapporto fra la velocità media delle molecole del primo e del secondo gas.

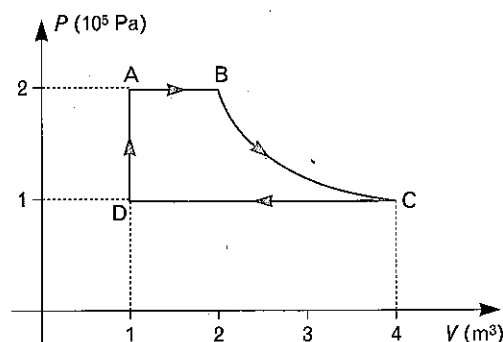
$$[v_1/v_2 = 0,707]$$

- D** assorbe 10 J di calore
E cede 12 J di calore



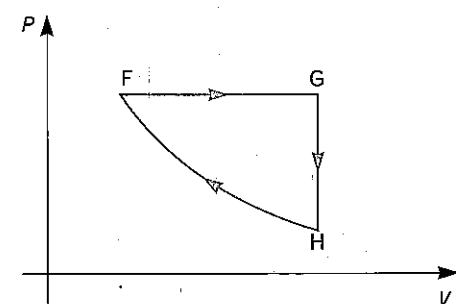
- 10** da Olimpiadi della fisica 1990, prova locale
Un gas ideale compie le trasformazioni rappresentate in figura. Quale delle seguenti affermazioni è quella corretta?

- A** BC è un'espansione adiabatica.
B Il lavoro compiuto dal gas durante la trasformazione AB è uguale a quello fatto sul gas nella trasformazione CD.
C Non viene fatto lavoro durante la trasformazione DA.
D Non viene fatto lavoro durante la trasformazione BC.
E Non viene fatto lavoro in un ciclo completo.



- 11** da Olimpiadi della fisica 1989, prova locale
La figura seguente mostra l'andamento della pressione P di un gas ideale in funzione del volume V in una trasformazione ciclica. La temperatura del gas è costante lungo HF. L'energia interna del gas è la stessa nei punti:

- A** F, G e H
B F e H ma non G
C F e G ma non H
D G e H ma non F
E nessuna coppia di punti



Quesiti

- Sviluppare un percorso logico a partire dai seguenti termini: *primo principio della termodinamica; calore specifico a volume costante; calore specifico a pressione costante; costante generale dei gas ideali; modello di gas ideale.*
- Un corpo di massa m termicamente isolato cade liberamente per un tratto h fermandosi quindi sul terreno. Esso compie dunque del lavoro ma la sua temperatura alla fine è aumentata e ciò contraddice il primo principio della termodinamica. Dov'è l'errore in questa affermazione?
- In un sistema isolato a temperatura uniforme la temperatura delle varie parti del sistema resta immutata?
- È possibile avere una variazione della temperatura di un sistema senza che questo scambi calore con l'esterno?
- Un gas è caratterizzato da volume V_1 , pressione P_1 e temperatura T_1 . Esso viene portato al volume $V > V_1$ una volta mediante una trasformazione isoterma e un'altra volta mediante una trasformazione isobara. In quale dei due casi si compie più lavoro?
- Un ventilatore in funzione in una stanza perfettamente adiabatica è in grado di abbassare la temperatura dell'aria?
- Due gas ideali diversi possiedono la stessa massa complessiva e sono contenuti in due recipienti identici. Se si fornisce a essi la medesima quantità di calore, le variazioni della loro energia interna saranno identiche o diverse? E quelle della loro temperatura?
- Due cilindri con pistone contengono un identico numero di moli di gas inizialmente alla stessa temperatura e pressione. I due sistemi vengono riscaldati separatamente in modo tale da ottenere un medesimo salto termico. Uno però viene riscaldato a volume costante e l'altro a pressione costante. In quale dei due casi si deve fornire più calore? In quale dei due casi si compie maggior lavoro contro l'esterno? La variazione dell'energia interna nei due casi è uguale o diversa?

Problemi

Unità 1

- A un sistema che sta compiendo un lavoro totale di 4180 J vengono fornite 500 cal. Determinare la variazione dell'energia interna del sistema.
[$\Delta U = -2090 \text{ J}$]
- Un corpo di massa 2 kg e calore specifico $0,1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$ subisce un aumento termico di 100°C . Determinare, in joule, la variazione della sua energia interna.
[$\Delta U = 8,36 \cdot 10^4 \text{ J}$]
- Lungo il percorso di un fiume c'è una cascata alta 50 m. Calcolare l'aumento di temperatura dell'acqua che si ri-

scontra alla base della cascata supponendo che la velocità del fiume, a monte e a valle della cascata, sia identica e trascurando gli scambi termici con l'esterno.

$$[\Delta t = 0,12^\circ\text{C}]$$

- Una lastra abrasiva viene strisciata 10 volte su una superficie metallica per un tratto di 10 cm. La forza di attrito che si sviluppa in ciascuna strisciata è di 20 N. Determinare il calore sviluppato nell'operazione esprimendolo in calorie.
[$Q = 4,78 \text{ cal}$]
- Un meteorite di massa 1000 kg entra nell'atmosfera con una velocità di 10 km/s. Per effetto della forza di attrito la sua velocità si riduce in breve tempo a 9,9 km/s. Si determini la temperatura raggiunta dal meteorite supponendo che la sua temperatura iniziale sia di 100 K, che il suo calore specifico valga $0,1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$ e che il meteorite non fonda per il calore ricevuto. Trascurare l'irraggiamento di calore verso l'esterno.

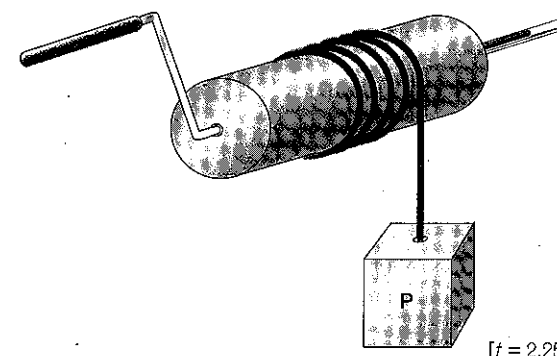
$$[T = 2480 \text{ K}]$$

- Un carrello di massa 100 g è lanciato su una guida senza attrito, alla velocità di 100 m/s, contro un identico carrello, inizialmente fermo. Dopo l'urto i due carrelli proseguono agganciati. Determinare l'aumento di temperatura del sistema dei due carrelli, sapendo che il loro calore specifico vale $0,1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$.

$$[\Delta t \approx 3^\circ\text{C}]$$

- 300 g di acqua si trovano sul fondo di un tubo chiuso ai due estremi, disposto verticalmente, e lungo 1,5 m. Mescolato all'acqua c'è 1 kg di piccoli pallini di piombo il cui calore specifico vale $0,031 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$. Il tubo viene capovolto più volte, fino a quando un apposito sensore indica che la temperatura dell'acqua (e dei pallini di piombo) è aumentata di 2°C . Determinare quante volte è stato capovolto il tubo.
[circa 145 volte]

- La figura rappresenta un calorimetro rotante senza la sua struttura di sostegno. Quando si fa ruotare la manovella, la fune alla quale è appeso il corpo P striscia sul calorimetro senza avvolgersi su di esso. Sapendo che il diametro del calorimetro è 6 cm, che in esso sono contenuti 50 g di acqua, che il peso di P vale 50 N, stabilire di quanto aumenta la temperatura dell'acqua dopo 50 giri della manovella. Trascurare il calore dissipato all'esterno e assorbito dalle pareti metalliche del calorimetro.



$$[t = 2,25^\circ\text{C}]$$

Unità 2

- Un serbatoio contenente gas varia il suo volume di 5 m^3 . La pressione esterna a esso vale 0,95 bar. Determinare il lavoro compiuto nell'espansione.
[$L = 4,75 \cdot 10^5 \text{ J}$]
- Un palloncino di forma sferica avente un raggio di 5 cm viene gonfiato con del gas fino ad assumere un raggio di 20 cm. La pressione esterna al palloncino vale 10^5 Pa . Determinare il lavoro che si compie nell'espansione.
[$L = 3300 \text{ J}$]
- Un cilindro di sezione 2 dm^2 è dotato di stantuffo che può muoversi senza attrito. Inizialmente lo stantuffo è bloccato e nel cilindro è contenuto del gas a pressione molto più elevata di quella esterna, che vale 10^5 Pa . Si sblocca ora lo stantuffo e gli si lascia eseguire una corsa di 10 cm. Determinare il lavoro compiuto dal gas.
[$L = 200 \text{ J}$]
- Il calore specifico dell'elio espresso in $\text{J/(g } ^\circ\text{C)}$ vale 3,11. Determinare il suo calore specifico molare.
[$L = 12,44 \text{ J/(mol K)}$]
- L'azoto ha un calore specifico molare a volume costante di circa 21 J/(mol K) . Determinare il suo calore specifico molare a pressione costante esprimendolo anche in $\text{cal/(g } ^\circ\text{C)}$.
[$C_{mP} = 29,314 \text{ J/(mol K)}$; $0,25 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$]
- In una trasformazione isocora si realizza una variazione di energia interna pari a -2090 J . Determinare il valore e il segno del calore scambiato dal sistema con l'esterno.
[$Q = -2090 \text{ J}$]
- 3 moli di un gas ideale, il cui calore specifico molare a volume costante vale 20 J/(mol K) e che sono contenute in un recipiente ermeticamente chiuso, ricevono 400 cal. La temperatura iniziale del gas è di 20°C . Determinare la temperatura finale del gas in kelvin.
[$T = 320,9 \text{ K}$]
- In una trasformazione isobara di due moli di ossigeno la temperatura passa da 40°C a 80°C a seguito di un rifornimento di calore pari a 558 cal. Sulla base di questi valori determinare il calore specifico molare dell'ossigeno a volume costante.
[$C_{mV} = 20,85 \text{ J/(mol K)}$]
- Una mole di gas ideale monoatomico è contenuta in un cilindro dotato di pistone mobile senza attrito e di peso trascurabile. Inizialmente la sua pressione vale 10^5 Pa e la sua temperatura $-73,15^\circ\text{C}$. Si fornisce calore al gas mantenendo la sua pressione costante e fino a quando il suo volume diviene doppio. Determinare la temperatura finale del gas, il lavoro compiuto da esso, il calore fornito al gas.
[$T_f = 400 \text{ K}$; $L = 1,66 \cdot 10^3 \text{ J}$; $Q = 4157 \text{ J}$]
- 3 moli di gas monoatomico vengono riscaldate alla pres-

sione costante di 1,5 atm facendolo espandere da 40 l a 60 l. Calcolare il lavoro compiuto dal gas e l'aumento di temperatura del gas.

$$[L = 3,03 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta T = 121,5 \text{ K}]$$

- 19 10 g di aeriforme ideale monoatomico di massa molare 20 g/mole, contenuti in un cilindro disposto orizzontalmente, dotato di stantuffo mobile, ricevono una quantità di calore pari a 1000 J. Il riscaldamento viene effettuato a pressione costante e in totale assenza di attriti e si sa che la pressione esterna vale 10^5 Pa . Determinare:

- il salto termico del gas;
- la variazione della sua energia interna;
- il lavoro fatto contro l'esterno;
- la variazione volumica.

$$[\Delta t = 96 \text{ K}; \Delta U = 599 \text{ J}; L = 401 \text{ J}; \Delta V = 0,004 \text{ m}^3]$$

- 20 In un recipiente ermeticamente chiuso sono contenuti 1000 g di un gas avente calore specifico a volume costante pari a $0,24 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$. Dopo un certo tempo si constata che il gas ha subito una variazione di temperatura di -10°C . Determinare la variazione dell'energia interna del gas e il calore scambiato da esso con l'esterno.

$$[\Delta U = Q = -2400 \text{ cal}]$$

- 21 2 moli di azoto vengono riscaldate a pressione costante e la loro temperatura passa da -30°C a $+40^\circ\text{C}$. Determinare il lavoro compiuto nella trasformazione. Sapendo poi che il calore specifico molare a volume costante dell'azoto vale $20,6 \text{ J/(mol K)}$, determinare il calore totale fornito per il riscaldamento.

$$[L = 1164 \text{ J}; Q = 4048 \text{ J}]$$

- 22 3 moli di gas monoatomico [$C_{mv} = 12,47 \text{ J/(mol K)}$] sono contenute in un cilindro dotato di stantuffo mobile senza attrito e si trovano in equilibrio con la pressione esterna ($1,5 \text{ atm}$). Il gas viene riscaldato e il suo volume passa da 40 l a 60 l. Calcolare il lavoro compiuto dal gas, l'aumento della sua temperatura e il calore fornito nel processo.

$$[L = 3,03 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta T = 121,5 \text{ K}; Q = 7,6 \cdot 10^3 \text{ J}]$$

- 23 Il γ per un certo gas ideale vale 1,44. Determinare i valori del corrispondente calore specifico a volume e a pressione costante.

$$[C_{mv} = 18,9 \text{ J/(mol K)}; C_{mp} = 27,2 \text{ J/(mol K)}]$$

- 24 64 g di ossigeno subiscono una trasformazione isoterma nella quale si raddoppia il volume del gas. La temperatura della trasformazione è di 27°C . Determinare il lavoro compiuto dal sistema.

$$[L = 3458 \text{ J}]$$

- 25 In una trasformazione isoterma che si sviluppa a 400 K si compie un lavoro di 10000 J. Le moli del gas che subiscono la trasformazione sono 3 e la pressione iniziale del gas vale 10^5 Pa . Determinare la pressione del gas al termine della trasformazione.

$$[P = 3,68 \cdot 10^4 \text{ Pa}]$$

- 26 In una trasformazione adiabatica di un gas caratterizzato

dal valore $\gamma = 1,66$ la pressione si dimezza. Determinare il rapporto tra il volume finale e il volume iniziale.

$$[V_f/V_i = 1,52]$$

- 27 In una trasformazione adiabatica di un gas per il quale $\gamma = 1,33$, il volume diviene doppio. Determinare il rapporto tra la temperatura finale e la temperatura iniziale del gas.

$$[T_f/T_i = 0,796]$$

- 28 In una compressione adiabatica di un gas monoatomico ideale la temperatura passa da 600 K a 900 K . Successivamente il gas (una mole) viene raffreddato a volume costante fino a tornare a 600 K . Calcolare la variazione di energia interna e il lavoro totale.

$$[\Delta U = 0; L = 3741 \text{ J}]$$

- 29 Un cilindro con area di base $0,1 \text{ m}^2$ contiene due moli di un gas monoatomico alla pressione di $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ in equilibrio con l'ambiente esterno. Al gas viene fornito calore a pressione costante. Sapendo che il pistone che chiude il cilindro si solleva di 20 cm , calcolare il calore fornito al gas e l'aumento di temperatura.

$$[Q = 9,99 \text{ kcal}; \Delta t = 240,5 \text{ K}]$$

- 30 Una mole di gas ideale biatomico [$C_{mv} = 20,8 \text{ J/(mol K)}$] viene compressa adiabaticamente, passando dalla temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$ alla temperatura $T_2 = 400 \text{ K}$. Successivamente viene fornita al gas una chilocaloria a temperatura costante.

Calcolare la variazione di energia interna e il lavoro compiuto dal gas nelle due trasformazioni.

$$[\Delta U = 2080 \text{ J}; L = 2100 \text{ J}]$$

- 31 Una mole di gas ideale contenuta in un volume V_1 di 20 dm^3 alla temperatura di $T_1 = 500 \text{ K}$ viene fatta espandere adiabaticamente fino ad avere un volume doppio. Determinare la temperatura e la pressione finale del gas e il lavoro compiuto nell'espansione, nel caso in cui il gas sia monoatomico e biatomico, e i corrispondenti calori specifici a volume costante valgano rispettivamente:

$$C_{mv}(\text{mono}) = 12,5 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}, C_{mv}(\text{bi}) = 20,8 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$[T_1 = 317 \text{ K}; T_2 = 380 \text{ K}; P_1 = 0,66 \cdot 10^5 \text{ Pa}; P_2 = 0,79 \cdot 10^5 \text{ Pa}; L_1 = 2,3 \cdot 10^3 \text{ J}; L_2 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ J}]$$

- 32 Il calore latente di evaporazione dell'acqua a 100°C e a pressione atmosferica vale 540 cal/g . Quanto vale la variazione di energia interna di un grammo d'acqua quando questa passa dallo stato liquido allo stato di vapore a 100°C ? (Per la densità del vapore a 100°C e a pressione atmosferica assumere il valore di $6,25 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$).

$$[\Delta U = 2096 \text{ J}]$$

- 33 Un recipiente termicamente isolato con l'esterno contiene un gas sotto pressione. Il gas viene fatto espandere in uno spazio vuoto finché il suo volume diventa doppio.

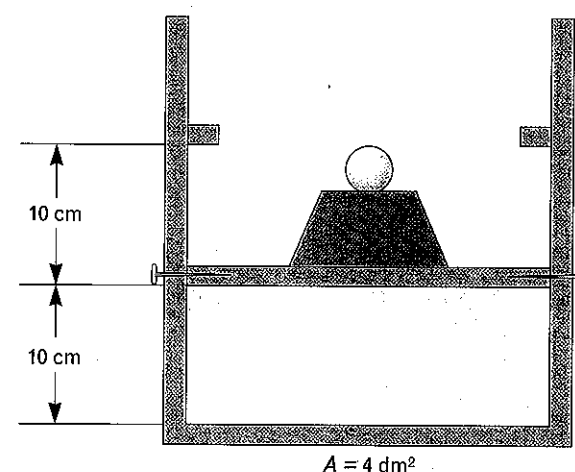
Supponendo nulli gli attriti, determinare:

- il lavoro compiuto dal gas;
- la variazione della sua energia interna;
- la variazione della sua temperatura;

- la variazione della velocità media delle sue molecole;
- la variazione della sua pressione rispetto al valore P iniziale.

$$[L = 0; \Delta U = 0; \Delta T = 0; \Delta v = 0; \Delta P = P/2]$$

- 34 In figura è rappresentato un cilindro disposto verticalmente, dotato di stantuffo avente massa 5 kg . Sullo stantuffo è posto un oggetto la cui massa è 95 kg . Il cilindro e lo stantuffo sono isolanti termici perfetti. Inizialmente il gas si trova alla pressione di 10^5 Pa e alla temperatura di 300 K , mentre lo stantuffo è bloccato a una distanza di 10 cm dalla base del cilindro. Successivamente si sblocca lo stantuffo e lo si lascia sollevare per altri 10 cm . Determinare la pressione e la temperatura finale del sistema. Il calore specifico del gas a volume costante è di $12,5 \text{ J/(mol K)}$; la pressione esterna vale 10^5 Pa .



$$[P_f = 4,57 \cdot 10^5 \text{ Pa}; T = 275 \text{ K}]$$

- 35 da Olimpiadi della fisica 1989, prova regionale
Una bombola di volume incognito, inizialmente chiusa, contiene due moli d'elio alla temperatura ambiente di 20°C e alla pressione di 15 atm . Essa è collegata tramite un sottile capillare a un recipiente a volume variabile e pressione costante, detto gasometro. Si apre la valvola di chiusura e il gas fluisce nel gasometro abbastanza lentamente, in modo che la temperatura del gas sia costantemente uguale a quella ambiente. La pressione che agisce sul gasometro è di un'atmosfera. Calcolare:

- 1) il lavoro fatto dal gas e il calore ceduto dall'ambiente durante la trasformazione descritta;
- 2) il lavoro che si otterrebbe se il gas venisse trasferito in maniera perfettamente reversibile.

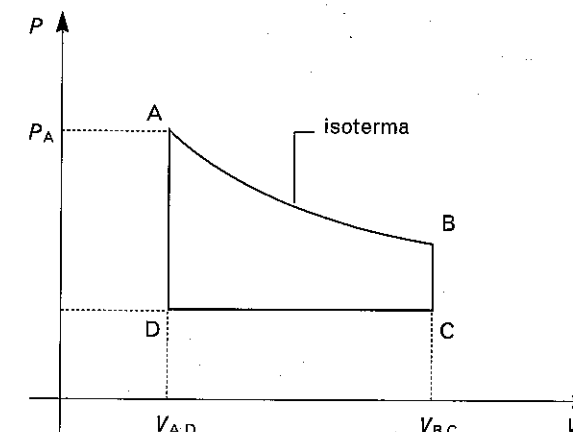
$$[L_1 = 4540 \text{ J}; Q_1 = L_1; L_2 = 1,32 \cdot 10^4 \text{ J}]$$

- 36 Un gas subisce in sequenza quattro trasformazioni che, nel piano P, V , sono rappresentate da un rettangolo i cui vertici sono caratterizzati dalle seguenti coordinate: ($2 \cdot 10^5 \text{ Pa}; 20 \text{ dm}^3$); ($2 \cdot 10^5 \text{ Pa}; 50 \text{ dm}^3$); ($10^5 \text{ Pa}; 50 \text{ dm}^3$); ($10^5 \text{ Pa}; 20 \text{ dm}^3$). Determinare il lavoro compiuto nel ciclo e

il calore totale scambiato con l'esterno quando il ciclo è percorso in senso orario.

$$[Q = L = 3000 \text{ J}]$$

- 37 Una mole di gas ideale biatomico esegue le quattro trasformazioni AB, BC, CD, DA indicate in figura. L'isoterma si sviluppa a 600 K . Il volume V_A vale 10 dm^3 e il volume V_B vale 30 dm^3 . La temperatura del punto C vale 500 K . Determinare $Q, L, \Delta U$ in ciascuna trasformazione.

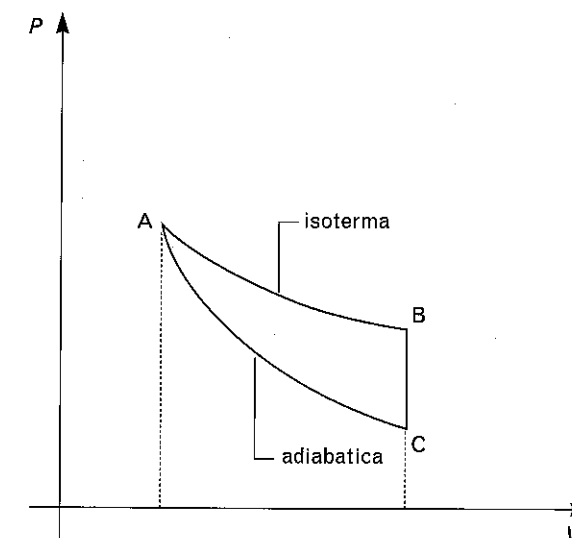


$$[\text{trasformazione AB: } L = 5,48 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta U = 0; \Delta Q = 5,48 \cdot 10^3 \text{ J}; \\ \text{trasformazione BC: } L = 0; \Delta U = -2,08 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta Q = -2,08 \cdot 10^3 \text{ J}; \\ \text{trasformazione CD: } L = -2,77 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta U = -9 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta Q = -9,7 \cdot 10^3 \text{ J}; \\ \text{trasformazione DA: } L = 0; \Delta U = 9 \cdot 10^3 \text{ J}; \Delta Q = 9 \cdot 10^3 \text{ J}]$$

- 38 Una mole di gas monoatomico ideale [$C_{mv} = 12,47 \text{ J/(mol K)}$] esegue le tre trasformazioni AB, BC, CA riportate in figura. Esse sono caratterizzate dai seguenti parametri:

$$V_A = 5 \text{ dm}^3; P_A = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}; V_B = 10 \text{ dm}^3.$$

Determinare il valore di $L, \Delta U, \Delta Q$ nelle tre trasformazioni.



$$[\text{trasformazione AB: } L = 1040 \text{ J}; \Delta U = 0; \Delta Q = 1040 \text{ J}; \\ \text{trasformazione BC: } L = 0; \Delta U = -826 \text{ J}; \Delta Q = -826 \text{ J}; \\ \text{trasformazione CA: } L = -826 \text{ J}; \Delta U = 826 \text{ J}; \Delta Q = 0]$$

6 Individuare l'affermazione vera.

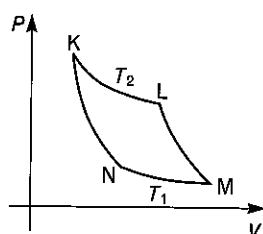
Un contenitore di cubetti di ghiaccio viene riempito d'acqua e posto in un freezer. Nel processo di solidificazione dell'acqua che avviene in questo ambiente:

- A l'entropia della massa d'acqua che solidifica aumenta
- B l'entropia della massa d'acqua che solidifica diminuisce
- C l'entropia dell'Universo resta invariata
- D l'entropia dell'Universo diminuisce

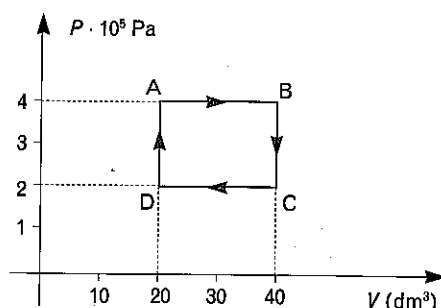
7 da Olimpiadi della fisica 1989, prova locale

Nel ciclo in figura, KL e NM sono due isoterme, mentre KN e LM sono due adiabatiche. Il ciclo è reversibile. Un sistema termodinamico compie un ciclo di Carnot KLMN assorbendo la quantità di calore Q_2 dalla sorgente calda alla temperatura T_2 e cedendo la quantità di calore Q_1 alla sorgente fredda di temperatura T_1 . Tutte le affermazioni seguenti sono vere tranne:

- A $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$
- B l'entropia del serbatoio caldo diminuisce
- C l'entropia del sistema cresce
- D il lavoro W_1 , compiuto durante il ciclo, è uguale al calore netto assorbito $Q_2 - Q_1$
- E il rendimento del ciclo non dipende dalla sostanza impiegata



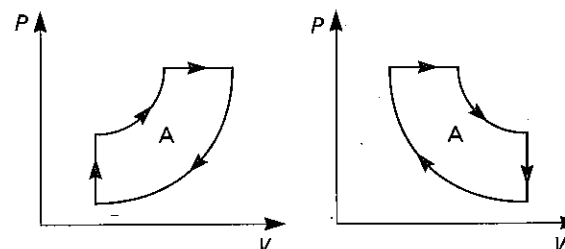
8 Si osservino attentamente i valori degli stati ABCD del ciclo rappresentato nella figura seguente e si individui l'affermazione corretta.



- A Il rendimento del ciclo vale 0,5.
- B Il calore viene fornito al sistema solo nella trasformazione AB e viene ceduto dal sistema solo nella trasformazione CD.
- C Gli stati A e C si trovano sulla medesima isoterma.
- D Il calore ceduto al sistema nella trasformazione DA è

Quesiti

- 1 Costruire una frase scientificamente significativa e corretta a partire dai termini seguenti:
rendimento; ciclo di Carnot; ciclo reversibile.
- 2 Il riscaldamento di acqua eseguito su un fornello a gas si può considerare un processo reversibile?
- 3 Cosa accade, dal punto di vista termico, lasciando la porta di un frigorifero spalancata? Si raffredderà la stanza?
- 4 Un ciclo di Carnot lavora fra due termostati aventi temperature T_1 (termostato a temperatura inferiore) e T_2 . Si vuole ora aumentare il rendimento del ciclo aumentando T_2 (con T_1 costante) o diminuendo T_1 (con T_2 costante). Quale delle due soluzioni comporta un più rapido aumento del rendimento?
- 5 Vero o falso?
Nelle due figure sono disegnati due cicli termici reversibili aventi la medesima area e percorsi nello stesso senso. Poiché il lavoro ottenuto in un ciclo è proporzionale all'area da esso definita, si può concludere che non c'è nessuna differenza nell'utilizzare l'uno o l'altro dei due cicli.



- 6 Come si rappresenta un ciclo di Carnot in un piano S, T?
- 7 Dimostrare che il trasferimento di energia dal Sole alla Terra comporta un aumento di entropia dell'Universo.
- 8 Un kg di carbone viene bruciato completamente con ossigeno in un recipiente chiuso dotato di pareti metalliche. Durante la combustione viene sviluppato calore, ceduto poi per conduzione all'esterno. Come varia, durante l'intero processo, l'entropia del sistema carbone + ossigeno?
- 9 Sul tavolo di una stanza è stato realizzato un castello di carte. Come si modifica l'entropia della stanza (supposta isolata termicamente e meccanicamente) quando il castello viene abbattuto?

Problemi

Unità 1

ceduto alla sorgente a temperatura inferiore.

$$[L = 1600 \text{ J}; Q_1 = 2400 \text{ J}]$$

- 2 Una macchina termica esegue un ciclo di Carnot tra due sorgenti di calore che si trovano alla temperatura di 300 K e 500 K rispettivamente. In ciascun ciclo la macchina cede 100 kcal alla sorgente fredda. Determinare quanto calore assorbe dalla sorgente calda e quanto lavoro (misurato in kcal) compie in ciascun ciclo.
[$Q_2 = 167 \text{ kcal}; L = 66,7 \text{ kcal}$]
- 3 Una macchina termica che opera reversibilmente tra due sole sorgenti riceve, in un ciclo, una quantità di calore di 50 kcal dalla sorgente calda e scarica alla sorgente fredda una quantità di calore di 20 kcal. Determinare la temperatura della sorgente calda sapendo che quella della sorgente fredda vale 273 K.
[$T_2 = 683 \text{ K}$]
- 4 Un ciclo di Carnot opera fra le temperature $T_2 = 400 \text{ K}$ e $T_1 = 300 \text{ K}$ e compie a ogni ciclo un lavoro di 41 800 J. Calcolare il rendimento del ciclo e il calore in esso disperso, per ciascun ciclo, al termostato alla temperatura T_1 .
[$\eta = 0,25$; calore disperso = 125 400 J]
- 5 Il rendimento di un ciclo di Carnot vale 0,4. Determinare la temperatura T_2 della sorgente calda sapendo che la sorgente fredda ha la temperatura di 20 °C.
[$T_2 = 488 \text{ K}$]
- 6 In un ciclo di Carnot vengono fornite 4 kilocalorie alla temperatura $T_2 = 600 \text{ K}$. Sapendo che a ogni ciclo viene compiuto un lavoro di 8000 J, calcolare il rendimento e la temperatura di raffreddamento T_1 .
[$\eta = 0,478$; $T_1 = 313 \text{ K}$]
- 7 Due cicli di Carnot sono connessi in modo che il calore ceduto dal primo venga utilizzato completamente per alimentare il secondo. Il primo ciclo opera tra le temperature $T_2 = 800 \text{ K}$ e $T_1 = 600 \text{ K}$, il secondo ciclo opera tra le temperature $T_2' = 600 \text{ K}$ e $T_1' = 300 \text{ K}$. Sapendo che al primo ciclo vengono fornite 10⁴ kcal, calcolare il lavoro totale prodotto dal sistema dei due cicli e il suo rendimento complessivo spiegando perché esso si possa determinare direttamente con i dati forniti.
[$L_{\text{tot}} = 6250 \text{ kcal}; \eta = 0,625$]
- 8 In un ciclo frigorifero di Carnot il lavoro da compiere per sottrarre 4 kcal alla sorgente che si trova alla temperatura inferiore di $T_1 = -13 \text{ °C}$, vale 3000 J. Calcolare il valore della temperatura esterna al frigorifero e il calore ceduto all'esterno a ogni ciclo.
[temperatura esterna = 33,7 °C; calore ceduto = 19 720 J]
- 9 Si vuole utilizzare un ciclo di Carnot funzionante alla rovescia per estrarre, in un'ora, 1000 kcal da un ambiente a temperatura costante di -20 °C e trasferirlo a un altro am-

- 10** Quando in una macchina termica si usa come fluido il vapore d'acqua, le temperature T_1 e T_2 alle quali avviene lo scambio di calore si possono considerare, rispettivamente, la temperatura ambiente (circa 20 °C) e la temperatura del vapore. Calcolare il rendimento teorico della macchina nel caso in cui il vapore possieda come temperatura massima quella corrispondente al suo stato di ebollizione a pressione ordinaria (100 °C). In un motore a vapore reale si riesce, con particolari accorgimenti, a elevare la temperatura del fluido che scambia calore fino a 500 °C. Calcolare il rendimento teorico in questo caso.

[nel primo caso $\eta = 0,21$; nel secondo caso $\eta = 0,62$]

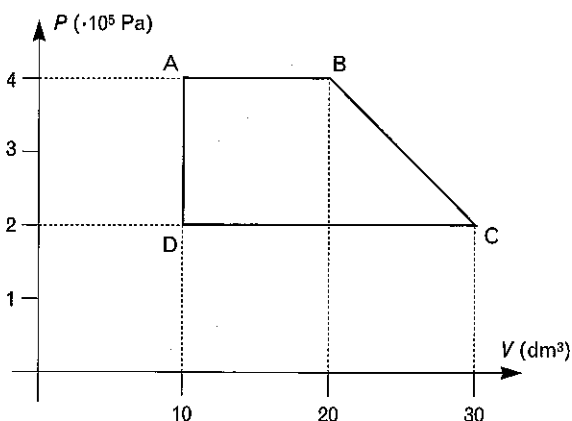
- 11** Una macchina termica a vapore ha rendimento pari al 3%. Il vapore viene immesso nella macchina a 130 °C e viene espulso a 110 °C. Quale percentuale dell'energia viene perduta rispetto a quella che potrebbe essere teoricamente utilizzata se il ciclo eseguito dalla macchina fosse perfettamente reversibile?

[1,96%]

- 12** Una mole di gas monoatomico compie un ciclo che in un piano P , V è rappresentato da un rettangolo con i lati paralleli agli assi. Il lavoro compiuto in un ciclo vale 4000 J. Sapendo che la pressione inferiore del ciclo vale $P_1 = 2 \cdot 10^5$ Pa, la pressione superiore $P_2 = 3 \cdot 10^5$ Pa e il volume inferiore del ciclo vale $V_1 = 5$ l, calcolare il rendimento del ciclo e il suo volume massimo.

[$\eta = 0,13$; volume massimo = 45 l]

- 13** Il ciclo ABCD di forma trapezoidale, indicato in figura, è caratterizzato dalle seguenti coordinate: A ($4 \cdot 10^5$ Pa; 10 dm³); B ($4 \cdot 10^5$ Pa; 20 dm³); C ($2 \cdot 10^5$ Pa; 30 dm³); D ($2 \cdot 10^5$ Pa; 10 dm³). Il ciclo viene percorso in senso orario. Determinare il lavoro totale compiuto dal ciclo. Calcolare inoltre il calore totale scambiato dal sistema e il rendimento del ciclo supponendo che il fluido che evolve nella macchina termica sia costituito da due moli di un gas il cui calore specifico a volume costante vale 20 J/(mol K).



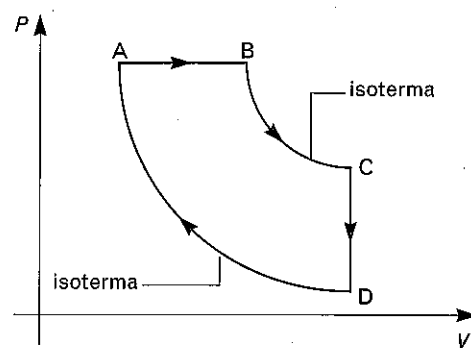
[$L = 3000$ J; $Q_{tot} = 3000$ J; $\eta = 0,16$]

- 14** In un ciclo, che in un piano P , V è rappresentato da un rettangolo con i lati paralleli agli assi, una mole di gas biatomico, inizialmente a $2 \cdot 10^5$ Pa, viene riscaldata a volume costante da $T_1 = 200$ K a $T_2 = 400$ K.

Successivamente il gas si espande a pressione costante assorbendo 2 kcal e, infine, al gas viene fatto completare il ciclo rettangolare. Calcolare il rendimento del ciclo.

[$\eta = 0,096$]

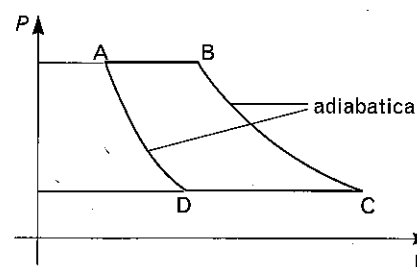
- 15** Si consideri il ciclo termico di un gas ideale avente $C_{mv} = 12,5$ J/(mol K), rappresentato in figura. I parametri che caratterizzano lo stato A del sistema sono: $V_A = 10$ dm³, $P_A = 3 \cdot 10^5$ Pa, $T_A = 300$ K; l'isoterma BC viene eseguita a 500 K e $V_C = 30$ dm³. Determinare i valori di P e V in corrispondenza degli stati B, C, D, il lavoro compiuto nel ciclo e il calore a esso fornito nelle fasi AB e BC.



[$P_B = P_A$; $V_B = 16,7$ dm³; $P_C = 1,67 \cdot 10^5$ Pa; $V_C = 30$ dm³; $P_D = 10^5$ Pa; $V_D = V_C$; $L = 1644$ J; $Q_{AB} = 4995$ J; $Q_{BC} = 2952$ J]

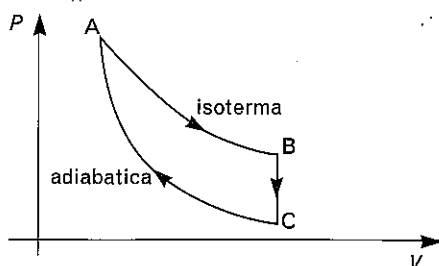
- 16** Dato il ciclo rappresentato in figura, determinare il suo rendimento. Individuare poi le temperature massima e minima del ciclo e calcolare il rendimento che si otterrebbe se il calore venisse scambiato solo con due sorgenti aventi queste temperature.

Siano: $V_A = 10$ dm³; $P_A = 5 \cdot 10^5$ Pa; $V_B = 20$ dm³; $V_C = 70$ dm³; $n = 1$ mol di gas biatomico ideale.



[$L_{totale} = 6930$ J; $Q_{ceduto} = 17509$ J; $\eta = 0,39$; $T_{massima} = T_B = 1203$ K; $T_{minima} = T_D = 365$ K; $\eta = 0,7$]

- 17** Una mole di un gas ideale monoatomico esegue il ciclo ABC indicato in figura. Sapendo che $V_A = 20$ dm³, $V_B = 60$ dm³, $P_A = 2 \cdot 10^5$ Pa, determinare il rendimento del ciclo.



[$\eta = 0,296$]

Unità 2

- 18** La variazione di entropia associata alla fusione di 2 kg di una certa sostanza risulta di 1712 J/K. Il calore di fusione della sostanza vale 60 cal/g; determinare la sua temperatura di fusione.

[293 K]

- 19** 10 kg di acqua vengono riscaldati da 20 °C a 80 °C su una sorgente di calore che si trova alla temperatura costante di 300 °C. Determinare la variazione di entropia dell'acqua e della sorgente.

[$\Delta S_{acqua} = 7780$ J/K; $\Delta S_{sorgente} = -4380$ J/K]

- 20** Calcolare la variazione di entropia che si produce in una trasformazione isoterma di due moli di gas ideale che conduce a un raddoppio del volume.

[$\Delta S = 11,5$ J/K]

- 21** 5 kg di acqua che si trova a 100 °C vengono portati allo stato di vapore mediante il calore fornito da una sorgente termica che si trova a 400 °C. Determinare la variazione di entropia del sistema acqua-sorgente.

[$\Delta S = 13500$ J/K]

- 22** Riferendosi ai dati del problema 15, determinare la variazione di entropia nelle diverse fasi del ciclo, verificando che la variazione totale di questa grandezza è nulla.

[$\Delta S_{AB} = 12,8$ J/K; $\Delta S_{BC} = 5,90$ J/K; $\Delta S_{CD} = -7,66$ J/K; $\Delta S_{DA} = -11,0$; $\Delta S_{tot} \approx 0$, entro le approssimazioni numeriche]

- 23** 3 moli di gas ideale sono contenute in un cilindro dotato di stantuffo mobile senza attriti. Le condizioni iniziali del gas ideale sono le seguenti: $V = 30$ dm³, $T = 300$ K. Il cilindro è perfettamente isolante ed è contenuto in un recipiente più grande in cui è stato praticato il vuoto.

Si eseguano ora le seguenti operazioni:

- un'espansione del gas fino al volume di 60 dm³;
- una sua ricomprensione isoterma e reversibile, previa eliminazione dell'isolamento del cilindro, fino al volume iniziale.

Determinare la variazione di entropia del gas e dell'Universo per l'insieme delle operazioni A e B.

[per il gas $\Delta S = 0$; per l'Universo $\Delta S = 17,3$ J/K]

- 24** 30 g di ghiaccio alla temperatura di -20 °C vengono posti in un calorimetro perfettamente isolato contenente 10 l di acqua a 10 °C.

Supponendo che la temperatura dell'acqua resti praticamente immutata (giustificare tale ipotesi), calcolare la variazione di entropia del sistema.

(Il calore specifico del ghiaccio vale 0,5 cal/(g °C) e il suo calore latente a 0 °C vale 80 cal/g).

[$\Delta S = 0,41$ cal/K]

- 25** In un calorimetro perfettamente adiabatico verso l'esterno vengono mescolati 1 kg d'acqua a 10 °C con 2 kg di acqua a 70 °C.

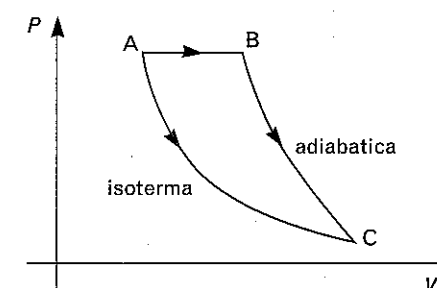
Determinare la variazione di entropia del sistema.

[$\Delta S_{tot} = 50$ J/K]

- 26** Un gas ideale monoatomico esegue una volta la trasformazione AC, una volta la sequenza di trasformazioni AB e BC. Dimostrare che la variazione di entropia relativa ai due cammini è identica e calcolarne il valore.

Per il calcolo di ΔS_{AC} assumere i seguenti valori:

$V_A = 20$ dm³; $T_A = 200$ K; $V_C = 60$ dm³; numero moli = 3.



[$\Delta S_{AC} = 27,4$ J/K]

- 27** Sul tavolo di una camera vengono impilati 10 cubetti di materiale plastico, ciascuno di lato 5 cm e massa 50 g. Poco dopo, la pila di cubetti cade accidentalmente, lasciando il primo cubetto nella sua posizione iniziale. Valutare approssimativamente la variazione di entropia della stanza, supponendo che essa si possa considerare adiabatica verso l'esterno. La temperatura media della stanza è 300 K.

[$\Delta S = 3,68 \cdot 10^{-3}$ J/K]

- 28** Due masse di plastilina alla temperatura di 300 K, di massa $m_1 = 1$ kg e $m_2 = 3$ kg e dotate di velocità $v_1 = 5$ m/s, $v_2 = 5$ m/s, si muovono l'una contro l'altra.

Nell'urto si appiccicano e proseguono poi il loro movimento unite fra loro.

Supponendo che tutta la variazione dell'energia cinetica resti immagazzinata sotto forma termica nel blocco, determinare la variazione di energia interna del sistema, la variazione della sua temperatura (supponendo il calore specifico della plastilina pari a 0,7 cal/(g °C)), la variazione approssimativa della sua entropia, calcolata supponendo trascurabile l'aumento di temperatura del sistema.

[$\Delta U = 37,5$ J; $\Delta T = 0,003$ K; $\Delta S = 0,125$ J/K]

Modulo 1

- 1 Il rame ha un coefficiente di dilatazione lineare $\alpha_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e l'alluminio un coefficiente di dilatazione lineare $\alpha_{Al} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Una bacchetta fatta di rame ha, a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$, il diametro di 2 cm, e un anello di alluminio, sempre a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$, ha il diametro interno di 1,998 cm. Determinare a quale temperatura l'anello potrà essere infilato sulla sbarra di rame.

$$[t = 167,3 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- 2 In un recipiente sono contenuti 400 g di acqua a $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. In esso vengono poi introdotti 200 g di acqua alla temperatura di $90 \text{ } ^\circ\text{C}$. Si sa che la massa equivalente in acqua del calorimetro (cioè quella ipotetica massa di acqua che subirebbe le stesse variazioni termiche delle pareti del calorimetro e dell'agitatore in esso contenuto) vale 50 g. Determinare la temperatura finale del sistema, prima trascurando la massa equivalente e poi tenendone conto.

$$[t_{11} = 36,7 \text{ } ^\circ\text{C}; t_{12} = 34,6 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- 3 Un calorimetro delle mescolanze, la cui massa equivalente in acqua è pari a 20 g, contiene 200 g di acqua alla temperatura ambiente di $18 \text{ } ^\circ\text{C}$. In esso viene introdotto un corpo solido di massa 250 g e calore specifico $0,2 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$ inizialmente alla temperatura di $100 \text{ } ^\circ\text{C}$. In tutta l'operazione si realizza una perdita del 10% del calore trasferibile in condizioni ideali. Calcolare la temperatura finale del sistema.

$$[t_f = 31,9 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

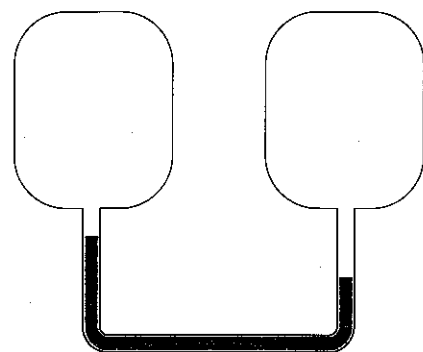
- 4 In un calorimetro delle mescolanze che pesa 400 g sono presenti 200 g di acqua a $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ e, successivamente, vengono introdotti 200 g di acqua a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Si osserva che la temperatura di equilibrio è di $25,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. In base a questi dati determinare la massa equivalente in acqua del calorimetro. Si aggiungono ora dei cubetti di ghiaccio e si osserva che la temperatura finale del sistema diviene $12 \text{ } ^\circ\text{C}$. Dopo questo rilevamento si determina nuovamente la massa del calorimetro contenente tutto quanto vi è stato aggiunto e si constata che essa vale 866 g. Determinare il calore latente del ghiaccio valutando l'errore sperimentale della misura rispetto al valore di $79,9 \text{ cal/g}$.

$$[\text{massa equivalente del calorimetro: } m_e = 44,4 \text{ g}; \text{ calore latente } c_i = 78,9 \text{ cal/g}; \text{ errore percentuale} = -1\%]$$

- 5 Una stanza ermeticamente chiusa contiene 100 kg di aria alla temperatura di $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (calore specifico dell'aria = $0,171 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$). Sul suo pavimento è stato versato 1 l di acqua. Determinare, con un calcolo di prima approssimazione (supponendo cioè che il calore latente di evaporazione dell'acqua rimanga costante e valga 570 kcal/kg e trascurando il fatto che l'evaporazione aumenta la massa di aeriforme), la temperatura dell'ambiente dopo la totale evaporazione dell'acqua, supponendo che le pareti abbiano nel frattempo irradiato verso l'interno 500 kcal.

$$[t = 15,9 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- 6 Il sistema di figura è costituito da due bulbi di uguale volume realizzati con un vetro il cui coefficiente di dilatazione è praticamente nullo.



I bulbi sono riempiti con un identico gas alla medesima pressione P . Il tubo a U che connette i due bulbi contiene del mercurio e il suo volume è trascurabile rispetto a quello dei bulbi.

Quando il bulbo di sinistra è immerso in un recipiente contenente acqua e ghiaccio e il bulbo di destra è immerso in un recipiente contenente acqua bollente, il dislivello del mercurio nei due rami del tubo a U vale 100 mm.

Ponendo ora il bulbo di destra in un terzo recipiente contenente acqua, si trova che il dislivello del mercurio diviene 40 mm. Determinare la temperatura dell'acqua.

$$[t = 313,15 \text{ K}]$$

- 7 Si supponga che un pianeta abbia massa 10^{25} kg e raggio 10^7 m e sia circondato da uno strato di atmosfera (di spessore trascurabile rispetto al suo raggio) costituita interamente da molecole di azoto. Tenendo conto degli urti reciproci tra le molecole e del rifornimento di molecole prodotte alla superficie del pianeta per diversi motivi, si può ammettere che l'atmosfera sia stabile quando la velocità termica delle molecole è pari a circa il 5% della velocità di fuga delle medesime.

Sulla base di questo dato valutare la temperatura media dell'atmosfera.

$$[T = 377 \text{ K}]$$

- 8 In un recipiente di 1 l sono contenuti atomi di elio (massa molare = 4 g/mol) a 300 K e a pressione atmosferica. In un altro recipiente di identico volume, sempre a pressione atmosferica ma a 500 K , è contenuto del neon (massa molare = $20,18 \text{ g/mol}$). Determinare il numero di atomi di elio e di neon e le corrispondenti velocità medie.

Si pongono ora i due gas in un recipiente di volume 2 l. Sapendo che il calore specifico dei due gas è per entrambi uguale a $2,98 \text{ cal/(mol K)}$, determinare la temperatura finale del sistema e le velocità medie delle molecole di elio e di neon a questa nuova temperatura.

$$[N_{He} = 2,44 \cdot 10^{22} \text{ atomi}; N_{Ne} = 1,46 \cdot 10^{22} \text{ atomi}; v_{He} = 1368 \text{ m/s}; v_{Ne} = 786 \text{ m/s}; T_f = 376 \text{ K}; v_{He} = 1530 \text{ m/s}; v_{Ne} = 682 \text{ m/s}]$$

- 9 Un gas ideale si trova a 300 K e alla pressione di 10^4 Pa . La sua densità vale $0,1285 \text{ g/dm}^3$. Determinare la massa molare del gas e la velocità media delle sue molecole.

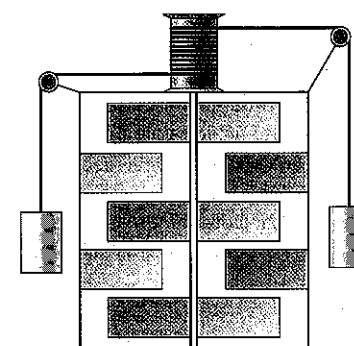
$$[\text{massa molare} = 32 \text{ g/mol}; v_{media} = 484 \text{ m/s}]$$

Modulo 2

- 10 Un proiettile di ferro di massa $m = 50 \text{ g}$, sparato orizzontalmente alla velocità di 1000 m/s , si conficca in un blocco di piombo di massa $M = 9,95 \text{ kg}$ appoggiato a un piano orizzontale perfettamente liscio. Supponendo che i calori specifici di ferro e piombo valgano rispettivamente $0,1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$ e $0,03 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$, e che non vi siano perdite di calore verso l'esterno, stabilire la variazione di temperatura del blocco dopo l'urto.

$$[\Delta t = 19,6 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- 11 In figura è rappresentato un calorimetro con mulinello, simile a quello utilizzato da Joule per stabilire l'equivalenza fra l'unità meccanica del lavoro e l'unità termica del calore (oggi diremmo fra joule e calorie). I due pesi, aventi ciascuno massa di 2 kg, vengono fatti cadere alla velocità, praticamente costante su tutto il tragitto, di 40 cm/s . La loro caduta provoca la rotazione del sistema di pale e, quindi, il rimescolamento dell'acqua contenuta nel calorimetro. La massa dell'acqua è di 1 kg. I pesi vengono fatti scendere per un tratto di 2 m e l'operazione viene ripetuta 50 volte. Supponendo nulle le perdite di calore e trascurabile la quantità di calore assorbita dalle pale e dalle pareti del calorimetro, determinare l'aumento di temperatura dell'acqua.



$$[\Delta t = 0,934 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

- 12 In un cilindro disposto verticalmente e dotato di stantuffo è contenuta una mole di gas monoatomico trattabile come ideale. L'area dello stantuffo è 100 cm^2 e la sua massa è trascurabile. Su di esso è posta una massa di 10 kg e in tal modo lo stantuffo si trova in equilibrio con la pressione esterna, pari a 10^5 Pa . Al gas vengono fornite 20 cal in modo che la sua pressione resti costante; al contempo lo stantuffo si solleva. Determinare l'entità del sollevamento.

$$[\text{sollevamento} = 3,05 \text{ cm}]$$

- 13 Due moli di un gas ideale sono contenute in un cilindro dotato di stantuffo di peso trascurabile, mobile senza attrito. Il suo stato iniziale è determinato dai valori seguenti: $P_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $V_1 = 20 \text{ dm}^3$. Si forniscono al gas, molto lentamente, 200 cal e, contemporaneamente, si lascia espandere il gas in modo che la sua temperatura non cambi. Determinare la temperatura del gas, il suo volume finale, la sua pressione finale.

$$[T = 361 \text{ K}; V = 23 \text{ dm}^3; P = 2,61 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$$

- 14 Due moli di gas monoatomico, inizialmente alla temperatura di 300 K , subiscono una compressione che riduce il loro volume a $3/4$ del volume iniziale. Calcolare la temperatura finale del gas e il lavoro compiuto dall'esterno se:

- a) la trasformazione avviene a pressione costante
b) la trasformazione avviene con il gas termicamente isolato.

$$[a) T_2 = 225 \text{ K}; L_a = 1247 \text{ J}; b) T_2' = 364 \text{ K}; L_b = 1596 \text{ J}]$$

- 15 Calcolare il lavoro di espansione che si compie nel riscaldare, a pressione atmosferica, 1 m^3 di ferro da $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$ e si confronti il risultato con il lavoro di espansione che si compie riscaldando 1 m^3 di aria, sempre a pressione atmosferica e sempre fra le temperature di $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$. Determinare infine la variazione dell'energia interna dei due sistemi, sapendo che il calore specifico del ferro vale $0,107 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$, il calore specifico dell'aria a pressione costante vale $0,24 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$, la densità del ferro vale 7860 kg/m^3 e quella dell'aria $1,293 \text{ kg/m}^3$, il coefficiente di dilatazione volumica del ferro vale $37 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e quello dell'aria $1/273 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

$$[\text{lavoro di espansione per il ferro} = 3,737 \cdot 10^3 \text{ J};$$

$$\text{lavoro di espansione dell'aria} = 3,7 \cdot 10^5 \text{ J};$$

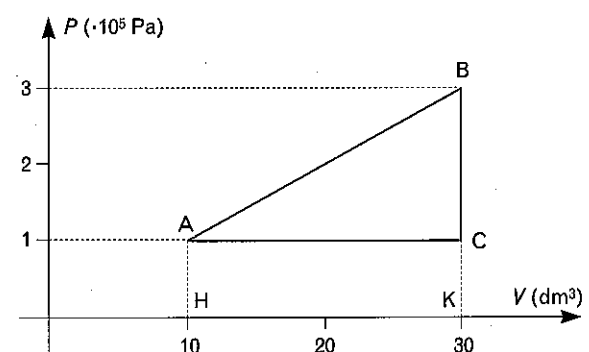
$$\text{calore fornito al ferro} = 3,515 \cdot 10^6 \text{ J};$$

$$\text{calore fornito all'aria} = 1,297 \cdot 10^6 \text{ J};$$

$$\text{variazione dell'energia interna del ferro} = 3,515 \cdot 10^6 \text{ J};$$

$$\text{variazione dell'energia interna dell'aria} = 9,27 \cdot 10^5 \text{ J}]$$

- 16 Nella figura seguente è rappresentato un ciclo termico che viene eseguito da 3 moli di un gas monoatomico ideale. Determinare il lavoro compiuto nel ciclo, la quantità di calore ceduta al sistema che lo compie e le quantità di calore scambiate nelle due trasformazioni BC e CA.



$$[L_{AB} = 2000 \text{ J}; Q_{AB} = 16000 \text{ J}; Q_{BC} = -9000 \text{ J}; Q_{CA} = -5000 \text{ J}]$$

Modulo 3

- 17 Una macchina di Carnot lavora fra le temperature di 600 K e 300 K . Il lavoro da essa ottenuto viene utilizzato per far funzionare alla rovescia (come frigorifero) una seconda macchina di Carnot che opera fra 310 K e 260 K . Il calore fornito alla prima delle due macchine è di 100 cal/ciclo . Determinare il calore che la seconda macchina estrae in un ciclo dalla sorgente fredda.

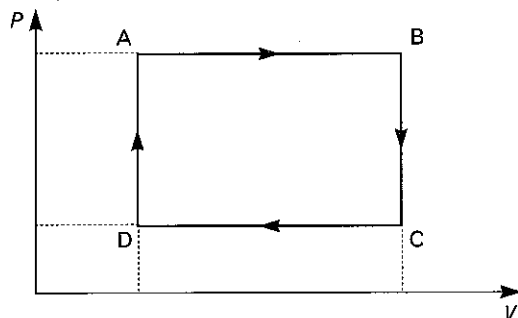
$$[260 \text{ cal}]$$

- 18 Determinare i parametri fisici dei punti ABCD del ciclo

raccontato in figura e il suo rendimento.

Lo stato corrispondente al punto A è caratterizzato dai seguenti valori: $T_A = 500 \text{ K}$, $V_A = 20 \text{ dm}^3$, $P_A = 5,05 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Il punto B corrisponde a uno stato caratterizzato da un volume $V_B = 60 \text{ dm}^3$, il punto D da una temperatura $T_D = 166,3 \text{ K}$ e il calore specifico a volume costante del gas vale $12,5 \text{ J/(mol K)}$.

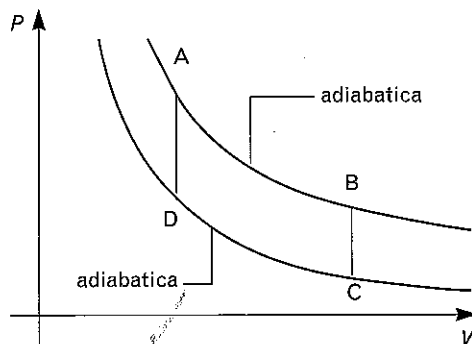


$$\begin{aligned} [P_B &= 5,05 \cdot 10^5 \text{ Pa}; T_B = 1500 \text{ K}; V_C = 60 \text{ dm}^3; \\ P_C &= 1,68 \cdot 10^5 \text{ Pa}; T_C = 499 \text{ K}; V_D = 20 \text{ dm}^3; \\ P_D &= 1,68 \cdot 10^5 \text{ Pa}; \eta = 0,22] \end{aligned}$$

- 19** Il ciclo di un motore a scoppio è idealmente riconducibile alla sequenza di trasformazioni AB, BC, CD, DA rappresentate in figura.

Si ponga: $n = 1 \text{ mol}$; $V_A = 10 \text{ dm}^3$; $P_A = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $V_B = 20 \text{ dm}^3$; $T_C = 200 \text{ K}$; $\gamma = 1,66$; $C_{mV} = 12,5 \text{ J/(mol K)}$.

Determinare il lavoro compiuto nel ciclo, il calore fornito durante l'intero ciclo e il rendimento di questo.



$$[L = 1313 \text{ J}; Q = 3563 \text{ J}; \eta = 0,369]$$

- 20** da Olimpiadi della fisica 1990, prova regionale

Una massa di 2 g di elio è racchiusa in un cilindro; il volume è di 2 l e la temperatura di 0°C . Il gas viene riscaldato in modo che $P/V = \text{costante}$, fino a quando il volume è raddoppiato. Poi il riscaldamento continua a pressione costante fino a raggiungere un volume di 5 l. Successivamente la pressione è ridotta al valore iniziale, a volume costante, e, infine, il gas viene riportato nelle condizioni iniziali a pressione costante.

Tutte le trasformazioni sono reversibili.

- 1) Disegnare il diagramma del ciclo, nel piano P, V .
- 2) Determinare il valore di P, V, T ai vertici del ciclo.
- 3) Determinare il calore e il lavoro scambiati in ogni trasformazione e il verso dello scambio.

Supponendo ora che un motore usi il ciclo precedente:

- 4) quante volte il ciclo deve essere ripetuto per sollevare di 80 m un peso di 650 kg?
- 5) quanto calore deve essere complessivamente fornito al gas?

[I valori delle grandezze da determinare richiedono la corretta definizione del ciclo e una univoca caratterizzazione dei suoi vertici. Le risposte numeriche sono perciò riportate nella Guida per l'insegnante]

- 21** 2 moli di gas alla temperatura di 300 K sono contenute in un cilindro con stantuffo. Il volume inizialmente occupato dal gas è 10 l. Le pareti del cilindro sono perfettamente isolanti. Il cilindro è, a sua volta, contenuto in un altro recipiente vuoto. A un certo istante si lascia lo stantuffo libero di muoversi e il gas viene fatto espandere fino a occupare il volume di 20 l. Determinare la variazione di energia interna del gas e la variazione della sua entropia.

$$[\Delta U = 0; \Delta S = 11,5 \text{ J/K}]$$

- 22** Un litro di acqua si trova a 20°C in un calorimetro perfettamente isolato. In esso viene introdotto un pezzo di ferro di massa 800 g alla temperatura di 100°C . Determinare la variazione di entropia del sistema. (Assumere il calore specifico del ferro uguale a $0,1 \text{ cal/(g } ^\circ \text{C})$).

$$[\Delta S = 9,2 \text{ J/K}]$$