

1 da Olimpiadi della fisica 1990, prova locale

Se Q è il calore assorbito da un sistema termodinamico, ΔU è l'aumento dell'energia interna del sistema e ΔW è il lavoro esterno fatto sul sistema, allora, in una trasformazione a volume costante, si ha che:

- A ΔU deve essere nulla
- B ΔQ deve essere nulla
- C ΔW deve essere nulla
- D $\Delta Q, \Delta U, \Delta W$ devono essere nulle
- E nessuna delle tre quantità è nulla

2 In una trasformazione un gas compie lavoro positivo verso l'esterno. Individuare l'affermazione corretta.

- A La sua energia interna è diminuita.
- B Q è positivo.
- C Q è maggiore della variazione di energia interna.
- D Se l'energia interna aumenta Q è negativo.
- E Mancano informazioni per una risposta corretta.

3 In una trasformazione di un gas perfetto è aumentata l'energia interna. Da ciò si può dedurre che (individuare le affermazioni corrette, se ve ne sono):

- A Q è necessariamente positivo
- B Q è positivo se $L < -\Delta U$
- C Q può essere nullo
- D L è sempre negativo
- E L è nullo e Q è positivo
- F Q è maggiore di L

4 Un recipiente termicamente isolato di volume 2 dm^3 contiene un gas ideale alla pressione di $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Si considerino ora le due espansioni seguenti:

- a) nel vuoto e fino a quando il volume del recipiente è diventato di 4 dm^3 ;
- b) nell'aria, alla pressione di 10^5 Pa e fino a quando il volume del recipiente è diventato di 3 dm^3 ;

Si individuino ora le affermazioni vere:

- A in entrambi i casi il gas compie un lavoro pari a $2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^3$
- B in entrambi i casi il lavoro vale: $10^5 \text{ Pa} \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^3$
- C nel caso a) il lavoro è nullo
- D nel caso b) il lavoro vale $10^5 \text{ Pa} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- E nel caso b) il lavoro vale $10^5 \text{ Pa} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

5 Indicati con ΔU l'eventuale variazione dell'energia interna di un gas ideale, con ΔQ l'eventuale calore fornito al gas e con L l'eventuale lavoro fatto dal gas contro l'esterno, per una trasformazione isobara si ha:

- A $\Delta U = 0$
- B $\Delta Q = 0$
- C $L = 7$
- D $\Delta Q = 7$
- E nessuna delle tre quantità può essere nulla

6

Due cilindri A e B dotati di pistone mobile senza attriti contengono un identico numero di moli di due diversi gas monoatomici alla stessa temperatura. I due sistemi vengono riscaldati separatamente in modo tale da ottenere un medesimo salto termico. Il cilindro A però viene riscaldato a volume costante, mentre il cilindro B viene riscaldato a pressione costante.

Individuare l'affermazione vera.

- A Il calore fornito ad A è uguale al calore fornito a B.
- B Il cilindro A compie un lavoro inferiore a quello compiuto dal cilindro B ma non nullo.
- C La variazione dell'energia interna del gas contenuto in A è maggiore di quella del gas contenuto in B.
- D La variazione dell'energia interna del gas contenuto in A è identica a quella del gas contenuto in B.
- E La variazione della velocità delle molecole del gas contenuto in A è identica alla variazione della velocità delle molecole del gas contenuto in B anche se i due gas sono di natura diversa.

7

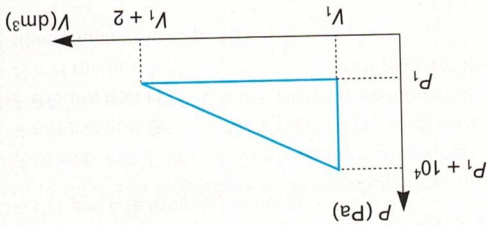
Un cilindro con pistone termicamente isolato di volume 2 m^3 contiene 100 moli di gas ideale alla pressione di $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e alla temperatura di 300 K. Supponendo che il gas venga fatto espandere in un ambiente vuoto fino al volume di 3 m^3 , il lavoro compiuto dal sistema vale:

- A $L = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (3 \text{ m}^3 - 2 \text{ m}^3) = 2 \cdot 10^5 \text{ J}$
- B $L = 0$
- C $L = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (2 \text{ m}^3 - 3 \text{ m}^3) = -2 \cdot 10^5 \text{ J}$
- D $nRT \ln \left(\frac{3 \text{ m}^3}{2 \text{ m}^3} \right) = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- E nessuno dei valori sopra indicati

8

Nel ciclo rappresentato in figura il lavoro risulta uguale a circa:

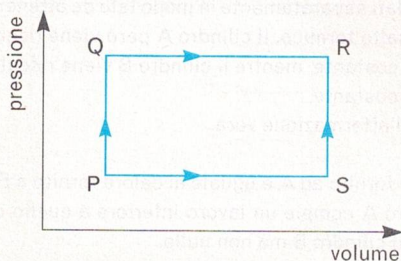
- A 2 J
- B 10 J
- C 20 J
- D 100 J
- E 15 J



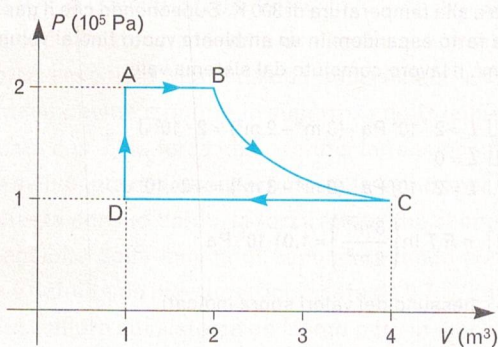
Una data massa di gas subisce la trasformazione rappresentata in figura in cui variano pressione e volume. Se il gas passa dallo stato P allo stato R seguendo le trasformazioni PQ e QR, assorbe 8 J di calore e compie un lavoro di 3 J. Se invece il passaggio di stato avviene secondo le trasformazioni PS e SR, il gas compie il lavoro di 1 J. In questo secondo caso il gas:

- A cede 4 J di calore
- B assorbe 6 J di calore
- C assorbe 8 J di calore

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

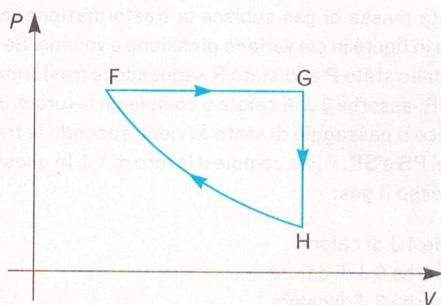


- 10 da Olimpiadi della fisica 1990, prova locale
Un gas ideale compie le trasformazioni rappresentate in figura. Quale delle seguenti affermazioni è quella corretta?
- A BC è un'espansione adiabatica.
B Il lavoro compiuto dal gas durante la trasformazione AB è uguale a quello fatto sul gas nella trasformazione 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?

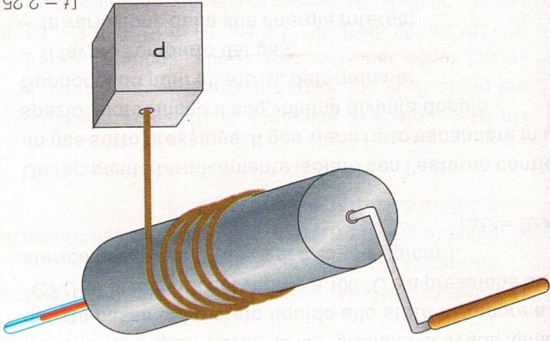
Problemi

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 $0,1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ subisce un aumento termico di $100 \text{ }^\circ\text{C}$. 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-

Unità 2

- 9 Un serbatoio contenente gas varia il suo volume di 5 m³. La pressione esterna a esso vale 0,95 bar. Determinare il lavoro compiuto nell'espansione.
[L = 4,75 · 10⁵ J]
- 10 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 10⁵ Pa. Determinare il lavoro che si compie nell'espansione.
[L = 3300 J]
- 11 Un cilindro di sezione 2 dm² 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 10⁵ Pa. Si sblocca ora lo stantuffo e gli si lascia eseguire una corsa di 10 cm. Determinare il lavoro compiuto dal gas.
[L = 200 J]
- 12 Il calore specifico dell'elio espresso in J/(g °C) vale 3,11. Determinare il suo calore specifico molare.
[L = 12,44 J/(mol K)]
- 13 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 cal/(g °C).
[C_{mp} = 29,314 J/(mol K); 0,25 cal/(g °C)]
- 14 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 J]
- 15 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 K]
- 16 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 J/(mol K)]
- 17 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 10⁵ Pa e la sua temperatura - 73,15 °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 K; L = 1,66 · 10³ J; Q = 4157 J]
- 18 3 moli di gas monoatomico vengono riscaldate alla pres-

- 4 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 cal]
- 5 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 cal/(g °C) e che il meteorite non fonda per il calore ricevuto. Trascurare l'irraggiamento di calore verso l'esterno.
[T = 2480 K]
- 6 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 cal/(g °C).
[ΔT ≈ 3 °C]
- 7 300 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 cal/(g °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]
- 8 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 °C]
- 

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 $0,24 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$. 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 $20,6 \text{ J}/(\text{mol K})$, determinare il calore totale fornito per il riscaldamento.

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

- 22 3 moli di gas monoatomico [$C_{mv} = 12,47 \text{ J}/(\text{mole K})$] sono contenute in un cilindro dotato di stantuffo mobile senza attrito e si trovano in equilibrio con la pressione esterna (1,5 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.

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

- 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 $2 \cdot 10^5$ 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 [$C_{mv} = 20,8 \text{ J}/(\text{mol K})$] 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:

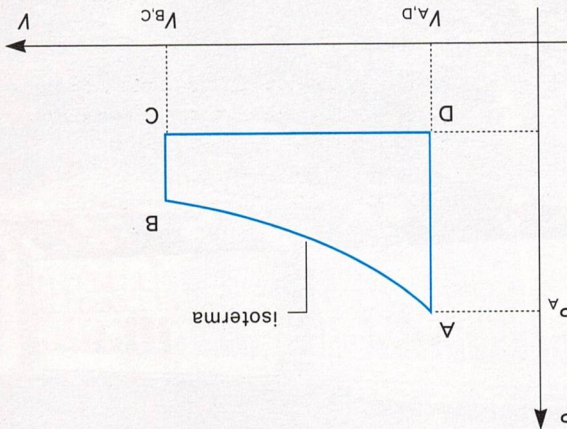
- il lavoro compiuto dal gas;
- la variazione della sua energia interna;
- la variazione della sua temperatura;

il calore totale scambiato con l'esterno quando il ciclo è

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

Una mole di gas ideale biatomico esegue le quattro tra-

sformazioni 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.

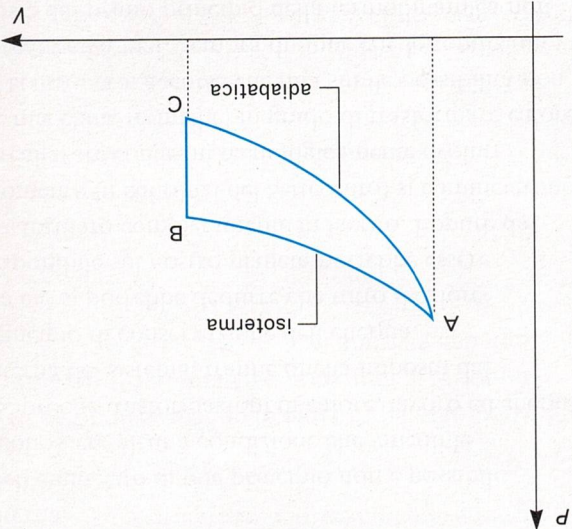


[trasformazione AB: $L = 5,48 \cdot 10^3 \text{ J}$; $\Delta U = 0$; $\Delta Q = 5,48 \cdot 10^3 \text{ J}$;
trasformazione BC: $L = 0$; $\Delta U = -2,08 \cdot 10^3 \text{ J}$; $\Delta Q = -2,08 \cdot 10^3 \text{ J}$;
trasformazione CD: $L = -2,77 \cdot 10^3 \text{ J}$; $\Delta U = -9 \cdot 10^3 \text{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



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

- 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 vertical-

mente, dotato di stantuffo avente massa 5 kg. Sullo stan-

tuffo 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

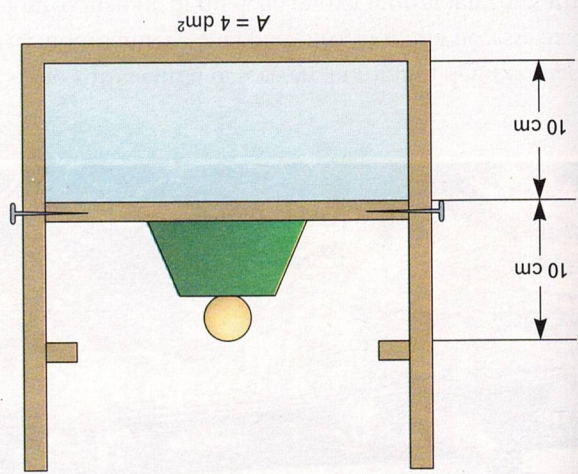
distanza di 10 cm dalla base del cilindro. Successivamen-

te 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

$12,5 \text{ J/(mole K)}$; 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 di 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