Test

1 Individuare, tra le seguenti affermazioni, quella errata.

- **A** Il rendimento di un ciclo è sempre minore di 1.
- **B** Il rendimento di un ciclo potrebbe essere 1 solo se si potesse operare con un gas ideale.
- **C** Il rendimento di un ciclo di Carnot potrebbe essere uguale a 1 solo se T_1 coincidesse con lo zero assoluto.
- **D** Il rendimento di un ciclo ideale è sempre superiore a quello di un ciclo reale che operi fra le stesse temperature.

2 Il rendimento di un ciclo ideale che opera fra le temperature di 500 °C e 100 °C:

- **A** è il 20%
- **B** è circa il 50%
- **C** è l'80%
- **D** non si può determinare se non si conosce la natura del ciclo

3 Individuare l'affermazione corretta.

- **A** Un ciclo di Carnot è un ciclo ideale di rendimento 100%.
- **B** Fra tutti i cicli ideali che scambiano calore tra due sole sorgenti aventi rispettivamente temperatura T_1 e T_2, quello che realizza il ciclo di Carnot ha il massimo rendimento.
- **C** Un ciclo di Carnot ha lo stesso rendimento di ogni altro ciclo ideale, purché sia identica la temperatura dei due termostati fra i quali scambia il calore.
- **D** Il ciclo di Carnot ha un rendimento minore di un ciclo reale che operi fra le stesse temperature.

4 Individuare l'affermazione vera.

- **A** Il secondo principio della termodinamica si fonda sul principio di conservazione dell'energia e pertanto non poteva essere enunciato prima del 1842.
- **B** Il secondo principio della termodinamica afferma che non è possibile realizzare alcuna trasformazione nella quale del calore estratto da un'unica sorgente sia completamente trasformato in lavoro.
- **C** Gli enunciati di Clausius e di Kelvin sono conseguenze deducibili dal secondo principio della termodinamica.
- **D** Fra il secondo principio della termodinamica e la tendenza dell'entropia ad aumentare non c'è alcuna connessione e perciò gli enunciati sulla grandezza entropia dovrebbero fare semmai capo a un terzo principio della termodinamica totalmente distinto dal secondo.
- **E** Tutte le proposizioni precedenti sono errate.

5 Individuare l'affermazione corretta.
Un sistema scambia in modo ideale del calore tra una sorgente fredda a temperatura T_0 e tre sorgenti calde a temperatura T_1, T_2, T_3, con $T_1 < T_2 < T_3$.
Il rendimento dell'intero ciclo è allora dato da:

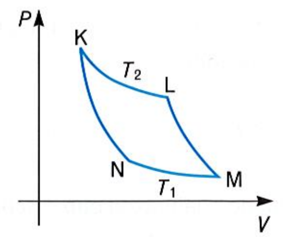
- **A** $1-\frac{T_1}{T_0}$
- **B** $1-\frac{T_3}{T_0}$
- **C** $1-\frac{T_0}{T_3}$
- **D** nessuna delle precedenti

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:

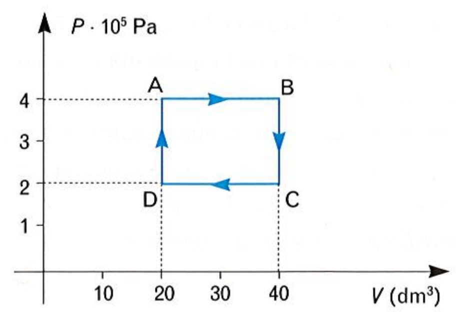
- **A** l'entropia della massa d'acqua che solidifica aumenta
- **B** l'entropia della massa d'acqua che solidifica diminuisce
- **C** l'entropia dell'Universo resta invariata
- **D** l'entropia dell'Universo diminuisce

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 nelle 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 identico, in valore assoluto, al calore che il sistema cede nella trasformazione BC.
- **E** Il lavoro totale compiuto dal sistema in un ciclo vale 8000 J.

Quesiti

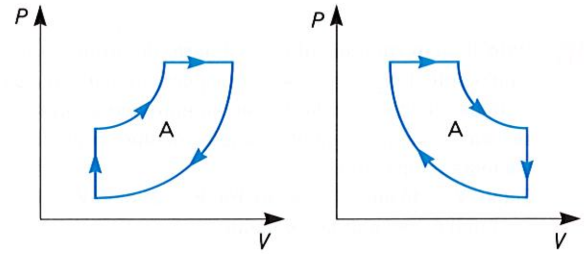
1 Costruire una frase scientificamente significativa e corretta a partire dai termini seguenti:
rendimento; ciclo di Carnot; ciclo reversibile.

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

1 In un ciclo di Carnot le due isoterme vengono eseguite alla temperatura di 500 K e 300 K, rispettivamente. Durante la fase di espansione vengono forniti 4000 J di energia termica. Determinare il lavoro compiuto nel ciclo e il calore ceduto alla sorgente a temperatura inferiore.
[L = 1600 J; Q_1 = 2400 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 kcal; L = 66,7 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 K]

4 Un ciclo di Carnot opera fra le temperature T_2 = 400 K e T_1 = 300 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.
[η = 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 K]

6 In un ciclo di Carnot vengono fornite 4 kilocalorie alla temperatura T_2 = 600 K. Sapendo che a ogni ciclo viene compiuto un lavoro di 8000 J, calcolare il rendimento e la temperatura di raffreddamento T_1.
[η = 0,478; T_1 = 313 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 K e T_1 = 600 K, il secondo ciclo opera tra le temperature T_2' = 600 K e T_1' = 300 K. Sapendo che al primo ciclo vengono fornite 10^4 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_{tot} = 6250 kcal; η = 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 °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 ambiente a temperatura costante di + 20 °C.
Determinare la potenza che si deve impegnare per far funzionare la macchina termica.
[184 W]

10 Quando in una macchina termica si usa come fluido il vapor 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 $\eta = 0{,}62$]

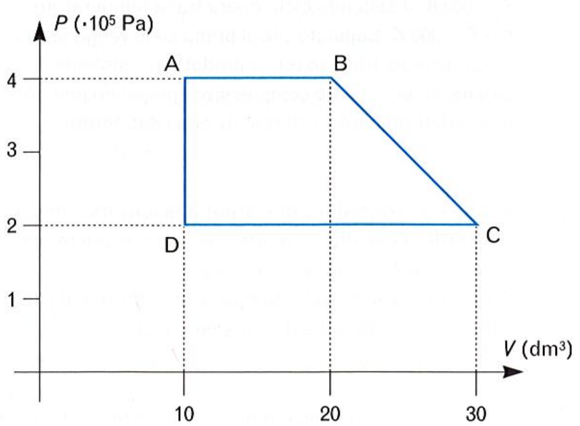
11 Una macchina termica a vapore ha rendimento pari al 3%. Il vapore viene immesso nella macchina a 130 °C e viene espulso a 110 °C. Quale percentuale dell'energia viene perduta rispetto a quella che potrebbe essere teoricamente utilizzata se il ciclo eseguito dalla macchina fosse perfettamente reversibile?

[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).

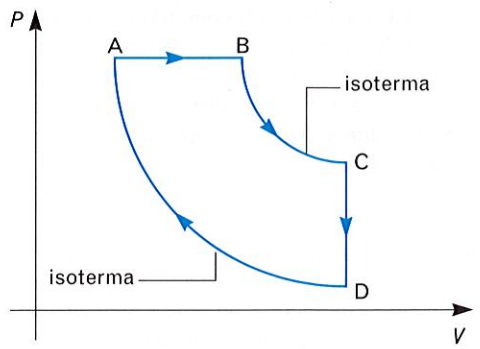


[$L = 3000$ J; $Q_{tot} = 3000$ J; $\eta = 0{,}16$]

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.

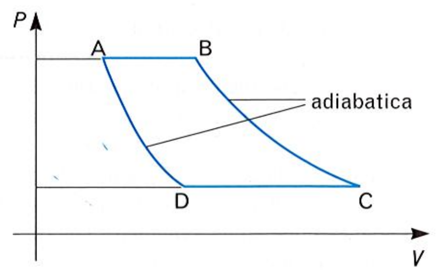
[$\eta = 0{,}096$]

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.



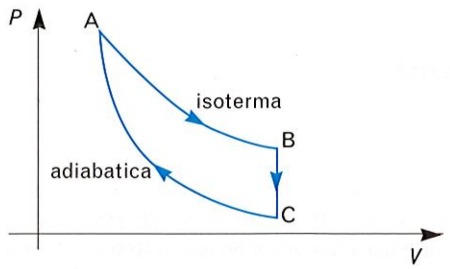
[$P_B = P_A$; $V_B = 16{,}7$ dm³; $P_C = 1{,}67 \cdot 10^5$ Pa; $V_C = 30$ dm³; $P_D = 10^5$ Pa; $V_D = V_C$; $L = 1644$ J; $Q_{AB} = 4995$ J; $Q_{BC} = 2952$ J]

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; $\Delta S_{DA} = -11{,}0$; $\Delta S_{tot} \cong 0$, 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:
a) un'espansione del gas fino al volume di 60 dm³;
b) una sua ricompressione 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]

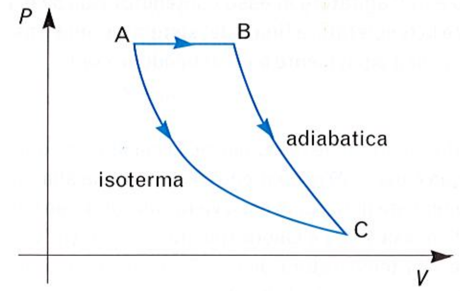
24 30 g di ghiaccio alla temperatura di – 20 °C vengono posti in un calorimetro perfettamente isolato contenente 10 l di acqua a 10 °C.
Supponendo che la temperatura dell'acqua resti praticamente immutata (giustificare tale ipotesi), calcolare la variazione di entropia del sistema.
(Il calore specifico 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]

Problemi di 2° livello

Modulo 1

1 Il rame ha un coefficiente di dilatazione lineare α_{Cu} di $1{,}7 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$ e l'alluminio un coefficiente di dilatazione lineare $\alpha_{Al} = 2{,}3 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$.
Una bacchetta fatta di rame ha, a 0 °C, il diametro di 2 cm, e un anello di alluminio, sempre a 0 °C, ha il diametro interno di 1,998 cm. Determinare a quale temperatura l'anello potrà essere infilato sulla sbarra di rame.
[$t = 167{,}3$ °C]

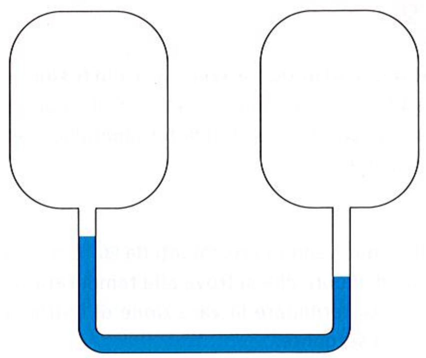
2 In un recipiente sono contenuti 400 g di acqua a 10 °C. In esso vengono poi introdotti 200 g di acqua alla temperatura di 90 °C. Si sa che la massa equivalente in acqua del calorimetro (cioè quella ipotetica massa di acqua che subirebbe le stesse variazioni termiche delle pareti del calorimetro e dell'agitatore in esso contenuto) vale 50 g. Determinare la temperatura finale del sistema, prima trascurando la massa equivalente e poi tenendone conto.
[$t_{f1} = 36{,}7$ °C; $t_{f2} = 34{,}6$ °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 °C. In esso viene introdotto un corpo solido di massa 250 g e calore specifico 0,2 cal/(g °C) inizialmente alla temperatura di 100 °C. In tutta l'operazione si realizza una perdita del 10% del calore trasferibile in condizioni ideali. Calcolare la temperatura finale del sistema.
[$t_f = 31{,}9$ °C]

4 In un calorimetro delle mescolanze che pesa 400 g sono presenti 200 g di acqua a 30 °C e, successivamente, vengono introdotti 200 g di acqua a 20 °C. Si osserva che la temperatura di equilibrio è di 25,5 °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 °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 cal/g.
[massa equivalente del calorimetro: $m_e = 44{,}4$ g; calore latente $c_l = 78{,}9$ cal/g; errore percentuale = –1%]

5 Una stanza ermeticamente chiusa contiene 100 kg di aria alla temperatura di 20 °C (calore specifico dell'aria = 0,171 cal/(g °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 irraggiato verso l'interno 500 kcal.
[$t = 15{,}9$ °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.
[$t = 313{,}15$ 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.
[$T \simeq 377$ K]

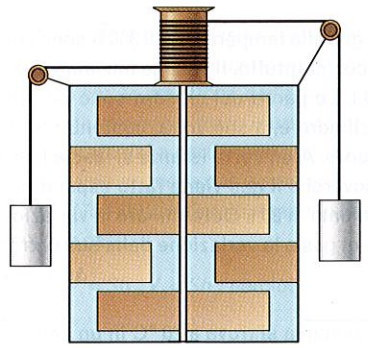
8 In un recipiente di 1 l sono contenuti atomi di elio (massa molare = 4 g/mol) a 300 K e a pressione atmosferica.
In un altro recipiente di identico volume, sempre a pressione atmosferica ma a 500 K, è contenuto del neon (massa molare = 20,18 g/mol).
Determinare il numero di atomi di elio e di neon 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 cal/(mol K), determinare la temperatura finale del sistema e le velocità medie delle molecole di elio e di neon a questa nuova temperatura.
[$N_{He} = 2{,}44 \cdot 10^{22}$ atomi; $N_{Ne} = 1{,}46 \cdot 10^{22}$ atomi; $v_{He} = 1368$ m/s; $v_{Ne} = 786$ m/s; $T_f = 376$ K; $v_{He} = 1530$ m/s; $v_{Ne} = 682$ m/s]

9 Un gas ideale si trova a 300 K e alla pressione di 10^4 Pa. La sua densità vale 0,1285 g/dm³.
Determinare la massa molare del gas e la velocità media delle sue molecole.
[massa molare = 32 g/mol; $v_{media} = 484$ m/s]

Modulo 2

10 Un proiettile di ferro di massa m = 50 g, sparato orizzontalmente alla velocità di 1000 m/s, si conficca in un blocco di piombo di massa M = 9,95 kg appoggiato a un piano orizzontale perfettamente liscio.
Supponendo che i calori specifici di ferro e piombo valgano rispettivamente 0,1 cal/(g °C) e 0,03 cal/(g °C), e che non vi siano perdite di calore verso l'esterno, stabilire la variazione di temperatura del blocco dopo l'urto.
[$\Delta t = 19{,}6$ °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.



[$\Delta t = 0{,}934$ °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 cm² 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.
[sollevamento = 3,05 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: $P_1 = 3 \cdot 10^5$ Pa, $V_1 = 20$ dm³.
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.
[$T = 361$ K; $V = 23$ dm³; $P = 2{,}61 \cdot 10^5$ Pa]

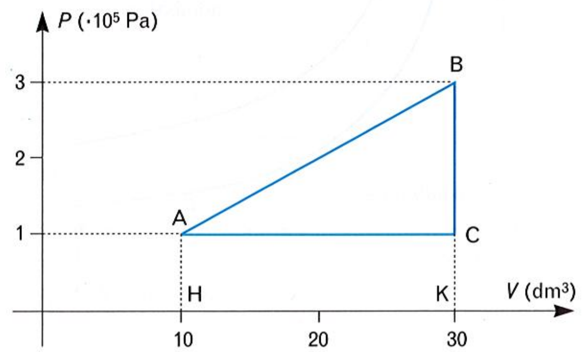
14 Due moli di gas monoatomico, inizialmente alla temperatura di 300 K, subiscono una compressione che riduce il loro volume a 3/4 del volume iniziale. Calcolare la temperatura finale del gas e il lavoro compiuto dall'esterno se:

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

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

15 Calcolare il lavoro di espansione che si compie nel riscaldare, a pressione atmosferica, 1 m³ di ferro da 0 °C a 1000 °C e si confronti il risultato con il lavoro di espansione che si compie riscaldando 1 m³ di aria, sempre a pressione atmosferica e sempre fra le temperature di 0 °C e 1000 °C.
Determinare infine la variazione dell'energia interna dei due sistemi, sapendo che il calore specifico del ferro vale 0,107 cal/(g °C), il calore specifico dell'aria a pressione costante vale 0,24 cal/(g °C), la densità del ferro vale 7860 kg/m³ e quella dell'aria 1,293 kg/m³, il coefficiente di dilatazione volumica del ferro vale $37 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ e quello dell'aria $1/273\ °C^{-1}$.
[lavoro di espansione per il ferro = $3{,}737 \cdot 10^3$ J;
lavoro di espansione dell'aria = $3{,}7 \cdot 10^5$ J;
calore fornito al ferro = $3{,}515 \cdot 10^9$ J;
calore fornito all'aria = $1{,}297 \cdot 10^6$ J;
variazione dell'energia interna del ferro = $3{,}515 \cdot 10^9$ J;
variazione dell'energia interna dell'aria = $9{,}27 \cdot 10^5$ 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.



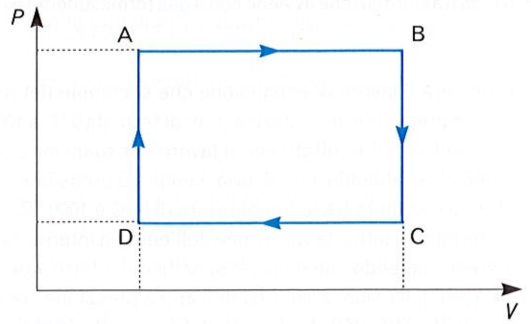
[$L_{AB} = 2000$ J; $Q_{AB} = 16000$ J; $Q_{BC} = -9000$ J; $Q_{CA} = -5000$ J]

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 cal]

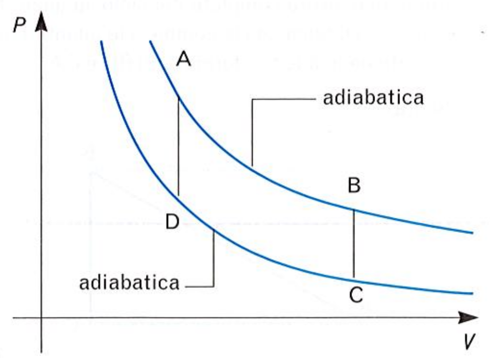
18 Determinare i parametri fisici dei punti ABCD del ciclo

rappresentato in figura e il suo rendimento.
Lo stato corrispondente al punto A è caratterizzato dai seguenti valori: $T_A = 500$ K, $V_A = 20$ dm^3, $P_A = 5{,}05 \cdot 10^5$ Pa.
Il punto B corrisponde a uno stato caratterizzato da un volume $V_B = 60$ dm^3, il punto D da una temperatura $T_D = 166{,}3$ K e il calore specifico a volume costante del gas vale 12,5 J/(mol K).



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

19 Il ciclo di un motore a scoppio è idealmente riconducibile alla sequenza di trasformazioni AB, BC, CD, DA rappresentate in figura.
Si ponga: $n = 1$ mol; $V_A = 10$ dm^3; $P_A = 5 \cdot 10^5$ Pa; $V_B = 20$ dm^3; $T_C = 200$ K; $\gamma = 1{,}66$; $C_{mV} = 12{,}5$ J/(mol K).
Determinare il lavoro compiuto nel ciclo, il calore fornito durante l'intero ciclo e il rendimento di questo.



[$L = 1313$ J; $Q = 3563$ 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 = 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.
[$\Delta U = 0$; $\Delta S = 11{,}5$ 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 cal/(g °C)).
[$\Delta S = 9{,}2$ J/K]

Risposte

Modulo 1

Test

1 Il calore ceduto da 100 g di acqua a 12 °C a un sistema che si trova a 0 °C è pari a 1200 cal. D'altra parte la fusione di 200 g di ghiaccio a 0 °C richiede 16 000 cal. Perciò l'acqua si porta a 0 °C senza riuscire a fondere tutto il ghiaccio. La risposta corretta è quindi la A.

2 Poiché l'acqua bolle alla temperatura alla quale la tensione di vapore eguaglia la pressione esterna, la proposizione vera è la A.

3 A è errata perché la pendenza della retta che rappresenta la dipendenza t, Q per lo stato liquido è maggiore che per lo stato solido. B è errata perché dopo 4 minuti la sostanza *inizia* a fondere. C è corretta perché 2000 J/min · 3 min = 6000 J. D è errata perché dopo 10 min la sostanza è ancora allo stato liquido.

4 La situazione verificata è la C.

5 Falso; nel secondo caso l'energia fornita non è di tipo disordinato e quindi non aumenta l'energia interna del corpo.

6 Nella posizione indicata dalla parte sinistra della figura, alla pressione atmosferica si aggiunge quella di una colonna di mercurio alta 15 cm; la pressione dell'aria corrisponde perciò a quella di una colonna di mercurio alta (75 + 15) cm. Nella posizione indicata dalla parte destra della figura, la pressione dell'aria è invece quella corrispondente a una colonna di mercurio alta (75 − 15) cm. Perciò, essendo identica la temperatura nei due casi:

$P_1V_1 = P_2V_2$ con $V_1 = Sh_1$, $V_2 = Sh_2$; perciò:
$P_1h_1 = P_2h_2$

Da questa, $h_2 = 36$ cm. La risposta corretta è perciò la D.

7 La risposta corretta è la C.

8 Nella posizione iniziale sono uguali la temperatura e la pressione del gas nelle due parti A e B. Quindi, per la legge generale dei gas, il rapporto fra i volumi di A e B è uguale al rapporto fra le moli di gas in essi contenute. Perciò $n_A = 2n_B$. Nella posizione finale si ha:

$P'_A V'_A = n_A R$ 100 K $\quad P'_B V'_B = n_B R$ 500 K

con $P'_A = P'_B$

Si ha allora:

$$\frac{V'_A}{V'_B} = \frac{n_A R \, 100\ \text{K}}{n_B R \, 500\ \text{K}}$$

e tenendo conto che $n_A = 2n_B$ si ottiene:

$$\frac{V'_A}{V'_B} = \frac{2}{5}$$

La risposta corretta è la C.

9 La risposta corretta è la A.

10 La risposta corretta è la A.

11 Nella prima trasformazione, a volume costante, la pressione è proporzionale alla temperatura assoluta, quindi $P_2 = 2P_1$. Nella seconda trasformazione sono costanti volume e temperatura e quindi, per la legge generale dei gas, la pressione è proporzionale al numero di moli (e quindi di molecole). Per dimezzare la pressione occorrerà quindi dimezzare il numero di molecole; la risposta esatta è la C.

12 La risposta corretta è la A.

13 Il numero di molecole di gas è proporzionale al numero di moli (la costante di proporzionalità è il numero di Avogadro). Si può quindi rispondere al test calcolando il rapporto n_2/n_1 fra i numeri di moli dei due gas. Dalla legge generale dei gas ricordando che essi hanno lo stesso volume V, si ricava:

$$n_1 = \frac{P_1 V}{RT_1} \quad n_2 = \frac{P_2 V}{RT_2} \quad \text{da cui} \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{P_2 T_1}{T_2 P_1}$$

Si ottiene $n_2/n_1 = 2/3$ e quindi la risposta corretta è la D.

14 La risposta corretta è la D.

15 La risposta corretta è la B.

16 Dalla relazione $PV = nRT$, si deduce che il prodotto PV dipende anche dal numero n di moli di gas; l'affermazione perciò è falsa.

17 La risposta corretta è la C.

18 Sulla veridicità o falsità della proposizione non si può dire nulla, perché non si precisa il valore della massa molare.

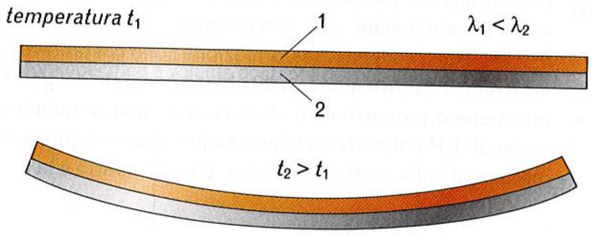
Quesiti

2 Il mercurio ha una tensione di vapore e una temperatura di solidificazione decisamente più basse di quelle dell'acqua e perciò a temperature elevate la quantità di mercurio vaporizzato è trascurabile mentre occorreranno temperature molto basse per produrre la solidificazione. Si deve poi tenere presente che il volume specifico dell'acqua subisce consistenti variazioni fra lo zero e i 60-70 °C e ciò comporta l'impossibilità di realizzare, con tale sostanza, una scala termometrica lineare.

3 Perché allo stato liquido ha un calore specifico relativamente alto e, soprattutto, ha calori latenti di passaggio di stato molto elevati.

4 La dilatazione della lastra determina un aumento anche del raggio del foro.

5 Il diverso coefficiente di dilatazione delle due lamine determinerà un diverso allungamento delle lamine stesse al quale conseguirà una deformazione della coppia (si veda in proposito la figura seguente). Questa proprietà delle lamine bimetalliche può essere utilizzata per realizzare sistemi di controllo della temperatura.



6 No, occorre conoscere anche la temperatura iniziale dei due corpi, la loro massa e il loro calore specifico.

7 Un aumento della pressione comporterà una diminuzione della temperatura di fusione, come nel caso dell'acqua, perché il volume specifico della sostanza allo stato solido è maggiore di quello allo stato liquido.

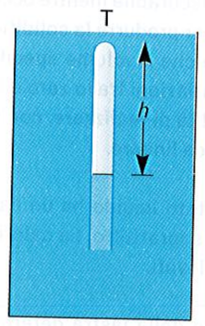
8 A causa delle enormi pressioni esercitate dagli strati più esterni del globo terrestre sulle sue parti più interne.

9 La pressione esercitata dal filo abbassa il punto di fusione del ghiaccio rispetto allo zero. Il ghiaccio viene così lentamente tagliato dal filo stesso.

10 Perché l'evaporazione di una grande parte dell'acqua eventualmente contenuta in essa produrrebbe pressioni capaci anche di far esplodere la pentola medesima. Si tenga presente che l'evaporazione di soli 18 g di acqua in una pentola di volume pari a 4 dm³ produce una pressione di circa $5 \cdot 10^5$ Pa.

11 Perché l'aumento di pressione che si crea nella pentola determina un aumento della temperatura di ebollizione dell'acqua e quindi i cibi vengono a trovarsi in un ambiente a temperatura più elevata. Nelle usuali pentole a pressione la temperatura si porta a circa 110 °C.

12 Ci si riferisca alla situazione illustrata nella figura seguente.



All'equilibrio, la pressione esercitata dall'aria imprigionata nel tubo T eguaglia la pressione idrostatica dovuta al dislivello h. Perciò:

$$\delta g h = \frac{nRT}{hS}$$

dove con S si è indicata la sezione del tubo, con n le moli d'aria in esso contenute e con T la temperatura dell'aria. Il dislivello h, nel caso dell'acqua (A) e del mercurio (M), vale allora:

$$h_A^2 = \frac{nRT}{\delta_A g S} \qquad h_M^2 = \frac{nRT}{\delta_M g S} \qquad (*)$$

La pressione che tiene il tubo nella posizione indicata dalla figura precedente, quando il tubo sia di peso trascurabile, è data da:

$P = nRT/(hS)$, ovvero, per l'acqua e per il mercurio:

$$P_A = \frac{nRT}{h_A S} \qquad P_M = \frac{nRT}{h_M S}$$

Da queste si ha allora:

$$\frac{P_M}{P_A} = \frac{h_A}{h_M}$$

ovvero, per le (*):

$$\frac{P_M}{P_A} = \sqrt{\frac{\delta_M}{\delta_A}}$$

Dunque si deve compiere uno sforzo maggiore per il tubo di mercurio.

13 L'evaporazione dell'acqua di cui è impregnato il fazzoletto avviene assorbendo calore dall'ambiente e, quindi, anche dal volto su cui il fazzoletto è appoggiato.

14 La temperatura critica dell'acqua è circa 374 °C e perciò la risposta alla prima domanda è no. Come si vede, per rispondere alla domanda, occorre conoscere il valore della temperatura critica della sostanza.

15 L'ambiente non è isocoro!

16 L'uso del rame è determinato dal fatto che questo materiale è un ottimo conduttore di calore e quindi consente di distribuire meglio il calore localizzato ricevuto dalla fiamma. Una considerevole massa metallica possiede inoltre una buona capacità termica e impedisce variazioni di temperatura troppo rapide, variazioni che, ancora una volta, non permettono un'uniforme distribuzione del calore.

17 Le temperature corrispondono alle quote. L'analogia ha però non pochi difetti. Anzitutto perché il flusso dell'acqua è un vero e proprio flusso materiale, mentre il flusso di calore in un corpo consiste in una trasmissione di energia senza trasporto di materia. Secondariamente perché una conduttura d'acqua non comporta dispersioni dell'acqua stessa, mentre un cilindro conduttore del calore sarà caratterizzato da dispersioni del calore dalla sua superficie laterale che renderanno il flusso di calore non stazionario.

19 La pressione dipende non solo dall'entità degli impulsi molecolari ma anche dalla loro frequenza contro la parete e anche questa grandezza aumenta con la velocità.

20 Essendo $PV = nRT$ e $P/2\ V' = nRT/2$ si ha che $V/V' = 1$. Il volume quindi resta inalterato.

21 Sapendo che l'energia cinetica delle molecole è data dalla relazione $E_c = n/2\ kT$ (con n, numero dei gradi di libertà), quando la velocità si dimezza la temperatura diventa un quarto.

22 Poiché la molecola di He e quella di Ar sono entrambe monoatomiche, l'energia cinetica è la stessa ($E_c = 3/2\ kT$), mentre la velocità dipende dalla massa della molecola $\left(v = \sqrt{3kT/m}\right)$.

23 Dalla relazione $PV = nRT$ (con n, numero di moli), si ricava che la temperatura raddoppia. Dalla $E_c = n/2\ kT$ (con n, numero dei gradi di libertà) si ricava che l'energia cinetica raddoppia; la relazione tra le velocità risulta perciò la seguente: $v_2 = v_1\sqrt{2}$.

24 Il rapporto tra i volumi è $V_2/V_1 = 1/2$; il rapporto tra le velocità è $v_2/v_1 = \sqrt{1/2}$.

Problemi

5 Applicare la relazione: $V_t = V_0(1 + k\,t)$ ricavando $V_t - V_0$ $(= V_0 k\,t)$ e dividendo poi per V_0. Si ottiene: $[(V_t - V_0)/V_0] \cdot 100 = 0{,}2\%$.

6 Il simbolo l_0 della formula $l_t = l_0(1 + \lambda\,t)$ non indica la lunghezza *iniziale* del filo ma la *lunghezza alla temperatura* di 0 °C. Occorre perciò applicare la formula precedente una prima volta per ricavare l_0 (ponendo $l_t = 1000$ m e $t = 100$ °C) e una seconda volta per ricavare l_t a 200 °C utilizzando il valore di l_0 precedentemente trovato. Si ottiene:

$$l_{200\,°C} = \frac{l_{100\,°C}}{(1 + \lambda\,100\,°C)}(1 + \lambda\,200\,°C) = 1091\,\text{m}$$

Si osservi che assumendo $l_0 = 1000$ m e ponendo $t = (200$ °C $- 100$ °C$)$ si otterrebbe $l_{200\,°C} = 1100$ m, un valore diverso dal precedente.

7 Nel riscaldamento la massa del corpo resta costante mentre il suo volume aumenta secondo la relazione $V_t = V_0(1 + kt)$. Calcolando perciò il rapporto:

$$\frac{\delta_{100} - \delta_0}{\delta_0} \cdot 100 = \frac{\dfrac{m}{V_0(1+kt)} - \dfrac{m}{V_0}}{\dfrac{m}{V_0}}$$

si ottiene: $-1{,}77\%$.

8 Se l' è la lunghezza del filo a 30 °C il periodo del pendolo a questa temperatura è: $T' = 2\pi\sqrt{l'/g}$.

In 86 400 s il pendolo batte $86\,400/T'$ volte e quindi il ritardo rispetto al pendolo che batte il secondo è dato da:

$$\left(86400 - \frac{86400}{T'}\right)\text{s}$$

Per calcolare T' determiniamo anzitutto l.

$$l = \frac{T^2 \cdot g}{4\pi^2} = 0{,}248237\,\text{m}$$

Quindi a 30 °C si avrà:

$$l' = 0{,}248237\,\text{m} \cdot (1 + 1{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot 1/°C \cdot 30\,°C) = 0{,}2483189\,\text{m}$$

e quindi:

$$T' = 1{,}000165\,\text{s}$$

Il ritardo dopo un giorno risulta, perciò, di 14,25 s.

9 Si consideri un corpo omogeneo a zero gradi centigradi, di forma cubica con lato l_0. Se la temperatura viene portata al valore t, il suo volume diviene:

$$V_t = V_0(1 + kt)$$

D'altra parte si può anche scrivere:

$$V_t = [l_0(1 + \lambda\,t)]^3$$

Sviluppando quest'ultima espressione si ottiene:

$$V_t = l_0^3(1 + 3\lambda^2 t^2 + 3\lambda\,t + \lambda^3 t^3)$$

Tenendo conto che i valori di $\lambda\,t$ sono molto piccoli, si può trascurare il contributo dei termini che contengono $\lambda\,t$ al quadrato o al cubo rispetto a quello che contiene $\lambda\,t$ alla prima potenza. Perciò si ha:

$$V_t = l_0^3(1 + 3\lambda\,t)$$

Essendo poi $l_0^3 = V_0$, l'ultima espressione diviene:

$$V_t = V_0(1 + 3\lambda\,t)$$

che confrontata con la:

$$V_t = V_0(1 + kt)$$

dimostra che $k = 3\lambda$.

11 Le equazioni che traducono la dilatazione dell'acqua e del vetro (entrambi inizialmente a 0 °C) sono le seguenti:

$$V_{H_2O} = 150\,\text{cm}^3(1 + k_{acqua} \cdot 60\,°C)$$

$$V_{vetro} = 150\,\text{cm}^3(1 + k_{vetro} \cdot 60\,°C)$$

Sapendo che $V_{acqua} - V_{vetro} = 3{,}9\,\text{cm}^3$ si può scrivere:

$$150\,\text{cm}^3(1 + k_{acqua} \cdot 60\,°C) - 150\,\text{cm}^3(1 + k_{vetro} \cdot 60\,°C) = 3{,}9\,\text{cm}^3$$

Risolvendo si ottiene $k_{acqua} = 4{,}56 \cdot 10^{-4}\,°C^{-1}$.

16 Per l'equilibrio termico, indicando con x la temperatura finale, si deve avere:

$$C_{H_2O}\,200\,\text{g}\,(x - 50\,°C) = C_{H_2O}\,400\,\text{g}\,(90\,°C - x)$$

Risolvendo: $x = 76{,}7$ °C.

20 Per la legge dell'equilibrio termico, il calore ricevuto dall'acqua è dato dalla somma dei calori ceduti dai due corpi; da questa considerazione deriva la relazione:

$$(C_1 m_1 + C_2 m_2)\,\Delta t_1 = C_{H_2O}\, m_{H_2O}\,\Delta t_2$$

D'altronde, poiché conosciamo la somma M delle masse dei due corpi, si può scrivere anche la relazione:

$M = m_1 + m_2$

Si ha così un sistema di due equazioni nelle incognite m_1 e m_2, dal quale si ottiene:

$m_1 = 4266$ g, $\quad m_2 = 734$ g.

23 Da 0 °C a 30 °C applicare la relazione $Q = c\, m\, \Delta t$ con $C = 0{,}5$ cal/(g °C), $m = 100$ g, $\Delta t = 30$ °C. Si ottiene 1500 cal. Nel processo di fusione vengono impegnate 100 g 40 cal/g = 4000 cal. Per il successivo riscaldamento applicare ancora la relazione $Q = C\, m\, \Delta t$ con $C = 1{,}2$ cal/(g °C). Si ottiene $Q = 10\,800$ cal. Per la fase finale di ebollizione completa si ha poi $Q =$ 100 g 200 cal/g = 20 000 cal. In totale $Q = 36\,300$ cal.

24 L'eguaglianza fra calore ceduto e calore assorbito si traduce nell'equazione seguente:

$$100\,\text{g} \cdot 1\,\frac{\text{cal}}{\text{g °C}} + (20\text{ °C} - x) + 200\text{ cal} =$$
$$= 10\,\text{g} \cdot 80\,\frac{\text{cal}}{\text{g}} + 10\,\text{g} \cdot 1\,\frac{\text{cal}}{\text{g °C}} \cdot (x - 0\text{ °C})$$

Risolvendo si ottiene: $x = 12{,}73$ °C.

26 Supponendo che solo 190 g di acqua subiscano la variazione termica da 60 °C a 100 °C, il bilancio termico risulta il seguente:

190 g · 1 cal/(g °C) (100 °C − 60 °C) + 10 g 540 cal/g = 13 000 cal.

27 Tenere presente che nella fase da 0 ° a 70 °C (ove l'andamento temperatura-calore fornito è rettilineo) la quantità di calore fornita per l'innalzamento termico si calcola con la relazione:

$Q = 1$ cal/(g °C) 100 g 70 °C = 7000 cal.

Questa quantità di calore è rappresentata da 7 divisioni sull'asse orizzontale, dunque ogni divisione di questo asse corrisponde a 1000 cal. La Q totale fornita per il processo risulta perciò di 15 000 cal.
In assenza di evaporazione e di dispersioni di calore, la quantità di calore necessaria per il riscaldamento da 0 °C a 100 °C sarebbe stata pari a 1 cal/(g °C) 100 g 100 °C = 10 000 cal. Tale valore corrisponde all'ascissa del punto P della figura del testo.

31 Il calore fornito dall'acqua viene utilizzato per portare il ghiaccio da −20 °C a 0 °C, per fonderlo e, infine, per riscaldare la corrispondente massa d'acqua alla temperatura finale. Il bilancio termico si traduce perciò nella formula seguente:

500 g · 1 cal/(g °C) (40 °C − x) = 60 g · 0,5 cal/(g °C) 20 °C + + 80 cal/g · 60 g + 60 g · 1 cal/(g °C) (x − 0 °C)

Risolvendo: $x = 26{,}07$ °C.

35 Si trasformino le temperature in kelvin e si applichino le relazioni:

$P_1 = kT_1 \quad P_2 = kT_2$

dalle quali: $P_2 = P_1 T_2 / T_1$.

44 Si applichi la legge generale dei gas due volte per determinare il numero di moli di ossigeno e azoto. Si ottiene:

$n_{O_2} = 2$ mol $\quad n_{N_2} = 10{,}36$ mol

La massa dei due gas si calcola tenendo conto delle loro masse molari:

2 mol · 32 g/mol + 10,36 mol · 28 g/mol = 354 g

Per la pressione si deve ancora applicare la legge generale ponendo $n = 12{,}36$ mol, $T = 313{,}15$ K, $V = 0{,}02$ m³. Si ottiene:

$P = 1{,}61 \cdot 10^6$ Pa.

46 Per lo stato iniziale e finale del gas si possono scrivere le seguenti equazioni:

$20 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot 10^7\,\text{Pa} = n\,R \cdot 293\,\text{K} \qquad 30 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot P = n\,R \cdot 293\,\text{K}$

dalle quali si ottiene: $P = 6{,}67 \cdot 10^6$ Pa.

La massa di gas, pari alla massa delle n moli:

$$\frac{20 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot 10^7\,\text{Pa}}{8{,}314\,\text{J/(mol K)}\;293\,\text{K}} \cdot 28\,\frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2300\,\text{g}$$

è ripartita in proporzione ai volumi delle due bombole e quindi si hanno 1533 g nella bombola da 20 l e 767 g in quella da 10 l.

49 Indicando con m la massa di un atomo ($20{,}2 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg) e con k la costante di Boltzmann ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K), si ha:

$$v_1 = \sqrt{\frac{3\,k\,T_1}{m}} \qquad v_2 = \sqrt{\frac{3\,k\,T_2}{m}}$$
$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = 0{,}856$$
$$v_1 = 579\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \qquad v_2 = 676\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Modulo 2

Test

1 La risposta corretta è la C.

2 Se il lavoro L è positivo allora per il primo principio $Q - \Delta U > 0$, cioè $Q > \Delta U$. La risposta corretta è quindi la C. Si osservi che in una adiabatica con $L > 0$, $Q = 0$ (B falsa), mentre in una espansione isobara ΔU, L e Q sono positivi (A e D false).

3 In una adiabatica è in ogni caso $Q = 0$ (A ed E false e C vera). Per il primo principio $Q > 0$ se $\Delta U + L > 0$, cioè $L > -\Delta U$ (B vera); considerando una espansione isobara dove ΔU e L sono entrambi positivi si deduce che D è falsa; per il primo principio se $\Delta U > 0$, $Q - L > 0$, e quindi F è vera.

4 Le risposte corrette sono la C e la E.

5 La risposta corretta è la E.

6 A è errata, perché il gas del cilindro B compie anche lavoro contro l'esterno e quindi il calore fornito deve essere maggiore. B è errata, perché il gas del cilindro A non compie alcun lavoro. Una identica variazione di temperatura comporta un'identica variazione di energia interna e quindi C è errata mentre D è corretta. E è errata, perché la variazione della velocità delle molecole è identica solo se sono identiche le loro masse.

7 La risposta corretta è la B.

8 La risposta corretta è la B.

9 La variazione di energia interna, che è una funzione di stato, è la stessa nei due percorsi che hanno uguale stato iniziale e uguale stato finale.
Applicando il primo principio al percorso PQR si calcola ΔU (si ottiene $\Delta U = 5$ J); la stessa variazione si deve avere nel percorso PSR, per cui, applicando il primo principio, si ottiene $Q = 6$ J; la risposta corretta è quindi la B.

10 Si osservi che la trasformazione BC è una isoterma; infatti dal grafico si ricavano $P_B\, V_B = P_C\, V_C$: A è errata; inoltre in un'espansione isoterma viene compiuto lavoro positivo ($L = nRT \ln (V_C/V_B)$) e quindi D è errata. Il lavoro compiuto nelle trasformazioni isobare AB e CD è diverso, non solo perché di segno opposto, ma anche nel valore assoluto, che si ricava dalle aree sotto i due grafici: quindi B è errata. C è vera, perché DA è una isocora. E è errata, perché il lavoro totale è rappresentato dall'area del ciclo che non è nulla.

11 La risposta corretta è la B.

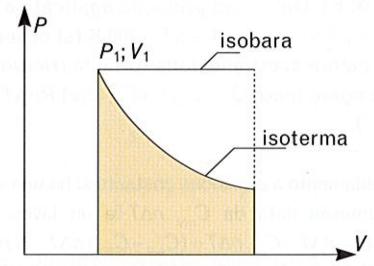
Quesiti

2 Il primo principio della termodinamica non è contraddetto da questo fenomeno. Infatti $Q = 0$ mentre $L < 0$ (la forza gravitazionale compie lavoro sul corpo) e perciò la variazione dell'energia interna $U_2 - U_1$ risulta positiva (aumento della temperatura).

3 No, perché nel sistema possono avvenire trasformazioni di energia da forme ordinate a forme disordinate. Si pensi ad esempio a un sistema isolato in cui del materiale cade sul pavimento; l'energia potenziale gravitazionale si trasforma in energia termica che aumenta la temperatura del sistema.

4 Sì, nel caso in cui il sistema compia lavoro contro l'esterno o viceversa.

5 Nel caso della trasformazione isobara, come dimostra il fatto che, in un diagramma P, V delle due trasformazioni, l'area sottostante l'isobara (che misura il lavoro compiuto durante la trasformazione) è maggiore dell'area sottostante l'isoterma che conduce al medesimo volume V. Si veda in proposito la figura seguente.



6 No, anzi l'energia che aziona il ventilatore si trasforma in calore e aumenta quindi la temperatura dell'aria stessa. Il senso di frescura prodotto dal ventilatore è associato all'incremento dell'evaporazione della pelle, processo che assorbe calore dal corpo.

7 Il calore fornito si trasforma tutto in energia interna dei due gas e perciò la variazione di questa grandezza sarà identica nei due casi. In generale, invece, il salto termico sarà diverso, dato che esso dipende dal numero di moli e dal calore specifico molare del gas, dati questi che non sono forniti nel testo.

8 Nel caso del riscaldamento a pressione costante si deve fornire maggior calore, si produce lavoro contro l'esterno (mentre nel caso di riscaldamento a volume costante il lavoro è addirittura nullo) ma la variazione dell'energia interna è identica a quella che si ottiene nell'altro caso.

Problemi

3 La variazione dell'energia interna dell'unità di massa dell'acqua è uguale, in valore assoluto, alla variazione della sua energia potenziale gravitazionale. Perciò: $\Delta U = 1$ kg 9,8 m/s² 50 m = 490 J. Si applichi la relazione $\Delta U = C\, m\, \Delta t$ con $C = 4180$ J/(kg K). Si ottiene $\Delta t = 0{,}12$ °C.

7 Capovolgendo il tubo si provoca una caduta dell'acqua e dei pallini di piombo alla quale è associata una diminuzione della loro energia potenziale gravitazionale approssimativamente uguale a (0,3 kg + 1 kg) 9,8 m/s² 1,5 m = 19,11 J. Questa energia viene convertita in calore dell'acqua e dei pallini e aumenta quindi la temperatura del sistema di una quantità Δt così calcolabile:

19,11 J/(4,18 J/cal) = (300 g 1 cal/(g °C) + + 1000 g 0,031 cal/(g °C)) Δt.

Si ottiene $\Delta t = 0{,}0138$ °C. Per aumentare di 2 °C la temperatura del sistema occorrono perciò circa 145 capovolgimenti.

10 Si applichi la relazione $P\Delta V$ dopo aver calcolato ΔV con la relazione $\frac{4}{3}\pi\,(0{,}2\text{ m})^3 - \frac{4}{3}\pi\,(0{,}05\text{ m})^3$.

Si ottiene $L = 3300$ J.

17 In una trasformazione isobara, volume e temperatura (in kelvin) sono proporzionali, quindi, dato che il volume è raddoppiato, raddoppia la temperatura assoluta (si ottie-

ne $T_1 = 400$ K). Dal primo principio applicato a un'isobara $L = P\,\Delta V = nR\Delta T$ con $n = 1$ e $\Delta T = 200$ K (si ottiene $L = 1{,}66 \cdot 10^3$ J); il calore si ottiene dalla formula (ricordando che il gas è monoatomico) $Q = C_{mP}\, n\Delta T = (5/2)\, Rn\Delta T$. Si ottiene $Q = 4157$ J.

21 Nel riscaldamento a pressione costante si ha una variazione di energia interna data da $C_{mV}\, n\Delta T$ e un lavoro L dato da $Q - \Delta U = C_{mP}\, n\Delta T - C_{mV}\, n\Delta T = (C_{mP} - C_{mV})\, n\Delta T = R\, n\Delta T$. Si ottiene $L = 1164$ J e $Q = C_{mP}\, n\Delta T = (20{,}6$ J/(mol K) $+ R)\, n\Delta T = 4048$ J.

25 La legge di Boyle $P_1V_1 = P_2V_2$ consente di esprimere la pressione finale P_2 nel modo seguente: $P_2 = P_1V_1/V_2$. Poiché P_1 è noto (10^5 Pa) occorre conoscere il rapporto V_1/V_2. Questo può essere ricavato dalla relazione $L = n\,R\,T\,\ln(V_2/V_1)$. Si ottiene $\ln(V_2/V_1) = 1{,}00232$. Utilizzando sulla calcolatrice la funzione e^x con $x = 1{,}00232$, si ottiene $V_2/V_1 = 2{,}72$. Si ha quindi $V_1/V_2 = 0{,}368$ e infine $P_2 = 3{,}68 \cdot 10^4$ Pa.

32 Occorre applicare il primo principio: $\Delta U + L = Q$. Il calore Q coincide con il calore latente ($Q = 2257$ J), il lavoro L consiste nel lavoro di espansione $P\Delta V$ che si ha nel passaggio liquido-aeriforme (si ottiene $L = 161$ J). Si ottiene infine $\Delta U = 2096$ J.

34 Si tratta di una trasformazione adiabatica, di tipo irreversibile. Vale in ogni caso la relazione $\Delta U + L = 0$. Il lavoro è compiuto contro un peso di massa complessiva $m = 100$ kg, sollevato di un tratto $h = 10$ cm, e contro la pressione atmosferica P, spostando l'aria di un volume pari a $V = Ah$. Il lavoro totale è quindi dato da:

$$L = mgh + PAh$$

Si ottiene $L = 498$ J. Dalla diminuzione dell'energia interna (– 498 J), si ricava la variazione di temperatura dalla formula $\Delta U = nC_{mv} \cdot \Delta T$, dopo aver calcolato il numero n di moli, dall'equazione di stato dei gas, applicata nelle condizioni iniziali. Si ottiene $n = 1{,}60$ mol, e $\Delta T = -24{,}9$ K. Ancora dall'equazione di stato, applicata ai valori finali di temperatura e volume del gas, si ricava la pressione finale. Si ottiene $P_F = 4{,}57 \cdot 10^5$ Pa.

35 Questa trasformazione, di tipo irreversibile, consiste nel passaggio di gas dalla bombola al gasometro, finché la pressione nella bombola scende a una atmosfera. Nel sistema si ha quindi un aumento di volume pari a quello che si avrebbe se, in una trasformazione isoterma, si fosse portata la pressione della bombola a una atmosfera. Tale aumento avviene però a pressione costante, quella P del gasometro, per cui il lavoro svolto è pari al $P\Delta V$. Il volume iniziale V_1 si può calcolare dalla legge dei gas, essendo noti n, T, P. Si ottiene $V_1 = 3{,}22$ dm³. Dalla legge dell'isoterma si ha $V_2 = 15\, V_1 = 48{,}2$ dm³ e quindi $L = P\Delta V = 4540$ J. Trattandosi di un'isoterma, $Q = L$.
Se il gas della bombola si fosse espanso secondo una trasformazione isoterma reversibile, avremmo dovuto applicare la corrispondente formula del lavoro:

$$L = nRT\,\ln(V_2/V_1)$$

Si ottiene in questo caso $L = 1{,}32 \cdot 10^4$ J.

Modulo 3

Test

1 La risposta errata è la B.

2 La risposta corretta è la B.

3 La risposta corretta è la C, e il rendimento comune è dato da $\eta = 1 - T_1/T_2$. Perciò B è errata, come pure A, perché, dalla formula precedente, $\eta < 1$. Il rendimento di un ciclo reale (con trasformazioni irreversibili) è per il secondo principio sempre inferiore a quello di un ciclo ideale, per cui D è errata.

4 L'affermazione vera è la E. Infatti A è falsa perché il secondo principio non dipende dal primo. B è errata perché l'enunciato di Kelvin si riferisce a trasformazioni cicliche. C è errata perché gli enunciati in questione costituiscono proprio il secondo principio. D è errata perché la trasformazione di calore in lavoro richiede, per il secondo principio, uno squilibrio termico, che provoca, in generale, un aumento di entropia.

5 La risposta corretta è la D.

6 L'acqua cede calore e diminuisce quindi la propria entropia: B è corretta, mentre A è errata. La cessione di calore avviene in modo irreversibile (le pareti del freezer sono più fredde dell'acqua), perciò l'entropia dell'Universo aumenta. C e D sono dunque errate.

7 È errata la proposizione C, perché l'entropia del sistema è una funzione di stato e quindi non varia in un ciclo.

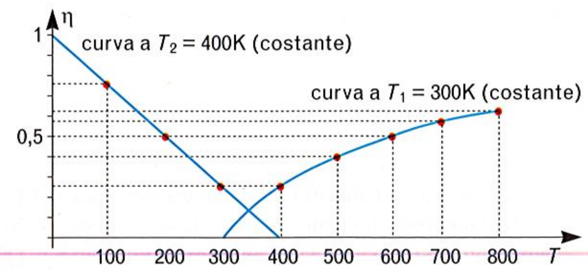
8 La risposta corretta è la C.

Quesiti

2 No, a causa della notevole differenza di temperatura fra il gas del fornello e l'acqua.

3 Producendosi equilibrio termico fra l'interno e l'esterno del frigorifero, non ci sarebbe più alcun assorbimento di calore e il frigorifero si limiterebbe a produrre calore a causa del proprio motore elettrico.

4 I grafici rendimento-temperatura relativi ai due processi sono indicati, per valori di T_1 e T_2 pari rispettivamente a 300 K e 400 K, nella figura seguente. Essi mostrano che la variazione del rendimento associata alla diminuzione della temperatura del termostato 1 (con T_2 costante) è maggiore di quella che si ottiene aumentando la temperatura del termostato 2 (con T_1 costante).



5 Falso. Il calore fornito al sistema durante l'esecuzione del ciclo determinerà un loro diverso rendimento anche se il lavoro svolto in un ciclo è il medesimo.

6 In un grafico S, T con T sull'asse orizzontale, una isoterma è rappresentata da un segmento perpendicolare all'asse orizzontale, mentre una adiabatica (che è anche isoentropica) da un segmento parallelo all'asse orizzontale. Perciò un ciclo di Carnot sarà rappresentato da un rettangolo con i lati paralleli agli assi S, T.

7 Si tratta di un processo irreversibile in cui una certa quantità di energia si trasferisce da un corpo a temperatura maggiore (il Sole) a un corpo a temperatura minore (la Terra).

8 La formulazione del quesito è ambigua. Da essa si deduce infatti che del calore sfugge dal sistema e quindi che l'entropia diminuisce. In effetti si deve tenere presente che la reazione chimica fra carbone e ossigeno fornisce calore al sistema (aumento di entropia) e che solo successivamente tale calore fluisce verso l'esterno a temperature sempre più basse. Nel complesso perciò l'entropia dell'Universo aumenta.

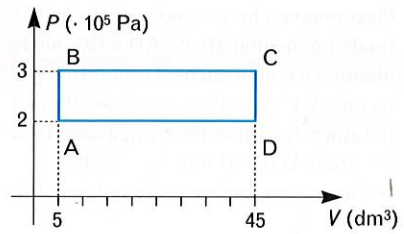
9 Aumenta, perché l'energia potenziale gravitazionale iniziale del castello di carte si trasforma in energia termica delle carte, dell'aria circostante e del tavolo; perciò l'entropia dell'Universo aumenta.

Problemi

1 Il lavoro compiuto nella espansione isotermica è uguale, per il primo principio della termodinamica, al calore fornito Q_2. Calcolato il rendimento dalla formula $\eta = 1 - T_1/T_2$, il lavoro totale L compiuto nel ciclo si calcola dalla formula $L = Q_2 \cdot \eta$. Si ottiene $L = 1600$ J. Il calore Q_1 è dato dalla differenza $Q_2 - L$. Si ottiene $Q_1 = 2400$ J.

7 Per il primo ciclo $Q_2 = 10^4$ kcal, $Q_1 = Q_2\, T_1/T_2 = 7500$ kcal; $L = Q_2 - Q_1 = 2500$ kcal.
Per il secondo ciclo $Q'_2 = 7500$ kcal, $Q'_1 = Q'_2\, T'_1/T'_2 = 3750$ kcal; $L' = Q'_2 - Q'_1 = 3750$ kcal.
Il rendimento complessivo è quindi dato da $(L + L')/Q_2 = 0{,}625$. Questo valore si poteva ottenere direttamente con la relazione $\eta = 1 - 300$ K/800 K in quanto il calore scaricato alla temperatura T_1 nel primo ciclo viene completamente assorbito, alla medesima temperatura, dal secondo ciclo.

12 Conviene prima calcolare il volume massimo V_2. Basta tener presente che il lavoro totale L compiuto dal ciclo (4000 J) è pari all'area del ciclo, espressa dal prodotto $(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)$. Si ottiene $V_2 = 0{,}045$ m³.
Per calcolare il rendimento, occorre calcolare il calore Q_1 fornito nella isovolumica che porta la pressione da P_1 a P_2 (trasformazione AB) e il calore Q_2 fornito nell'isobara che porta il volume da V_1 a V_2 (trasformazione BC).



Il calore fornito in AB (isovolumica) è dato dalla formula $Q_{AB} = C_{mV}\, n(T_B - T_A)$, mentre il calore fornito in BC (isobara) è dato dalla formula $Q_{BC} = C_{mP}\, n(T_C - T_B)$.
Per eseguire il calcolo occorre ancora determinare le temperature T_A, T_B, T_C.
Conoscendo le pressioni e i volumi in A, B, C, basta applicare la legge generale dei gas.
Si ottiene $T_A = 120{,}3$ K, $T_B = 180{,}4$ K, $T_C = 1623{,}8$ K. Inserendo questi dati e tenendo conto che $C_{mV} = 3/2\, R$ e $C_{mP} = C_{mV} + R$ si ottiene $Q = 30750$ J.
Infine si calcola il rendimento dalla formula $\eta = L/Q$.
Si ottiene $\eta = 0{,}13$.

13 Il calcolo del lavoro si esegue valutando l'area trapezoidale definita dalle quattro trasformazioni AB, BC, CD, DA. Si ottiene:

$$L = \frac{(AB + DC)\,AD}{2} = 3000 \text{ J}$$

Il calore scambiato è dato dalla somma algebrica dei calori ricevuti e ceduti dal sistema nelle diverse trasformazioni. Per determinare tali valori occorre conoscere le temperature in corrispondenza degli stati A, B, C, D e quindi applicare:

– per le trasformazioni iosobare AB e DC le equazioni:
$Q_{AB} = C_{mP}\, n\,(T_B - T_A)$
$Q_{CD} = C_{mP}\, n\,(T_D - T_C)$
con $C_{mP} = (20 + 8{,}314)$ J/(mol K)
– per la trasformazione BC la relazione:
$Q_{BC} = \Delta U_{BC} + L_{BC} = C_{mV}\, n\,(T_C - T_B) + (4 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 2 \cdot 10^5 \text{ Pa})\, 10^{-2} \text{ m}^3/2$
tenendo conto che $C_{mV} = 20$ J/(mol K)
– per la trasformazione DA la relazione:
$Q_{DA} = \Delta U_{DA} = C_{mV}\, n\,(T_A - T_D)$
Si ottiene: $T_A = 240$ K, $T_B = 481$ K, $T_C = 361$ K, $T_D = 120$ K, $Q_{AB} = 13647$ J, $Q_{CD} = -13647$ J, $Q_{BC} = -1800$ J, $Q_{DA} = 4800$ J, $Q_{tot} = 3000$ J.

Per il rendimento si calcoli il rapporto:

$$\frac{\textit{lavoro realizzato nel ciclo}}{\textit{calore fornito}\ (Q_{AB} + Q_{DA})} = \frac{3000 \text{ J}}{13647 \text{ J} + 4800 \text{ J}} = 0{,}16$$

16 Conviene preliminarmente calcolare le temperature in A, B, C, D. T_A si calcola dalla legge generale dei gas; si ottiene $T_A = 601$ K. Si osservi che nell'isobara AB raddoppia il volume e quindi anche T; si ottiene $T_B = 1202$ K. Per il calcolo di T_C si applica la legge delle adiabatiche nella forma $TV^{\gamma-1} = $ cost.; si ottiene $T_C = 728$ K. Il calcolo di T_D è un po' più complesso; conviene prima ricavare la pressione $P_D = P_C$, ancora dalla formula delle adiabatiche nella forma $PV^\gamma = $ cost.; relativamente alla trasformazione BC; si ottiene $P_C = 0{,}865 \cdot 10^5$ Pa.