

# Costruiamo le competenze

## Quesiti

- 1 In che cosa consiste il principio zero della termodinamica?
- 2 Per quale ragione d'estate risulta piacevole stare in prossimità di grosse masse d'acqua (mare, laghi, ecc.)?



- 3 Spiega come mai nel linguaggio comune vengono spesso confusi *temperatura* e *calore* e delinea in modo chiaro la differenza tra le due grandezze.
- 4 Spiega perché è difficile osservare fenomeni di convezione dei corpi solidi.

- 5 Che cosa s'intende per *calore latente di fusione* e *calore latente di vaporizzazione* di una certa sostanza? Che cosa indica la parola "latente"?
- 6 Ricava, a partire dalle leggi di Boyle e di Gay-Lussac, l'equazione di stato dei gas perfetti.
- 7 Avendo a disposizione un cilindro contenente un gas perfetto e dotato di pistone mobile e una sorgente esterna di calore, descrivi una possibile trasformazione che aumenti contemporaneamente la pressione e il volume del gas. La temperatura può rimanere costante in questo caso? Perché?
- 8 È possibile scrivere un'equazione di stato per un gas che non può più essere considerato un gas perfetto? In quale modo?
- 9 Come giustifica la *teoria cinetica molecolare* il fatto che durante i passaggi di stato non vi sia variazione di temperatura?
- 10 Ha senso parlare di temperatura se siamo in presenza di un piccolo numero di molecole, per esempio qualche decina? Perché?

## Problemi

### Le leggi dei gas

- 11 Disegna su un piano ( $p$ ,  $T$ ) una trasformazione isoterma in cui raddoppia la pressione.
- 12 Un gas, mantenendo costante la temperatura, varia la sua pressione da  $p_0 = 10^6$  Pa a  $p_1 = 10^5$  Pa. Sapendo che il suo volume iniziale è  $V_0 = 10$  litri, calcola il volume finale in  $m^3$ . [ $10^{-1} m^3$ ]
- 13 Un gas che occupa un volume di 2 litri alla temperatura di  $50^\circ C$  subisce una trasformazione a pressione costante, fino a raggiungere la temperatura di  $120^\circ C$ . Calcola in litri il volume finale del gas. [2,4 litri]
- 14 Un gas a  $5^\circ C$  occupa un volume di  $1,8 m^3$ . Calcola il volume che occuperebbe a  $50^\circ C$ , mantenendo costante la pressione. [2,09  $m^3$ ]
- 15 Una certa quantità di gas a  $0^\circ C$  è contenuta in un recipiente sigillato, a pressione  $p_0 = 2$  atm. Raffreddandolo, la sua pressione diventa  $p_1 = 0,2$  atm: a quale temperatura si troverà il gas dopo la trasformazione? [ $-246^\circ C$ ]
- 16 Un cilindro di sezione  $S$  contenente un gas è posto in equilibrio termico con l'ambiente circostante, in modo da mantenere costante la temperatura del sistema cilindro-gas. Un pistone, libero di muoversi, è inizialmente fermo a un'altezza  $h$ , essendo in equilibrio statico a causa dell'azione congiunta della pressione atmosferica verso il basso e della pressione esercitata dal gas verso l'alto sulla sua superficie. Qual è il valore della pressione del gas, se il pistone viene alzato molto lentamente sino a raggiungere un'altezza pari a  $2h$ ? [ $0,5 \cdot 10^5$  Pa]
- 17 Un ragazzo comprime l'aria contenuta all'interno di una siringa priva di ago, tappando con un dito l'estremità aperta della siringa e premendo il pistoncino verso l'interno. Se, quando non esercita alcuna forza, la pressione dell'aria nella siringa è di  $10^5$  Pa e il suo volume di 2 cc ( $cm^3$ ), quale forza dovrà esercitare sul pistoncino, di area di base  $1 cm^2$ , perché il volume dell'aria nella siringa si riduca a  $1,5 cm^3$ ? [13 N]

## Il gas perfetto

**24** Calcola il volume occupato da 2 moli di gas perfetto alla temperatura di 273 K e alla pressione di 1 atm. Che cosa succede se la temperatura raddoppia mantenendo pressione costante?

[44,8 litri]

**25** 10 g di metano inizialmente in condizioni normali ( $d_0 = 0,713$  g/l) sono portati alla temperatura di 400 K e a 0,5 atm di pressione. Quale è il volume finale del gas?

[41,1 litri]

**26** In condizioni normali di temperatura e pressione, l'azoto ha una densità  $d_0 = 1,24$  g/l. Se il gas viene portato a 320 K e a  $9 \cdot 10^4$  Pa, calcola il valore della sua densità in questo nuovo stato.

[0,94 kg/m<sup>3</sup>]

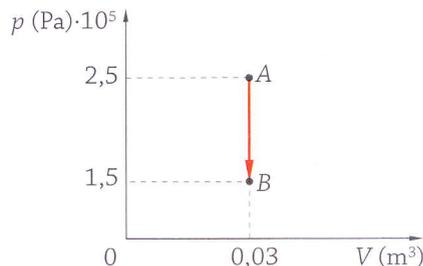
**27** La densità del metano a 293 K e a  $5,05 \cdot 10^5$  Pa di pressione è di 3,32 g/l. Calcola la densità del gas in condizioni normali.

[0,71 g/l]

**28** Se un gas ideale condensa raddoppiando la sua densità quando la pressione si dimezza, di quanto deve variare la sua temperatura?

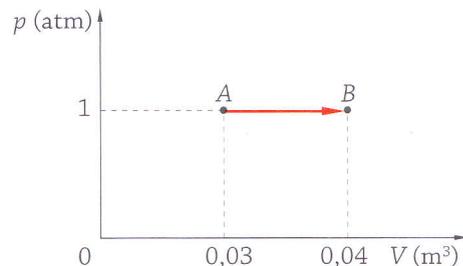
[un quarto di quella iniziale]

**29** Una mole di gas perfetto subisce la trasformazione in figura. Calcola il valore della temperatura negli stati A e B.



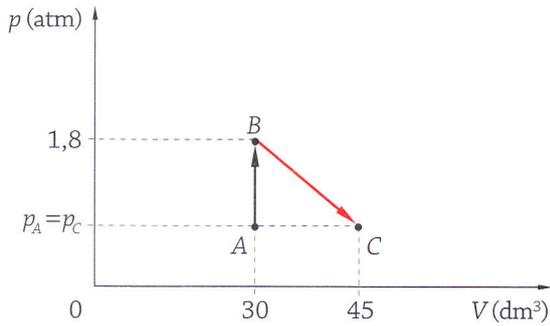
[903 K; 542 K]

**30** Due moli di gas perfetto subiscono la trasformazione in figura. Calcola il valore della temperatura negli stati A e B.



[366 K; 488 K]

- 31** 2 moli di gas perfetto subiscono la trasformazione ABC mostrata in figura.



Durante la trasformazione AB il gas, inizialmente alla temperatura di 300 K, viene scaldato a volume costante in modo che la sua pressione aumenti; successivamente è dilatato sino al punto C. Calcola la pressione e la temperatura finale del gas nello stato C.

[ $1,66 \cdot 10^5$  Pa; 450 K]

- 32** 3 moli di gas alla temperatura iniziale  $T_A = 400$  K e pressione iniziale  $p_A = 2,5$  atm, subiscono un'espansione isoterma AB in modo da raddoppiare il loro volume. Il gas è quindi compresso isobaricamente sino a tornare al volume di partenza. Calcola pressione, volume e temperatura finale.

[1,25 atm; 39,4 litri; 200 K]

- 33** Una certa quantità di gas perfetto, formato da  $n = 1,5$  moli, è contenuto in un cilindro di raggio  $r = 20$  cm e di altezza  $h = 15$  cm. Un pistone mobile di massa trascurabile lo separa dall'esterno, mantenendolo in equilibrio con la pressione atmosferica (stato iniziale A). Nel riscaldamento del gas, il pistone si solleva di un tratto  $\Delta h = 5$  cm (stato intermedio B). Successivamente il gas viene raffreddato riportandosi alla temperatura iniziale, mantenendo bloccato il pistone (stato intermedio C). Infine, lasciando il pistone libero di muoversi e mantenendo costante la temperatura, il gas ritorna esattamente nello stato iniziale A.

- a) Disegna sul piano  $(p, V)$  la trasformazione ABCA.  
b) Calcola pressione, volume e temperatura dello stato C.

[ $7,6 \cdot 10^4$  Pa; 25,1 dm<sup>3</sup>; 153 K]

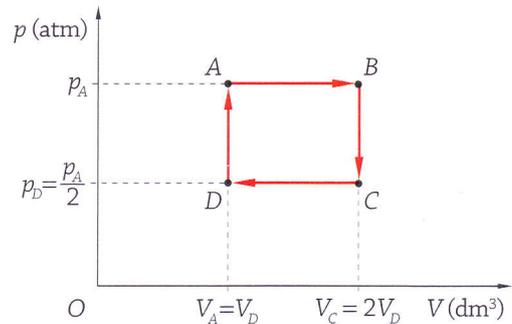
- 34** 20 litri di gas perfetto, inizialmente alla temperatura  $T_1 = 260$  K e alla pressione ordinaria (stato iniziale A), sono riscaldati alla temperatura  $T_2$ , mantenendo costante la pressione (stato B); il gas è quindi portato a un volume  $V_C = 35$  litri e a una pressione  $p_C = 0,7$  atm, mantenendone invariata la temperatura (stato C).

- a) Disegna sul piano  $(p, V)$  la trasformazione ABC.  
b) A quale volume bisogna portare il gas, mantenendo costante la pressione (stato D), affinché la temperatura finale sia uguale a quella iniziale?

[b)  $V_D = 28,6$  litri]

- 35** La trasformazione in figura rappresenta l'evoluzione dello stato termodinamico di un gas perfetto contenuto in un cilindro a condizioni normali di pressione e temperatura (stato A).

Il cilindro è dotato di un pistone di massa trascurabile libero di muoversi, mantenendo la pressione del gas in equilibrio con la pressione atmosferica esterna  $p_a$ , ma può essere bloccato per effettuare ulteriori trasformazioni a volume costante.

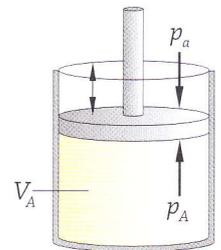


- a) Disegna la posizione del pistone negli stati B, C, D;

- b) a partire dal grafico, deduci in quale punto la temperatura raggiunge il suo massimo valore e in quale il minimo;

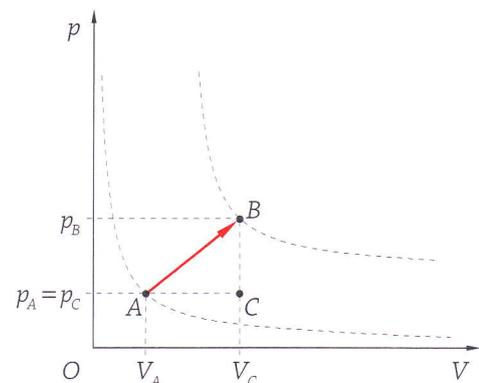
- c) in quale trasformazione la temperatura rimane costante?

[b) B, D; c) nessuna]



- 36** Un gas subisce l'espansione descritta in figura, dallo stato A ( $V_A = 2$  litri,  $T_A = 300$  K) allo stato B ( $p_B = 2p_A$ ) nella quale si nota un aumento della pressione proporzionale al volume. È possibile che in questa trasformazione la temperatura rimanga costante? Perché?

Se il gas giunge nello stato B attraverso l'isocora CB ( $V_C = 3V_A$ ,  $p_C = p_A$ ), calcola la temperatura del gas nello stato C e nello stato B.

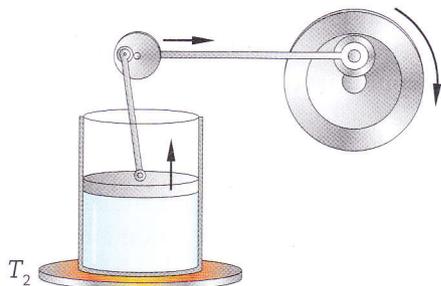


[no, perché A e B appartengono a isoterme diverse;  $T_C = 900$  K,  $T_B = 1800$  K]

# Costruiamo le competenze

## Quesiti

1 Una ruota è legata tramite un meccanismo di trasmissione eccentrica a un pistone mobile, il quale viene sospinto verso l'alto attraverso l'espansione di un gas contenuto in un cilindro. Se il cilindro viene riscaldato da una piastra elettrica posta a temperatura  $T_2$ , il gas si espande e aziona il meccanismo della manovella. Questa macchina termica è progettata bene secondo te, o è una macchina inutile?



5 Il ciclo Otto è tipico delle automobili a benzina, i cui motori sono chiamati "a quattro tempi". Esiste però un altro motore chiamato "a due tempi", che viene utilizzato pesantemente nell'industria motociclistica. Fai una ricerca su Internet ed esponi le differenze tra i due tipi di motore. È possibile riconoscere quale dei due ha il rendimento maggiore a parità di cilindrata?



2 La macchina di Watt fu sicuramente il prototipo di tutte le macchine termiche progettate successivamente. Quale fu l'idea geniale di Watt che rese diversa e più efficiente la sua invenzione rispetto alle altre macchine esistenti allora?

3 Quale relazione puoi trovare tra la supremazia dell'industria inglese nel XVII secolo rispetto a quelle delle altre nazioni contemporanee e lo sviluppo delle ricerche di termodinamica avvenute in Inghilterra in quegli anni?

4 Sadi Carnot fu uno scienziato innovativo, benché credesse ancora all'esistenza del "calorico", il fluido inconsistente responsabile dei "flussi" di calore da un corpo a un altro. Qual è stata l'idea originale dello scienziato francese? Quali ripercussioni ha avuto nella tecnologia e nell'industria?

6 Perché i motori delle automobili funzionano molto meglio d'inverno che d'estate? Una risposta si trova sicuramente nella *definizione di rendimento*. Prova a dare la tua opinione.

7 Perché il motore del frigorifero dovrebbe stare in un ambiente diverso da quello in cui si trova la cella del frigorifero? È la stessa ragione per cui, negli impianti di condizionamento, gli scambiatori termici sono messi sempre all'esterno?



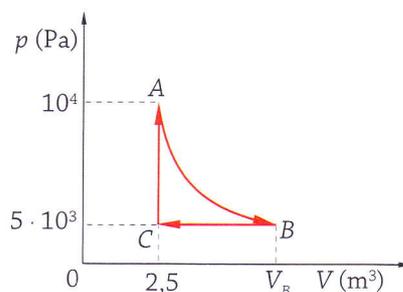
## Problemi

### Il primo principio della termodinamica e i calori molari

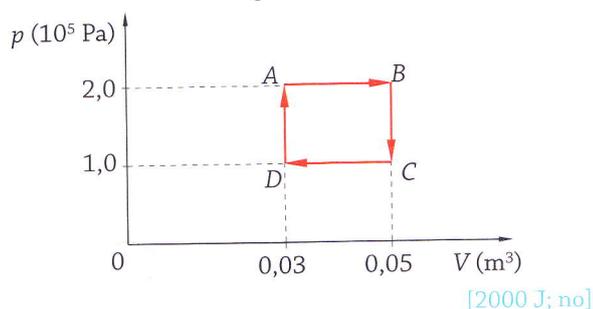
8 10 moli di argon (Ar) subiscono la trasformazione ciclica ABCA rappresentata in figura. La trasformazione AB è un'isoterma a temperatura 300 K, BC è un'isobara a pressione  $5 \cdot 10^3$  Pa e CA un'isocora a volume  $2,5 \text{ m}^3$ .

Calcola le quantità di calore scambiate nelle trasformazioni BC e CA.

[−31 kJ; −19 kJ]



- 9 Calcola il calore ceduto all'esterno da un gas su cui viene esercitato un lavoro  $L = 10 \text{ kJ}$ , senza variazioni di energia interna. [-10 kJ]
- 10 Il calore specifico a volume costante di un gas triatomico è di  $28,3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ . Calcola il calore specifico a pressione costante e il rapporto  $\gamma = c_p/c_v$ . [36,6 J/(mol · K); 1,29]
- 11 Un gas perfetto monoatomico subisce la trasformazione ABCDA in figura. Calcola il calore totale che ha assorbito. È possibile da questi dati ricavare il numero di moli del gas?



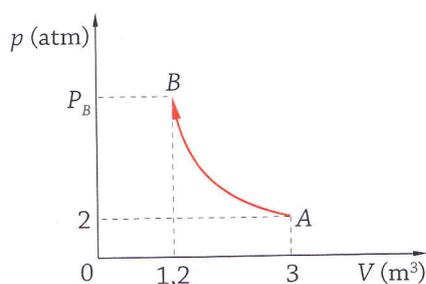
- 12 Un aumento di temperatura di  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  di due moli di un gas perfetto corrisponde a un aumento di energia interna di  $613,2 \text{ J}$ . Di che tipo di gas si tratta? Calcola il rapporto  $\gamma = c_p/c_v$ . [biatomico; 1,41]

- 13 Durante una trasformazione isocora, 2 moli di neon (Ne) subiscono un incremento di  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  di temperatura. Calcola:  
a) la variazione di energia interna;  
b) la quantità di calore assorbito;  
c) il lavoro effettuato. [ $\Delta U = 127 \text{ J}$ ;  $Q = 127 \text{ J}$ ;  $L = 0$ ]

- 14 10 moli di gas perfetto monoatomico si dilatano assorbendo una certa quantità di calore  $Q = 18 \text{ kJ}$ . Il lavoro compiuto dal gas è di  $940 \text{ J}$ . Di quanto sono variata l'energia interna e la temperatura? [17 kJ; 137 K]

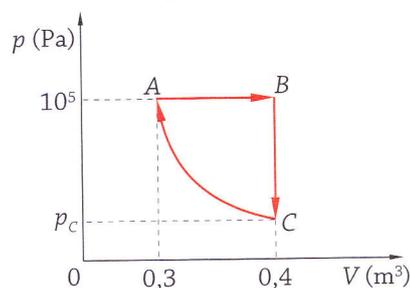
## Lavoro e trasformazioni termodinamiche

- 15 Data la trasformazione isoterma AB rappresentata in figura, calcola il lavoro effettuato dal gas.



[-555 kJ; è una compressione isoterma: il lavoro è fatto dall'esterno sul gas]

- 18 15 moli di ossigeno ( $\text{O}_2$ ) subiscono la trasformazione ciclica ABCA rappresentata in figura, in cui AB è un'isobara, BC è un'isocora e CA un'isoterma alla temperatura di  $241 \text{ K}$ . Calcola la quantità di calore scambiato durante le singole trasformazioni e il lavoro totale compiuto dal gas.



[AB:  $Q = 35 \text{ kJ}$ ,  $L = 10^4 \text{ J}$ ; BC:  $Q = -25 \text{ kJ}$ ,  $L = 0$ ; CA: essendo un'isoterma tutto il calore si converte in lavoro  $Q = L = -8,6 \text{ kJ}$ ;  $L_{\text{tot}} = 1,4 \text{ kJ}$ ]

- 16 Un gas è contenuto in un cilindro in condizioni normali di temperatura e di pressione, in un volume di  $8 \text{ dm}^3$ . Comprime il gas isotericamente si raggiunge il volume  $V_f = 2,7 \text{ dm}^3$ . Quanto lavoro è stato effettuato nella trasformazione? [-878 J]

- 17 Un cilindro contiene 5 moli di gas alla temperatura  $T_0 = 300 \text{ K}$  e a pressione ordinaria. Il gas si espande isotericamente sino a raggiungere il volume  $V_1 = 0,8 \text{ m}^3$ . Determina il lavoro prodotto dall'espansione del gas. [23 kJ]

- 19 Un recipiente isolato termicamente, dotato di un pistone mobile, contiene  $1 \text{ m}^3$  di gas monoatomico ( $\gamma = 1,67$ ) in condizioni normali. Determina la pressione finale del gas se:  
a) il volume si dimezza;  
b) il volume raddoppia;  
c) la temperatura si dimezza;  
d) la temperatura raddoppia.



[a) 3,18 atm; b) 0,314 atm; c) 0,178 atm; d) 5,63 atm]

**20** Una mole di azoto ( $N_2$ ) in condizioni normali si dilata in assenza di scambi di calore con l'esterno, sino a raggiungere 1,2 volte il volume iniziale. Calcola:

- la pressione finale;
- la temperatura finale;
- il lavoro necessario per effettuare la trasformazione.



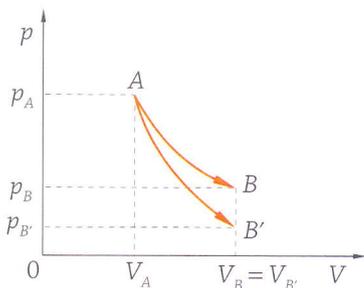
online

[a) 0,775 atm;  
b) 254 K; c) 395 J]

**21** Determina la temperatura finale di un gas biatomico che, inizialmente nello stato A in condizioni normali, viene portato adiabaticamente nello stato B alla pressione finale  $p_B = 2,4$  atm. [351 K]

**22** Una certa quantità di neon (Ne), a pressione  $p_A = 2 \cdot 10^5$  Pa, subisce un aumento del 10% della sua temperatura quando viene riscaldato adiabaticamente. Calcola il valore della pressione finale. [2,55 · 10<sup>5</sup> Pa]

**23** Un gas biatomico ( $\gamma = 1,4$ ), inizialmente nello stato A ( $p_A, V_A, T_A$ ), si dilata isotermicamente triplicando il volume iniziale e raggiungendo lo stato B a pressione  $p_B = 0,67$  atm, come rappresentato in figura.



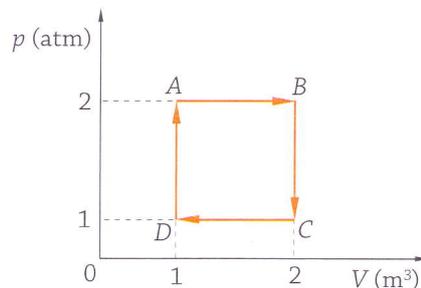
Lo stesso gas subisce una trasformazione adiabatica partendo dallo stesso stato iniziale A e raggiungendo lo stato B' con un volume  $V_{B'} = V_B$  e una pressione  $p_{B'}$ .

- Scrivi l'espressione che esprime la pressione  $p_{B'}$  in funzione di  $p_B$ ;
- calcola il valore del rapporto  $R = p_{B'}/p_B$  e della pressione  $p_{B'}$ .

$$\left[ a) p_{B'} = p_B \left( \frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} \quad b) R = 0,64; p_{B'} = 0,432 \text{ atm} \right]$$

**24** Utilizzando il primo principio della termodinamica, calcola per ciascuna delle trasformazioni in figura la quantità di calore assorbito o ceduto, il lavoro prodotto o subito e la variazione di energia

interna, sapendo che il gas è costituito da 50 moli di azoto.



online

[AB:  $Q = 710$  kJ;  $L = 203$  kJ;  $\Delta U = 507$  kJ  
BC:  $Q = -507$  kJ;  $L = 0$ ;  $\Delta U = -507$  kJ  
CD:  $Q = -355$  kJ;  $L = -101$  kJ;  $\Delta U = -254$  kJ  
DA:  $Q = 254$  kJ;  $L = 0$ ;  $\Delta U = 254$  kJ]

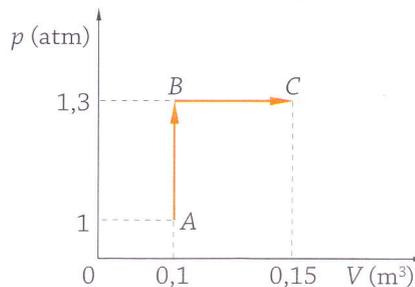
**25** Facendo riferimento ai dati del problema precedente, calcola il calore totale scambiato, il lavoro totale e la variazione dell'energia interna e verifica che:

- il lavoro totale uguaglia l'area della superficie chiusa delimitata dalla trasformazione ciclica;
- la variazione totale dell'energia interna è nulla.

$$[Q_{tot} = 102 \text{ kJ}; L_{tot} = 102 \text{ kJ}; \Delta U = 0 \text{ J}]$$

**26** 10 moli di ossigeno subiscono, a pressione atmosferica costante, un incremento di temperatura pari a  $\Delta T = 15$  °C. Di quanto è variato il volume del gas? Quanto vale il lavoro meccanico prodotto? [0,0124 m<sup>3</sup>; 1,26 kJ]

**27** 4 moli di ossigeno effettuano la trasformazione ABC rappresentata in figura, in cui AB è un'isocora e BC un'isobara. Calcola la quantità totale di calore scambiato, il lavoro effettuato e la variazione di energia interna.

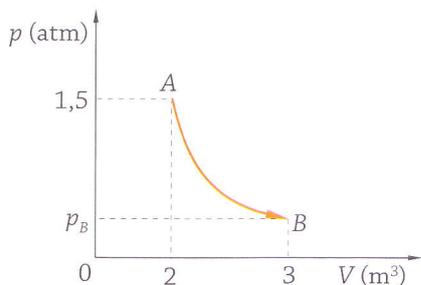


$$[Q = 30,9 \text{ kJ}; L = 6,6 \text{ kJ}; \Delta U = 24,3 \text{ kJ}]$$

**28** 5 moli di monossido di carbonio (CO) si dilatano adiabaticamente passando dalla temperatura iniziale  $T_A = 450$  K alla temperatura finale  $T_B = 300$  K. Calcola il calore scambiato con l'esterno, il lavoro effettuato e la variazione di energia interna.

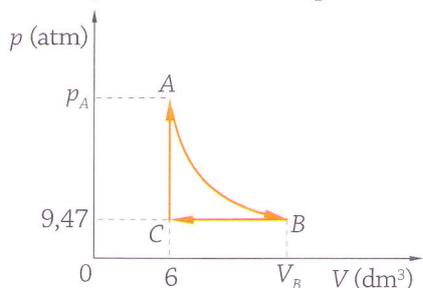
$$[Q = 0; L = -\Delta U = 15,6 \text{ kJ}]$$

- 29** In una dilatazione isoterma un gas passa dallo stato A allo stato B come indicato in figura. Calcola il calore scambiato, il lavoro effettuato e la variazione di energia interna.



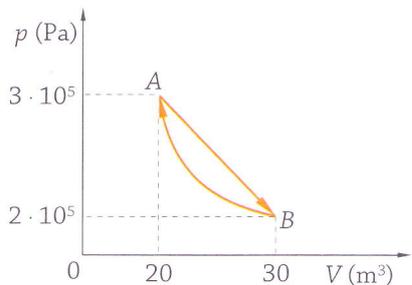
$$[Q = L \cong 123 \text{ J}; \Delta U = 0]$$

- 30** 3 moli di elio (He) subiscono la trasformazione ciclica ABCA rappresentata in figura, nella quale AB è un'adiabatica che si svolge fra le temperature  $T_A = 300 \text{ K}$  e  $T_B = 270 \text{ K}$ , BC è un'isobara e CA è un'isocora. Qual è il lavoro compiuto dal gas?



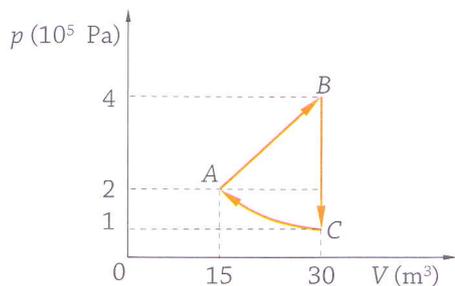
$$[148 \text{ J}]$$

- 31** Un gas effettua la trasformazione ciclica ABA rappresentata in figura, in cui la trasformazione BA è un'isoterma. Quanto vale il lavoro totale compiuto dal gas?



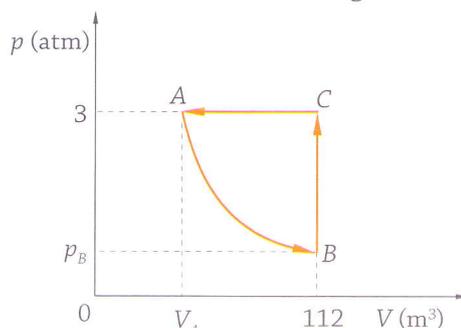
$$[67 \text{ J}]$$

- 32** Calcola il lavoro effettuato da un gas che subisce la trasformazione ciclica rappresentata in figura, dove la trasformazione CA è un'isoterma.



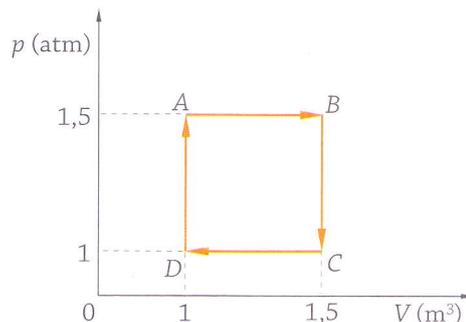
$$[2421 \text{ J}]$$

- 33** 10 moli di idrogeno subiscono la trasformazione ciclica ABCA rappresentata in figura, formata da un'adiabatica AB con  $T_A = 328 \text{ K}$  e  $T_B = 300 \text{ K}$ , un'isocora BC e un'isobara CA. Calcola:  
a) il lavoro totale che il gas ha subito;  
b) la quantità totale di calore scambiato;  
c) la variazione totale  $\Delta U$  dell'energia interna.



$$[a) L \cong -943 \text{ J}; b) Q \cong -943 \text{ J}; c) \Delta U = 0 \text{ (è una trasformazione ciclica)}]$$

- 34** Una certa quantità di argon (Ar) subisce la trasformazione ciclica ABCDA rappresentata in figura, formata da due isobare AB e CD e da due isocore BC e DA.



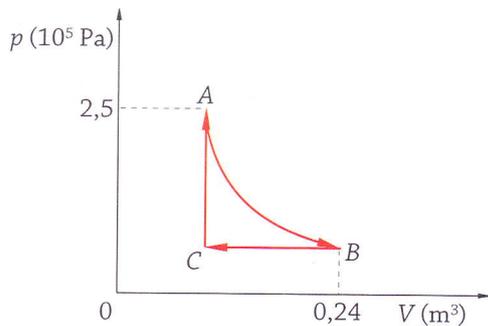
Sapendo che la temperatura del gas nello stato A è  $T_A = 350 \text{ K}$ , calcola:

- a) la temperatura negli stati B, C, D;  
b) il numero di moli costituenti il gas;  
c) la quantità di calore scambiata nelle singole trasformazioni;  
d) il lavoro totale prodotto dal gas.

$$[a) T_B = 525 \text{ K}, T_C = T_A = 350 \text{ K}, T_D = 233 \text{ K}; b) 52 \text{ moli}; c) Q_{AB} = 189 \text{ kJ}, Q_{BC} = -113 \text{ kJ}, Q_{CD} = -126 \text{ kJ}, Q_{DA} = 76 \text{ kJ}; d) L_{tot} = 25 \text{ kJ}]$$

- 35** 15 moli di azoto ( $\text{N}_2$ ), contenute in un recipiente isolato termicamente, si trovano inizialmente nello stato A alla temperatura di  $300 \text{ K}$  e subiscono una dilatazione adiabatica sino a raggiungere lo stato B, come rappresentato in figura. Successivamente il gas viene riportato al volume iniziale, mantenendo costante la pressione sino allo stato C in modo tale che, tramite un'isocora, il gas possa ritornare allo stato iniziale A. Calcola:  
a) la temperatura del gas negli stati B e C;

- b) la pressione nello stato C;  
 c) gli scambi di calore avvenuti nelle singole trasformazioni AB, BC e CA;  
 d) la quantità totale di calore scambiato;  
 e) il lavoro totale prodotto nella trasformazione ciclica.



[a)  $T_B = 249 \text{ K}$ ,  $T_C = 155 \text{ K}$ ; b)  $p_C = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ;  
 c)  $Q_{AB} = 0$ ,  $Q_{BC} = -40,7 \text{ kJ}$ ,  $Q_{CA} = 45,1 \text{ kJ}$ ;  
 d)  $Q_{tot} = 4,4 \text{ kJ}$ ; e)  $L_{tot} = 4,4 \text{ kJ}$

- 36** Un recipiente isolato termicamente contiene 30 moli di idrogeno in condizioni normali di pressione e temperatura. Tramite delle palette rotanti si agita il gas per 6 secondi, usando un motore che eroga una potenza di 750 W. Calcola la temperatura, il volume e la pressione finale del gas.

[ $T = 280 \text{ K}$ ;  $V = 0,63 \text{ m}^3$ ;  $p = 1,10 \text{ atm}$ ]

## La macchina di Carnot e altre macchine termiche

- 39** Qual è il rendimento di una macchina di Carnot che assorbe una quantità di calore  $Q_2 = 1,2 \text{ kcal}$  dalla sorgente più calda e ne cede una quantità  $Q_1 = 440 \text{ cal}$  alla sorgente più fredda? Quanto lavoro si produce?

[ $R = 63\%$ ;  $L = 3,2 \text{ kJ}$ ]

- 40** Una macchina termica assorbe una quantità di calore pari a 52 kJ producendo un lavoro meccanico di 25 kJ. Calcola il rendimento della macchina e la quantità di calore ceduta alla sorgente più fredda.

[ $R = 48\%$ ;  $Q_1 = 27 \text{ kJ}$ ]

- 41** Una pompa di calore della potenza di 800 W in un'ora riesce a cedere a un appartamento 8732 kJ. Quanto vale il coefficiente di prestazione della pompa?

[3,03]

- 42** In un messaggio pubblicitario, a proposito delle qualità di un'automobile, si legge fra l'altro che il motore, assorbendo 151 kcal, riesce a produrre 150 kJ di energia meccanica con un rendimento che è vicino all'unità. Perché questa pubblicità è ingannevole?

[ $R = 24\%$ ; joule e calorie non sono unità di misura equivalenti, ma proporzionali secondo l'equivalente meccanico della caloria  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ ]

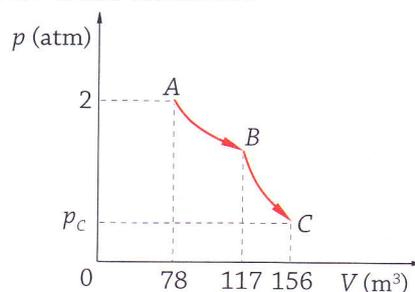
- 37** Un cilindro dotato di pistone mobile e contenente anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) alla pressione di 1 atm è immerso in un recipiente a temperatura costante  $T_0 = 300 \text{ K}$  e in equilibrio termico con esso. Si solleva dall'alto il pistone, con un lavoro di 1500 J, facendo dilatare lentamente il gas, aumentando il volume del 10%. Qual è il volume che il gas occupava inizialmente?

Qual è la pressione finale che il gas esercita sulle pareti del cilindro?

[ $V_i = 0,156 \text{ m}^3$ ;  $p_f = 0,91 \text{ atm}$ ]

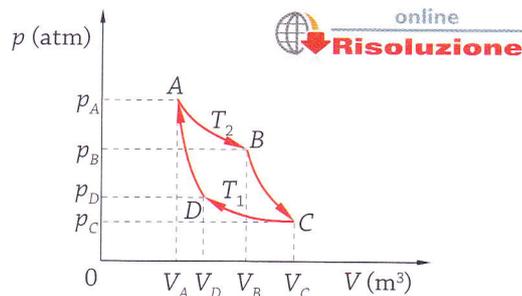
- 38** 5 moli di argon (Ar) subiscono la trasformazione rappresentata in figura, in cui AB è un'isoterma alla temperatura di 380 K e BC un'adiabatica. Calcola:

- a) la pressione nello stato B;  
 b) la temperatura e la pressione finale nello stato C;  
 c) il lavoro totale effettuato.



[a)  $p_B = 1,33 \text{ atm}$ ; b)  $T_C = 313 \text{ K}$ ,  $p_C = 0,825 \text{ atm}$ ; c)  $L_{tot} = 10,5 \text{ kJ}$ ]

- 43** Il ciclo di Carnot raffigurato rappresenta una macchina termica a gas perfetto monoatomico ( $\gamma = 1,67$ ), funzionante tra le temperature  $T_2$  e  $T_1$  fissate dalle trasformazioni isoterme AB e CD. Noti i valori  $p_A = 3 \text{ atm}$ ,  $V_A = 0,1 \text{ m}^3$ ,  $p_C = 0,2 \text{ atm}$  e  $V_C = 1 \text{ m}^3$ , determina gli stati termodinamici B e D del gas in cui hanno inizio le trasformazioni adiabatiche.



[ $V_B = 0,546 \text{ m}^3$ ;  $p_B = 0,549 \text{ atm}$ ;  $V_D = 0,183 \text{ m}^3$ ;  $p_D = 1,092 \text{ atm}$ ]

- 44** Un serbatoio rovescia da un'altezza  $h$  80 litri d'acqua, mettendo in movimento un meccanismo che solleva solo 10 kg per un'altezza di 6 m, a causa degli attriti che disperdono in calore parte dell'energia meccanica. Sapendo che il rendimento della macchina è dell'8%, da quale altezza cade l'acqua? Quanto calore si disperde negli attriti?

[ $h = 9,375 \text{ m}$ ;  $Q = 6,8 \text{ kJ}$ ]

- 45** Dimostra che è nullo il lavoro totale effettuato da  $n$  moli di gas perfetto durante le due trasformazioni adiabatiche di un ciclo di Carnot, funzionante tra le temperature  $T_1$  e  $T_2$ .

$$[L_{21} = -n c_V (T_1 - T_2); L_{12} = -n c_V (T_2 - T_1)]$$

- 46** Una macchina termica reale contiene un gas che si trasforma durante il ciclo di funzionamento, passando irreversibilmente da uno stato termodinamico all'altro a causa degli attriti interni, assorbendo una quantità di calore  $Q_2 = 104,6$  J dalla sorgente calda a temperatura  $T_2 = 380$  K e cedendo una quantità di calore  $Q_1 = 78,5$  J alla sorgente fredda a temperatura  $T_1 = 280$  K. Calcola:

- a) il rendimento  $R_{reale}$  della macchina reale;  
 b) il rendimento  $R_{Carnot}$  della macchina ideale di Carnot che lavora tra le stesse temperature  $T_1$  e  $T_2$ ;  
 c) il rapporto  $k = \frac{R_{reale}}{R_{Carnot}}$  tra il rendimento reale e quello di Carnot.



[a] 25%; [b] 26%; [c] 96%

- 47** Un motore termico reale assorbe 837,2 kJ da una sorgente di calore e cede 565,1 kJ a un'altra sorgente a temperatura  $T_1 = 270$  K.

Calcola:

- a) il rendimento reale;  
 b) la temperatura minima che dovrebbe avere la sorgente calda affinché il rendimento uguagli quello della corrispondente macchina di Carnot che lavora tra le stesse temperature.

[ $R_{reale} = 32,5\%$ ;  $T = 400$  K]

- 48** Un motore termico reale avente rendimento  $R_{reale} = 45\%$ , assorbe calore da una sorgente a temperatura  $T_2 = 390$  K.

Qual è la temperatura massima della sorgente fredda affinché il suo rendimento sia uguale a quello di una macchina di Carnot che lavora tra le stesse temperature?

[215 K]

- 49** Quale potenza deve possedere una macchina di Carnot avente rendimento pari al 28%, che assorbe dalla sorgente calda 10,46 kJ al minuto?

[circa 49 W]

- 50** Per quanto tempo deve funzionare una macchina di Carnot di potenza  $P = 850$  W e rendimento  $R = 0,27$  per poter assorbire una quantità di calore  $Q_2 = 62,79$  kJ?

[19,9 s]

- 51** In un ciclo di Carnot ABCDA, AB è la dilatazione isoterma e BC è la dilatazione adiabatica; è inoltre noto che durante la compressione isoterma CD

il lavoro effettuato sul gas vale  $|L_{CD}| = 150$  J. Se il rendimento del ciclo è  $R = 38\%$ , a quanto ammonta la quantità di calore assorbita necessaria all'espansione isoterma AB?

[242 J]

- 52** Calcola quanto tempo impiega una pompa di calore di potenza 1 kW e coefficiente di prestazione  $k_c = 4,8$  a sciogliere completamente un blocco di 1 kg di ghiaccio (calore latente di fusione del ghiaccio  $L_f = 334,9$  kJ/kg).

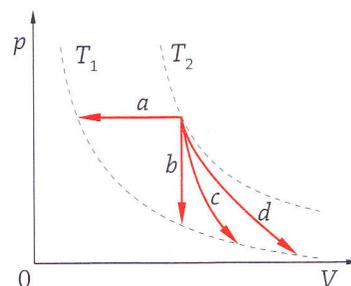
[circa 70 s]

- 53** Un recipiente pieno d'acqua della capacità di 1 litro viene messo in un freezer di 400 W di potenza e coefficiente di prestazione  $k_f = 2$ . Quanto tempo occorre per congelare completamente l'acqua?

[419 s]

- 54** Le trasformazioni  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  mostrate in figura rappresentano rispettivamente un'isobara, un'isocora, un'adiabatica e una trasformazione generica.

- a) Possiamo affermare che, lavorando tra le stesse temperature, il gas assorbe la stessa quantità di calore indipendentemente dalla trasformazione?  
 b) La variazione di energia interna cambia a seconda della trasformazione scelta?  
 c) Perché la macchina di Carnot usa la trasformazione adiabatica per passare da una temperatura all'altra?



[a] no; [b] no, perché dipende esclusivamente dagli stati iniziale e finale e non dal modo in cui si effettua la trasformazione; [c] perché così il calore assorbito o ceduto non si disperde verso l'esterno, aumentando considerevolmente il rendimento finale della macchina]

- 55** In un ciclo di Carnot ABCDA, in cui AB è la dilatazione isoterma e BC la dilatazione adiabatica, la quantità di calore assorbita durante l'espansione isoterma è  $Q_2 = 565,1$  kJ.

- a) Calcola il lavoro dopo 30 cicli esatti di funzionamento della macchina, il cui rendimento è del 28,3%.  
 b) Se la macchina compie 3 cicli al secondo, calcola la potenza espressa e la variazione di energia interna che si ottiene dopo 5 secondi.

[ $4,8 \cdot 10^6$  J;  $4,8 \cdot 10^3$  W;  $\Delta U = 0$ ]

# Costruiamo le competenze

## Quesiti

- Qual è il significato principale di entropia?
- Supponi di immergere in un termostato un cilindro dotato di un pistone mobile e contenente un gas perfetto. Come si calcola la variazione di entropia del gas? Qual è la variazione di entropia del termostato?
- Cosa accade all'entropia quando l'acqua contenuta in un bicchiere diventa completamente un pezzo di ghiaccio? Da quale processo termodinamico è regolato questo fenomeno?
- Perché il rendimento di una macchina termica ideale è collegato all'entropia di un sistema termodinamico?
- L'entropia è definita anche relativamente ad ambiti diversi dalla fisica, come l'economia, la finanza, l'ambiente, ...?
- Immagina di dover confinare il gas in maniera meccanica all'interno di un volume inferiore a quello in cui si trova inizialmente. Come dovresti intervenire a livello microscopico sulle molecole del gas?
- È possibile, aspettando un po' di tempo, che una tazza di tè, caduta precedentemente e rotta in molti pezzettini, possa a un certo istante cominciare a ricomporsi e alla fine, ritornare come era prima? Qual è la spiegazione che tu dai del fenomeno?

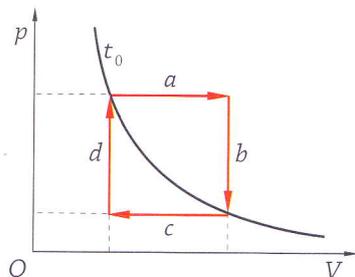


## Problemi

### Le trasformazioni, l'entropia e la disponibilità energetica

- 8 Considerando le trasformazioni  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  rappresentate in figura, e tenendo conto che  $t_0$  è un'isoterma, stabilisci se l'entropia aumenta o diminuisce lungo le seguenti trasformazioni particolari:

- $a$
- $a + b$
- $c$
- $a + b + c + d$



[a) aumenta; b) aumenta; c) diminuisce; d) rimane costante]

- 9 Una massa d'acqua di 1 kg alla temperatura di 60 °C è messa a contatto, in un recipiente isolato dall'esterno, con un'altra massa di acqua di 2 kg alla temperatura di 20 °C. Determina la temperatura di equilibrio e la variazione di entropia del sistema e dell'universo. [306 K; 9,5 J/K; 9,5 J/K]
- 10 400 g di piombo alla temperatura di 200 °C vengono messi in un recipiente isolato contenente 600 g di acqua alla temperatura di 30 °C. Calcola la temperatura di equilibrio del sistema, la variazione di entropia del sistema e dell'universo. [33,4 °C; 5,8 J/K; 5,8 J/K]

- 11 **E il diavoleto di Maxwell?** Un recipiente è diviso da una parete isolante in due parti  $V_0 = 3$  litri e  $V_1 = 6$  litri. Nel volume  $V_0$  sono contenute 0,5 moli di gas.

A un certo istante, la parete separatrice consente la diffusione lenta del gas, che alla fine occupa tutto lo spazio a disposizione.

Calcola la variazione di entropia del gas.

Prima	$V_0$	$V_1$
-------	-------	-------

Dopo	$V_0$	$V_1$
------	-------	-------

[1,09 cal/K]

- 12 500 g di acqua a 100 °C bollono a contatto con una sorgente a 150 °C. Determina la variazione di entropia dell'acqua, della sorgente di calore e dell'universo. [3033 J/K; -2674 J/K; 359 J/K]

- 13** **Un tè non troppo freddo** Un cubetto di ghiaccio di 50 g, alla temperatura di  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ , viene messo in un recipiente isolato contenente 200 g di acqua alla temperatura di  $40\text{ }^\circ\text{C}$ . Calcola la temperatura di equilibrio del sistema, la variazione di entropia del sistema e dell'universo (sistema + ambiente).

$$[14\text{ }^\circ\text{C}; 7,2\text{ J/K}; 7,2\text{ J/K}]$$

- 14** Una macchina termica reale che funziona con trasformazioni irreversibili ha un rendimento del 60% rispetto a quello teorico di una macchina di Carnot che lavori tra le stesse temperature.

Nel ciclo termico vengono cedute 869 J alla sorgente più fredda a temperatura  $T_1 = 300\text{ K}$ . Sapendo che la temperatura della sorgente più calda è  $T_2 = 480\text{ K}$ , calcola:

- il rendimento reale della macchina;
- la variazione di entropia  $\Delta S_1$  e  $\Delta S_2$  per ciascuna sorgente;
- la variazione di entropia  $\Delta S_U$  dell'universo;
- la variazione di entropia  $\Delta S_C$  della macchina di Carnot.

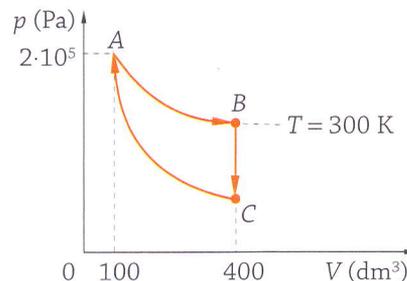
$$[a) 0,225; b) \Delta S_1 = 2,9\text{ J/K}, \Delta S_2 = -2,3\text{ J/K}; c) 0,57\text{ J/K}; d) 0]$$

- 15** Considera in un ciclo di Carnot le variazioni d'entropia  $\Delta S_i$  relative alle singole trasformazioni e calcola la variazione totale di entropia  $\Delta S_{tot}$  come somma delle singole variazioni  $\Delta S_i$ , cioè  $\Delta S_{tot} = \sum_i \Delta S_i$ .

$$[\Delta S_{tot} = nR \ln \left( \frac{V_B}{V_A} \frac{V_D}{V_C} \right) = 0,$$

poiché  $\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$  per le proprietà del ciclo di Carnot]

- 16** Un gas ideale monoatomico percorre un ciclo reversibile composto da una trasformazione isoterma  $AB$ , una trasformazione isocora  $BC$  e una trasformazione adiabatica  $CA$ , con  $V_A = 100\text{ dm}^3$ ,  $T_A = T_B = 300\text{ K}$ ,  $p_A = 2 \cdot 10^5\text{ Pa}$  e  $V_B = V_C = 400\text{ dm}^3$ . Determina i valori delle variabili termodinamiche  $p$ ,  $V$  e  $T$  per ognuno dei tre stati  $A$ ,  $B$  e  $C$ . Dimostra inoltre che la variazione di entropia del sistema lungo il percorso  $AB + BC$  è uguale alla variazione di entropia nel percorso  $AC$ .



$$[p_B = 5 \cdot 10^4\text{ Pa}; p_C = 2 \cdot 10^4\text{ Pa}; T_C = 120\text{ K}]$$

- 17** Due corpi uguali, ma di diverse temperature  $T_1$  e  $T_2$ , sono posti in un recipiente isolato termicamente dall'esterno e raggiungono l'equilibrio termico. Determina la relazione generale per l'aumento di entropia del sistema in funzione del calore specifico, della massa e delle temperature dei due corpi.

$$\left[ \Delta S = c_1 m_1 \ln \left( \frac{T_e}{T_1} \right) + c_2 m_2 \ln \left( \frac{T_e}{T_2} \right) \right]$$

$$\text{con } T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$