

## Secondo principio della Termodinamica

### Esercizi

- Una macchina avente il rendimento del 20% compie 100 J di lavoro in un ciclo. (a) Quanto calore viene assorbito in un ciclo? (b) Quanto calore viene ceduto in un ciclo?
  - (a)  $\eta = \frac{W}{Q_c} \Rightarrow Q_c = \frac{W}{\eta} = 500J$ ; (b)  $W = Q_c - Q_f \Rightarrow Q_f = 400J$ .
- Una macchina che sviluppa una potenza di 200W ha un rendimento del 30%; essa lavora a 10 cicli/s. (a) Quanto lavoro compie in ogni ciclo? (b) Quanto calore assorbe e quanto calore cede in ogni ciclo?
  - (a)  $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = \frac{P \cdot t}{10} = 20J$ ; (b)  $Q_c = \frac{W}{\eta} = 67J$ ;  $Q_f = Q_c - W = 47J$ .
- Una macchina frigorigena ha il coefficiente di effetto frigorifero pari a 5,0. In ogni ciclo, essa assorbe 25kJ da un termostato freddo. (a) Quanto lavoro si deve compiere? (b) Quanto calore viene ceduto al termostato caldo?
  - (a)  $\varepsilon = \frac{Q_f}{W} \Rightarrow W = 5kJ$ ; (b)  $W = Q_c - Q_f \Rightarrow Q_c = 30kJ$ .
- Una macchina frigorigena assorbe 5kJ da un termostato freddo e ne cede 8kJ. (a) Qual è il suo C.O.P.? (b) Se azioniamo la macchina all'inverso, ovvero come macchina termica, qual è il suo rendimento?
  - (a)  $\varepsilon = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = 1,67$ ; (b)  $\eta = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} = 37,5\%$ .
- Una macchina frigorigena assorbe 500J da un termostato freddo e ne cede 800J. Si supponga che l'enunciato di Kelvin-Planck sia falso e si dimostri che una macchina termica perfetta, lavorando assieme alla macchina frigorigena, può violare l'enunciato di Clausius.
  - Se la macchina termica perfetta assorbe  $XJ$  di calore dal termostato caldo, possiamo utilizzare il lavoro che questa è in grado di compiere per l'assorbimento da parte della macchina frigorigena dei 500 J dal termostato freddo. Dovendo risultare  $800 - X = 500$  il calore assorbito dalla macchina termica perfetta è quindi pari a 300 J.
- Una macchina di Carnot lavora tra due termostati alle temperature di 300K e 200K. (a) Qual è il suo rendimento? (b) Se in un ciclo assorbe 120J dal termostato caldo, quanto lavoro compie? (c) Qual è il C.O.P. di questa macchina se lavora invertita come una macchina frigorigena tra i due termostati?
  - (a)  $\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_c} = 33\%$ ; (b)  $\eta = \frac{W}{Q_c} \Rightarrow W = \eta Q_c = 40J$ ; (c)
  - $$\varepsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{Q_f}{Q_c \left(1 - \frac{Q_f}{Q_c}\right)} \leq \varepsilon_{\max} = \frac{T_f}{T_c \left(1 - \frac{T_f}{T_c}\right)} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = 2.$$
- Una macchina sottrae 250 J da un termostato a 300K e cede 200J ad un termostato a 200K. (a) Qual è il suo rendimento? (b) Qual è il rendimento del secondo principio? (c) Quanto lavoro in più si potrebbe compiere se la macchina fosse reversibile?
  - (a)  $\eta = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} = 20\%$ ; (b)  $\eta_{ap} = \frac{\eta}{1 - T_f/T_c} = 60\%$ ; (c)  $\Delta W = (\eta_c - \eta)Q_c = 33,3J$ .

8. Una centrale elettrica a vapore ha un rendimento del secondo principio del 58%. In essa il vapor acqueo entra a 245°C ed esce a 37°C. (a) Qual è il rendimento reale? (b) Quanto calore viene ceduto in corrispondenza di 1000J di lavoro compiuto?

$$\bullet \quad (a) \quad \eta = \eta_{sp} \left( 1 - T_f / T_c \right) = \frac{58}{100} \left( 1 - \frac{310}{518} \right) = 23\%;$$

$$Q_c = \frac{W}{\eta} \Rightarrow W = \frac{W}{\eta} - Q_f \Rightarrow Q_f = W \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) = 3,35 kJ.$$

9. Una pompa di calore fornisce 20 kW per riscaldare una casa. La temperatura esterna è -10°C e la temperatura interna dell'aria calda che esce dal ventilatore è 40°C. (a) Qual è il coefficiente di effetto termico di una pompa di calore di Carnot che lavori tra queste due temperature? (b) Qual è la minima potenza che può avere un motore che debba azionare questa pompa di calore? (c) Se il rendimento del secondo principio della pompa di calore è del 60%, che potenza deve avere il motore?

$$\bullet \quad (a) \quad \text{La pompa è di Carnot, quindi } \varepsilon = \varepsilon_{\max}$$

$$\varepsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{Q_f}{Q_c \left( 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \right)} = \varepsilon_{\max} = \frac{T_f}{T_c \left( 1 - \frac{T_f}{T_c} \right)} = \frac{T_f}{T_c - T_f} = 5,26.$$

$$\bullet \quad (b) \quad \text{La potenza del motore } P = W/t \text{ sarà tale che}$$

$$\frac{Q_f/t}{W/t} = \frac{(Q_c - W)/t}{W/t} = \frac{Q_c/t}{W/t} - 1 \leq \varepsilon_{\max} \Rightarrow \frac{W}{t} \geq \frac{Q_c/t}{1 + \varepsilon_{\max}} = \frac{20 kW}{6,26} = 3,19 kW.$$

$$\bullet \quad (c) \quad \text{Dal ragionamento di cui al punto precedente risulta:}$$

$$P = \frac{P_c}{1 + \varepsilon} = \frac{P_c}{1 + \eta_{sp} \varepsilon_{\max}} = 4,81 kW.$$

10. Un frigorifero è progettato per un consumo di 370W. (a) Qual è la massima quantità di calore che esso può sottrarre in 1 s se l'interno è a 0°C ed esso cede calore in una stanza a 20°C? (b) Se il rendimento del secondo principio per il frigorifero è il 70%, quanto calore può sottrarre in 1s?

$$\bullet \quad \text{Dalla } \varepsilon = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \leq \varepsilon_{\max} = \frac{T_f}{T_c \left( 1 - \frac{T_f}{T_c} \right)} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \text{ segue } \frac{Q_f}{t} \leq \frac{T_f}{T_c - T_f} \frac{W}{t} = 5,05 kW.$$

$$\bullet \quad \frac{Q_f}{t} = \varepsilon \frac{W}{t} = \varepsilon_{sp} \varepsilon_{\max} \frac{W}{t} = 3,53 kW.$$

11. Se 500 J di calore sono trasferiti da un termostato a 40° K ad un termostato a 300 K, si trovi la variazione d'entropia (a) del termostato caldo; (b) del termostato freddo; (c) dell'universo. (d) Quanto lavoro avrebbe potuto essere compiuto se i 500 J fossero stati trasferiti da una macchina di Carnot operante tra i due termostati?

$$\bullet \quad (a) \quad \Delta S_c = -\frac{Q}{T_c} = -\frac{500}{400} = -1,25 \frac{J}{K}; \quad (b) \quad \Delta S_f = \frac{Q}{T_f} = \frac{500}{300} = 1,67 \frac{J}{K}; \quad (c)$$

$$\Delta S_U = \frac{Q}{T_f} - \frac{Q}{T_c} = 0,42 \frac{J}{K} \quad (d) \quad W_{Carnot} = W_{perso} = \Delta S_U \cdot T_f = 0,42 \cdot 300 = 126 J.$$

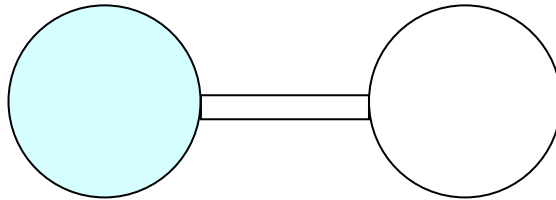
12. Si calcoli la variazione di entropia di 1 kg di acqua a 100°C quando si trasforma in vapore in condizioni normali.

- Se forniamo reversibilmente il calore necessario per il processo di evaporazione,

$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{rev}}{T} = \frac{mL_e}{T} = \frac{2257}{373} = 6,05 \frac{kJ}{K}.$$

13. Due moli di un gas perfetto a  $T = 400K$  si espandono isotermicamente e reversibilmente da un volume iniziale di 40 l ad uno finale di 80 l. (a) Si trovi la variazione di entropia del gas in questo processo; (b) Si trovi la variazione di entropia dell'universo in questo processo; (c) questo stesso gas, sempre a 400 K, è inizialmente in una metà del contenitore da 80 l, il quale è termicamente isolato dall'ambiente esterno. Si rompe il setto separatore ed il gas subisce un'espansione adiabatica libera da 40 a 80 l ed alla fine si porta in equilibrio. Si trovi la variazione di entropia del gas per questo processo. (d) Si trovi la variazione di entropia dell'universo per questo processo.

- (a)  $\Delta S_{gas} = \frac{\Delta Q_{rev}}{T} = \frac{W}{T} = \frac{nRT}{T} \ln \frac{V_f}{V_i} = 11,52 \frac{J}{K};$
- (b) trasformazione reversibile, quindi  $\Delta S_U = 0;$



- (c) Il lavoro compiuto in una trasformazione adiabatica è  $W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma},$

sussistendo la relazione  $PV^\gamma = const$ . Ora, per il calcolo della variazione di entropia è sufficiente conoscere l'espressione del calore apportato in una trasformazione reversibile; nel nostro caso, quella di cui al punto (a):

$$\Delta S_{gas} = \frac{\Delta Q_{rev}}{T} = \frac{W}{T} = \frac{nRT}{T} \ln \frac{V_f}{V_i} = 11,52 \frac{J}{K}.$$

- (d) Poiché l'ambiente esterno è termicamente isolato dal contenitore, la variazione di entropia dell'universo coincide con la variazione di entropia del gas: