

---

# FISICA

## Serie 8: Termodinamica VIII

II liceo

---

### Esercizio 1 *Espansione isoterma reversibile/irreversibile*

Considera un gas ideale (= sistema) contenuto in un cilindro a contatto con un bagno termico alla temperatura  $T$ . Il gas si espande da un volume  $V_i$  ad un volume  $V_f$  nelle condizioni in cui è costantemente mantenuto in equilibrio meccanico da una molla (ciò vuol dire che la molla lascia espandere il gas lentissimamente). Il processo è *reversibile*.

1. Calcola la variazione di energia, il lavoro ed il calore relativamente al sistema in questo processo.
2. Calcola la variazione di entropia del gas e del bagno termico.  
*Indicazione:* Visto che il processo è *reversibile* e siccome  $T = \text{costante}$  puoi scrivere

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \implies \Delta S = \frac{Q}{T}$$

3. Quanto vale la variazione di entropia del sistema e del bagno termico considerati come nuovo sistema (che è isolato)?
4. Confronta con l'espansione libera isoterma, quanto vale  $\Delta S^{\text{bagno}}$  in questa situazione, e quanto vale  $\Delta S^{\text{tot}}$ ? Il processo è reversibile? Perché si ottiene lo stesso risultato del caso reversibile per la differenza di entropia  $\Delta S^{\text{gas}}$ ?

### Esercizio 2 *Conduzione termica per solidi ad alta temperatura*

Un sorgente di calore (=solido)  $\Sigma_s$ , di temperatura  $T_s$  è messa in contatto con un solido  $\Sigma_1$  di temperatura  $T_1$ . Si suppone che i due sistemi soddisfano le seguenti equazioni

$$U_s = 3n_s RT_s \quad U_1 = 3n_1 RT_1$$

dove  $n_s$  e  $n_1$  sono il numero di moli dei due sistemi. Il sistema  $\Sigma = \Sigma_s \cup \Sigma_1$  è *isolato*.

1. Determina la temperatura finale quando il solido è messo a contatto diatermico (contatto che permette lo scambio di energia) con la sorgente di calore.  
*Indicazione:* utilizza la conservazione dell'energia e il fatto che nella situazione finale si ha un equilibrio termico.
2. Verificare che la temperatura finale  $T_f$  è

$$T_f = T_s - \alpha(T_s - T_1) \quad \text{dove} \quad \alpha = \frac{n_1}{n_1 + n_s}$$

Se la sorgente di calore è un "bagno termico", ossia una sorgente infinitamente grande ( $n_s = \infty$ ), quanto vale la temperatura finale?

3. Secondo te questo processo, chiamato **conduzione termica**, è reversibile o irreversibile?
4. I due sotto sistemi  $\Sigma_s$  e  $\Sigma_1$  sono adiabaticamente chiusi? Ti aspetti  $\Delta S_s \geq 0$  e  $\Delta S_1 \geq 0$ ?
5. Dimostra che l'espressione dell'entropia in funzione della temperatura è

$$S_s(T) = 3n_s R \ln \frac{T}{T_s} + S_s(T_s) \quad \text{e} \quad S_1(T) = 3n_1 R \ln \frac{T}{T_1} + S_1(T_1)$$

e esprimi  $\Delta S^\Sigma$  per il processo in questione.

*Indicazione:* Utilizza che per questi sistemi, valevole con  $N$  e  $V$  fissati, la funzione  $S(U, V, N)$  è

$$S(U, V, N) = S_0 + 3Nk_B \ln \frac{U}{U_0} .$$

6. Calcola  $T_f$  e  $\Delta S^\Sigma$  con i seguenti dati numerici:

$$n_s = 10^3 \text{ mol}, \quad n_1 = 1 \text{ mol}, \quad T_s = 333 \text{ K}, \quad T_1 = 283 \text{ K} \quad \text{quindi } T_s > T_1$$

stessa domanda con

$$n_s = 1 \text{ mol}, \quad n_1 = 1 \text{ mol}, \quad T_s = 333 \text{ K}, \quad T_1 = 393 \text{ K} \quad \text{quindi } T_s < T_1$$

cosa puoi concludere sul segno di  $\Delta S^\Sigma$ ? E sull'irreversibilità del processo?

7. Dimostra che la condizione di equilibrio termico (stessa temperatura) permette di ricavare lo stato  $(U, V, N)$  di ogni sottosistema, e quindi pure lo stato di equilibrio finale del sistema totale.

### Esercizio 3 *Processo a pressione costante e $c_p$*

Un metallo di massa 1 kg, di calore specifico a pressione costante  $c_p = 880 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , e alla temperatura  $T_1 = 27^\circ\text{C}$ , è messo a contatto, a pressione costante, con un bagno termico alla temperatura di  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . Dopo un certo tempo il metallo è in equilibrio termico con il bagno.

1. Calcola il calore fornito dal bagno al metallo durante il processo.
2. Calcola la variazione di entropia del metallo.

*Indicazione:* Utilizza il fatto che  $S$  è una funzione di stato e quindi è possibile calcolare  $\Delta S$  su un cammino reversibile ( $i$  = stato iniziale di temperatura  $T_i$ ,  $f$  = stato finale di temperatura  $T_f$ ) si ha

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T} = \frac{mc_p dT}{T} \implies \Delta S = mc_p \ln \frac{T_f}{T_i}$$

3. Calcola la variazione di entropia del bagno termico.

4. Considerando il sistema  $\Sigma = \text{metallo} + \text{bagno}$  (=sistema isolato) calcola la variazione di entropia di  $\Sigma$ . Cosa puoi dire sulla reversibilità del processo?

**Esercizio 4** *Equilibrio termico ed entropia*

Considera due blocchi di rame identici di massa  $m = 1,5 \text{ kg}$ . Il blocco 1 è a temperatura iniziale  $T_{1,i} = 60^\circ\text{C}$  mentre il blocco 2 è a temperatura  $T_{2,i} = 20^\circ\text{C}$ . I blocchi sono ospitati in contenitori termicamente isolati e separati da un diaframma mobile pure isolante. Se solleviamo il diaframma, i blocchi prima o poi giungono alla temperatura di equilibrio  $T_f = 40^\circ\text{C}$ . Qual è la variazione di entropia nel sistema dei due blocchi durante questo processo? Il calore specifico del rame è  $386 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ . Discuti la reversibilità.