Termodinamica

Eugenio Barbieri Viale

January 9, 2026

Teoria cinetica

$$n = \frac{N}{N_a} \quad n = \frac{m_{totale}}{m_{atomica}}$$

La massa totale è espressa in grammi, mentre quella atomica in dalton ($1u = 1.66 \times 10^{-27} kg$)

Per un gas monoatomico:

$$pV = \frac{2}{3} N\overline{K}$$
$$\overline{K} = \frac{3}{2} kT$$
$$v_{qm} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Dove m è la massa di una molecola, T la temperatura e $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$

In un gas a temperatura T, ogni grado di libertà di una molecola è associato a un'energia media pari a:

$$\frac{1}{2} kT$$

L'energia interna di un gas monoatomico (1) e di un gas biatomico (2):

$$U = \frac{3}{2} nRT \quad \text{3 gradi di libertà} \tag{1}$$
$$U = \frac{5}{2} nRT \quad \text{5 gradi di libertà (vibrazione non considerata)} \tag{2}$$

Termodinamica

Primo principio

$$\Delta U = Q - L$$

- $Q > 0$: il sistema assorbe calore
- $Q < 0$: il sistema cede calore
- $L > 0$: il sistema compie lavoro
- $Q < 0$: il lavoro è compiuto dall'ambiente sul sistema

Trasformazioni termodinamiche

Trasformazione isobara (pressione costante):

$$L = p\Delta V$$

Trasformazione isocora (volume costante):

$$L = 0 \longrightarrow \Delta U = Q$$

Trasformazione isoterma (temperatura costante):

$$L = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$\Delta U = 0 \longrightarrow Q = L$$

Trasformazione adiabatica (non viene scambiato calore):

$$L = \frac{3}{2}nR(T_i - T_f)$$

$$Q = 0 \longrightarrow \Delta U = -L$$

Calore specifico

$$Q = C_m n \Delta T$$

dove C_m è il calore specifico molare $(J/(mol \cdot K))$

Gas monoatomico:

$$C_p = \frac{5}{2}R \quad \text{pressione costante}$$

$$C_v = \frac{3}{2}R \quad \text{volume costante}$$

Gas biatomico:

$$C_p = \frac{7}{2}R \quad \text{pressione costante}$$

$$C_v = \frac{5}{2}R \quad \text{volume costante}$$

Per un gas perfetto monoatomico:

$$\gamma = \frac{5}{3}$$

Per un gas perfetto biatomico:

$$\gamma = \frac{7}{5}$$

Relazioni tra grandezze in trasformazioni adiabatiche

$$p_i(V_i)^\gamma = p_f(V_f)^\gamma$$
$$T_i(V_i)^{\gamma-1} = T_f(V_f)^{\gamma-1}$$
$$(p_i)^{1-\gamma}(T_i)^\gamma = (p_f)^{1-\gamma}(T_f)^\gamma$$

Macchine termiche

$$Q_c > 0 \quad Q_f < 0 \quad L > 0$$

Rendimento di una macchina termica:

$$\eta = \frac{L}{Q_c}$$

Dato che

$$L = Q_c + Q_f = Q_c - |Q_f|$$

il rendimento può essere scritto anche:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_c}$$

La macchina di Carnot è una macchina termica reversibile. Il suo rendimento:

$$\frac{|Q_f|}{Q_c} = \frac{T_f}{T_c}$$

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Questo è il rendimento massimo che una macchina termica può raggiungere operando tra le due temperature.

Il ciclo di Carnot è composto da:

- espansione isoterma a temperatura costante T_c
- espansione adiabatica: la temperatura diminuisce da T_c a T_f
- compressione isoterma a temperatura costante T_f
- compressione adiabatica: la temperatura ritorna T_c

Macchine frigorifere e pompe di calore

$$Q_c < 0 \quad Q_f > 0 \quad L < 0$$

Qui vale la relazione:

$$|Q_c| = |L| + Q_f$$

Macchina frigorifera:

$$COP = \frac{Q_f}{|L|}$$

Pompa a calore:

$$COP = \frac{|Q_c|}{|L|}$$

Entropia

In una trasformazione reversibile:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

L'energia dell'universo non cambia in processi reversibili, mentre aumenta sempre in processi irreversibili. Questi ultimi causano un degrado dell'energia, una cui parte non è più utilizzabile. Il lavoro inutilizzato:

$$L_{inut} = T_f \Delta S_{univ}$$