

Fisica 3 - Formulario

Andrea Rocca e Alessio Sgubin

18 marzo 2023

1 Costanti Fisiche

Abbiamo qua raccolto le principali costanti fisiche:

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \quad \text{Costante di Boltzmann}$$

$$R = 8.31 \frac{J}{K \text{ mol}} \quad \text{Costante dei Gas Ideali}$$

$$0 \text{ } ^\circ C = 273.15 \text{ K} \quad \text{Zero Assoluto}$$

$$\begin{cases} p = 100 \text{ kPa} \\ T = 0 \text{ } ^\circ C \end{cases} \quad \text{Condizioni Standard Temperatura-Pressione}$$

2 Compendio Matematico

Consideriamo una funzione di stato $f(x, y, z) = 0$ che mette in relazione tra loro le 3 variabili. Allora valgono le seguenti proprietà differenziali:

$$\left. \frac{\partial x}{\partial y} \right|_z = \left(\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_z \right)^{-1} \quad \text{”Inversione di Derivazione”}$$

$$\left. \frac{\partial x}{\partial y} \right|_z \left. \frac{\partial y}{\partial z} \right|_x \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_y = -1 \quad \text{”Regola Ciclica”}$$

3 Termodinamica

3.1 Definizioni e Formule Generali

3.1.1 Principi della Termodinamica

I principi sono i seguenti:

- 0) **Principio zero:** Dati due sistemi in equilibrio termico con un terzo sistema, allora questi sono in equilibrio termico tra di loro.
- 1) **Principio uno:** il lavoro che devo fare sul sistema per passare dallo stato A allo stato B , in caso adiabatico, è lo stesso, indipendentemente dal modo in cui lo faccio. In generale in un sistema chiuso vale $\Delta U = Q + W$, che scritto in forma infinitesima diventa $dU = \delta Q - \delta W = \delta Q - p dV$.
- 2) **Principio due:** esistono diverse versioni:
 - **Clausius:** non è possibile avere un processo fisico il cui *unico risultato* è il trasferimento di calore da un corpo più freddo a uno più caldo.
 - **Kelvin:** non è possibile avere un processo fisico che trasforma *interamente* il calore in lavoro *senza altri risultati*.

- **Carnot:** Il ciclo che porta la temperatura T_H a quella T_L con la massima efficienza è necessariamente reversibile.
- **Disuguaglianza di Clausius:** Vale $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$
- **Entropia:** $\Delta S \geq 0$, dove S è l'entropia
- **Caratheodory:** In termodinamica attorno a qualsiasi stato di equilibrio esistono stati di equilibrio che non sono raggiungibili tramite processi adiabatici reversibili.

3.1.2 Trasferimento del Calore

Il trasferimento di calore avviene in 3 modalità.

- **Conduzione:** un ΔT determina uno scambio di calore tra sistemi a contatto. Ci sono le seguenti leggi¹ che determinano questo scambio:

$$\frac{1}{A} \frac{\delta Q}{\Delta t} = -K \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{”Formula del Flusso di Calore”}$$

$$\vec{J}_Q = -K \cdot \vec{\nabla} T \quad \text{Legge di Fourier}$$

$$\delta Q = c m \delta T \quad \text{”Formula del Calore Specifico”}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \nabla^2 T \quad \text{Legge di Propagazione del Calore}$$

dove abbiamo definito le seguenti grandezze:

A è l'area a contatto tra i sistemi

K conducibilità termica, con unità di misura $[K] = \frac{W}{mK}$

\vec{J}_Q flusso di calore attraverso una superficie (di contatto)

$\vec{\nabla} T$ gradiente termico

c calore specifico

e quelle non elencate sono altre costanti.

- **Convezione:** materia che si sposta nello spazio causa trasferimento di calore con una legge macroscopica:

$$\frac{1}{A} \frac{\delta Q}{\Delta t} = h \Delta T \quad \text{”Legge della Convezione”}$$

dove h è una costante che dipende da diverse variabili del sistema.

- **Irraggiamento:** anche in assenza di materia avviene questo scambio con legge:

$$\frac{1}{A} \frac{\delta Q}{\Delta t} = \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) \quad \text{”Formula dell'Irraggiamento”}$$

¹Useremo la convenzione di scrivere tra virgolette i nomi da noi inventati per alcune formule. Che Newton non ce ne voglia, per favore.

3.1.3 Sistemi Idrostatici

Vale la seguente relazione differenziale:

$$dV = \alpha V dT - \beta V dp$$

dove si definiscono le proprietà del materiale:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_p = -\frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_p \quad \text{Coefficiente di Espansione Volumetrica}$$

$$\beta_T = -\frac{1}{V} \left. \frac{\partial V}{\partial p} \right|_T \quad \text{Coefficiente di Compressibilità Isoterma}$$

dove indichiamo con ρ la densità volumetrica del materiale.

Il **lavoro** (infinitesimale) viene in generale descritto da:

$$dW = -pdV \quad W = -\int_{V_i}^{V_f} pdV$$

3.1.4 Entropia

Si definisce il differenziale esatto:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}_{\text{rev}} \quad \text{Entropia}$$

3.2 Formule per i Gas Ideali

La seguente formula è essenziale:

$$pV = nRT \quad \text{Legge dei Gas Ideali}$$

Dal primo principio segue la relazione differenziale:

$$\delta Q = nc_V dT + pdV = nc_P dT - V dp$$

dove si definiscono le proprietà del materiale:

$$c_V := \left. \frac{\partial Q}{\partial T} \right|_V = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_V \quad \text{Calore specifico a } V \text{ costante}$$

$$c_p := c_V + \left(\left. \frac{\partial U}{\partial V} \right|_T + p \right) V \alpha \quad \text{Calore specifico a } p \text{ costante}$$

Ci sono delle formule che legano tra loro i calori specifici:

$$C = c n \quad \text{Capacità Termica}$$

$$c_p - c_V = nR \quad \text{Relazione di Mayer}$$

$$c_V = \frac{\nu}{2} R \quad \text{Calore Specifico per Gas Ideale}$$

$$\gamma \equiv \frac{C_p}{C_V} = \frac{c_p}{c_V} \quad \text{Coefficiente Adiabatico}$$

dove ν indica i gradi di libertà delle molecole nel gas: in particolare $\nu = 3$ per i gas monoatomici e $\nu = 5$ per i gas biatomici.

Per il calcolo dell'**entropia** vale la seguente formula generale:

$$\Delta S = nc_p \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) - nR \ln \left(\frac{p_f}{p_i} \right)$$

3.2.1 Tabella Riassuntiva per i Gas Ideali

Trasformazione isobara

$W = -nR\Delta T$	Lavoro
$Q = nc_p\Delta T$	Calore
$\Delta U = Q + W = nc_V\Delta T$	Differenza Energia
$pV^0 = \text{cost.}$	Equazione curva isobara
$dS = nc_p\frac{dT}{T}$	Entropia

Trasformazione isocora

$W = 0$	Lavoro
$Q = nc_V\Delta T$	Calore
$\Delta U = Q = nc_V\Delta T$	Differenza Energia
$pV^\infty = \text{cost.}$	Equazione curva isocora
$dS = nc_v\frac{dT}{T}$	Entropia

Trasformazione isoterma

$\Delta U = 0$	Differenza Energia
$W = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$	Lavoro
$Q = -W$	Calore
$pV^1 = \text{cost.}$	Equazione curva isoterma
$dS = nR\frac{dV}{V} = -nR\frac{dp}{p}$	Entropia

Trasformazione adiabatica

$Q = 0$	Calore
$\Delta U = W$	Differenza Energia
$pV^\gamma = \text{cost.}$	Equazione curva adiabatica
$\Delta S = 0$	Entropia