

# Fisica della Materia Condensata.

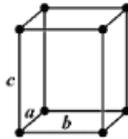
Prof. Paola Gallo.

Prova del I appello di esame - 28 Gennaio 2025

Istruzioni - Esame completo: svolgere tutti e quattro gli esercizi in quattro ore. Recupero del primo esonero: svolgere gli esercizi 1 e 2 in due ore. Secondo esonero: risolvere gli esercizi 3 e 4 in due ore.

## 1 Esercizio 1

Si abbia un cristallo con struttura ortorombica e base monoatomica. Siano  $a = 1.7\text{\AA}$  e  $b = 2.5\text{\AA}$  due dei parametri reticolari.



1. Studiare il fattore di struttura. (5)
2. Determinare il volume del cristallo se l'angolo a cui si osserva il primo picco di diffrazione per raggi X di lunghezza d'onda  $\lambda = 0.20\text{ nm}$  vale  $\theta = 35.3^\circ$ . (5)
3. Studiare il fattore di struttura se il cristallo ha base biatomica e il secondo atomo si trova in  $d_2=1/2(b,a,c)$ . (5)

## 2 Esercizio 2

Si abbia un cristallo bidimensionale quadrato con base biatomica i cui atomi siano liberi di vibrare in due dimensioni. Il parametro reticolare vale  $a = 2.0\text{\AA}$ . Le relazioni di dispersione delle branche fononiche sono date da

$$\omega_{AL/AT} = \omega_{AL/AT}^0 \sin\left(\frac{qa}{2}\right)$$

con  $\omega_{AL}^0 = 2.2 \cdot 10^{12}$  rad/s e  $\omega_{AT}^0 = 4 \cdot 10^{12}$  rad/s, e la relazione di dispersione per la banda ottica ha un valore circa costante pari a  $1.1 \cdot 10^{13}$  rad/s.

1. Disegnare in forma schematica le curve di dispersione fononica nella Prima Zona di Brillouin. (5 punti)
2. Determinare la velocità del suono. (5 punti)
3. Determinare quanto vale la capacità termica per unità di volume a  $T = 400$  K. (5)

### 3 Esercizio 3

Si consideri una catena lineare monoatomica di passo  $a$ , e lunghezza  $L$ , composta da  $N$  atomi monovalenti e disposta lungo l'asse  $x$ . Nell'approssimazione di tight-binding, trascurando gli integrali di sovrapposizione  $\alpha$  e  $\beta$  e date  $E_{0s} = 1eV$ ,  $E_{0px} = 3.5eV$ ,  $|\gamma_s| = 1eV$  e  $|\gamma_{px}| = 0.5eV$ , si chiede di:

1. Ricavare l'espressione esplicita delle due bande in funzione di  $k$ , considerando solo l'interazione a primi vicini. Graficare le due bande nella prima zona di Brillouin. (5)
2. Determinare il valore del  $k$  di Fermi e dell'energia di Fermi, e determinare se il sistema ha comportamento metallico o isolante. (5)
3. Determinare come cambiano il  $k$  di Fermi e il comportamento della catena se gli atomi sono bivalenti. (5)

### 4 Esercizio 4

Un semiconduttore è drogato di tipo  $n$  con densità degli atomi donori  $N_D = 3.1 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ . L'energia di ionizzazione degli atomi donori vale  $\epsilon_d = 15 \text{ meV}$ . L'energia di gap del semiconduttore vale  $E_G = 0.75eV$ . La massa degli elettroni di conduzione vale  $m_e^* = 3 \cdot 10^{-30} \text{ Kg}$ . La densità dei portatori di carica a 400K vale  $n(400) = 2.1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .

1. Calcolare la densità di elettroni nella banda di conduzione a 10 K. (5)
2. Determinare con precisione in che regime si il semiconduttore a 250K e calcolare con precisione la densità dei portatori di carica. (5)
3. Determinare la mobilità degli elettroni e delle lacune a 400K, date una misura di conducibilità  $\sigma = 1.3 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} m^{-1}$  e una misura della costante di Hall  $R_H = -2.2 \cdot 10^3 m^3/C$ . (5)

$K_B = 8.6167 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ ,  $h = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$ ,  $1 \text{ J} \cdot 1m^{-2} \cdot 1s^2 = 1Kg$ ,  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} J$ .