

Test di autovalutazione sulle

**CONOSCENZE ACQUISITE**

**sulle proprietà vibrazionali e termiche**

1. Si consideri una catena biatomica unidimensionale. Dire quale delle seguenti affermazioni è sbagliata e quale è giusta, spiegando il perché:
  - esistono oscillazioni di tipo acustico e di tipo ottico solamente se la massa dei due atomi è diversa;
  - le oscillazioni di tipo ottico non hanno mai frequenza nulla, indipendentemente dal valore del vettore d'onda  $q$ ;
  - le oscillazioni di tipo acustico hanno  $\lim_{q \rightarrow 0} \omega(q) = 0$  solamente se le masse dei due atomi sono diverse.
2. Si consideri una catena biatomica unidimensionale con queste caratteristiche: passo reticolare  $a$ , massa dei due atomi  $m$  e  $M$  (con  $m < M$ ), costante di forza della molla efficace che collega due atomi primi vicini  $\gamma$ . La relazione di dispersione per i moti di vibrazione è

$$\omega^2 = \gamma \frac{M+m}{Mm} \pm \gamma \sqrt{\left(\frac{M+m}{Mm}\right)^2 - \frac{4}{Mm} \sin^2\left(\frac{qa}{2}\right)}$$

Si dimostri quanto segue:

- la massima frequenza di oscillazione ottica si ha per  $q = 0$  e vale  $\omega_{\text{ottica}}^{\text{max}} = \sqrt{2\gamma(M+m)/Mm}$ ;
  - la massima frequenza di oscillazione acustica si ha per  $q = \pm\pi/a$  e vale  $\omega_{\text{acustica}}^{\text{max}} = \sqrt{2\gamma/M}$ ;
  - la minima frequenza di oscillazione ottica si ha per  $q = \pm\pi/a$  e vale  $\omega_{\text{ottica}}^{\text{min}} = \sqrt{2\gamma/m}$ .
3. Si consideri la formula analitica che esprime la relazione  $\omega = \omega(q)$  per le oscillazioni di una catena monoatomica unidimensionale di passo reticolare  $a$ , massa  $M$  e costante di forza  $\gamma$ . Considerando il limite di  $q \rightarrow 0$ :
    - si determini la forma analitica di tale relazione, giustificando l'andamento rettilineo della relazione di dispersione in questo limite;
    - si consideri quindi il rapporto  $\omega/q$  e se ne discuta il significato fisico.
  4. In che cosa consiste la condizione periodica di Born-von Karman e quali sono i vantaggi che si ottengono dalla sua applicazione?
  5. Usando la soluzione generale per le equazioni del moto di una catena monoatomica unidimensionale, calcolare esplicitamente la mappa degli spostamenti atomici per vibrazioni longitudinali di centro zona e di bordo zona.

6. Giustificare fisicamente perché le frequenze ottiche longitudinali e trasversali di centro-zona sono degeneri nel Si e non lo sono nel GaAs.
7. Cosa è un fonone?
8. È possibile che due fononi di diversa polarizzazione abbiano la stessa energia? Giustificare la risposta e fornire esempi concreti a sua conferma.
9. Studiare la legge di Bose-Einstein nel limite di altissime temperature discutendo il significato fisico del risultato ottenuto.
10. Dimostrare rigorosamente che nel limite di alte temperature l'energia media  $\langle U \rangle$  di un gas di fononi è quello fornito dalla teoria cinetica per un gas classico di particelle.
11. In che cosa consiste l'approssimazione di Debye? In che cosa consiste la convenienza nell'adottarla?
12. Quanto vale la conducibilità termica di un gas di fononi in cui non sono presenti fenomeni di scattering?
13. Discutere qualitativamente la dipendenza dalla temperatura del tempo di rilassamento per lo scattering tra fononi.
14. Ricavare rigorosamente la formula cinetica per la conducibilità termica di un cristallo.
15. Discutere qualitativamente la dipendenza dalla temperatura della conducibilità termica del silicio.

**Nota** - I quesiti proposti trovano risposta nel Capitolo 3 del manuale.