

# Formulario di Elettronica dello stato solido

Lorenzo Rossi

Anno Accademico 2020/2021

Email: [lorenzo14.rossi@mail.polimi.it](mailto:lorenzo14.rossi@mail.polimi.it)

GitHub: <https://github.com/lorossi>

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione

Non commerciale 4.0 Internazionale 

Versione aggiornata al 01/03/2021

# Indice

<b>1</b>	<b>Riguardo al formulario</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Struttura cristallina</b>	<b>1</b>
2.1	Indici di Miller . . . . .	1
<b>3</b>	<b>Radiazione di corpo nero</b>	<b>1</b>
3.1	Cavità di corpo nero all'equilibrio . . . . .	2
3.1.1	Cavità monodimensionale . . . . .	2
<b>4</b>	<b>Onde e particelle</b>	<b>2</b>
4.1	Onde . . . . .	2
4.2	Particelle . . . . .	2
<b>5</b>	<b>Meccanica quantistica</b>	<b>3</b>
5.1	Operatori . . . . .	3
5.2	Tunneling . . . . .	3
5.3	Incidenza . . . . .	3
5.4	Buca di potenziale . . . . .	4
5.4.1	A pareti infinite . . . . .	4
5.4.2	A pareti finite . . . . .	4
5.4.3	Parabolica . . . . .	4
5.4.4	Coppie di buche . . . . .	4

## 1 Riguardo al formulario

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons - Attribuzione Non commerciale 4.0 Internazionale 

Questo formulario verrà espanso (ed, eventualmente, corretto) periodicamente fino a fine corso (o finché non verrà ritenuto completo).

Link repository di GitHub:

L'ultima versione può essere scaricata direttamente cliccando su questo link.

## 2 Struttura cristallina

- Packing factor  $PF = \frac{4/3 \cdot \pi r^3}{a^3}$
- Densità del reticolo  $l = \frac{\text{n}^\circ \text{atomi} / \text{cella}}{\text{area cella}}$
- Interferenza del passo reticolare (diffrazione alla Bragg)  $2a \sin \theta = n\lambda$  con  $n$  ordine di diffrazione

Struttura	Metalli che la presentano in natura	Packing Factor
Cubico	Po	$\frac{\pi}{6} \approx 0.52$
GBB	Cr, Fe, Mo, Ta	$\pi \frac{\sqrt{3}}{8} \approx 0.68$
FCC	Ag, Au, Cu, Ni, Pb	$\pi \frac{\sqrt{2}}{6} \approx 0.74$

### 2.1 Indici di Miller

**Ipotesi:** il piano interseca in  $m, n, 0$

- Indici di Miller  $n, m, 0$
- Distanza interplanare  $d = \frac{a}{\sqrt{n^2 + m^2}}$

## 3 Radiazione di corpo nero

- Legge di Wien  $\lambda_{ma} \cdot T = K_{\text{wien}}$
- Legge di Stefan  $\int_0^{\infty} R_T d\nu = \sigma T^4$

### 3.1 Cavit  di corpo nero all'equilibrio

#### 3.1.1 Cavit  monodimensionale

- Lunghezze d'onda permesse  $a = n \frac{\lambda}{2}$
- Frequenze permesse  $\nu = \frac{c}{2a}n$  con  $n$  intero e non nullo
- Free spectral range FSR =  $\frac{c}{2a}$

## 4 Onde e particelle

### 4.1 Onde

- Frequenza / lunghezza d'onda  $\nu = \frac{c}{\lambda}$
- Energia associata ad un'onda  $E = h\nu$
- Vettore d'onda  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- Velocit  di fase  $v_f = \frac{d\omega}{dk}$
- Velocit  di gruppo  $v_g = \frac{\partial\omega}{\partial k} = \frac{\hbar k}{m}$

### 4.2 Particelle

- Energia  $E = E_k + U$ 
  - Energia cinetica  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
  - Principio di equipartizione dell'energia, particella con  $l$  gradi di libert :  $E_k = \frac{l}{2}kT$
  - Energia potenziale di una particella in un potenziale  $V$ :  $U = qV$
- Relazione di De Broglie  $\lambda = \frac{h}{p}$ ,  $p = \hbar k$
- Relazione di dispersione  $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$
- Vettore d'onda  $k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$
- Lunghezza d'onda  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$

## 5 Meccanica quantistica

- Principio di indeterminazione di Heisenberg  $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$
- Equazione di Schrödinger  $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}(x, t) = \hat{H} \Psi(x, t)$
- Flusso quantistico  $J = \frac{\hbar k}{m} |\Psi|^2$

### 5.1 Operatori

- Operatore Hamiltoniano  $-\frac{\hbar^2}{2mi} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V$
- Operatore quantità di moto (momento)  $\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$
- Operatore energia cinetica  $\hat{E}_{tot} = -i\hbar \frac{\partial^2}{\partial t^2}$
- Operatore energia totale  $\hat{E}_k = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$
- Operatore potenziale  $\hat{V} = V$
- Commutatore  $H = [\hat{A}, \hat{B}] = \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A} = \hat{C}$

### 5.2 Tunneling

- Probabilità di tunneling  $|T|^2 \approx 16 \left( \frac{\alpha k}{\alpha^2 + k^2} \right)^2 \exp -2\alpha a \approx \exp -2\alpha a$
- Tempo medio di tunneling  $\langle t \rangle = \frac{t_{a/r}}{p_t} = \frac{2a}{vp_{\text{tun}}}$
- Approssimazione WKB
  - Probabilità  $|T|^2 = P_T = \exp \{-2\alpha a\}$
  - Penetrazione media  $x_p = \frac{\hbar}{\sqrt{2m(V_0 - E)}} = \frac{1}{\alpha}$
  - **L'approssimazione è valida se e solo se  $\alpha a \gg 1$**
  - **Caso particolare: barriera triangolare**  $P_T = \exp \left\{ -\frac{4}{3} \frac{\sqrt{2m}}{\hbar} \frac{\Phi^{3/2}}{qF} \right\}$
- Approssimazione di Follower-Nonditeim  
–

### 5.3 Incidenza

- Coefficiente di riflessione  $R = \left( \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right)^2$
- Coefficiente di trasmissione  $T = \left( \frac{2k_1}{k_1 + k_2} \right)^2 = 1 - R^2$

## 5.4 Buca di potenziale

### 5.4.1 A pareti infinite

- Autovalori  $E_n = \frac{h^2}{8ma^2}n^2$

### 5.4.2 A pareti finite

- Funzioni pari  $\tan\left(\frac{a}{2\hbar}\sqrt{2mE}\right) = \sqrt{\frac{V_0 - E}{E}}$
- Funzioni dispari  $\tan\left(\frac{a}{2\hbar}\sqrt{2mE}\right) = -\sqrt{\frac{E}{V_0 - E}}$
- La soluzione delle equazioni avviene per via grafica

### 5.4.3 Parabolica

- Profilo di potenziale  $U = \frac{1}{2}\alpha x^2$
- Pulsazione caratteristica  $\omega = \sqrt{\frac{\alpha}{m}}$
- Autovalori  $E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$

### 5.4.4 Coppie di buche

- Funzione degli autovalori  $\tan\left(k\frac{a}{2}\right) = -\frac{\hbar^2 k}{mU_0}$
- Proporzionalità della ddp  $|\psi|^2 \propto$
- Oscillazione degli autovalori