

Formulario di Elettronica dello stato solido

Lorenzo Rossi

Anno Accademico 2020/2021

Email: 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 15/04/2021

Indice

1	Riguardo al formulario	1
2	Struttura cristallina	1
2.1	Indici di Miller	1
3	Radiazione di corpo nero	1
3.1	Cavità di corpo nero all'equilibrio	2
3.1.1	Cavità monodimensionale	2
4	Onde e particelle	2
4.1	Onde	2
4.2	Particelle	2
5	Meccanica quantistica	3
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
6	Teoria semiclassica del trasporto	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 $l = \frac{n^\circ \text{atomi} / \text{cella}}{\text{area cella}}$
- 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 $\int_0^{\text{inf}} R_T d\nu = \sigma T^4$

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 $k = \frac{2\pi}{h}$
- Velocit  di fase $v_f = \frac{d\omega}{dt}$
- Velocit  di gruppo $v_g = \frac{\partial\omega}{\partial k} = \frac{1}{h} \frac{\partial E}{\partial k} = \frac{\hbar k}{m}$

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 $E_n = \frac{\hbar^2}{8ma^2}n^2$

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 $|\psi|^2 \propto \cos\left(\frac{E_2 - E_1}{\hbar}t\right) = \cos\left(2\pi\frac{E_2 - E_1}{h}t\right)$
 - Oscillazione degli autovalori $\omega = \frac{E_2 - E_1}{\hbar}$
 - Frequenza degli autovalori $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$

6 Teoria semiclassica del trasporto

- Formula fondamentale $\frac{dk}{dt} = \frac{\mathfrak{F}}{\hbar}$, \mathfrak{F} forza applicata
- Massa efficace $m^* = \frac{\mathfrak{F}}{a} = \frac{\hbar^2}{\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}}$