

1. Un reticolo cristallino quadrato di passo $a = 1 \text{ nm}$, sottoposto ad irraggiamento con raggi X di energia $E = 1.2 \text{ keV}$, rivela tre picchi di diffrazione in corrispondenza degli angoli $\theta_1 = 31.17^\circ$, $\theta_2 = 47.06^\circ$, $\theta_3 = 63.71^\circ$. Determinare la famiglia di piani associata ad ognuno dei picchi di diffrazione.
2. Un corpo nero sferico di raggio $r_1 = 1 \text{ cm}$ presenta un picco dello spettro di emissione (parametrizzato in lunghezza d'onda) per $\lambda_1 = 1 \text{ }\mu\text{m}$. Determinare la potenza emessa dal primo corpo nero, e la temperatura di un secondo corpo nero avente raggio doppio ed emettente potenza tripla rispetto al primo corpo nero.
3. In un esperimento di effetto fotoelettrico un catodo in tungsteno ($W = 5.4 \text{ eV}$) è sottoposto ad illuminazione. Nota la tensione di stopping $V_{\text{stop}} = -3 \text{ V}$, determinare la lunghezza d'onda del fascio luminoso e la velocità dell'elettrone all'anodo in assenza di tensione applicata.
4. Si consideri la buca di potenziale a pareti infinite in **Fig. 1**. Sapendo che il rapporto tra il numero di elettroni che popolano il secondo livello e il numero di elettroni che popolano lo stato fondamentale a $T = 500 \text{ K}$ è pari a 10^{-3} , calcolare la larghezza a della buca facendo ragionevoli approssimazioni.
5. Si consideri la relazione di dispersione $E(k) = E_0 + E_1 \cos(4ka)$, con $E_0 = 1 \text{ eV}$, $E_1 = 0.5 \text{ eV}$, $a = 0.5 \text{ nm}$. Si costruisca un pacchetto d'onda centrato in $k_0 = \frac{\pi}{4a}$ con peso $g(k)$ gaussiano avente $\sigma_k = 10^8 \text{ m}^{-1}$. Valutare la velocità di gruppo, la dispersione del pacchetto e la velocità di fase a $t = 0$, $t = 1 \text{ ps}$ e $t = 100 \text{ ps}$.
6. Un elettrone in un cristallo è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x)$ con $k = 0.785 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Sapendo che l'autofunzione $\psi_k(x)$ torna in fase dopo $N = 6$ passi reticolari, determinare il passo cristallino a e tracciare il profilo della parte reale della funzione involuppo e il profilo della parte reale dell'autofunzione su $2N$ passi reticolari, sapendo che la funzione di Bloch è di tipo pari con un solo massimo in corrispondenza dell'atomo.
7. Si consideri il diagramma a bande in **Fig. 2** ($m_v^* = 3m_c^*$), dove un elettrone di momento $k_0 = 10^9 \text{ m}^{-1}$ viene promosso dalla banda di valenza alla banda di conduzione grazie a un fotone di energia $E_{ph} = 1 \text{ eV}$. Sapendo che l'elettrone promosso termalizza sul fondo della banda di conduzione rilasciando 10 fononi di energia media $E_{phn} = 20 \text{ meV}$, determinare le masse efficaci m_c^* , m_v^* e l'energia di gap E_g .
8. Si considerino due campioni metallici di pari area in oro ($W_{Au} = 5.3 \text{ eV}$) e argento ($W_{Ag} = 4.26 \text{ eV}$). Determinare a che temperatura deve essere portato il campione in oro affinché abbia la stessa densità di corrente termoionica dell'argento a $T = 400 \text{ K}$, facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Si consideri il setup sperimentale di effetto Hall in **Fig. 3** ($B = 1 \text{ T}$, $L = W = 1 \text{ }\mu\text{m}$, $t = 100 \text{ nm}$, $V_L = 1 \text{ V}$). Sapendo che la tensione $V_H = 10 \text{ mV}$ è positiva nel verso indicato, determinare tipologia e mobilità dei portatori. Nota la corrente $I_1 = 1 \text{ }\mu\text{A}$ a temperatura ambiente, calcolare la corrente I_2 attraverso la barretta alla temperatura $T = 350 \text{ K}$.
10. Un semiconduttore di tipo n è irraggiato da una sorgente luminosa che induce una fotogenerazione uniforme nel volume del materiale. Sapendo che la concentrazione di lacune aumenta di un fattore 10^4 , determinare di quanto si sposta a temperatura ambiente il livello di quasi Fermi delle lacune F_p rispetto al livello di Fermi all'equilibrio E_F .

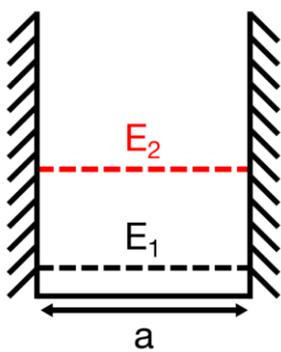


Fig. 1

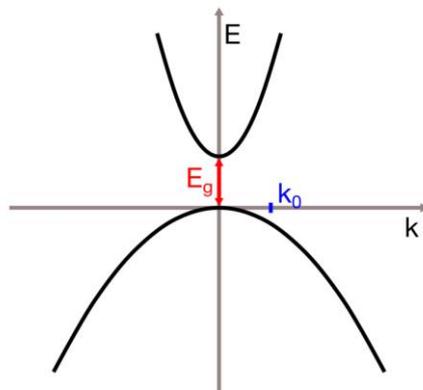


Fig. 2

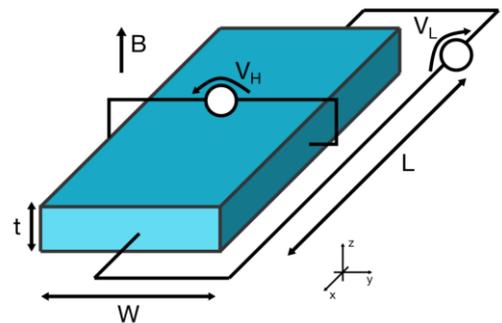


Fig. 3

1. A square crystalline lattice with step $a = 1 \text{ nm}$, undergoing irradiation with X rays of energy $E = 1.2 \text{ keV}$, reveals three diffraction peaks at the angles $\theta_1 = 31.17^\circ$, $\theta_2 = 47.06^\circ$, $\theta_3 = 63.71^\circ$. Determine the Miller plane family associated with each diffraction peak.
2. A spheric black body with radius $r_1 = 1 \text{ cm}$ shows a peaking in the emission spectrum (wavelength-parametrized) at $\lambda_1 = 1 \text{ }\mu\text{m}$. Calculate the power radiated by the black body, and the temperature of a second black body having twice the radius and radiating three times the power of the first black body.
3. In a photoelectric effect experiment a tungsten cathode ($W = 5.4 \text{ eV}$) undergoes illumination. Given the stopping voltage $V_{\text{stop}} = -3 \text{ V}$, determine the wavelength of the light beam and the velocity of the electron at the anode when no voltage is applied.
4. Consider the infinite-wall potential well in **Fig. 1**. Knowing that the ratio between the number of electrons populating the second level and those populating the first level at $T = 500 \text{ K}$ is equal to 10^{-3} , calculate the well width a under reasonable assumptions.
5. Consider the dispersion relation $E(k) = E_0 + E_1 \cos(4ka)$, with $E_0 = 1 \text{ eV}$, $E_1 = 0.5 \text{ eV}$, $a = 0.5 \text{ nm}$. Build a wavepacket centered in $k_0 = \frac{\pi}{4a}$ with Gaussian weight $g(k)$ where $\sigma_k = 10^8 \text{ m}^{-1}$. Estimate the group velocity, the packet dispersion and the phase velocity at times $t = 0$, $t = 1 \text{ ps}$ e $t = 100 \text{ ps}$.
6. An electron in a crystal is described by an eigenfunction $\psi_k(x)$ with $k = 0.785 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$. Knowing that the eigenfunction $\psi_k(x)$ undergoes a full phase cycle after $N = 6$ lattice steps, determine the crystalline step and trace the profile of the real part of the envelope function and of the eigenfunction on $2N$ lattice steps, knowing that the Bloch function is even with a single maximum located within the atom.
7. Consider the band diagram in **Fig. 2** ($m_v^* = 3m_c^*$), where an electron with momentum $k_0 = 10^9 \text{ m}^{-1}$ is promoted from the valence band to the conduction band thanks to a photon of energy $E_{\text{ph}} = 1 \text{ eV}$. Knowing that the promoted electron thermalizes on the bottom of the conduction band by releasing 10 phonons of mean energy $E_{\text{phn}} = 20 \text{ meV}$, determine the effective masses m_c^* , m_v^* and the gap energy E_g .
8. Consider two metallic samples with same area in gold ($W_{\text{Au}} = 5.3 \text{ eV}$) and silver ($W_{\text{Ag}} = 4.26 \text{ eV}$). Determine the temperature at which the gold sample must be heated in order to guarantee the same thermionic current density of silver at $T = 400 \text{ K}$, under reasonable approximations.
9. Consider the Hall effect experimental setup in **Fig. 3** ($B = 1 \text{ T}$, $L = W = 1 \text{ }\mu\text{m}$, $t = 100 \text{ nm}$, $V_L = 1 \text{ V}$). Knowing that the voltage $V_H = 10 \text{ mV}$ is positive as shown in figure, determine type and mobility of charge carriers. Knowing the current $I_1 = 1 \text{ }\mu\text{A}$ at room temperature, calculate the current I_2 through the slab at $T = 350 \text{ K}$.
10. An n-type semiconductor is illuminated by a light source inducing uniform photogeneration in the sample volume. Knowing that the hole concentration increases by a factor 10^4 , determine the displacement of the quasi Fermi level for holes F_p with respect to the equilibrium Fermi level E_F at room temperature.

Costanti fisiche:

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
costante di Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
carica elettronica	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
costante dielettrica nel vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
costante di Wien	$c_W = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$

	Si	Ge
costante dielettrica relativa ϵ_r	11.7	16
concentrazione intrinseca n_i [cm^{-3}]	1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
gap di energia E_G [eV]	1.12	0.66
densità di stati effettiva in banda di conduzione N_c [cm^{-3}]	2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_v [cm^{-3}]	1.04×10^{19}	0.6×10^{19}