

1. Si consideri il reticolo obliquo in **Fig. 1**, dove $a = 1 \text{ nm}$, $b = 1.5 \text{ nm}$, $\theta = 70^\circ$. Dopo aver disegnato la corrispondente cella di Wigner-Seitz, calcolare la densità atomica superficiale e il packing factor.
2. Calcolare il commutatore $[\hat{x}, \hat{p}]$ per gli operatori posizione $\hat{x} = x$ e quantità di moto $\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ per una generica autofunzione $\psi(x)$.
3. Una sfera S di tungsteno di diametro $d = 2 \text{ cm}$ irradia la stessa potenza di un corpo nero BB avente pari diametro e temperatura $T_1 = 2T_s$. Nota la lunghezza d'onda del picco dello spettro di emissione di BB $\lambda_1 = 1 \mu\text{m}$, determinare temperatura e potenza irradiata dalla sfera S .
4. Si consideri un generico profilo di potenziale $V(x) = \alpha|x|^\beta$. Nota la dipendenza dal numero quantico degli autovalori $n^{3/4}$, e sapendo che il rilassamento dal quarto al terzo autostato causa l'emissione di un fotone di lunghezza d'onda $\lambda = 1 \mu\text{m}$, determinare il valore dei parametri α , β .
5. Si consideri il box di potenziale 2D a pareti infinite mostrato in **Fig. 2**, dove $a = 1 \text{ nm}$, $b = 2 \text{ nm}$. Dopo aver calcolato l'energia del primo autostato, si scriva la corrispondente autofunzione per esteso e si determini la lunghezza d'onda delle due onde piane che interagendo tra loro determinano l'onda stazionaria.
6. Un elettrone in un cristallo di passo $a = 0.5 \text{ nm}$ è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Sapendo che l'autofunzione torna in fase dopo $N = 4$ passi reticolari, determinare il valore del parametro k dell'autofunzione. Tracciare quindi il profilo della parte reale della funzione involuppo e della parte reale dell'autofunzione su 6 passi reticolari, sapendo che la funzione di Bloch ha un solo massimo in corrispondenza dell'atomo e si annulla nella regione di barriera.
7. Si consideri il diagramma a bande del semiconduttore 3D in **Fig. 3**, caratterizzato da due famiglie di minimi isoenergetici in banda di conduzione ($m^*_\Gamma = 0.2m_e$, $m^*_L = 0.3m_e$, $m^*_X = 0.8m_e$). Calcolare le masse efficaci DOS e di conduzione per gli elettroni.
8. Si considerino due campioni metallici con funzioni lavoro $W_1 = 3 \text{ eV}$ e $W_2 = 5 \text{ eV}$. Determinare a che temperatura T_2 deve essere portato il secondo materiale per garantire la stessa densità di corrente termoionica del primo campione alla temperatura $T_1 = 450 \text{ K}$, facendo ragionevoli approssimazioni.
9. Si consideri la barretta di silicio drogato sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 4** ($W = 500 \text{ nm}$, $L = 1 \mu\text{m}$, $t = 100 \text{ nm}$, $V_L = 1 \text{ V}$, $V_H = 10 \text{ mV}$, $I = 10 \mu\text{A}$, $B = 0.5 \text{ T}$, $T = 300 \text{ K}$). Determinare tipologia, mobilità e concentrazione della specie drogante.
10. Un semiconduttore di tipo p è irraggiato da una sorgente luminosa che induce fotogenerazione uniforme nel volume del materiale. Sapendo che la concentrazione degli elettroni aumenta di un fattore 10^5 , determinare di quanto si sposta a temperatura ambiente il livello di quasi Fermi per gli elettroni F_n rispetto al livello di Fermi all'equilibrio E_F .

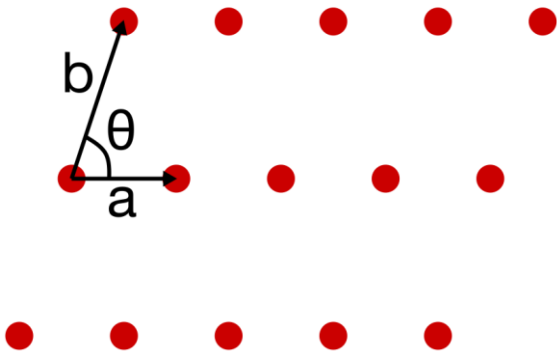


Fig. 1

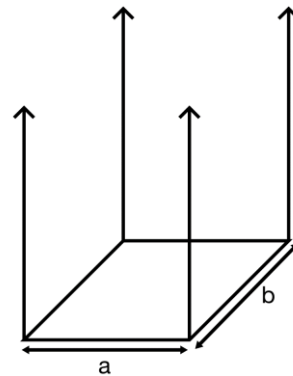


Fig. 2

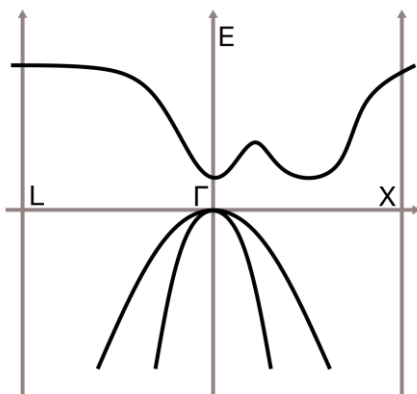


Fig. 3

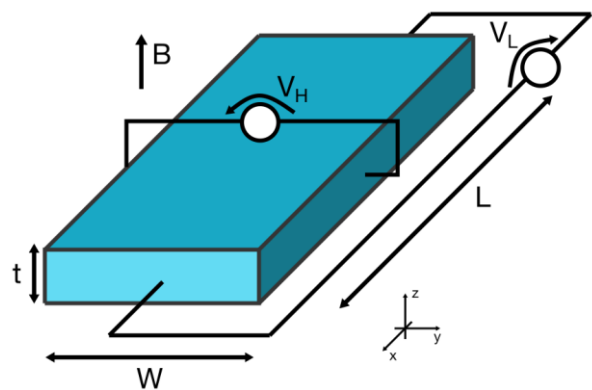


Fig. 4

1. Consider the oblique lattice in **Fig. 1**, where $a = 1 \text{ nm}$, $b = 1.5 \text{ nm}$, $\theta = 70^\circ$. Draw the corresponding Wigner-Seitz cell, and compute the surface atomic density and packing factor.
2. Calculate the commutator $[\hat{x}, \hat{p}]$ for the position $\hat{x} = x$ and momentum $\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ operators, for a generic eigenfunction $\psi(x)$.
3. A tungsten sphere S with diameter $d = 2 \text{ cm}$ radiates the same power of a black body BB with same diameter and temperature $T_1 = 2T_S$. Knowing that the emission spectrum of BB has a peak at wavelength $\lambda_1 = 1 \text{ }\mu\text{m}$, estimate temperature and radiated power of the sphere S.
4. Consider a generic potential profile $V(x) = \alpha|x|^\beta$. Knowing that the eigenstates show a $n^{3/4}$ dependence on the quantum number, and that a relaxation from the fourth to the third eigenstate causes the emission of a photon with wavelength $\lambda = 1 \text{ }\mu\text{m}$, calculate α and β .
5. Consider the 2D potential box in **Fig. 2**, where $a = 1 \text{ nm}$, $b = 2 \text{ nm}$. Calculate the energy of the first eigenstate. Then, write the corresponding eigenfunction and determine the wavelength of the plane waves whose interaction gives birth to the stationary wave.
6. An electron in a crystal with lattice step $a = 0.5 \text{ nm}$ is described by an eigenfunction $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Knowing that the eigenfunction undergoes a full phase shift after $N = 4$ lattice steps, determine the value of the parameter k of the eigenfunction. Draw the profile of the real part of the envelope function and eigenfunction on 6 lattice steps, knowing that the Bloch function has one maximum in correspondence of the atom and is nil in the barrier region.
7. Consider the band diagram of the 3D semiconductor in **Fig. 3**, characterized by two isoenergetic minima families in the conduction band ($m_r^* = 0.2m_e$, $m_t^* = 0.3m_e$, $m_l^* = 0.8m_e$). Calculate the effective DOS and conduction masses for electrons.
8. Consider two metallic samples with work functions $W_1 = 3 \text{ eV}$ and $W_2 = 5 \text{ eV}$. Determine the temperature T_2 at which the second sample must be heated to guarantee the same thermionic current density of the first sample at temperature $T_1 = 450 \text{ K}$, under reasonable approximations.
9. Consider the doped silicon slab undergoing an Hall effect experiment in **Fig. 4** ($W = 500 \text{ nm}$, $L = 1 \text{ }\mu\text{m}$, $t = 100 \text{ nm}$, $V_L = 1 \text{ V}$, $V_H = 10 \text{ mV}$, $I = 10 \text{ }\mu\text{A}$, $B = 0.5 \text{ T}$, $T = 300 \text{ K}$). Determine type, mobility and concentration of the dopant species.
10. A p-type semiconductor is illuminated by a light source inducing uniform photogeneration in the material. Knowing that the concentration of electrons rises by a factor 10^5 , calculate the displacement of the quasi-Fermi level for electrons F_n with respect to the Fermi level at equilibrium E_F at room temperature.

Costanti fisiche:

massa dell'elettrone
 costante di Planck
 carica elettronica
 costante di Boltzmann
 velocità della luce
 costante dielettrica nel vuoto
 costante di Stefan-Boltzmann
 costante di Wien

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
 $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
 $c_W = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ K m}$

costante dielettrica relativa ϵ_r
 concentrazione intrinseca n_i [cm^{-3}]
 gap di energia E_G [eV]
 densità di stati effettiva in banda di conduzione N_C [cm^{-3}]
 densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]

Si	Ge
11.7	16
1.45×10^{10}	2.4×10^{13}
1.12	0.66
2.8×10^{19}	1.04×10^{19}
1.04×10^{19}	0.6×10^{19}