

1. Si consideri il reticolo cristallino in **Fig. 1**. È un reticolo di Bravais? In caso negativo, proporre una possibile combinazione base-reticolo. Noti $a = 2.7 \text{ nm}$ e $b = 1.9 \text{ nm}$, calcolare la densità atomica superficiale.
2. Si consideri una particella quantistica descritta da una generica funzione d'onda $\Psi(x,t)$. Stabilire se gli operatori posizione $\hat{O}_1 = x$ e momento della particella $\hat{O}_2 = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ commutano fra loro.
3. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico in cui un target in platino ($W = 5.65 \text{ eV}$) viene irradiato con una sorgente luminosa di energia ignota. Sapendo che si osserva fotocorrente quando al dispositivo è applicata una tensione almeno pari a $V_A = -2V$, determinare la lunghezza d'onda della sorgente luminosa.
4. Si consideri una generica buca di potenziale $V(x) = \alpha|x|^\beta$. Usando il principio di indeterminazione di Heisenberg, determinare il valore dei parametri α e β affinché gli autovalori della buca abbiano dipendenza dal numero quantico pari a $n^{6/5}$ e lo stato fondamentale sia collocato ad energia $E_1 = 0.1 \text{ eV}$.
5. Si consideri una barriera di potenziale rettangolare di larghezza $a = 2 \text{ nm}$ ed altezza $V_0 = 5 \text{ eV}$. Determinare l'energia E di un fascio elettronico entrante affinché la componente riflessa sia 10^8 volte la componente trasmessa.
6. Si consideri il semiconduttore monodimensionale a gap indiretto in **Fig. 2** ($E_g = 1.3 \text{ eV}$, $k_{BC} = 1.3 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$, $m^*_C = 0.1m_0$, $m^*_V = 0.8m_0$). Un elettrone viene promosso dall'apice della banda di valenza in banda di conduzione grazie ad un fotone di energia $E_{ph} = 1.5 \text{ eV}$ e ad un fonone di energia trascurabile. Successivamente, l'elettrone termalizza sul fondo della banda di conduzione emettendo 20 fononi. Determinare il momento del fonone coinvolto nella prima transizione e l'energia media dei fononi emessi nel processo di termalizzazione.
7. Si considerino due campioni metallici ($W_1 = 3 \text{ eV}$, $W_2 = 4.5 \text{ eV}$). Determinare a che temperatura T_2 deve essere portato il secondo campione per garantire la stessa densità di corrente termoionica del primo campione a temperatura $T_1 = 350 \text{ K}$, facendo ragionevoli approssimazioni.
8. Sapendo che in un metallo bidimensionale ($m^* = m_0$) a $T = 0 \text{ K}$ il livello di Fermi è localizzato ad $E_F = E_C + 2 \text{ eV}$, determinare la concentrazione elettronica ricordando che $g(E)_{2D} = (m^*/\pi\hbar^2)$. Se si portasse il materiale alla temperatura $T = 300 \text{ K}$, come varierebbero la concentrazione elettronica e la posizione del livello di Fermi?
9. Determinare concentrazione intrinseca e mobilità elettronica μ_n del 3C-carburo di silicio ($N_C(300 \text{ K}) = 1.56 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_V(300 \text{ K}) = 1.16 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $m^*_{c,DOS} = 0.72m_0$, $m^*_{c,cond} = 0.57m_0$, $m^*_v = 0.6m_0$, $E_g = 2.36 \text{ eV}$, $\tau_m(300 \text{ K}) = 292 \text{ fs}$) a $T = 600 \text{ K}$, trascurando la dipendenza del gap dalla temperatura.
10. Si consideri una barretta di silicio drogata $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a temperatura ambiente illuminata in modo uniforme ($G_p = 10^{20} \text{ cm}^{-3}/\text{s}$, $\tau_p = 10 \text{ ns}$). Determinare la concentrazione di portatori minoritari a stato stazionario: il materiale è in regime di forte o debole iniezione?

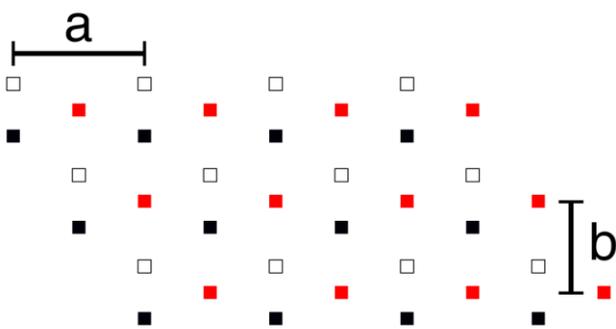


Fig. 1

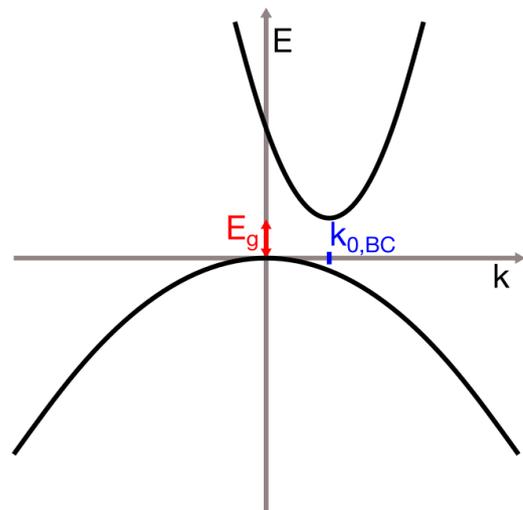


Fig. 2

1. Consider the crystalline structure in **Fig. 1**. Is it a Bravais lattice? If not, propose a suitable base-lattice combination. Given $a = 2.7 \text{ nm}$ and $b = 1.9 \text{ nm}$, calculate the surface atomic density.
2. Consider a quantum particle described by a generic eigenfunction $\Psi(x,t)$. Determine if the operators $\hat{O}_1 = x$ and particle momentum $\hat{O}_2 = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ commute.
3. Consider a photoelectric experiment setup in which a platinum target ($W = 5.65 \text{ eV}$) is irradiated by a light source of unknown energy. Knowing that a photocurrent is observed only when a voltage at least equal to $V_A = -2\text{V}$ is applied to the device, determine the wavelength of the light source.
4. Consider a generic potential well with $V(x) = \alpha|x|^\beta$. Using the indeterminacy principle, estimate the values of α and β such that the well eigenstates have an $n^{6/5}$ dependence on the quantum number and the ground state is located at energy $E_1 = 0.1 \text{ eV}$.
5. Consider a potential barrier with width $a = 2 \text{ nm}$ and height $V_0 = 5 \text{ eV}$. Determine the energy E of an electron beam such that the reflected fraction is 10^8 times the transmitted fraction.
6. Consider the indirect band-gap 1D semiconductor in **Fig. 2** ($E_g = 1.3 \text{ eV}$, $k_{BC} = 1.3 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$, $m^*_c = 0.1m_0$, $m^*_v = 0.8m_0$). An electron is promoted from the apex of the valence band to the conduction band thanks to a photon of energy $E_{ph} = 1.5 \text{ eV}$ and a phonon of negligible energy. In a second transition, the electron thermalizes on the bottom of the conduction band by emitting 20 phonons. Determine the momentum of the phonon involved in the first transition and the mean energy of the phonons emitted in the thermalization process.
7. Consider two metallic samples ($W_1 = 3 \text{ eV}$, $W_2 = 4.5 \text{ eV}$). Calculate 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 $T_1 = 350 \text{ K}$, under reasonable approximations.
8. Knowing that in a 2D metal ($m^* = m_0$) at $T = 0 \text{ K}$ the Fermi level is located at $E_F = E_C + 2 \text{ eV}$, determine the electron concentration in the conduction band recalling that $g(E)_{2D} = (m^*/\pi\hbar^2)$. If the material were brought at a temperature $T = 300 \text{ K}$, how would the electron concentration and Fermi level position change?
9. Determine the intrinsic concentration and electron mobility of 3C-silicon carbide ($N_C(300 \text{ K}) = 1.56 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_V(300 \text{ K}) = 1.16 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $m^*_{c,DOS} = 0.72m_0$, $m^*_{c,cond} = 0.57m_0$, $m^*_v = 0.6m_0$, $E_g = 2.36 \text{ eV}$, $\tau_m(300 \text{ K}) = 292 \text{ fs}$) at $T = 600 \text{ K}$, neglecting the dependence of the energy gap on temperature.
10. Consider an n-doped silicon slab with $N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ at $T = 300 \text{ K}$ undergoing uniform illumination ($G_p = 10^{20} \text{ cm}^{-3}/\text{s}$, $\tau_p = 10 \text{ ns}$). Determine the steady-state concentration of minority carriers. Is the material in weak or strong injection regime?

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}