

1. Si considerino due stelle S_1 ed S_2 che all'occhio umano appaiono rispettivamente di colore blu e rosso. Assumendo di trattare le due stelle come corpi neri, quale delle due stelle è più fredda? Si giustifichi la risposta.
2. Si consideri un fascio di raggi X di energia $E = 8 \text{ keV}$ applicato su un cristallo cubico semplice. Sapendo che il primo ordine di diffrazione relativo ai piani (200) è osservato sotto un angolo $\theta = 18^\circ$, si determini il passo reticolare del cristallo.
3. Si consideri una particella descritta dalla funzione d'onda $\Psi(x,t) = e^{-2i(kx-\omega t)}$. Si determini, a partire dalla definizione, il valore di aspettazione del momento $\langle p \rangle$ e dell'energia cinetica $\langle K \rangle$ della particella.
4. Si consideri la buca di potenziale monodimensionale a pareti infinite in **Fig. 1**. Sapendo che la lunghezza d'onda del fotone generato a causa del decadimento di un elettrone dal terzo stato confinato allo stato fondamentale è $\lambda_{ph} = 2 \mu\text{m}$, si determini la larghezza della buca.
5. Si consideri una particella con relazione di dispersione $\omega(k) = \omega_0 + \omega_1 \cos(ka)$ con $0 < k < \pi/a$ dove $a = 3 \text{ \AA}$, $\omega_0 = 10^{15} \text{ rads}^{-1}$ e $\omega_1 = 5 \cdot 10^{15} \text{ rads}^{-1}$. Per quale valore di k la particella ha energia $E = 2 \text{ eV}$? Per quale valore di k ha minima dispersione? Si calcoli la velocità del pacchetto in quest'ultimo valore di k .
6. Si consideri la banda di conduzione di un semiconduttore descritta dalla relazione $E(k) = E_0 \cdot (1 - \cos(ka))$ con $a = 4 \text{ \AA}$. Sapendo che l'applicazione di un campo elettrico $F = 50 \text{ kVcm}^{-1}$ porta gli elettroni ad assumere una velocità di deriva $v_d = 1.6 \cdot 10^7 \text{ cms}^{-1}$ e che il tempo di rilassamento del momento è $\tau_m = 10^{-13} \text{ s}$, si determini l'energia E_0 .
7. Si consideri un sistema di elettroni all'equilibrio termodinamico a temperatura $T = 900 \text{ K}$ con energia di Fermi $E_F = 2 \text{ eV}$. Si calcoli la probabilità che uno stato ad energia $E = 3 \text{ eV}$ sia occupato.
8. Si consideri un metallo tridimensionale a temperatura ambiente, il bario, dove ogni atomo contribuisce alla conduzione con 2 elettroni. Nota la densità atomica del metallo $\rho = 1.62 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ e la massa efficace degli elettroni $m_n^* = 1.02m_0$, si calcoli la temperatura di Fermi T_F e la velocità di Fermi v_F degli elettroni.
9. Si consideri un semiconduttore a temperatura ambiente la cui banda di conduzione ha un minimo assoluto tra Γ e L (**Fig. 2**). Nota la concentrazione di elettroni in banda di conduzione $n = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, la massa efficace longitudinale $m_l^* = 0.85m_0$ e la massa efficace trasversale $m_t^* = 0.15m_0$, determinare la posizione del livello di Fermi E_F rispetto al fondo banda E_c .
10. Si consideri un semiconduttore in silicio drogato p ($N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p(300 \text{ K}) = 500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) avente area della sezione trasversale $A = 10^{-6} \text{ cm}^2$ e lunghezza $L = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$. Sapendo che ai capi del campione è applicata una tensione $V = 2 \text{ V}$ e che il campo elettrico di saturazione è $F_{sat} = 20 \text{ kVcm}^{-1}$, si calcoli la corrente I alla temperatura $T_2 = 850 \text{ K}$.

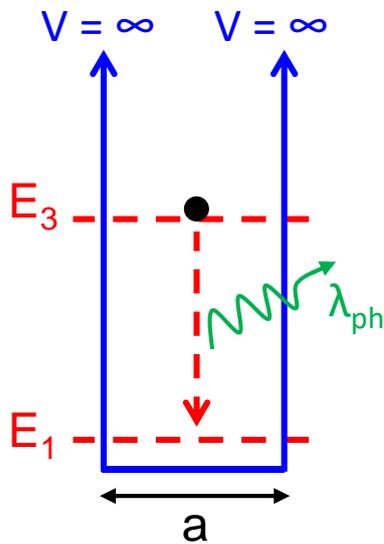


Fig. 1

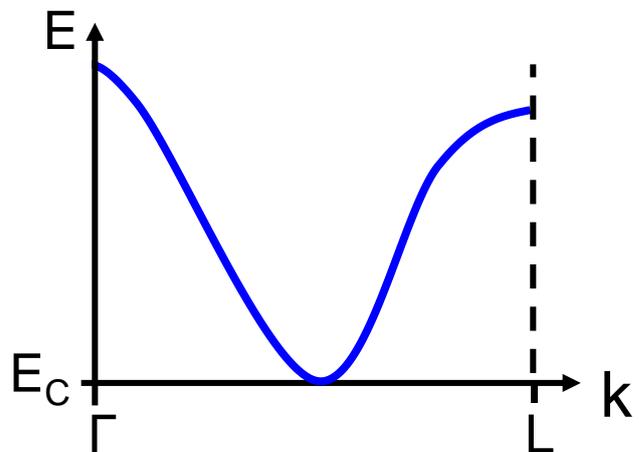


Fig. 2

1. Consider two stars S_1 and S_2 which appear blue and red by human eye, respectively. Assuming two stars as perfect blackbodies, which is the coldest star? Motivate the answer.
2. Consider an X ray beam with energy $E = 8 \text{ keV}$ incident on a simple cubic crystal. Knowing that the first diffraction order related to (200) planes is observed at an angle $\theta = 18^\circ$, determine the crystal lattice parameter.
3. Consider a quantum particle with wavefunction $\Psi(x,t) = e^{-2i(kx-\omega t)}$. Starting from the definition, determine the expected value of its momentum $\langle p \rangle$ and kinetic energy $\langle K \rangle$.
4. Consider the 1D potential well shown in **Fig. 1**. Knowing that the wavelength of photon emitted because of an electron relaxation from the third eigenstate to the ground state is $\lambda_{ph} = 2 \mu\text{m}$, determine the well width.
5. Consider a particle with dispersion law $\omega(k) = \omega_0 + \omega_1 \cos(ka)$ with $0 < k < \pi/a$ where $a = 3 \text{ \AA}$, $\omega_0 = 10^{15} \text{ rads}^{-1}$ and $\omega_1 = 5 \cdot 10^{15} \text{ rads}^{-1}$. For which k the particle has energy value $E = 2 \text{ eV}$? For which k the particle exhibits minimum dispersion? Calculate the packet velocity in the latter k .
6. Consider a semiconductor conduction band with dispersion law $E(k) = E_0 \cdot (1 - \cos(ka))$, where $a = 4 \text{ \AA}$. Knowing that the application of an electric field $F = 50 \text{ kVcm}^{-1}$ causes the electrons to move with drift velocity $v_d = 1.6 \cdot 10^7 \text{ cms}^{-1}$ and the momentum relaxation time is $\tau_m = 10^{-13} \text{ s}$, determine the energy E_0 .
7. Consider an electron system with Fermi energy $E_F = 2 \text{ eV}$. Calculate the probability that the state at energy $E = 3 \text{ eV}$ is filled at temperature $T = 900 \text{ K}$.
8. Consider a 3D metal, the barium element, at room temperature where every atom provides 2 conduction electrons. Given the atomic density $\rho = 1.62 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ and the electron effective mass $m_n^* = 1.02m_0$, calculate the Fermi temperature T_F and the Fermi velocity v_F .
9. Consider a semiconductor at room temperature whose conduction band has an absolute minimum between Γ and L (**Fig. 2**). Given the electron concentration in the conduction band $n = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, the longitudinal effective mass $m_l^* = 0.85m_0$, and the transverse effective mass $m_t^* = 0.15m_0$, determine where the Fermi level E_F is located with respect to the bottom of conduction band E_c .
10. Consider a p-doped silicon semiconductor ($N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_p(300 \text{ K}) = 500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) with cross-sectional area $A = 10^{-6} \text{ cm}^2$ and length $L = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$. Knowing that a voltage $V = 2 \text{ V}$ is applied across the sample and the saturation electric field is $F_{sat} = 20 \text{ kVcm}^{-1}$, calculate the current I at temperature $T_2 = 850 \text{ K}$.

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 $n_i [\text{cm}^{-3}]$
 gap di energia $E_G [\text{eV}]$
 densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_c [\text{cm}^{-3}]$
 densità di stati effettiva in banda di valenza $N_v [\text{cm}^{-3}]$

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}