

1. Si sottopone ad un esperimento di diffrazione con elettroni un cristallo con reticolo cubico semplice e passo reticolare $a = 1$ nm. Qual è la minima tensione di accelerazione V_A per apprezzare il primo picco di diffrazione associato ai piani (1 2 1)? Quale lunghezza d'onda dovrebbero avere le particelle α ($m_\alpha = 6.64 \times 10^{-27}$ kg) per dare luogo alla stessa posizione del picco?
2. Due buche a pareti infinite di larghezza $a = 0.75$ nm sono separate da un potenziale deltiforme $V(x) = u_0 \delta(x)$. Un elettrone si trova in uno stato che è combinazione lineare del primo e del secondo stato stazionario. Sapendo che la frequenza di oscillazione della densità di probabilità vale $\nu = 50$ THz, si calcoli il valore di u_0 .
3. Un elettrone si trova nella buca di potenziale di Fig. 1. La buca è costituita da un ramo di parabola sul lato destro troncato sul lato sinistro da una parete verticale, in cui $\alpha = 2$ nm⁻¹. Si dia una stima dell'energia dei primi due livelli della buca di potenziale e si rappresentino qualitativamente le corrispondenti autofunzioni.
4. Un elettrone incide da sinistra sulla barriera di potenziale in Fig. 2. La probabilità di trasmissione attraverso la barriera vale $T = 1 \times 10^{-3}$. Che energia possiede l'elettrone?
5. Una buca di potenziale quadrata ha larghezza $a = 0.9$ nm e altezza $V = 3.8$ eV. Calcolare il numero massimo di autostati confinati e, approssimando la buca a pareti infinite, le corrispondenti energie. Si stimi inoltre con maggiore precisione l'energia del secondo autostato tenendo conto dell'altezza finita della buca.
6. Gli elettroni in banda di conduzione di un metallo bidimensionale a temperatura $T = 300$ K hanno energia media = 0.75 eV e massa efficace $m^* = 0.79 \cdot m_0$. Calcolare la concentrazione n e la velocità di Fermi v_F degli elettroni in banda di conduzione.
7. Un fotone di energia $E = 1.8$ eV viene assorbito in un semiconduttore monodimensionale a gap diretto con bande di conduzione ($m_{e}^* = 0.4 m_0$) e di valenza ($m_{h}^* = 0.85 m_0$) paraboliche (Fig. 3). Una volta arrivato alla banda di conduzione, l'elettrone termalizza a fondo banda emettendo 8 fononi ($E_{phn} = 37$ meV). Qual è il gap di energia E_G del semiconduttore?
8. Un elettrone in un solido cristallino 1D è descritto dalla banda di conduzione mostrata in Fig. 4. Si rappresenti qualitativamente l'andamento della velocità di gruppo dell'elettrone v_g in funzione di k giustificandone l'andamento. L'elettrone ha la stessa mobilità in $k = 0$ e in $k = \pi/a$?
9. La resistività di un semiconduttore diminuisce al 20% del valore iniziale quando la sua temperatura passa da 300 K a 475 K. Il semiconduttore è drogato o intrinseco? Quanto vale il suo energy gap E_G ?
10. Un semiconduttore in arseniuro di indio (InAs) drogato n con $N_D = 7 \cdot 10^{17}$ cm⁻³ ha un $E_{GAP} = 0.854$ eV. Sapendo che $m_{n,DOS}^* = 0.08 \cdot m_0$, $m_{p,hh}^* = 0.55 \cdot m_0$ e $m_{p,lh}^* = 0.095 \cdot m_0$, quale è la temperatura alla quale il semiconduttore diventa intrinseco?

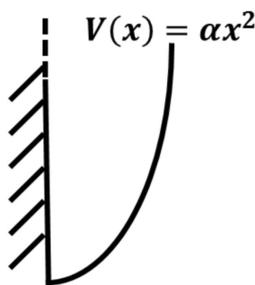


Fig. 1

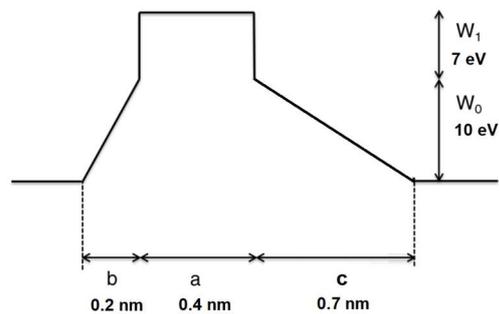


Fig. 2

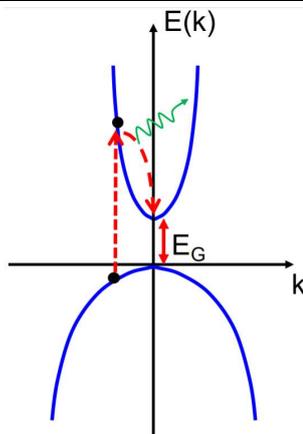


Fig. 3

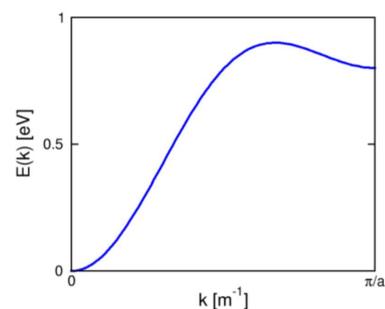


Fig. 4

1. Consider beam of electrons impinging a crystal lattice with simple cubic structure and lattice constant $a = 1$ nm. Find the minimum accelerating potential V_A which allows measuring the first diffraction peak of the plane (1 2 1). Which is the wavelength of the α particles ($m_\alpha = 6.64 \times 10^{-27}$ kg) bringing to the same position of this diffraction peak?
2. Consider two infinite square wells, each with width $a = 0.75$ nm. The two wells are separated by a delta-like potential $V(x) = u_0 \delta(x)$. An electron is in a state obtained as linear combination of the first and second stationary states. The resulting wavefunction oscillation frequency is $\nu = 50$ THz. How much is u_0 ?
3. An electron is located in a potential well, Fig. 1. The well consists of a parabolic barrier on the right side and an infinite well on the left side, where $\alpha = 2$ nm⁻¹. Give an estimate of the energy for the 2 lowest eigenvalues and draw a qualitative picture of the corresponding eigenfunctions.
4. An electron flows from left toward the potential barrier in Fig. 2. The transmission probability through the barrier is $T = 1 \times 10^{-3}$. What is the electron energy?
5. Consider 1D potential well of width $a = 0.9$ nm and height $V = 3.8$ eV. What is the maximum number of eigenstates confined in the well? And their eigenvalues under the infinite well approximation? Further, estimate the energy of the second eigenstate considering the finite height of well.
6. Given the average energy of electrons = 0.75 eV and their effective mass $m^* = 0.79 \cdot m_0$ of a 2D metal at temperature $T = 300$ K, calculate the electron concentration in the conduction band and the Fermi velocity v_F .
7. A single photon with energy $E = 1.8$ eV is absorbed in a 1D direct bandgap semiconductor with parabolic energy conduction ($m_e^* = 0.4 m_0$) and valence ($m_h^* = 0.85 m_0$) bands (Fig. 3). The electron decays at the bottom by emitting 8 phonons ($E_{\text{phn}} = 37$ meV) after the absorption transition. What is the semiconductor energy bandgap E_G ?
8. An electron is in a crystal lattice with the conduction band shown in Fig. 4. Draw the electron group velocity $v_g(k)$ explaining the behavior. Is the electron mobility more or less the same in $k = 0$ and $k = \pi/a$?
9. The resistivity of a semiconductor lowers to the 20% of the initial value when the temperature varies from 300 K to 475 K. Is the semiconductor extrinsic or intrinsic? What is the value of the E_G ?
10. An n-doped InAs semiconductor (InAs) is doped with $N_D = 10^{17}$ cm⁻³ and it has an energy gap $E_{\text{GAP}} = 0.854$ eV. Furthermore it is also known that the DOS mass is $m_{n, \text{DOS}}^* = 0.023 \cdot m_0$, while the masses $m_{p, \text{hh}}^* = 0.41 \cdot m_0$ and $m_{p, \text{lh}}^* = 0.026 \cdot m_0$. What is the temperature at which the semiconductor becomes intrinsic?

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

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