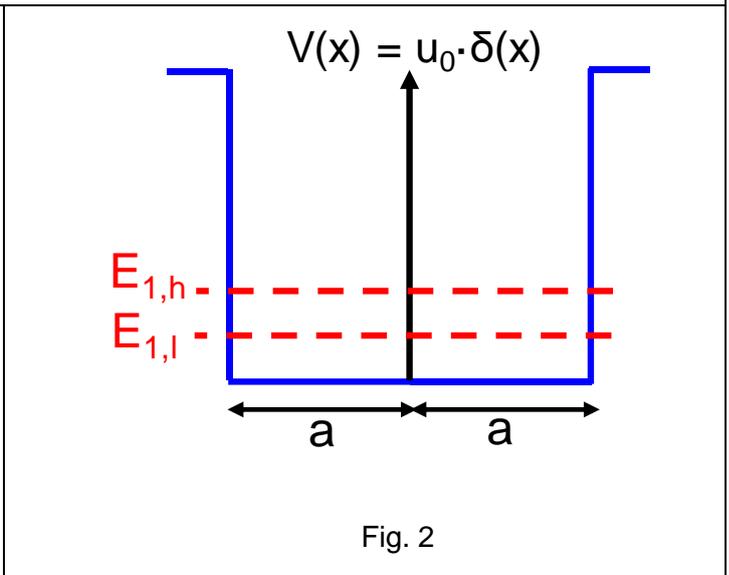
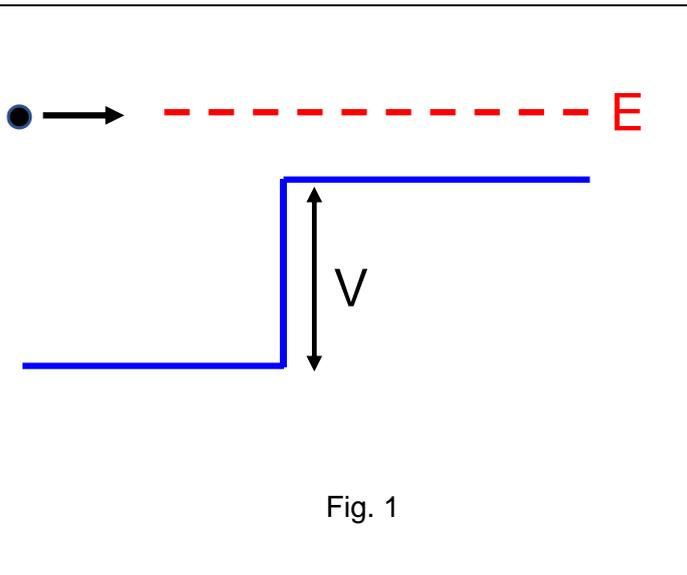


1. Si consideri una cavità all'equilibrio con le pareti a temperatura $T = 800$ K. Calcolare l'energia media associata al modo di lunghezza d'onda $\lambda = 5 \mu\text{m}$ confrontandola con il valore di energia fornito dalla teoria classica.
2. Si stimi la minima velocità di una pallina di massa $m = 100$ g confinata in una regione spaziale di dimensione $d = 1$ m. Che cosa si può concludere in base al risultato ottenuto?
3. Si consideri un elettrone di energia $E = 0.5$ eV che incontra un gradino positivo di altezza V con $V < E$ (Fig. 1). Determinare l'altezza V del gradino tale che il rapporto tra il flusso riflesso e il flusso incidente sia pari al 5 %.
4. Si consideri una buca di potenziale monodimensionale di larghezza $a = 1.4$ nm e altezza $V = 4$ eV. Calcolare il numero massimo di autostati confinati e le corrispondenti energie in approssimazione di buca a pareti infinite. Si stimi inoltre con maggiore precisione l'energia del secondo autostato tenendo conto dell'altezza finita della buca.
5. Si considerino le due buche di potenziale di larghezza a separate da una barriera deltiforme $V(x) = u_0 \cdot \delta(x)$ in Fig. 2. Disegnare qualitativamente le autofunzioni associate al primo doppietto di autovalori giustificando il loro andamento.
6. Si consideri un sistema di elettroni all'equilibrio termodinamico. Determinare la temperatura del sistema per cui si ha una probabilità pari a $3 \cdot 10^{-3}$ che lo stato ad energia $E = E_F - 0.4$ eV sia non popolato.
7. Si consideri un metallo bidimensionale a temperatura $T = 300$ K. Nota l'energia media $\langle E \rangle = 0.5$ eV e la massa efficace $m^* = 0.9 \cdot m_0$ degli elettroni in banda di conduzione, calcolare la concentrazione n e la velocità di Fermi v_F degli elettroni in banda di conduzione.
8. Si consideri un semiconduttore intrinseco a temperatura $T_1 = 300$ K caratterizzato da $E_{\text{GAP}} = 1.1$ eV, $\mu_n = 800 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_p = 400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ e conducibilità $\sigma(T_1) = 1.92 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Calcolare la conducibilità alla temperatura $T_2 = 500$ K. Determinare inoltre di quanto cambia la conducibilità alla temperatura T_2 nel caso di un drogaggio di tipo p con concentrazione $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Si assuma il semiconduttore in regime estrinseco a T_2 .
9. Si consideri un semiconduttore drogato n ($N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) a temperatura $T = 300$ K. Sapendo che $m_{\text{DOS,p}}^* = m_{\text{DOS,n}}^* = 0.78 \cdot m_0$ e $E_F - E_i = 0.417$ eV, determinare il gap di energia E_{GAP} del semiconduttore.
10. Si consideri un campione in silicio drogato n a temperatura $T = 30$ K che opera in regime di freeze-out. Sapendo che $E_C - E_D = 45$ meV e $n(30 \text{ K}) = 5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, si calcoli la concentrazione di drogante donore N_D .



1. Consider a cavity at thermal equilibrium with walls at temperature $T = 800$ K. Calculate the average energy of mode with wavelength $\lambda = 5 \mu\text{m}$ comparing it with the energy given by the classical theory.
2. Estimate the minimum velocity of a ball with mass $m = 100$ g confined in a 1D spatial region of length $d = 1$ m. What's the meaning of the result?
3. Consider an electron of energy $E = 0.5$ eV impinging on a positive step of height V , with $V < E$ (**Fig. 1**). Calculate V such that the ratio between reflected flux and incident flux is equal to 5 %.
4. Consider a 1D potential well of width $a = 1.4$ nm and height $V = 4$ eV. Calculate the maximum number of eigenstates confined in the well and their eigenvalues using the infinite well approximation. In addition, estimate the energy of second eigenstate with higher accuracy considering the finite height of well.
5. Consider the two potential wells of width a separated by a delta-like barrier $V(x) = u_0 \cdot \delta(x)$ in **Fig. 2**. Sketch qualitatively the eigenfunctions associated to first couple of energy levels motivating their behavior.
6. Consider an electron system at thermodynamic equilibrium. Determine the system temperature for which the probability that the state of energy $E = E_F - 0.4$ eV is empty is $3 \cdot 10^{-3}$.
7. Consider a 2D metal at temperature $T = 300$ K. Given the average energy of electrons $\langle E \rangle = 0.5$ eV and their effective mass $m^* = 0.9 \cdot m_0$, calculate the electron concentration in the conduction band and the Fermi velocity v_F .
8. Consider an intrinsic semiconductor at temperature $T_1 = 300$ K with $E_{\text{GAP}} = 1.1$ eV, $\mu_n = 800 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, $\mu_p = 400 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ and electrical conductivity $\sigma(T_1) = 1.92 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$. Calculate σ at temperature $T_2 = 500$ K. In addition, determine how much the electrical conductivity changes at $T_2 = 500$ K in case of a p-type doping of concentration $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Consider an extrinsic semiconductor at T_2 .
9. Consider a n-doped semiconductor ($N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) at temperature $T = 300$ K. Knowing that $m_{\text{DOS,p}}^* = m_{\text{DOS,n}}^* = 0.78 \cdot m_0$ and $E_F - E_i = 0.417$ eV, determine the semiconductor energy gap E_{GAP} .
10. Consider a n-doped silicon sample at temperature $T = 30$ K operating in the freeze-out region. Knowing that $E_C - E_D = 45$ meV and $n(30 \text{ K}) = 5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, calculate the donor concentration N_D .

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}