

**Esercizio 1:**

Si consideri un laser He-Ne ( $m_{He} = 0.66 \cdot 10^{-26}$  kg e  $m_{Ne} = 3.35 \cdot 10^{-26}$  kg) che opera in regime stazionario alla lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 632.8$  nm. La cavità ottica è realizzata mediante un tubo in quarzo (coefficiente di espansione lineare  $\alpha = \frac{dL}{L dT} = 0.59 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ), di lunghezza  $L = 30$  cm. Si conosce l'allargamento di riga per effetto Doppler  $\Delta\nu_{FWHM} = 1.58$  GHz.

- a) Determinare la temperatura  $T$  [°C] all'interno della cavità.
- b) Determinare il numero di modi oscillanti in cavità.
- c) Valutare l'impatto del *mode sweeping* ( $\Delta\lambda_{0,MS}$  dovuto alla variazione  $\Delta L$  della lunghezza del tubo) a seguito di una variazione della temperatura di operazione  $\Delta T = 2$  °C.

**Esercizio 2:**

Si consideri un LED realizzato in InGaN (energy gap  $E_g = 2.63$  eV) che opera a temperatura ambiente  $T = 300$ K. Il dispositivo presenta le seguenti caratteristiche: efficienza di estrazione  $\eta_{EE} = 18\%$ , tempo di vita radiativo  $\tau_r = 12$  ns, tempo di vita non radiativo  $\tau_{nr} = 50$  ns, e potenza ottica emessa  $P_0 = 2$  mW.

- a) Determinare la lunghezza d'onda centrale  $\lambda_0$  e la larghezza a metà altezza  $\Delta\lambda_{FWHM}$  dello spettro d'emissione.
- b) Calcolare la corrente di operazione  $I_F$ .
- c) Sapendo che la sorgente può essere considerata lambertiana, calcolare il numero di fotoni per unità di tempo incidenti su un rivelatore posto a distanza  $L = 2.5$  m, ad un angolo  $\theta = 45^\circ$  rispetto alla direzione di massima emissione. La superficie del rivelatore è circolare di raggio  $r = 3$  mm.

**Esercizio 3:**

Si consideri la caratteristica I-V in Fig.1 relativa ad una cella solare su cui incide una radiazione luminosa di intensità  $I_1 = 900$  W/m<sup>2</sup>.

- a) Determinare graficamente la corrente di corto circuito  $I_{sc}$  e la tensione di circuito aperto  $V_{oc}$ , e calcolare la corrente di buio  $I_0$ .
- b) Determinare graficamente la massima potenza estraibile  $P_m$ , il carico ottimo  $R_{ott}$ , e calcolare il *fill-factor* (FF).
- c) Calcolare come variano  $I_{sc}$  e  $V_{oc}$  nel caso in cui l'illuminazione sia  $I_2 = 300$  W/m<sup>2</sup>. Tracciare la nuova caratteristica I-V e, facendo opportune semplificazioni, stimare graficamente il nuovo carico ottimo.

**Domande di teoria:**

- a) Si illustrino la struttura e il funzionamento dei LED bianchi.
- b) Illustrare il principio di funzionamento di un fotodiodo pn mediante la dimostrazione del teorema di Ramo.

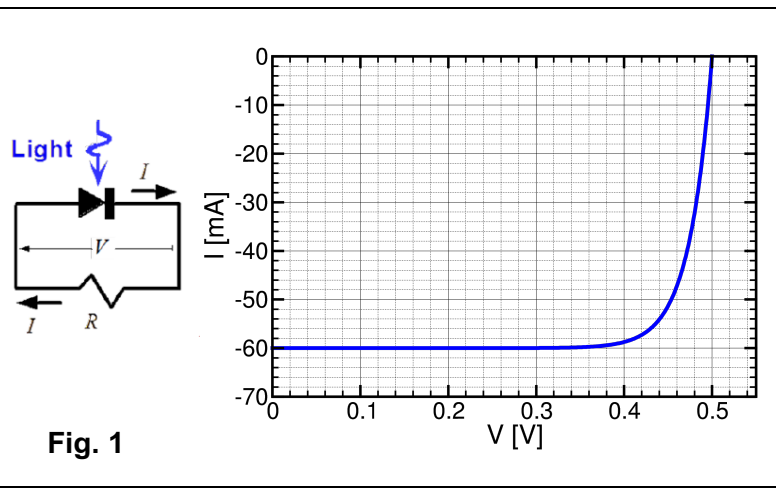


Fig. 1

**Costanti fisiche:**

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
costante di Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s
carica elettronica	$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K <sup>-1</sup>
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s <sup>-1</sup>
costante dielettrica del vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m <sup>-1</sup>

**Exercise 1:**

Consider a He-Ne laser ( $m_{\text{He}} = 0.66 \cdot 10^{-26}$  kg e  $m_{\text{Ne}} = 3.35 \cdot 10^{-26}$  kg) operating in CW at  $\lambda_0 = 632.8$  nm. The optical cavity is made of a quartz tube (linear expansion coefficient  $\alpha = \frac{dL}{L dT} = 0.59 \cdot 10^{-6}$  K<sup>-1</sup>) of length  $L = 30$  cm. The Doppler broadened linewidth is  $\Delta\nu_{\text{FWHM}} = 1.58$  GHz.

- a) Determine the operation temperature  $T$  [°C] inside the cavity.
- b) Determine the number of oscillating cavity modes.
- c) Evaluate the impact of *mode sweeping* ( $\Delta\lambda_{0,\text{MS}}$  due to a tube length variation  $\Delta L$ ) for an operation temperature variation  $\Delta T = 2$  °C.

**Exercise 2:**

Consider a InGaN LED (energy gap  $E_g = 2.63$  eV) operating at room temperature  $T = 300$ K. The extraction efficiency is  $\eta_{\text{EE}} = 18\%$ , radiative recombination lifetime  $\tau_r = 12$  ns, nonradiative recombination lifetime  $\tau_{\text{nr}} = 50$  ns, and emitted optical power  $P_0 = 2$  mW.

- a) Determine the central wavelength  $\lambda_0$  corresponding to peak emission and the spectral linewidth  $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ .
- b) Calculate the operating current  $I_F$ .
- c) Compute the number of photons per unit time impinging on a photodetector placed at a distance  $L = 2.5$  m, at an angle  $\theta = 45^\circ$  with respect to maximum emission direction. The LED source has a lambertian emission pattern, and the photodetector has a circular surface of radius  $r = 3$  mm.

**Exercise 3:**

Consider the I-V curve in Fig.1 related to a solar cell illuminated with light of intensity  $I_1 = 900$  W/m<sup>2</sup>.

- a) Determine graphically the short circuit current  $I_{\text{sc}}$  and open circuit voltage  $V_{\text{oc}}$ , and compute the dark current  $I_0$ .
- b) Determine graphically the maximum power output  $P_m$ , the optimum load resistance  $R_{\text{ott}}$ , and compute the fill-factor (FF).
- c) Considering an illumination  $I_2 = 300$  W/m<sup>2</sup>, calculate the changes in  $I_{\text{sc}}$  and  $V_{\text{oc}}$ . Plot the new I-V curve and graphically estimate (making simple approximations) the new optimum load.

**Theory questions:**

- a) Illustrate the structure and the operation of white LEDs.
- b) Illustrate the operation principle of a pn junction photodiode by the demonstration of Ramo theorem.

**Physical constants:**

electron rest mass	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
Planck constant	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s
electron charge	$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C
Boltzmann constant	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K <sup>-1</sup>
speed of light	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s <sup>-1</sup>
vacuum permittivity	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m <sup>-1</sup>