100 anni di *quanti* di luce

Ora tocca a te

Consideriamo per iniziare il modello classico dell'effetto fotoelettrico

- Questo modello prevede che vi sia un ritardo di emissione dell'elettrone cioè che passi del tempo tra l'istante in cui la radiazione incide sulla piastra metallica e l'emissione del fotoelettrone previsto dal modello classico. Per stimare questo ritardo, supponi di far incidere radiazione elettromagnetica da una lampada puntiforme di 20,0 W su una piastra di metallo, il cui lavoro di estrazione è pari a 2,00 eV, e che soltanto il 6% della potenza incidente sia utile per l'emissione. La lampada si trova a 90 cm dalla piastra metallica. Considera una regione circolare delle dimensioni atomiche (r = 10^{-10} m) e calcola quanto tempo occorrere perché la radiazione fornisca all'elettrone l'energia necessaria per essere estratto dal metallo.

Consideriamo ora la teoria di Einstein dell'effetto fotoelettrico.

- Descrivi l'ipotesi di Planck della quantizzazione dell'energia e come Einstein la utilizzò per spiegare l'effetto fotoelettrico.
- Il ritardo di emissioni è una delle incongruenze del modello classico perché sperimentalmente si osserva che l'elettrone viene emesso istantaneamente senza alcun ritardo. Spiega come il modello quantistico dell'effetto fotoelettrico risolva questa incongruenza del modello classico.
- Nella teoria di Einstein, in che modo l'energia cinetica degli elettroni emessi è collegata alla frequenza della radiazione incidente? Calcola la frequenza di soglia dell'esempio precedente. Si tratta di radiazione visibile?
- Durante l'esperimento precedentemente considerato, viene misurata una corrente massima al collettore di 147,5 mA. Calcola il numero massimo di elettroni che raggiungono il collettore in un secondo. Se l'efficienza quantica, cioè il rapporto tra

elettroni emessi e fotoni incidenti, è il 24,5 %, che lunghezza d'onda ha la radiazione incidente?

Traccia di soluzione

Calcolo classico

- Intensità della luce emessa dalla lampada: $I = \frac{P_{\text{eff}}}{S} = \frac{1{,}2\text{W}}{4\pi(9 \times 10^{-1}\text{m}^2)} = 0{,}118\,\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.
- Potenza assorbita da una regione circolare delle dimensioni atomiche: $P_{\text{a}} = IS_{\text{a}} = \left(0{,}118\,\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)\pi(10^{-10}\text{m}^2) = 3{,}70 \times 10^{-21}\text{ W}$.
- Tempo di emissione: $t = \frac{W_0}{P_{\text{a}}} = \frac{3{,}204 \times 10^{-19}\text{ J}}{3{,}70 \times 10^{-21}\text{ W}} = 86{,}6\text{ s} = 1\text{ min }\ 27\text{ s}$.
- Frequenza di soglia: $f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{3{,}204 \times 10^{-19}\text{ J}}{6{,}626 \times 10^{-34}\text{ J·s}} = 4{,}84 \times 10^{14}\text{ Hz}$. Non è radiazione visibile.
- Numero massimo di elettroni che raggiungono il collettore in un secondo: $N_e = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{I_{\text{max}}\Delta t}{e} = \frac{(0{,}1475\text{ A}) \cdot 1\text{ }s}{1{,}602 \times 10^{-19}\text{ C}} = 9{,}2 \times 10^{17}$.
- Lunghezza d'onda della radiazione incidente: da $N_e = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{I_{\text{max}}\Delta t}{e}$ e $\frac{N_e}{N_f} = \eta$ si ricava la funzione di N_f, che, sostituita in $\frac{\Delta E}{\Delta t} = P$, permette di ottenere $\lambda = \frac{I_{\text{max}}hc}{\eta e P_{\text{a}}} = \frac{(0{,}1475\text{ A})(1{,}986 \times 10^{-25}\text{ J·m})}{(0{,}245)(1{,}602 \times 10^{-19}\text{C})(1{,}2\text{ W})} = 620\text{ nm}$.