

**ESAME DI STATO
DI LICEO SCIENTIFICO
1997**

Indirizzo

Scientifico Sperimentale

La prova

Tema 2

Il candidato spieghi l'effetto fotoelettrico descrivendone almeno un'applicazione. Calcoli poi in eV la massima energia cinetica che possono avere gli elettroni emessi da una superficie investita da una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ m, sapendo che la lunghezza d'onda di soglia è $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7}$ m.

Il candidato presenti la risoluzione sotto forma di relazione scientifica, descrivendo e motivando i passaggi intermedi.

La soluzione

Tema 2

L'effetto fotoelettrico può essere messo in evidenza utilizzando un opportuno tubo a vuoto con due elettrodi connessi a una pila che mantiene fra essi una differenza di potenziale assegnata. Poiché i due elettrodi sono isolati, nel circuito così costituito non passa alcuna corrente. Ma se il catodo (l'elettrodo connesso al polo negativo della pila) è costituito da una piastrina metallica, è possibile far passare una corrente nel circuito illuminando il catodo con una sorgente di onde elettromagnetiche, visibili o ultraviolette. Finché la lunghezza d'onda della radiazione impiegata è *superiore* a un certo valore λ_0 , detto lunghezza d'onda di soglia, nel circuito non si osserva alcuna corrente, qualunque sia l'intensità della sorgente impiegata. La corrente passa soltanto se la radiazione ha una lunghezza d'onda uguale o inferiore a λ_0 .

Dal punto di vista dell'elettromagnetismo classico, questo è effetto è sconcertante. Se nel circuito si stabilisce una corrente, possiamo ipotizzare che il catodo illuminato emetta elettroni, in maniera simile a quello che avviene nell'effetto termoionico. L'energia necessaria ad abbandonare il catodo, indicata come *lavoro di estrazione* W , deve evidentemente essere fornita agli elettroni

dalla radiazione incidente. Ma secondo l'elettromagnetismo classico l'energia della radiazione non dipende dalla lunghezza d'onda. In altri termini, con una sorgente di radiazione abbastanza intensa, si dovrebbe osservare un passaggio di corrente per qualunque valore della lunghezza d'onda. L'esistenza di un effetto di soglia resta inspiegabile.

L'effetto fotoelettrico fu spiegato da Einstein nel 1905 in base all'ipotesi dei quanti di luce, già avanzata in altra forma da Planck cinque anni prima a proposito del problema del corpo nero. Planck aveva proposto di *quantizzare* gli scambi di energia fra radiazione e materia, ipotizzando che essi potessero avvenire soltanto per multipli di un'energia minima, data dal prodotto della costante h (oggi nota come *costante di Planck*) per la frequenza f della radiazione. Einstein estende l'ipotesi di Planck, proponendo di quantizzare la radiazione stessa e di considerarla come composta di *quanti di luce* aventi energia hf . Indicheremo questi quanti con il nome di *fotoni*, assegnato loro soltanto in seguito. Ogni fotone ha quindi un'energia:

$$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}. \quad (1)$$

Einstein propose il seguente modello. Quando un fotone colpisce un elettrone nel metallo che costituisce il catodo, gli cede la propria energia hf . Se la frequenza del fotone è troppo bassa (ovvero, se la lunghezza d'onda è troppo alta), l'energia ceduta all'elettrone è inferiore a W e l'elettrone resta confinato nel metallo, dove negli urti con il reticolo cristallino perde immediatamente l'energia acquistata. Se invece f è uguale o superiore a una frequenza di soglia f_0 (ovvero, se λ è uguale o inferiore a $\lambda_0 = c/f_0$) l'elettrone acquista un'energia almeno sufficiente a lasciare il metallo e a muoversi nel campo elettrico esterno stabilito dalla pila. La condizione che determina λ_0 è allora semplicemente:

$$W = \frac{hc}{\lambda_0}. \quad (2)$$

L'effetto fotoelettrico è sfruttato in diversi dispositivi, fra cui le *cellule fotoelettriche* impiegate come interruttori sensibili alla luce nei circuiti che regolano l'apertura di cancelli automatici o l'attivazione di sistemi di allarme. Quando la radiazione che illumina il catodo viene intercettata da un oggetto di passaggio, la corrente nel circuito si interrompe. La variazione di corrente può essere utilizzata come segnale che attiva il servomeccanismo di apertura di un cancello.

Per il principio di conservazione dell'energia, l'energia cinetica che l'elettrone possiede appena al di fuori del catodo deve essere uguale all'energia ceduta dal fotone, diminuita dell'energia W necessaria ad abbandonare il metallo e, eventualmente, dell'ulteriore energia persa per collisioni con gli atomi del metallo. L'energia che un elettrone possiede dopo essere sfuggito al metallo è quindi al più uguale a:

$$E_e = E_f - W. \quad (3)$$

Nelle ipotesi del testo $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ e $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Il valore della costante di Planck nel Sistema Internazionale è $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (forse è ragionevole ipotizzare che l'estensore della prova preveda che il commissario possa fornire esplicitamente questo valore, come pure quello della velocità della luce nel vuoto, se il candidato non li ricorda a memoria). Sostituendo nella (3) le espressioni (1) e (2), otteniamo:

$$\begin{aligned} E_e &= \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = \\ &= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \right) = \\ &= 1,66 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \end{aligned} \quad (4)$$

Poiché $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, l'energia così determinata vale:

$$E_e = 1,03 \text{ eV}.$$