



## *Ministero della Pubblica Istruzione*

### **BRST - ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO**

**Indirizzo: SCIENTIFICO TECNOLOGICO - Progetto "BROCCA"**

**CORSO SPERIMENTALE**

**Tema di: FISICA E LABORATORIO**

**Il candidato svolga una breve relazione su uno solo dei seguenti due temi, a sua scelta.**

#### **Primo tema**

Si vuole determinare il rapporto  $e/m$ , tra carica e massa di un elettrone, utilizzando un tubo contenente neon a bassa pressione al cui interno gli elettroni sono emessi per effetto termoelettronico (conosciuto anche come effetto termoionico).

Essi hanno una velocità iniziale trascurabile e sono accelerati tra due elettrodi da una differenza di potenziale  $\Delta V = 0,78$  kV fino a raggiungere la velocità  $v$ . Gli atomi di neon ne rendono visibile la traiettoria interagendo al loro passaggio.

Una volta raggiunta la velocità  $v$ , gli elettroni entrano in una zona che è sede di un campo magnetico con  $B = 4,3 \cdot 10^{-4}$  T e con un angolo  $\alpha$  tra i vettori  $\underline{B}$  e  $\underline{v}$ .

Il candidato:

1. descriva e spieghi l'effetto termoelettronico;
2. spieghi perché gli atomi di neon nel tubo rendono visibile la traiettoria degli elettroni;
3. disegni e commenti la possibile traiettoria di un elettrone tra i due elettrodi (prima che risenta del campo magnetico) e poi all'interno del campo magnetico per  $\alpha=90^\circ$  e per  $\alpha<90^\circ$ ;
4. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare la velocità dell'elettrone in funzione della d.d.p. tra gli elettrodi in un tubo sotto vuoto; calcoli tale velocità ricordando che la carica e la massa dell'elettrone sono  $1,6 \cdot 10^{-19}$ C e  $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg;
5. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare il raggio della traiettoria in funzione della velocità dell'elettrone e dell'induzione magnetica; calcoli il raggio di tale traiettoria sapendo che l'angolo tra i vettori  $\underline{B}$  e  $\underline{v}$  è  $\alpha=60^\circ$ ;
6. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare il rapporto  $e/m$  in funzione dei valori misurabili  $\Delta V$ ,  $B$  ed  $r$ .

**Trascrizione ai fine dell'accessibilità**

ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO  
CORSO SPERIMENTALE  
Indirizzi: SCIENTIFICO – SCIENTIFICO TECNOLOGICO  
Tema di FISICA

Il candidato svolga una relazione su uno solo dei seguenti due temi, a sua scelta.

**Primo tema**

Si vuole determinare il rapporto  $e/m$ , tra carica e massa di un elettrone, utilizzando un tubo contenente neon a bassa pressione al cui interno gli elettroni sono emessi per effetto termoelettronico (conosciuto anche come effetto termoionico). Essi hanno una velocità iniziale trascurabile e sono accelerati tra due elettrodi da una differenza di potenziale  $\Delta V = 0,78$  kV fino a raggiungere la velocità  $v$ . Gli atomi di neon ne rendono visibile la traiettoria interagendo al loro passaggio. Una volta raggiunta la velocità  $v$ , gli elettroni entrano in una zona che è sede di un campo magnetico con  $B = 4,3 \cdot 10^{-4}$  T e con un angolo  $\alpha$  tra i vettori  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{v}$ . Il candidato:

1. descriva e spieghi l'effetto termoelettronico;
2. spieghi perché gli atomi di neon nel tubo rendono visibile la traiettoria degli elettroni;
3. disegni e commenti la possibile traiettoria di un elettrone tra i due elettrodi (prima che risenta del campo magnetico) e poi all'interno del campo magnetico per  $\alpha = 90^\circ$  e per  $\alpha < 0$ .
4. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare la velocità dell'elettrone in funzione della d.d.p. tra gli elettrodi in un tubo sotto vuoto; calcoli tale velocità ricordando che la carica e la massa dell'elettrone sono  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C e  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg;
5. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare il raggio della traiettoria in funzione della velocità dell'elettrone e dell'induzione magnetica; calcoli il raggio di tale traiettoria sapendo che l'angolo tra i vettori  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{v}$  è  $\alpha = 60^\circ$ ;
6. ricavi e commenti la formula che permette di calcolare il rapporto  $e/m$  in funzione dei valori misurabili  $\Delta V$ ,  $B$  ed  $r$ .

7.

Liceo Galilei Verona

1. L'effetto termoelettronico (o termoionico) consiste nell'emissione di elettroni da parte di un conduttore riscaldato; il riscaldamento è generalmente prodotto per effetto Joule facendo passare nel conduttore una corrente elettrica; perché si abbia emissione, l'energia fornita agli elettroni del reticolo deve almeno eguagliare l'energia di ionizzazione dell'atomo o molecola di cui è composto il conduttore, dell'ordine, per buoni conduttori, di qualche  $eV$ . Il numero di elettroni emesso per unità di tempo e di superficie è espresso dalla *legge di Richardson-Fermi*:

$$N = AT^2 e^{-\frac{E}{kT}} \quad (1)$$

dove  $T$  è la temperatura assoluta,  $E$  l'energia di ionizzazione,  $k$  la costante di Boltzmann. La costante  $A$  può scriversi nella forma  $A = \lambda_R A_0$ , dove  $A_0 = 7.5 \cdot 10^{24} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-2}$  è una costante indipendente dal materiale, mentre  $\lambda_R$  dipende dallo specifico metallo.

2. Gli elettroni, accelerati dal campo elettrico presente nel tubo, urtano nel loro percorso verso l'anodo, gli atomi di neon, cedendo loro energia e provocandone l'eccitazione, ovvero il passaggio di un elettrone in un orbitale più energetico; in questa configurazione l'elettrone è instabile e tende a tornare allo stato fondamentale emettendo l'energia in eccesso sotto forma di radiazione elettromagnetica (ovvero di un fotone avente energia e frequenza legate dalla relazione di Planck  $\Delta E = h\nu$ ), corrispondente, per l'atomo di elio, a luce visibile.
3. Si può assumere che l'elettrone perda quasi completamente la sua energia nell'urto con gli atomi di neon, per cui dopo ogni urto parte praticamente da fermo ed è sottoposto ad un moto uniformemente accelerato per effetto del campo elettrico presente nel tubo; se, più realisticamente, ammettiamo che l'elettrone, dopo ogni urto, abbia una velocità residua orientata in modo casuale, la traiettoria descritta tra due urti successivi sarà un arco di parabola con asse parallelo alla direzione del campo elettrico; da notare che, essendo la velocità iniziale casuale e il numero di elettroni grande, il valore medio della velocità trasversale al campo risulterà nullo, per cui la velocità media del fascio di elettroni è comunque parallela al campo elettrico.

Una volta raggiunto il campo magnetico un elettrone risente della forza di Lorentz, per cui la sua traiettoria risulta una circonferenza se  $\alpha = 90^\circ$ , un'elica cilindrica se  $0 < \alpha < 90^\circ$ , prosegue invece in linea retta, con velocità costante nel caso  $\alpha = 0$  (v. anche la risposta 5).

4. Gli elettroni si muovono nel tubo sottoposti alla al campo elettrico; l'energia acquisita nel passaggio attraverso la d.d.p.  $\Delta V$ , essendo il campo conservativo, è indipendente dalla particolare traiettoria e vale  $\Delta U = e \Delta V$

$$e\Delta V = \frac{1}{2}m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m_e}} = 1.66 \cdot 10^7 \text{ m/s} \quad (2)$$

5. L'elettrone nel campo magnetico è sottoposto alla forza di Lorentz  $\mathbf{F} = e \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ ; se la velocità della carica è ortogonale alle linee di campo ( $\alpha = \pi/2$  nel calcolo successivo) il moto è circolare uniforme; se la velocità è parallela alle linee di campo ( $\alpha = 0$ ) la carica non risente alcuna forza, per cui si muove di moto rettilineo uniforme, se infine velocità e campo sono obliqui il moto è elicoidale, dato dalla composizione di un moto circolare uniforme, con velocità  $v_{\perp} = v \sin \alpha$ , e di un moto rettilineo uniforme con velocità  $v_{\parallel} = v \cos \alpha$ ; per calcolare il raggio della traiettoria imponiamo che la forza di Lorentz fornisca la forza centripeta necessaria a garantire il moto circolare uniforme della carica:

$$F = e v B \sin \alpha = m_e \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{r} \quad (3)$$

da cui:

$$r = \frac{m_e v \sin \alpha}{e B} = 0.19 \text{ m} \quad (4)$$

6. Dalla relazione precedente, utilizzando per  $v$  il valore ottenuto in (2), si deduce:

$$\frac{e}{m_e} = \frac{v \sin \alpha}{r B} = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m_e}} \frac{\sin \alpha}{r B} \quad (5)$$

da cui infine, quadrando e semplificando il rapporto  $e/m_e$

$$\frac{e}{m_e} = \frac{2 \Delta V \sin^2 \alpha}{r^2 B^2} = 1.75 \cdot 10^{11} \text{ C kg}^{-1} \quad (6)$$

valore corretto entro l'1% rispetto a quello calcolabile utilizzando direttamente i valori di carica e massa forniti dal testo.