



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

BRST - ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO

CORSO SPERIMENTALE – PROGETTO “BROCCA”

Indirizzo: SCIENTIFICO-TECNOLOGICO

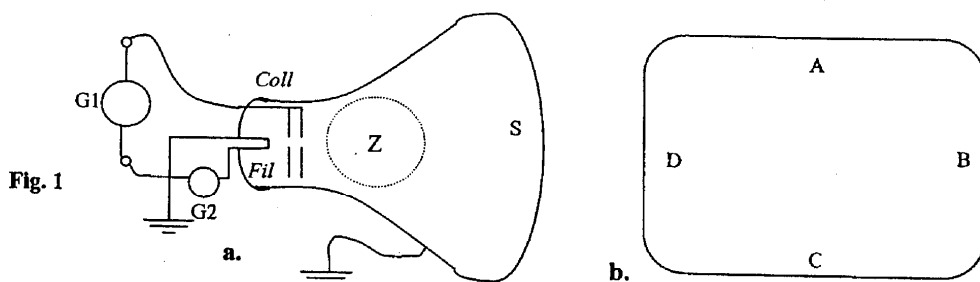
Tema di: FISICA

Secondo tema

Le immagini che si formano sullo schermo di un apparecchio televisivo sono generate dall'interazione tra un fascio di elettroni veloci e i fosfori depositati sulla superficie interna dello schermo stesso. Gli elettroni provengono dalla sezione posteriore del tubo catodico dove un filamento metallico è portato all'incandescenza.

Il candidato risponda alle seguenti domande.

- 1) Spieghi perché l'alta temperatura del filamento favorisce l'emissione di elettroni.
- 2) Spieghi perché i fosfori depositati sulla superficie dello schermo emettono luce quando interagiscono con gli elettroni veloci del tubo catodico.
- 3) Nella figura 1a. è schematicamente rappresentato un tubo catodico nel quale sono visibili: due generatori di tensione continua (G1 per l'alta tensione e G2 per la bassa tensione), il filamento riscaldato (*Fil*), il collimatore del fascio elettronico (*Coll*) formato da due piastrine metalliche forate e parallele, lo schermo S, la zona Z dove gli elettroni sono deviati da un campo magnetico. Il candidato descriva e commenti:
 - a) le funzioni e le polarità dei generatori G1 e G2;
 - b) in quale zona del tubo catodico l'intensità del campo elettrico è elevata e dove, invece, è trascurabile.



- 4) Nell'ipotesi che la differenza di potenziale tra il filamento e il collimatore sia $\Delta V = 30$ kV, il candidato calcoli:
 - a) l'energia cinetica acquistata dagli elettroni nel loro percorso tra *Fil* e *Coll*, espressa in elettronvolt e in joule;



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

BRST - ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO

CORSO SPERIMENTALE - PROGETTO "BROCCA"

Indirizzo: SCIENTIFICO-TECNOLOGICO

Tema di: FISICA

- b) la velocità degli elettroni al loro passaggio attraverso il collimatore (ipotesi classica), commentando il risultato per quanto riguarda gli eventuali effetti relativistici.
- 5) Con riferimento alla figura 1b., che rappresenta la vista anteriore dello schermo, e nell'ipotesi che il campo magnetico nella zona Z sia uniforme, il candidato disegni il vettore \underline{B} necessario, ogni volta, per far raggiungere al fascio di elettroni i punti A, B, C, D sullo schermo.
- 6) Il candidato si riferisca ora alla figura 2 dove tt è la traiettoria del fascio elettronico, r è il raggio dell'arco di traiettoria compiuto all'interno di Z, δ è l'angolo di deviazione del fascio elettronico. Si supponga che l'angolo di deviazione sia $\delta = 30^\circ$ e che il campo magnetico sia uniforme all'interno della zona sferica Z, di raggio $R_Z = 4$ cm, e nullo altrove. Il candidato calcoli l'intensità del vettore \underline{B} che porta a tale angolo di deviazione e ne indichi la direzione e il verso, osservando che lo schermo è perpendicolare al piano del foglio.

Nella figura 2 l'angolo δ è stato disegnato più grande di 30° con lo scopo di rendere l'immagine più compatta per facilitarne lo studio.

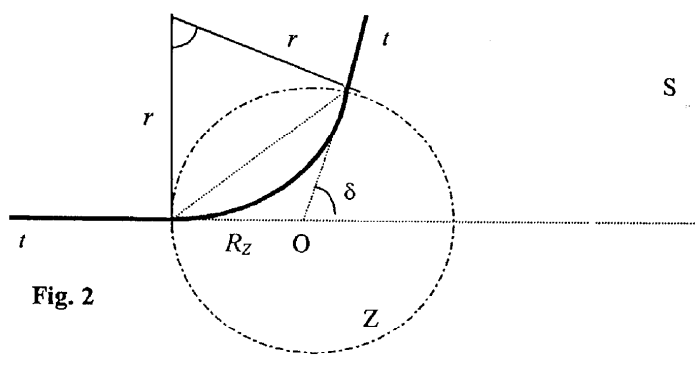


Fig. 2

Si ricordano i seguenti dati approssimati:

- carica dell'elettrone $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C;
- massa dell'elettrone $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg;
- velocità della luce $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s

Durata massima della prova: 6 ore.

E' consentito l'uso di tavole numeriche e della calcolatrice tascabile, non programmabile e grafica.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

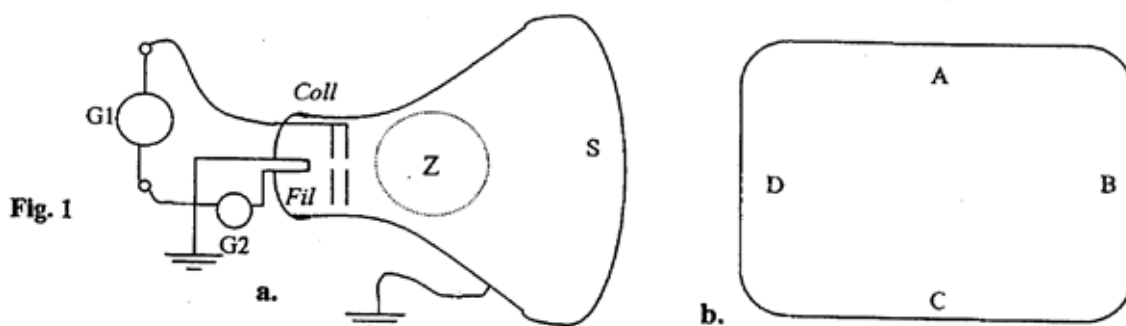
ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO
CORSO SPERIMENTALE – Progetto “Brocca”
Indirizzi: SCIENTIFICO – SCIENTIFICO TECNOLOGICO
Tema di FISICA

Secondo tema

Le immagini che si formano sullo schermo di un apparecchio televisivo sono generate dall'interazione tra un fascio di elettroni veloci e i fosfori depositati sulla superficie interna dello schermo stesso. Gli elettroni provengono dalla sezione posteriore del tubo catodico dove un filamento metallico è portato all'incandescenza.

Il candidato risponda alle seguenti domande.

1. Spieghi perché l'alta temperatura del filamento favorisce l'emissione di elettroni
2. Spieghi perché i fosfori depositati sulla superficie dello schermo emettono luce quando interagiscono con gli elettroni veloci del tubo catodico,
3. Nella figura 1° è schematicamente rappresentato un tubo catodico nel quale sono visibili: due generatori di tensione continua (G1 per l'alta tensione e G2 per la bassa tensione), il filamento riscaldato (*Fil*), il collimatore del fascio elettronico (*Coll*) formato da due piastrine metalliche forate e parallele, lo schermo S, la zona Z dove gli elettroni sono deviati da un campo magnetico. Il candidato descriva e commenti:
 - a. le funzioni e le polarità dei generatori G1 e G2;
 - b. in quale zona del tubo catodico l'intensità del campo elettrico è elevata e dove, invece, è trascurabile.



4. Nell'ipotesi che la differenza di potenziale tra il filamento il collimatore sia $\Delta V = 30 \text{ kV}$, il candidato calcoli:
 - a) l'energia cinetica acquistata dagli elettroni nel loro percorso tra *Fil* e *Coll*, espressa in elettronvolt e in joule;

- b) la velocità degli elettroni al loro passaggio attraverso il collimatore (ipotesi classica), commentando il risultato per quanto riguarda gli eventuali effetti relativistici.
5. Con riferimento alla figura 1b., che rappresenta la vista anteriore dello schermo, nell'ipotesi che il campo magnetico nella zona Z sia uniforme, il candidato disegni il vettore **B** necessario, ogni volta, per far raggiungere al fascio di elettroni i punti A, B, C, D sullo schermo.
6. Il candidato si riferisca ora alla figura 2 dove tt è la traiettoria del fascio elettronico, r il raggio dell'arco di traiettoria compiuto all'interno di Z, δ è l'angolo di deviazione del fascio elettronico. Si supponga che l'angolo di deviazione sia $\delta = 30^\circ$ e che il campo magnetico sia uniforme all'interno della zona sferica Z, di raggio $R_z = 4$ cm, e nullo altrove. Il candidato calcoli l'intensità del vettore **B** che porta a tale angolo di deviazione e ne indichi la direzione e il verso, osservando che lo schermo è perpendicolare al piano del foglio.

Nella figura 2 l'angolo δ è stato disegnato più grande di 30° con lo scopo di rendere l'immagine più compatta per facilitarne lo studio.

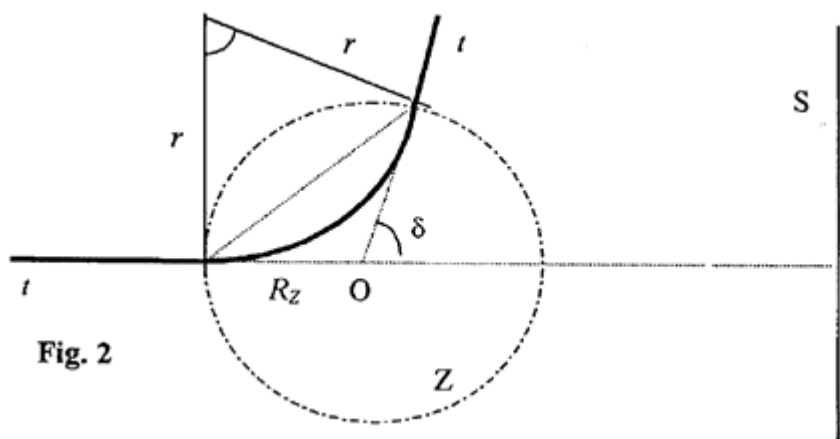


Fig. 2

Si ricordano i seguenti dati approssimati:

- carica dell'elettrone: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C;
- massa dell'elettrone $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ;
- velocità della luce: $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s

- 1) Il riscaldamento del filo comporta la cessione di energia al reticolo cristallino quindi agli elettroni degli orbitali più esterni; se l'energia acquisita dagli elettroni risulta superiore all'energia di legame (eV_i , dove V_i è il potenziale di ionizzazione, dell'ordine di qualche volt per i metalli) gli elettroni vengono emessi dal filamento (effetto termoelettrico o termoionico). Il numero di elettroni emessi per unità di tempo e di superficie è definito quantitativamente dalla relazione di Fermi-Richardson:

$$N = AT^2 e^{-\frac{eV_i}{kT}}$$

dove A è una costante caratteristica dello specifico metallo e k è la costante di Boltzmann.

- 2) L'elettrone accelerato dal campo elettrico nella parte iniziale del tubo catodico, incide sullo schermo subendo un urto anelastico con gli atomi di fosforo che lo rivestono, cedendo loro la propria energia; in particolare, se questa è assorbita dall'elettrone più esterno, si eccita passando dallo stato fondamentale (stabile) ad un livello eccitato (instabile) dal quale decade liberandosi dell'energia in eccesso tramite l'emissione di un fotone di frequenza $\nu = \frac{E_i - E_0}{h}$

dove $E_i - E_0$ è la differenza di energia tra l' i -esimo livello eccitato e il fondamentale e h è la costante di Planck; se tale frequenza, come nel caso dell'atomo di fosforo, risulta compresa entro la banda del visibile ($3.7 \cdot 10^{14}$ - $7.5 \cdot 10^{14}$ Hz) si avrà emissione di luce nel punto in cui l'elettrone impatta con lo schermo.

3)

- a) Il generatore di alta tensione G1 ha la funzione di produrre il campo elettrico necessario ad accelerare gli elettroni, fornendo loro l'energia $E = e\Delta V$; dal momento che l'estremità inferiore in figura è collegata a terra, l'estremità superiore, collegata al collettore, deve avere polarità positiva.

Il generatore di bassa tensione G2 ha la funzione di produrre il passaggio di corrente nel filamento, determinandone il riscaldamento per effetto Joule e la conseguente emissione di elettroni; la sua polarità è pertanto indifferente.

- b) L'intensità del campo elettrico è elevata tra il filamento e il collettore mentre è trascurabile a destra del collettore dove gli elettroni sono sostanzialmente liberi, sottoposti solo all'interazione con il campo magnetico eventualmente presente.

4)

a) L'energia cinetica acquisita dagli elettroni è data da

$$E_C = e\Delta V = 1.6 \cdot 10^{-19} C \cdot 3 \cdot 10^4 V = 4.8 \cdot 10^{-15} J$$

il calcolo in elettronvolt, segue immediatamente dalla definizione:

$$E_C = e\Delta V = 30 k eV = 3 \cdot 10^4 eV$$

Calcoliamo, ai fini della risposta successiva, il rapporto tra l'energia cinetica e l'energia a riposo dell'elettrone:

$$\frac{E_C}{m_e c^2} = \frac{4.8 \cdot 10^{-15} J}{9.1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 9.0 \cdot 10^{16} m^2 / s^2} = 0.06$$

o anche, utilizzando i corrispondenti valori in elettronvolt

$$\frac{E_C}{m_e c^2} = \frac{3 \cdot 10^4 eV}{5.11 \cdot 10^5 eV} = 0.06$$

rapporto che dà l'ordine di grandezza delle correzioni relativistiche all'energia.

b) Dalla relazione classica

$$E_C = \frac{1}{2} m_e v^2$$

si ottiene

$$v = \sqrt{\frac{2E_C}{m_e}} = 1.03 \cdot 10^8 m/s$$

che comporta

$$\frac{v}{c} = 0.34$$

Utilizzando invece il calcolo relativistico si ottiene:

$$E_C = m_e c^2 (\gamma - 1) \quad \Rightarrow \quad \gamma = 1 + \frac{E_C}{m_e c^2} = 1.06$$

e infine

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow v = \frac{\sqrt{\gamma^2 - 1}}{\gamma} c = 0.33 c = 9.9 \cdot 10^7 m/s$$

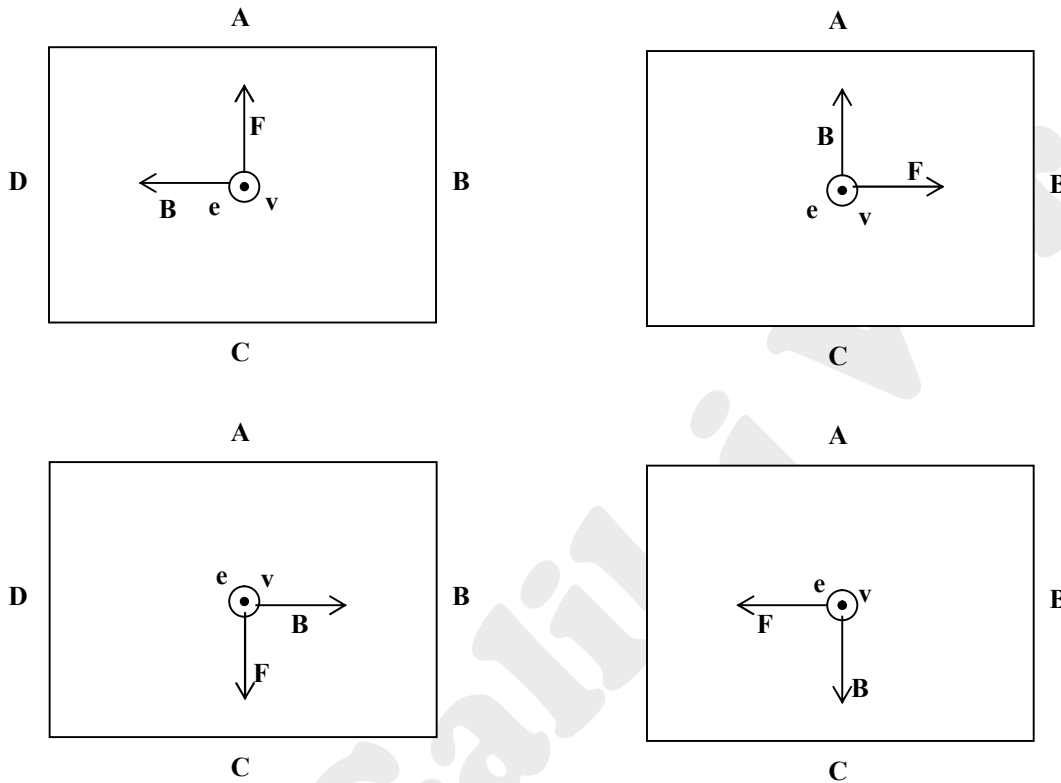
da cui segue che la correzione relativistica alla velocità risulta pari a:

$$\frac{|v_{class} - v_{rel}|}{v_{rel}} = 0.03$$

5) L'elettrone risente la forza di Lorentz

$$\vec{F} = e\vec{v} \wedge \vec{B}$$

la sua velocità è inizialmente perpendicolare allo schermo, quindi uscente dal piano rappresentato in figura, per cui la direzione del campo magnetico richiesta per raggiungere i punti indicati segue immediatamente dalle proprietà del prodotto vettore (si ricordi che la carica è negativa)



6) Con riferimento alla figura 2 del testo, il campo è perpendicolare al piano del foglio, in direzione uscente dallo stesso; si ha:

$$r = R_z \tan\left(\frac{\pi - \delta}{2}\right) = R_z \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\delta}{2}\right) = R_z \cot \frac{\delta}{2} = \frac{R_z}{\tan \frac{\delta}{2}} = 14,9 \text{ cm}$$

e, uguagliando la forza di Lorentz alla forza centripeta necessaria a mantenere l'elettrone in moto circolare uniforme, si ottiene:

$$\frac{m_e v^2}{r} = evB \Rightarrow B = \frac{m_e v}{er} = 0,0039 \text{ T} = 3,9 \text{ mT}$$

(nell'ottenere tale valore si è fatto uso della velocità classica; utilizzando la velocità relativistica si otterrebbe invece $B = 3,8 \text{ mT}$)