

**ESAME DI STATO DI LICEO SCIENTIFICO 2004**  
**Indirizzo Scientifico-Tecnologico**  
**“Progetto Brocca”**

trascrizione del testo e redazione soluzione di Quintino d'Annibale

**SECONDO TEMA**

Le immagini che si formano sullo schermo di un apparecchio televisivo sono generate dall'interazione tra fascio di elettroni veloci e fosfori depositati sulla superficie interna dello schermo stesso. Gli elettroni provengono dalla sezione posteriore del tubo catodico dove un filamento metallico è potato 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 (*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 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) Nella ipotesi che la differenza di potenziale tra filamento e collimatore sia  $\Delta V = 30 \text{ KV}$ , il

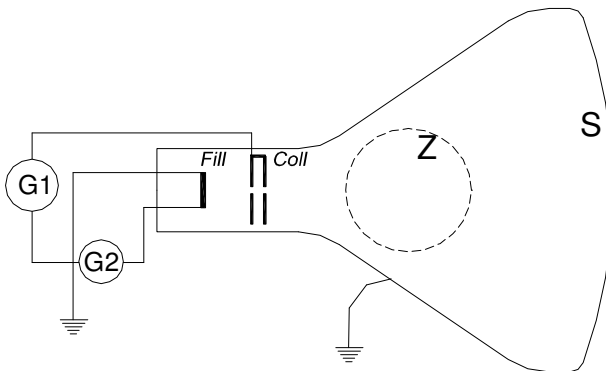


Fig. 1a

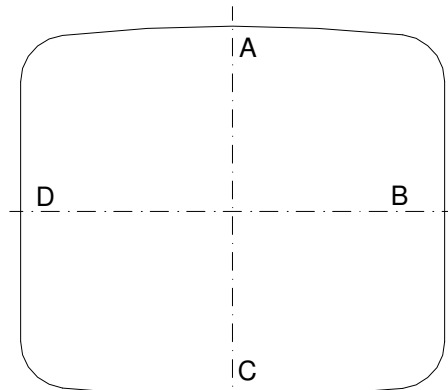


Fig. 2

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 fig. 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 **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,  $\delta$  è l'angolo di deviazione del fascio elettronico. Si supponga che l'angolo di deviazione  $\delta=30^\circ$  e che il campo magnetico sia uniforme all'interno della zona 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 verso, osservando che lo schermo è perpendicolare al piano del foglio.

Nella figura 2 l'angolo  $\delta$  è stato disegnato più grande di grande di  $30^\circ$  con lo scopo di rendere l'immagine più compatta per facilitarne lo studio.

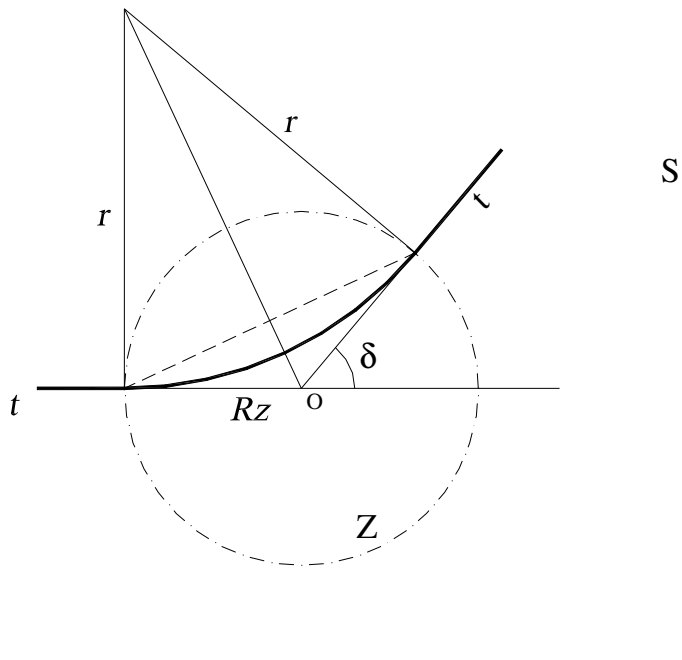


Figura 2

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

## SOLUZIONE

- 1) Il punto è già stato trattato nella prova di esame del 1999 stesso indirizzo. Effetto termoelettronico (impropriamente conosciuto anche come effetto termoionico), è il fenomeno per cui un conduttore (catodo) portato a temperatura sensibilmente superiore a quella ambiente emette elettroni. Se consideriamo un tubo a vuoto con due elettrodi ai quali applichiamo una ddp (polo positivo sull'elettrodo opposto all'anodo), un amperometro collegato in serie non rileverà alcun passaggio di corrente, se ai capi del filamento *Fill* (catodo) applichiamo una ddp tramite un generatore a bassa tensione, il filamento si riscalda e l'amperometro segnalerà passaggio di corrente, giustificato dall'emissione di elettroni da parte del filamento verso l'anodo. L'emissione sarà tanto maggiore quanto più è elevata la temperatura del filamento. Il fenomeno dell'emissione è spiegabile poiché l'aumento di temperatura del conduttore, fa aumentare l'energia cinetica media degli elettroni liberi del reticolo cristallino, se questa supera quella di estrazione:

$$Le = \Delta V = \Delta E / e$$

Gli elettroni in moto in direzione ortogonale alla superficie del conduttore (verso l'esterno) vengono liberati e successivamente accelerati dal campo elettrico generato dalla ddp presente tra catodo e anodo.

- 2) Gli elettroni lanciati ad alta velocità, urtano gli atomi di fosforo presenti sullo schermo del tubo catodico, cedendo parte dell'energia posseduta sotto forma di energia cinetica agli elettroni delle orbite più esterne degli atomi di fosforo, i quali si porteranno ad un livello energetico maggiore ma non stabile, pertanto dopo un brevissimo tempo l'elettrone tornerà al livello originario emettendo un fotone di energia  $h\nu$  pari alla differenza di energia fra i due livelli energetici, questo renderà visibile un puntino sullo schermo.

3)

- a) In parte nel punto 1, si è già introdotta la risposta richiesta. Le funzioni dei generatori sono per G1 quella di applicare una ddp con polarità positiva sul collimatore fungente da anodo il quale accelererà gli elettroni emessi dal filamento (catodo). G2 ha la funzione di alimentare il filamento che si surriscalderebbe emettendo elettroni. Le polarità sono quelle riportate in disegno.

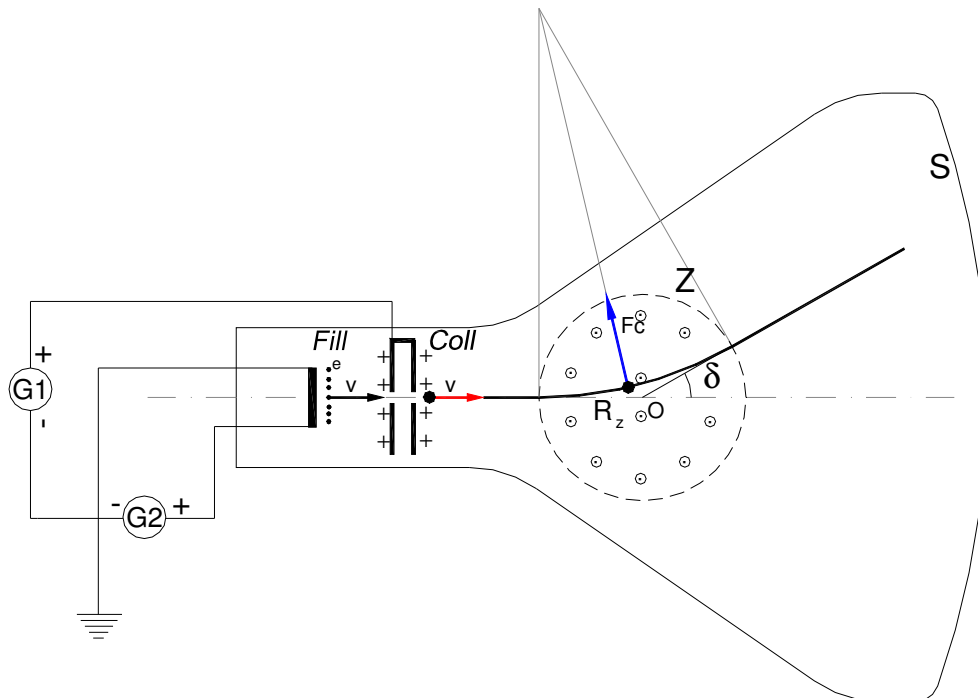
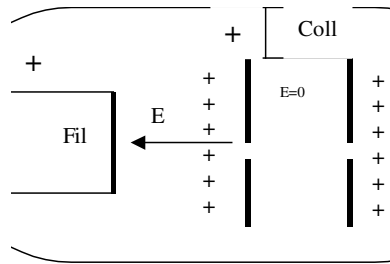


Figura 1

b) dallo schema riportato si ha:



**Figura 2**

Il campo elettrico ha valore max tra filamento Fil e collimatore Coll, è nullo tra le placche del collimatore essendo entrambi positivi, è trascurabile dalla parte dello schermo ed in particolare nella zona Z.

4)

- a) La differenza di potenziale  $\Delta V$  presente tra catodo e anodo (Fil e Coll) come detto, accelera gli elettroni che emergono dal catodo. L'energia potenziale  $U$  del sistema diminuisce mentre aumenta quella cinetica degli elettroni ed essendo:

$$-\Delta U = \Delta K \quad (1)$$

$$L = q \cdot \Delta V = -\Delta U \quad (2)$$

che riferito all'elettrone di carica (e) diventa:

espressi in elettronvolt:

$$\Delta K = e \cdot \Delta V = e \cdot 30 \cdot 10^3 (V) = 30 \text{ KeV} \quad (3)$$

espressi in joule:

$$\Delta K = e \cdot \Delta V = 1,6 \cdot 10^{-19} (C) \cdot 30 \cdot 10^3 (V) = 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ J} \quad (4)$$

- b) essendo l'energia cinetica nella trattazione classica uguale a:

$$L = e \cdot \Delta V = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

avendo posto (trascurato) la velocità iniziale  $v_{0=0}$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,8 \cdot 10^{-15}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 1,027 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (6)$$

La velocità trovata è circa 1/3 di  $c$  ( $c=3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) velocità della luce.

**Considerata l'alta velocità, il problema andrebbe ovviamente risolto con metodo relativistico<sup>1</sup>.**

Si riporta la trattazione relativistica del problema. La velocità e la massa, avrebbero valori diversi da quelli ottenuti con il metodo classico. Nella relatività ristretta, l'energia totale di una particella in moto, è data da:

$$E = m \cdot c^2 = \gamma \cdot m_0 \cdot c^2 = m_0 \cdot c^2 + K \quad (7)$$

$$E = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 + 4,8 \cdot 10^{-15} \text{ J} \approx 86,7 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

con  $\gamma$  rapporto tra  $E$  e l'energia a riposo

<sup>1</sup> L'argomento raramente si riesce a svolgere nel programma del 5° anno, in cui di solito si danno solo indicazioni sul tipo di trattazione e ci si affida a sintesi legate a programmi degli anni precedenti in cui si gli stessi vengono citati ma non approfonditi (vedi 3° anno meccanica).

$$\gamma = \frac{E}{m_0 c^2} = \frac{86,7 \text{ j}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3,0 \cdot 10^8)^2} = 1,06 \quad (8)$$

noto  $\gamma$  sarà possibile calcolarsi la massa  $m$ :

$$m = \gamma \cdot m_0 = 1,06 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 9,65 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \quad (9)$$

inoltre essendo:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,06 \quad (10)$$

dalla (10), sarà possibile ricavare la velocità :

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0,995 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (11)$$

5) In riferimento alla figura 1b gli schemi richiesti sono:

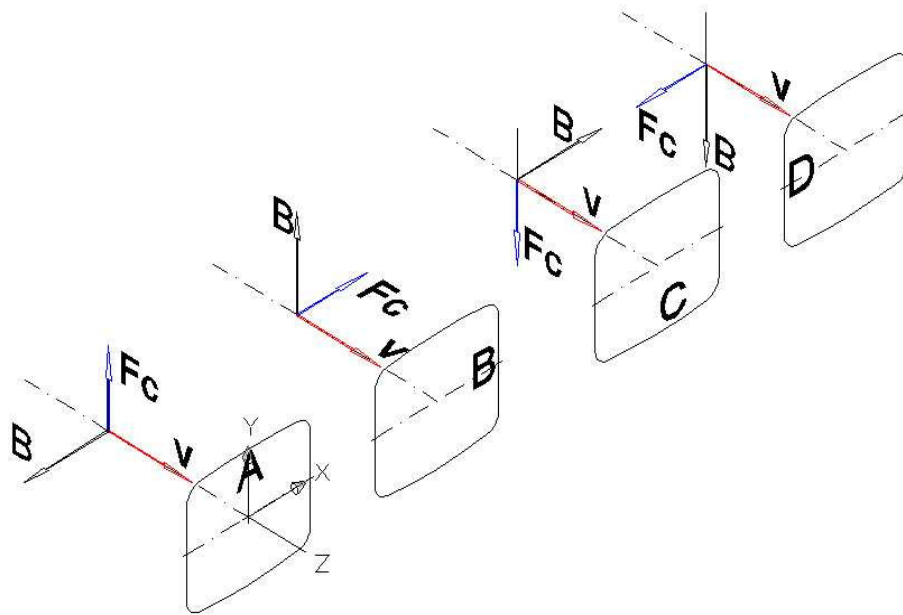


Figura 3

- 6) Gli elettroni, accelerati seguono una traiettoria rettilinea<sup>2</sup> nel tratto precedente l'area Z, fino al punto A, in cui si trovano immersi in un campo magnetico  $\underline{B}$  che le devia attraverso la forza di Lorentz. fino al punto B secondo una traiettoria circolare, con accelerazione centripeta  $\underline{a}_c$  costante. Oltre il punto B continueranno con traiettoria rettilinea. L'equazione che regola il moto in Z è:

$$F_c = F_L \quad (12)$$

$$F_c = \text{forza centripeta} \quad F_c = m \frac{v^2}{r} \quad (13)$$

$F_L = \text{forza di Lorentz}$   $\vec{F}_L = q\vec{B} \wedge \vec{v}$  con direzione (nel caso specifico) ortogonale al foglio e verso uscente (e ha carica negativa. Si potrebbe utilizzare la regola delle tre dita della mano destra)

Il cui modulo è: 
$$F_L = q \cdot B \cdot v \cdot \sin\alpha \quad (14)$$

<sup>2</sup> In realtà gli elettroni sarebbero sottoposti anche al campo gravitazionale ma l'effetto dell'accelerazione di gravità è del tutto trascurabile nel caso in questione, infatti, l'altissima velocità e le piccole distanze percorse dagli elettroni porterebbero a valori di deviazioni dell'ordine di  $10^{-8}$  m, per cui non se ne tiene conto.

(essendo l'angolo tra  $B$  e  $v$  di  $90^\circ$  il seno è uguale a uno

La (14) assume la forma:  $F_L = q \cdot B \cdot v$

$$\text{Ed eguagliando la (13) e (14) si ha: } m \frac{v^2}{r} = qBv \quad (15)$$

$$\text{da cui si ricava } B = m \frac{v}{r \cdot q} \quad (16)$$

Per determinare  $B$  occorre calcolare il raggio  $r$ . Esso, è un problema essenzialmente geometrico, pertanto diversi sono i modi di affrontarlo, né suggerisco uno:

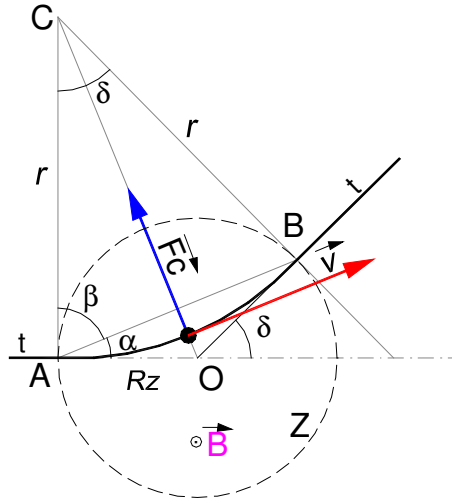


Figura 4

l'angolo in  $C$  è uguale a  $\delta$  (per note relazioni geometriche) e  $CO$  è la bisettrice di  $\delta$ , in quanto il triangolo  $ABC$ , è isoscele, avente come cateti uguali  $r$  raggio di curvatura della traiettoria  $tt$  e base  $AB$  per cui se ci riferiamo al triangolo  $CAO$  (retto), si ha:

$$\frac{\overline{AO}}{\overline{AC}} = \tan\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{Rz}{r} \quad (17) \quad \text{e} \quad r = \frac{Rz}{\tan\left(\frac{\delta}{2}\right)} \quad (18)$$

$$r = \frac{Rz}{\tan\left(\frac{\delta}{2}\right)} = \frac{0,04}{\tan(15)} = 0,149m \approx 0,15m$$

inserito nella (16) si ha:

$$B = m \frac{v}{r \cdot q} = 9,1 \cdot 10^{-31} \frac{1,027 \cdot 10^8}{0,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 38,94 \cdot 10^{-4} T \approx 39 \cdot 10^{-4} T \quad (20)$$

La direzione di  $\underline{B}$  è ortogonale al piano del foglio con verso uscente (schema A della risposta 5).

Il calcolo come richiesto dalla traccia, è stato eseguito con i valori ottenuti con metodo classico. Sarebbe stato opportuno utilizzare i valori ottenuti dal calcolo relativistico, riportiamo solo a titolo di completezza il calcolo con i valori relativistici.

$$B = m \frac{v}{r \cdot q} = 9,65 \cdot 10^{-31} \frac{0,995 \cdot 10^8}{0,15 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 39,81 \cdot 10^{-4} T$$

<sup>3</sup> o anche, considerando (per note relazioni geometriche) che l'angolo ( $\alpha = \delta/2$ ) e ( $\beta = 90^\circ - \alpha$ ) si ha :

$$\frac{AB}{2} = Rz \cdot \cos(\alpha) = r \cdot \cos(\beta) = r \cdot \sin(\alpha) \quad r = \frac{Rz}{\tan(\alpha)} = \frac{Rz}{\tan\left(\frac{\delta}{2}\right)} \quad \text{analoga alla (18)}$$