

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

**LABORATORUL
BN 120**

**DETERMINAREA SARCINII SPECIFICE
A ELECTRONULUI e/m_0**

DETERMINAREA SARCINII SPECIFICE A ELECTRONULUI e/m_0

1. Scopul lucrării

Determinarea sarcinii specifice a electronului e/m_0 utilizând un dispozitiv experimental în care traiectoriile electronilor emiși de un tun electronic sunt modificate de un câmp magnetic exterior, uniform, produs de bobinele Helmholtz.

2. Teoria lucrării

Radiațiile emise de un tun electronic, constau din particule încărcate negativ, care se mișcă rapid în linie dreaptă și care se numesc electroni. Radiațiile pot fi deviate de la traiectoria lor rectilinie, de câmpuri electrice sau magnetice externe.

Atunci când un electron cu sarcina electrică e pătrunde cu viteza \vec{v} în spațiul în care există un câmp magnetic de inducție \vec{B} , asupra acestuia acționează o forță magnetică $\vec{F} = e(\vec{v} \times \vec{B})$ respectiv $F = evB \sin \alpha$. Mărimea și orientarea acestei forțe depinde de valorile absolute ale celor doi vectori precum și de valoarea unghiului α pe care îl fac ei, vectorul $(\vec{v} \times \vec{B})$ fiind un vector perpendicular pe \vec{v} .

Așadar, dacă electronul se afla în repaus ($v = 0$) într-un câmp magnetic de inducție \vec{B} asupra lui nu se va exercita nici o forță magnetică ($\vec{F} = 0$); deasemeni dacă vectorii \vec{v} și \vec{B} sunt paraleli (câmp magnetic longitudinal), forța magnetică este nulă.

Dacă unghiul α este diferit de zero, atunci forța magnetică este diferită de zero și va avea valoarea maximă în cazul când \vec{v} este perpendicular pe \vec{B} . În acest ultim caz, energia cinetică a electronului și respectiv modulul vitezei sale, rămân constante în timpul mișcării, adică nu se efectuează lucru mecanic.

Forța magnetică fiind întotdeauna perpendiculară pe viteză, va produce o deviere a mișcării electronului, deci o modificare a orientării vitezei fără să influențeze asupra mărimii vitezei sale. Traiectoria electronului este un cerc perpendicular pe câmp. Raza acestui cerc se calculează ușor. Forța Lorentz este îndreptată spre centrul cercului și evident trebuie să fie egală cu forța centripetă mv^2/r . Măsurarea razei r și a inducție magnetice \vec{B} dă posibilitatea determinării valorii expresiei $(m/e)v$.

Cunoscând diferența de potențial U la care electronul a fost accelerat, se determină $(m/e)v^2$. De aici poate fi determinată valoarea sarcinii specifice (e/m_0) .

Cu privire la măsurarea sarcinii specifice e/m_0 , experiențele au arătat că aceasta nu este riguros constantă, ci depinde într-o anumită măsură de viteza electronilor. Acest fenomen se explică prin teoria relativității. În conformitate cu teoria lui Einstein (1905) valoarea sarcinii e este invariabilă, însă masa electronului este variabilă, valoarea sa depinzând de fapt, de viteza pe care o are față de observator.

3. Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental pentru determinarea sarcinii specifice a electronului e/m_0 este prezentat în figura 1 și el cuprinde:

- un dispozitiv creat pentru funcționarea unui tun electronic;
- o pereche de bobine Helmholtz;
- S_1 sursă de alimentare 0 500 VDC;
- S_2 sursă de alimentare universală;
- cabluri de legătură, de lungimi și culori diferite;



Fig. 1

Schema de funcționare a bobinelor Helmholtz este prezentată în figura 2.

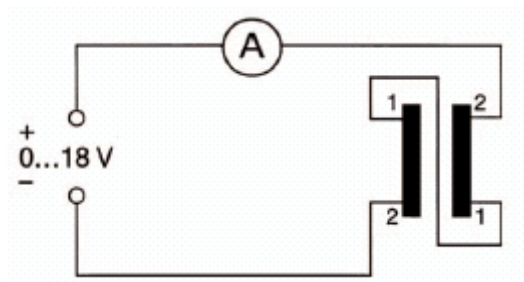


Fig. 2

Valoarea maximă permisă a curentului continuu este de 5A.

Schema de funcționare a tunului electronic este prezentată în figura 3.

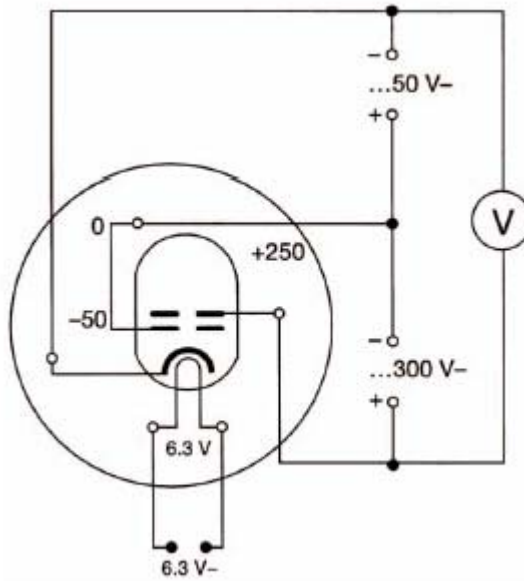


Fig. 3

Electronii emiși de tunul electronic sunt accelerați într-un câmp electric și pătrund după o direcție perpendiculară, în spațiul în care există un câmp magnetic produs de bobinele Helmholtz.

Sarcina specifică a electronului e/m_0 poate fi determinată cunoscând:

U – tensiunea de accelerare

B – inducția câmpului magnetic;

r – raza traiectoriei electronilor;

Dacă polaritatea câmpului magnetic este corectă poate fi observată o traiectorie curbă luminoasă ce coincide cu traiectoria electronilor. Luminescența apare în urma ciocnirilor electronilor cu moleculele de hidrogen rarefiat din interiorul balonului. Prin variația câmpului magnetic și a vitezei electronilor (variația tensiunii de accelerare) se obțin trasee diferite, deci valori diferite pentru razele traiectoriilor. Dacă traiectoria este de formă elicoidală, acest lucru poate fi eliminat prin rotirea tubului în jurul axei sale longitudinale.

Dacă un electron de masă m_0 și sarcină e este accelerat la o diferență de potențial U , acesta capătă o energie cinetică:

$$eU = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (1)$$

unde v reprezintă viteza electronului.

Într-un câmp magnetic \vec{B} , asupra electronului acționează o forță Lorentz perpendiculară atât pe direcția câmpului cât și pe direcția vitezei.

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

Dacă câmpul magnetic este uniform, așa cum este în cazul aranjamentului Helmholtz, traiectoria electronului este o spirală a cărei axă este paralelă cu câmpul. În caz particular, când viteza \vec{v} este perpendiculară pe \vec{B} , spirala degenerază într-un cerc perpendicular pe câmp.

Forța Lorentz este îndreptată spre centrul cercului și evident trebuie să rămână egală cu forța centripetă $\frac{m_0 v^2}{r}$.

Obținem astfel:

$$v = \frac{e}{m_0} Br \quad (3)$$

Din ecuațiile (1) și (3) obținem:

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{(B \cdot r)^2} \quad (4)$$

Câmpul magnetic \vec{B} , creat de bobinele Helmholtz, poate fi calculat cu ajutorul teoremei lui Biot și Savart [ANEXA]

$$B = \frac{\mu_0}{2} IR^2 \left\{ \left[R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (5)$$

unde $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$, iar R este raza bobinelor Helmholtz.

În cazul în care $R = a$ relația (5) devine

$$B = \left(\frac{4}{5} \right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 n \frac{I}{R} \quad (6)$$

Caracteristicile bobinelor sunt:

$$R = 0,150 \text{ m și } n = 130$$

4. Modul de lucru

- Se alimentează cele două surse S_1 și S_2 prin comutatorul de rețea. Se pornesc cele două multimetre (ampermetrul și voltmetrul);

- Se reglează butonul din mijloc al sursei S_1 astfel încât tensiunea aplicată pe grila tunului să fie până în 10 V;

- Se reglează butonul din dreapta al sursei S_1 pe valoarea de 100 V, acasta citindu-se pe multimetru; Se observă în interiorul balonului de la tunul electronic o luminiscentă verticală, care coincide cu traiectoria electronilor;

- Se modifică curentul prin bobinele Helmholtz de la sursa S_2 . Se constată curbarea traiectoriei electronilor, diametrul micșorându-se pe măsură ce intensitatea curentului crește, deci și cea a câmpului magnetic \vec{B} .

Pentru valorile razelor r stabilite în tabel, se citesc intensitățile curenților.

5. Prelucrarea datelor experimentale

Tensiunea de accelerare U aplicată între catod și anod va avea valori cuprinse în intervalul 100 - 300 V, acestea fiind modificate din 20 în 20 volți.

Valorile dorite pentru razele traiectoriilor electronilor sunt: $r = 0,02; 0,03; 0,04; 0,05$ m. Pentru o valoare fixată a tensiunii de accelerare U , se modifică tensiunea pe rezistența bobinelor Helmholtz, până când se obține traiectoria circulară cu diametrul respectiv raza dorită, citindu-se în acel moment valoarea intensității curentului prin bobine.

Pentru aceeași valoare a tensiunii, prin aceeași metodă, se obțin intensitățile curenților caracteristici tuturor traiectoriilor.

Obținerea unei valori cât mai exacte a sarcinii specifice presupune repetarea de cel puțin trei ori, în condiții identice a operației de măsurare a intensității curentului, calculându-se o valoare medie. Cu această valoare medie a curentului va fi calculată inducția câmpului magnetic relația (6).

Cunoscând tensiunea U , inducția magnetică B , și raza r a traiectoriei electronilor, sarcina specifică e/m_0 poate fi calculată folosind relația (4).

Datele experimentale se trec într-un tabel de forma:

ANEXĂ

Bobinele Helmholtz sunt două bobine circulare plate, care pot fi asimilate cu două spire circulare, cu aceeași rază R , parcurse de același curent I , în același sens. Distanța dintre cele două bobine se notează cu a . Inducția magnetică \vec{B} într-un punct situat pe axă la distanța z de punctul aflat la mijlocul distanței dintre bobine se poate calcula astfel:

Conform teoremei lui Biot și Savart, inducția magnetică elementară are expresia:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} I d\vec{l} \times \vec{r}$$

unde:

$d l$ -elementul de lungime de curent.

r – distanța de la elementul de curent la punctul în care se calculează inducția ($d\vec{l} \perp \vec{r}$).

Atunci, componenta lui $d\vec{B}$ după axa Oz va fi:

$$dB_z = dB \cos\theta = \frac{\mu_0}{4\pi r^2} I dl \cos\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} I dl \frac{R}{r^3}$$

deoarece:

$$\cos\theta = R/r$$

Inducția totală creată de o spirală va fi:

$$B = \int dB_z = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} IR \int dl = \frac{\mu_0}{2R} I \left(\frac{R}{r}\right)^3$$

deoarece:

$$\int dl = 2\pi R$$

Deci:

$$B = \mu_0 \frac{I}{2R} \cos\theta$$

deoarece:

$$r = \sqrt{R^2 + (a/2 + z)^2}$$

$$\cos^3\theta = R^3 / [R^2 + (z + \frac{a}{2})^2]^{3/2} = R^3 [R^2 + (z + \frac{a}{2})^2]^{-3/2}$$

Cîmpul \vec{B}_1 creat de o spirală este:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2} R^2 [R^2 + (z + \frac{a}{2})^2]^{-3/2}$$

Cîmpul \vec{B}_2 creat de cealaltă spiră în același punct este:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2} R^2 \left[R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-3/2}$$

deoarece:

$$r = \sqrt{R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2}$$

Cîmpul total \vec{B} creat în acel punct de sistemul celor două bobine este egal cu suma dintre \vec{B}_1 și \vec{B}_2 . Curenții avînd același sens se obține:

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{2} R^2 \left\{ \left[R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\}$$

Observatie: În $x = 0$, $\frac{dB}{dx} = 0$. În acest punct, inducția \vec{B} prezintă un extrem.

Pentru a vedea ce fel de extrem este, se reprezintă grafic B_1 și B_2 și $B = B_1 + B_2$ în funcție de $a/2$. Dacă $a/2 < R$, B este maxim pe axa Oz , iar dacă $a/2 > R$ B are o valoare minimă.

Un astfel de dispozitiv este interesant deoarece în vecinătatea primului zero se obține o inducție practic uniformă.