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 emişi de un tun electronic sunt modificate de un câmp magnetic exterior, uniform, produs de bobinele Helmholtz.

2. Teoria lucrării

Radiaţiile emise de un tun electronic, constau din particule încărcate negativ, care se mişcă rapid în linie dreaptă şi care se numesc electroni. Radiaţiile 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 spaţiul în care există un câmp magnetic de inducţie $\vec{B}$, asupra acestuia acţionează o forţă magnetică $\vec{F} = e\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$ respectiv $F = evB\sin\alpha$. Mărimea şi orientarea acestei forţe depinde de valorile absolute ale celor doi vectori precum şi de valoarea unghiului α pe care îl fac ei, vectorul $\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$ fiind un vector perpendicular pe $\vec{v}$.

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

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

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

Cunoscând diferenţa de potenţial 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, experientele au arătat că aceasta nu este riguros constantă, ci depinde într-o anume măsură de viteza electronilor. Acest fenomen se explică prin teoria relativităţii. 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 faţă de observator.

3. Dispozitivul experimental

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

- un dispozitiv creat pentru funcţionarea 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 şi culori diferite;

Fig. 1

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

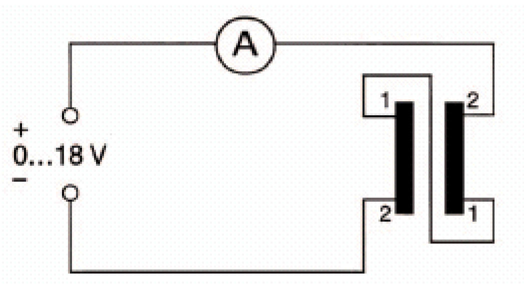

Fig. 2

Valoarea maximă permisă a curentului continuu este de 5A.

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

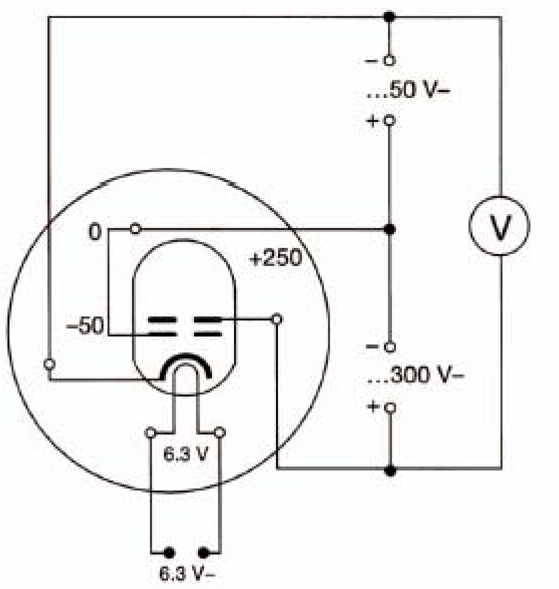

Fig. 3

Electronii emişi de tunul electronic sunt acceleraţi într-un câmp electric şi pătrund după o direcţie perpendiculară, în spaţiul 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 – inducţia câmpului magnetic;

r – raza traiectoriei electronilor;

Dacă polaritatea câmpului magnetic este corectă poate fi observată o traiectorie curbă luminoasă ce coincide cu traiectoria electronilor. Luminescenţa apare în urma ciocnirilor electronilor cu moleculele de hidrogen rarefiat din interiorul balonului. Prin variaţia câmpului magnetic şi a vitezei electronilor (variaţia tensiunii de accelerare) se obţin 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 şi sarcină e este accelerat la o diferenţă de potenţial U, acesta capătă o energie cinetică:

$$eU = \frac{1}{2} m_0 v^2 \tag{1}$$

unde v reprezintă viteza electronului.

Într-un câmp magnetic $\vec{B}$, asupra electronului acţionează o forţă Lorentz perpendiculară atât pe direcţia câmpului cât şi pe direcţia vitezei.

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \tag{2}$$

Dacă câmpul magnetic este uniform, aşa 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 degenerează într-un cerc perpendicular pe câmp.

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

Obţinem astfel:

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

Din ecuaţiile (1) şi (3) obţinem:

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

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

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

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

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

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

Caracteristicile bobinelor sunt:

$R = 0{,}150$ m şi $n = 130$

4. Modul de lucru

- Se alimentează cele două surse S_1 şi S_2 prin comutatorul de reţea. Se pornesc cele două multimetre (ampermetrul şi 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 luminiscenţă verticală, care coincide cu traiectoria electronilor;

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

Pentru valorile razelor r stabilite în tabel, se citesc intensităţile curenţilor.

5. Prelucrarea datelor experimentale

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

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 rezistenţa bobinelor Helmholtz, până când se obţine traiectoria circulară cu diametrul respectiv raza dorită, citindu-se în acel moment valoarea intensităţii curentului prin bobine.

Pentru aceeaşi valoare a tensiunii, prin aceeaşi metodă, se obţin intensităţile curenţilor caracteristici tuturor traiectoriilor.

Obţinerea unei valori cât mai exacte a sarcinii specifice presupune repetarea de cel puţin trei ori, în condiţii identice a operaţiei de măsurare a intensităţii curentului, calculându-se o valoare medie. Cu această valoare medie a curentului va fi calculată inducţia câmpului magnetic relaţia (6).

Cunoscând tensiunea *U*, inducţia magnetică *B*, şi raza *r* a traiectoriei electronilor, sarcina specifică e/m_0 poate fi calculată folosind relaţia (4).

Datele experimentale se trec într-un tabel de forma:

	r = 0,02 m					*r* = 0,03 m					*r* = 0,04 m					*r* = 0,05 m				
U(V)	I_1	I_2	I_3	$\bar{I}$(A)	$\frac{e}{m_0}\ \frac{A \cdot s}{kg}$	I_1	I_2	I_3	$\bar{I}$(A)	$\frac{e}{m_0}\ \frac{A \cdot s}{kg}$	I_1	I_2	I_3	$\bar{I}$(A)	$\frac{e}{m_0}\ \frac{A \cdot s}{kg}$	I_1	I_2	I_3	$\bar{I}$(A)	$\frac{e}{m_0}\ \frac{A \cdot s}{kg}$
100																				
120																				
140																				

ANEXĂ

Bobinele Helmholtz sunt două bobine circulare plate, care pot fi asimilate cu două spire circulare, cu aceeaşi rază R, parcurse de acelaşi curent I, în acelaşi sens. Distanţa dintre cele două bobine se notează cu a. Inducţia magnetică $\vec{B}$ într-un punct situat pe axă la distanţa z de punctul aflat la mijlocul distanţei dintre bobine se poate calcula astfel:

Conform teoremei lui Biot şi Savart, inductia magnetică elementară are expresia:

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

unde:

d l-elementul de lungime de curent.

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

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

$$\mathrm{d}B_z = \mathrm{d}B\cos\theta = \frac{\mu_0}{4\pi r^2} I\,\mathrm{d}l\cos\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} I\,\mathrm{d}l\frac{R}{r^3}$$

deoarece:

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

Inducţia totală creată de o spiră va fi:

$$B = \int \mathrm{d}B_z = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} IR \int \mathrm{d}l = \frac{\mu_0}{2R} I \left(\frac{R}{r}\right)^3$$

deoarece:

$$\int \mathrm{d}l = 2\pi R$$

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 spiră 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 acelaşi 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:

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

Câmpul total $\vec{B}$ creat în acel punct de sistemul celor două bobine este egal cu suma dintre $\vec{B}_1$ şi $\vec{B}_2$. Curenţii având acelaşi sens se obţine:

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

***Observaţie*:** În $x = 0$, $\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}x} = 0$. În acest punct, inducţia $\vec{B}$ prezintă un extrem.

Pentru a vedea ce fel de extrem este, se reprezintă grafic B_1 şi B_2 şi $B = B_1 + B_2$ în funcţie 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 obţine o inducţie practic uniformă.