IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA

Determinarea sarcinii specifice a electronului

1. Scopul lucrării

Studiul mișcării electronilor într-un câmp magnetic uniform și determinarea valorii sarcinii specifice a electronului

2. Principiul lucrării

Electronii emiși de un filament metalic încălzit, accelerați de un câmp electric, pătrund într-o regiune unde este un câmp magnetic uniform. Datorită forței Lorentz, traiectoria electronilor este elicoidală, când unghiul dintre viteza electronilor și direcția câmpului magnetic este în intervalul $(0, \frac{\pi}{2})$, respectiv circulară, când unghiul este $\frac{\pi}{2}$ (viteza electronilor perpendiculară pe direcția câmpului magnetic). Valoarea sarcinii specifice se obține din valorile tensiunii de accelerare, inducției magnetice și razei orbitei circulare a electronului

3. Teoria lucrării

Dacă un electron (în repaus) de masă m și sarcină -e este accelerat de o diferență de potențial U, el va căpăta energia cinetică Ec:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2, \; v = \text{viteza electronului}$$

Dacă electronul, care are viteza $\vec{v}$, se mișcă într-o regiune unde este un câmp magnetic de inducție $\vec{B}$, asupra acestuia va acționa forța Lorentz $\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$

Dacă câmpul magnetic este uniform, așa cum ~~(aproape)~~ este cazul într-o configurație de tip Helmholtz a două bobine, traiectoria electronilor este elicoidală în lungul liniilor de câmp magnetic. Când viteza electronilor este perpendiculară pe direcția câmpului magnetic, traiectoria devine circulară (cum câmpul magnetic nu schimbă mărimea vitezei, ci doar direcția acesteia, mișcarea este circulară uniformă).

Forța Lorentz este o forță centripetă, astfel că legea a doua a lui Newton se scrie

$$\frac{mv^2}{r} = evB, \; r = \text{raza traiectoriei circulare}$$

Expresia pentru sarcina specifică: $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$

Inducția câmpului magnetic produs de 2 bobine Helmholtz în centrul sistemului este: $B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 n \frac{I}{R}$, unde μ_0 = constanta magnetică a vidului

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} NA^{-2}$

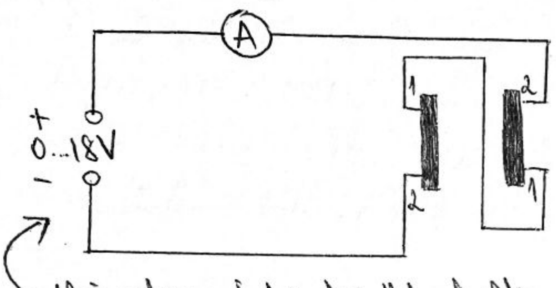
n = numărul de spire din fiecare bobină

R = raza bobinelor

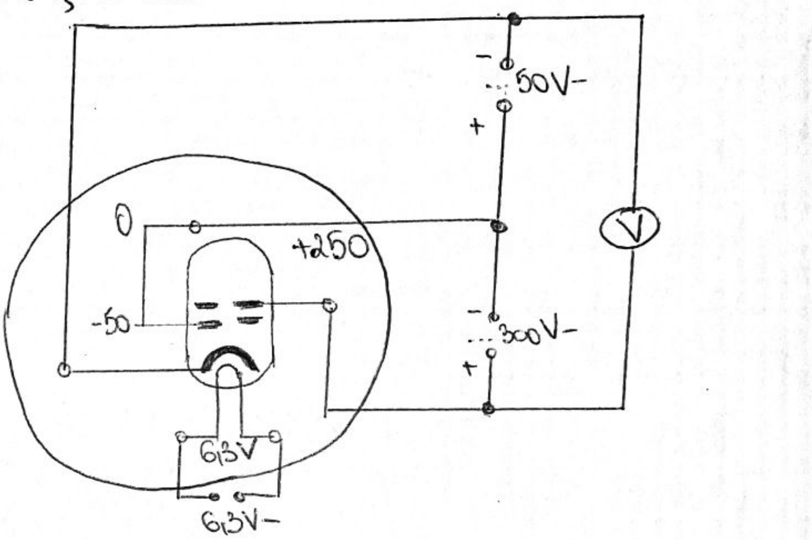
$$\Rightarrow I^2 = \frac{125}{32} \frac{R^2}{\mu_0^2 n^2} \cdot \frac{1}{\frac{e}{m}} \cdot \frac{U}{r^2}, \quad \frac{e}{m} = \frac{125}{32} \frac{R^2}{\mu_0^2 n^2} \cdot \frac{U}{r^2 I^2}$$

4. Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental pentru determinarea sarcinii specifice a electronului cuprinde:
- un tub din sticlă, umplut cu neon la joasă presiune, în care se găsește tunul electronic;
- o pereche de bobine Helmholtz;
- sursa de alimentare a bobinelor (max 18V/5A la puterea de 2W);
- sursa de alimentare a filamentului tunului de electroni (6,3V/2A), a grilei de selecție și focalizare a electronilor (0-50V) și a electrozilor de accelerare a electronilor (0-300V);
- ampermetru (scala de 10A) pentru măsurarea curentului prin bobine;
- voltmetru (scala de 600V) pt măsurarea tensiunii de grilă și a tensiunii de accelerare;
- cabluri de legătură, de diverse lungimi și culori.



Alimentarea bobinelor Helmholtz



Alimentarea tunului electronic, din tubul cu neon la joasă presiune

5. Modul de lucru și prelucrarea datelor experimentale

Înainte de alimentarea electrică a dispozitivului experimental, se verifică că tensiunile de grilă, respectiv de accelerare, precum și curentul prin bobinele Helmholtz sunt reglate pentru valori nule (prin rotirea spre stânga a potențiometrelor corespunzătoare).

După alimentarea electrică a dispozitivului experimental (tun electronic, bobine) cu ajutorul celor două surse de alimentare și pornirea celor 2 multimetre, se verifică dacă tensiunea de accelerare și curentul prin bobine sunt nule. Se mărește, de la potențiometrul din stânga al sursei de alimentare a tunului electronic, tensiunea pe grilă la o valoare de 20V, apoi de la potențiometrul din dreapta al sursei de alimentare a tunului electronic tensiunea de accelerare până la 120V, observându-se în același timp traiectoria (traiectoria este materializată de o zonă luminoasă roșie: unii dintre electronii accelerați excită prin ciocniri inelastice atomii de neon din tubul de observare, iar prin dezexcitarea radiativă a acestor atomi se emite lumină preponderent roșie).

Se reglează, de la potențiometrul din dreapta al sursei de alimentare a bobinelor un curent maxim admis (curent de limitare) de 3A, apoi se mărește de la potențiometrul din stânga al aceleiași surse de alimentare, curentul care trece prin bobine și se observă modificarea traiectoriei electronului, adică micșorarea razei de curbură pe măsura creșterii curentului electric prin bobine (inducția magnetică crește pe măsura creșterii intensității curentului electric prin bobină) (scăderea razei traiectoriei circulare a electronilor odată cu creșterea inducției magnetice, pentru o tensiune de accelerare dată, este un aspect fundamental). Se pot obține astfel și razele de 5,4,3 sau 2 cm (pentru aceste raze, electronii lovesc niște repere din tubul de observație, repere care apar iluminate).

La începutul experienței, trebuie de asemenea verificat calitativ un alt aspect fundamental anume că pentru un curent constant prin bobine, raza traiectoriei circulare a electronilor crește odată cu creșterea vitezei lor.

Pentru una din aceste raze și pentru tensiunea de accelerare de 160V se măsoară valoarea curentului prin bobine. Pentru verificarea preciziei de măsurare, se repetă măsurarea curentului de 5 ori. Rezultatele se trec în tabelul 1:

r (cm)	U (V)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	I_4 (A)	I_5 (A)	I_m (A)	σ_{I_m} (A)	ε_{I_m}	B (T)	⟨e/m⟩ (C/Kg)
4	160	1,58	1,59	1,59	1,60	1,62	1,596	$6{,}782\cdot10^{-3}$	$4{,}249\cdot10^{-3}$	$6{,}74\cdot10^{-4}$	$1{,}63\cdot10^{11}$
											$\sigma_{\langle e/m\rangle}$
											$13{,}89\cdot10^{8}$

unde $I_m = \frac{\sum_{K=1}^{N} I_K}{N}$, $\sigma_{I_m} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^{N}(I_K - I_m)^2}{N(N-1)}}$, $\varepsilon_{I_m} = \frac{\sigma_{I_m}}{I_m}$, $N=5$

Se calculează valoarea medie a curentului, se compară fiecare valoare a curentului cu valoarea medie și se calculează sarcina specifică medie folosind formula $\frac{e}{m} = \frac{125}{32}\cdot\frac{R^2}{\mu_0^2 n^2}\cdot\frac{U}{r^2 I^2}$ $(n=154, R=0{,}2\,m)$. Se calculează abaterea standard a mediei sarcinii specifice $\sigma_{\langle e/m\rangle} = \varepsilon_{\langle e/m\rangle}\cdot\langle\frac{e}{m}\rangle$, unde $\varepsilon_{\langle\frac{e}{m}\rangle} = 2\varepsilon_{I_m}$. Se compară sarcina specifică medie și abaterea cu valorile cele mai precise.

$$I_m = \frac{\sum_{K=1}^{N} I_K}{N} = \frac{I_1+I_2+I_3+I_4+I_5}{5} = \frac{1}{5}(1{,}58+1{,}58+1{,}59+1{,}60+1{,}62) = \frac{1}{5}\cdot 7{,}98 = 1{,}596$$

$$\sigma_{I_m} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^{N}(I_K-I_m)^2}{N(N-1)}} = \sqrt{\frac{(I_1-I_m)^2+(I_2-I_m)^2+(I_3-I_m)^2+(I_4-I_m)^2+(I_5-I_m)^2}{5(5-1)}}$$

$$\sqrt{\frac{(1{,}58-1{,}596)^2+(1{,}59-1{,}596)^2+(1{,}59-1{,}596)^2+(1{,}60-1{,}596)^2+(1{,}62-1{,}596)^2}{20}} = \sqrt{\frac{0{,}00092}{20}}$$

$$= \sqrt{\frac{92\cdot10^{-5}}{20}} = \sqrt{46\cdot10^{-6}} = 10^{-3}\sqrt{46} = 6{,}782329\cdot10^{-3} \simeq 0{,}006782 33$$

$$\varepsilon_{I_m} = \frac{\sigma_{I_m}}{I_m} = 0{,}0042495802 = 4{,}249\cdot10^{-3}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}\mu_0 n\frac{1}{R} = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}\cdot 4\pi\cdot10^{-7}\cdot154\cdot\frac{1}{0{,}2} = \sqrt{\frac{16\cdot4}{25\cdot5}}\cdot4\cdot3{,}14\cdot10^{-7}\cdot154\cdot\frac{1}{0{,}2}$$

$$= \sqrt{\frac{64}{125}}\cdot9420\cdot10^{-7} = \sqrt{0{,}512}\cdot9420\cdot10^{-7} = 0{,}715541\cdot9420\cdot10^{-7}$$

$$= 6740{,}4033\cdot10^{-7}\,T = 6{,}74\cdot10^{-4}\,T$$

Se calculează sarcina specifică medie și abaterea standard a mediei sarcinii specifice ca mărime calculată.

$$\frac{e}{m} = \frac{125}{32} \cdot \frac{R^2}{\mu_0^2 n^2} \cdot \frac{U}{r^2 i^2}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ N/A^2 \quad U = 160V$$

$n = 154$ spire $\quad r = 4\,cm = 4 \cdot 10^{-2} m$

$R = 0{,}2\ m$

$$\dot{I}_1 = 1{,}58: \frac{e}{m} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}2^2}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-14} \cdot 154^2} \cdot \frac{160}{16 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}58^2} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}04 \cdot 160 \cdot 10^{18}}{16^2 \cdot 3{,}14^2 \cdot 154^2 \cdot 1{,}58^2} =$$

$$= \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}025 \cdot 10^{18}}{9{,}8596 \cdot 23716 \cdot 2{,}4964} = \frac{3{,}125 \cdot 10^{18}}{18\,679\,484{,}640481} = \frac{312\,500\,000 \cdot 10^{10}}{18\,679\,484{,}640481}$$

$$= 16{,}73 \cdot 10^{10} (C/kg) = 1{,}673 \cdot 10^{11} (C/kg)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_3 = 1{,}59: \frac{e}{m} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}2^2}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-14} \cdot 154^2} \cdot \frac{160}{16 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}59^2} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}04 \cdot 160 \cdot 10^{18}}{16^2 \cdot 3{,}14^2 \cdot 154^2 \cdot 1{,}59^2} =$$

$$= \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}025 \cdot 10^{18}}{9{,}8596 \cdot 23716 \cdot 2{,}5281} = \frac{3{,}125 \cdot 10^{18}}{18\,916\,682{,}070021} = 16{,}52 \cdot 10^{10} = 1{,}652 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$\dot{I}_4 = 1{,}60: \frac{e}{m} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}2^2}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-14} \cdot 154^2} \cdot \frac{160}{16 \cdot 10^{-14} \cdot 1{,}6^2} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}025 \cdot 10^{18}}{9{,}8596 \cdot 23716\,2{,}56} = \frac{312\,500\,000 \cdot 10^{10}}{1\,915\,5976{,}013312}$$

$$= 16{,}3139 \cdot 10^{10} = 1{,}631 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$\dot{I}_5 = 1{,}62: \frac{e}{m} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}2^2}{(4\pi)^2 \cdot 10^{-14} \cdot 154^2} \cdot \frac{160}{16 \cdot 10^{-14} \cdot 1{,}62^2} = \frac{125}{32} \cdot \frac{0{,}025 \cdot 10^{18}}{9{,}8596 \cdot 23716 \cdot 2{,}6244} =$$

$$= \frac{312\,500\,000 \cdot 10^{10}}{19\,637\,253{,}441146} = 15{,}913 \cdot 10^{10} = 1{,}591 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$\langle e/m \rangle = \frac{\sum_{k=1}^{4} \frac{e}{m}}{n} = \frac{8{,}199 \cdot 10^{11}}{5} = 1{,}6398 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$\sigma_{\langle e/m \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N} \left(\left(\frac{e}{m}\right)_k - \left\langle \frac{e}{m} \right\rangle \right)^2}{N(N-1)}} =$$

$$= 10^{11} \sqrt{\frac{(1{,}673 - 1{,}639)^2 + (1{,}652 - 1{,}639)^2 + (1{,}652 - 1{,}639)^2 + (1{,}631 - 1{,}639)^2 + (1{,}591 - 1{,}639)^2}{20}}$$

$$= 10^{11} \cdot \sqrt{\frac{0{,}003862}{20}} = 10^{11} \sqrt{\frac{3862 \cdot 10^{-6}}{20}} = 10^{11} \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{3862}{20}} = 10^{8} \cdot \sqrt{193{,}1} =$$

$$= 10^{8} \cdot 13{,}8960426021$$

Se repetă măsurătorile și pentru alte raze și alte tensiuni de accelerare și se calculează sarcina specifică.

	r=5cm		r=4cm		r=3cm		r=2cm	
U (V)	I (A)	e/m (C/Kg)	I (A)	e/m (C/Kg)	I (A)	e/m (C/Kg)	I (A)	e/m (C/Kg)
120	1,18	$1,4397 \cdot 10^{11}$	1,39	$1,6211 \cdot 10^{11}$	1,62	$2,1218 \cdot 10^{11}$		
140	1,33	$1,3221 \cdot 10^{11}$	1,50	$1,6241 \cdot 10^{11}$	1,73	$2,1406 \cdot 10^{11}$	—	—
160	1,39	$1,3834 \cdot 10^{11}$	1,65	$1,5340 \cdot 10^{11}$	2,01	$1,8347 \cdot 10^{11}$	—	—
180	1,45	$1,4302 \cdot 10^{11}$	1,70	$1,6254 \cdot 10^{11}$	2,08	$1,9306 \cdot 10^{11}$	—	—
200	1,54	$1,4087 \cdot 10^{11}$	1,81	$1,5935 \cdot 10^{11}$	2,13	$2,0455 \cdot 10^{11}$	—	—
220	1,67	$1,3177 \cdot 10^{11}$	1,92	$1,5577 \cdot 10^{11}$	2,23	$2,0529 \cdot 10^{11}$	—	—
240	1,75	$1,3091 \cdot 10^{11}$	2,00	$1,5661 \cdot 10^{11}$	2,32	$2,0691 \cdot 10^{11}$	—	—
260	1,82	$1,3112 \cdot 10^{11}$	2,10	$1,5339 \cdot 10^{11}$	2,35	$2,1846 \cdot 10^{11}$	—	—
280	1,98	$1,1931 \cdot 10^{11}$	2,23	$1,4696 \cdot 10^{11}$	2,54	$2,0139 \cdot 10^{11}$	—	—
300	2,11	$1,1256 \cdot 10^{11}$	2,34	$1,4301 \cdot 10^{11}$	2,63	$2,0126 \cdot 10^{11}$	—	—

IORDACHE MĂDĂLINA GABRIELA 313CA

Pentru tensiunea de accelerare $U=200V$ se completează tabelul următor:

U = 200V					
Nr. det.	r(cm)	1/r (cm⁻¹)	I(A)	p (A·cm)	e/m (C/Kg)
1	3	0,33	2,13	4,53	$4,07\cdot10^{11}$
2	4	0,25	1,81		
3	5	0,20	1,54		

Se reprezintă dependența intensității curentului prin bobine în funcție de raportul $\frac{1}{r}$ pentru o tensiune de accelerare $U=200$ V. Conform formulei $\frac{e}{m}=\frac{125}{32}\cdot\frac{R^2}{\mu_0^2 n^2}\cdot\frac{U}{R^2 I^2}$ această dependență este dată de $I=\frac{5\sqrt{5}}{4\sqrt{2}}\,\frac{R}{\mu_0 n}\cdot\frac{\sqrt{U}}{\sqrt{e/m}}\cdot\frac{1}{r}$, deci este o dreaptă care trece prin origine și are panta $p=\frac{5\sqrt{5}}{4\sqrt{2}}\cdot\frac{R_1}{\mu_0 n}\,\frac{\sqrt{U}}{\sqrt{\frac{e}{m}}}$, de unde se obține valoarea sarcinii specifice $\frac{e}{m}=\frac{125}{32}\cdot\frac{R^2}{\mu_0^2 n^2}\cdot\frac{U}{p^2}$.

Calculez panta acestei drepte:

$$p=\frac{\Delta I}{\Delta(1/r)}=\frac{2,13-1,54}{0,33-0,2}=\frac{0,59}{0,13}=4,53\,A\cdot cm=4,53\cdot10^{-2}$$

Se obține valoarea sarcinii specifice

$$\frac{e}{m}=\frac{125}{32}\cdot\frac{R^2}{\mu_0^2 n^2}\cdot\frac{U}{p^2}=\frac{125}{32}\cdot\frac{0,2^2}{(4\pi)^2\cdot154^2}\cdot\frac{200\cdot10^{14}}{4,53^2\cdot10^{-4}}=$$

$$=\frac{125\cdot0,04\cdot200\cdot10^{14}\cdot10^{4}}{32\cdot16^2\cdot3,14^2\cdot154^2\cdot20,5209}=\frac{10\,000\,000\cdot10^{14}}{1\,915\,537\,601,3312}=4,07\cdot10^{11}$$

IORDACHE MADALINA GABRIELA 313CA