

DETERMINAREA SARCINII SPECIFICE A ELECTRONULUI PRIN METODA DE VIAȚIILOR ÎN CÂMPURI ELECTRICE ȘI MAGNETICE TRANSVERSALE

Obiectul lucrării

Prin această lucrare practică se urmărește verificarea legilor de interacțiune a electronilor cu câmpurile electrice și magnetice, iar în final, determinarea sarcinii specifice a electronului, utilizând metoda compensării unei deviații electrice, cu o deviație magnetică de sens contrar.

Bazele teoretice

Studiul mișcării electronilor în câmpuri electrice și magnetice a avut o deosebită importanță conducând la înțelegerea forțelor care țin electronii legați în atomi, la dovedirea unor proprietăți fundamentale ca: variația masei cu viteza, existența undei asociate și multe altele. Din punct de vedere practic, acest studiu a condus la realizarea unor aparate foarte complexe, ca tuburi de televiziune, microscopul electronic, spectrograful de masă, batatronul etc.

De mult, s-a stabilit că asupra unui electron cu sarcină electrică e , care se mișcă cu viteza v , într-un câmp magnetic cu inducția magnetică B , acționează o forță, denumită și forța Lorentz:

$$\vec{F} = -e \cdot [\vec{v} \times \vec{B}] \quad (1)$$

În cele ce urmează, vom analiza mișcarea electronului într-un câmp magnetic perpendicular pe viteza electronului.

Fie o zonă dreptunghiulară de lungime “ l ” (vezi fig. 1) în care câmpul magnetic este constant și diferit de zero. Câmpul este orientat perpendicular pe planul figurii. Viteza electronilor este perpendiculară pe inducția $\vec{B}$. În acest caz, asupra unui electron acționează forța cu valoarea absolută F

$$F = ev \cdot B \quad (2)$$

orientată într-o direcție perpendiculară pe v și pe B ducând la devierea electronului de la direcția inițială, așa cum se vede în fig.1.

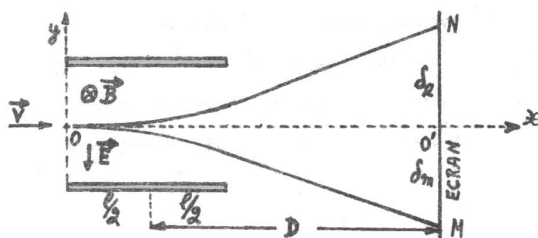


Figura 1. Deviația electronului

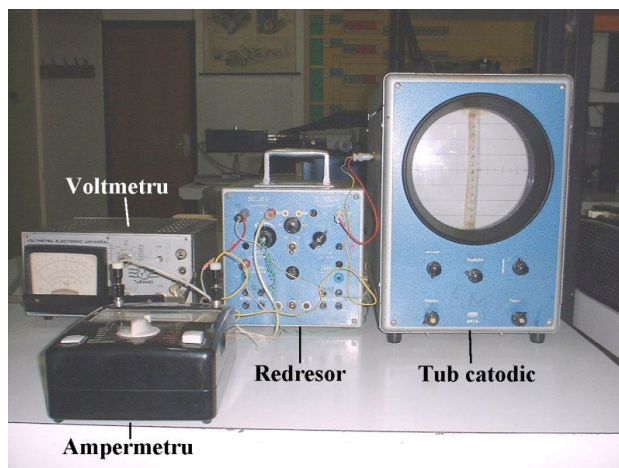


Figura 2. Instalația experimentală

Deoarece forța Lorentz acționează perpendicular pe viteză, ea nu poate să modifice mărimea vitezei, schimbând doar orientarea ei. Calculul arată că traiectoria electronului va fi un cerc de rază r , situat perpendicular pe B , adică pe planul hârtiei. Putem obține ușor raza de curbură " r " a cercului punând condiția de echilibru între forța Lorentz și forța centrifugă ce apare în acest caz.

$$e \cdot v \cdot B = \frac{mv^2}{r} \quad (3) \quad m \text{ fiind masa electronului.}$$

Altfel scris,

$$r = \frac{mv}{e \cdot B} \quad (4)$$

Cum m , v , e și B sunt constante (cazul nerelativist), rezultă că " r " este constant și traiectoria este un cerc cu rază constantă.

În momentul când electronul părăsește zona cu câmp magnetic, inducția devine nulă ($B=0$), forțele care acționau asupra lui se anulează, iar mișcarea devine rectilie și uniformă, până la punctul (M) unde electronul lovește ecranul fluorescent. Segmentul OM reprezintă deviația de la direcția inițială pe care a suferit-o electronul sub acțiunea câmpului magnetic. Vom nota această deviație cu δ_m . Ne vom limita la deviațiile mici. În acest caz, calculul dă pentru deviația magnetică expresia: (vezi bibliografia)

$$\delta_m = \frac{e}{m} \cdot B \cdot l \cdot D \cdot \frac{1}{v} \quad (5)$$

Electronii pot fi deviați de la traiectoria rectilie și de către un câmp magnetic. Vom considera numai deviația produsă de către un câmp electric perpendicular pe viteza inițială a electronilor. Dacă în aceeași zonă de lungime l va acționa un câmp electric E constant, orientat așa cum se vede în fig. 1, perpendicular pe viteza inițială v , atunci asupra electronului va acționa forța constantă:

$$\vec{F} = -e\vec{E}$$

În afara condensatorului forța este nulă, iar traiectoria devine rectilie, atingând ecranul fluorescent într-un punct oarecare N. Distanța ON reprezintă deviația electronului de la direcția inițială. Calculul dă pentru deviația electronică (vezi bibliografia) expresia:

$$\delta_e = \frac{e}{m} \cdot E \cdot l \cdot D \cdot \frac{1}{v^2} \quad (6)$$

Viteza electronilor poate fi calculată știind că aceștia au fost accelerați în prealabil, străbătând o diferență de potențial V . În acest caz:

$$\frac{mv^2}{2} = e \cdot V \quad \text{și} \quad V = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

Cu această expresie a vitezei, deviațiile electrice și magnetice devin:

$$\delta_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{D}{V} \cdot E \quad (7)$$

$$\delta_m = \frac{l \cdot D}{\sqrt{2V}} \cdot \sqrt{\left(\frac{e}{m} \cdot B\right)} \quad (8)$$

Dispozitivul experimental

Piesa principală a dispozitivului experimental constă dintr-un tub catodic, redat schematic în fig. 3.

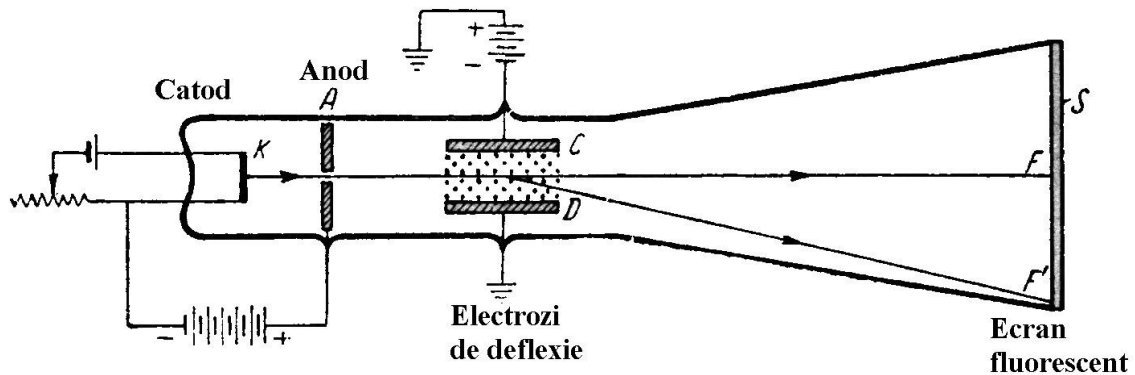


Fig. 3. Schema de alimentare a tubului catodic

Sub acțiunea unui filament încălzit electric, catodul “K” devine incandescent emițând electroni prin emisie termoelectronică. Electronii emiși sunt atrași de anodul pozitiv A. Un număr de electroni scapă prin orificiul practicat în anod și își continuă drumul prin condensatorul C, până la ecranul fluorescent E.

Sub acțiunea electronilor, pe ecran apare o pată luminoasă. Variind potențialul electrodului intermediar F, acesta lucrează ca o lentilă electrostatică cu focar variabil, focalizând electronii într-un punct pe ecran. Din acest motiv electrodul F se mai numește și electrodul de focalizare. În acest fel, pata luminoasă de pe ecran poate fi făcută aproape punctiformă. Intensitatea fascicolului de electroni, deci și a petei luminoase poate fi micșorată sau mărită, variind potențialul aplicat electrodului “N”. În aceeași zonă de lungime “l” unde este plasat condensatorul C este așezat și un solenoid “S” de o parte și de alta a tubului catodic, astfel încât câmpul magnetic creat de acesta să fie perpendicular pe câmpul electric și pe viteza electronilor.

Alegând în mod convenabil semnul diferenței de potențial “U” aplicat pe condensator și sensul curentului “I” din solenoid, putem face ca deviația electrică să se facă în sus, iar deviația magnetică în jos.

Ecranul fluorescent este prevăzut cu o scală gradată, pe care pot fi citite deviatiile δ_e și δ_m . Tubul catodic este vidat.

Fie “d” distanța dintre plăcile condensatorului. Atunci:

$$E = \frac{U}{d} \cdot \frac{\text{Volt}}{\text{metru}}$$

Fie “n” numărul de spire pe metru ale solenoidului. Atunci pentru un solenoid de lungime infinită:

$$B = \mu \cdot n \cdot I$$

μ fiind permeabilitatea magnetică, în cazul nostru egală cu permeabilitatea vidului:

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ henry / metru}$$

Când solenoidul nu are lungime infinită, cum este cazul și aici, câmpul magnetic are o valoare mai mică și inducția B devine:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I \cdot g$$

unde “g” este un factor subunitar ce poate fi calculat în funcție de forma solenoidului.

Cu valorile obținute pentru E și B, deviațiile electrice și magnetice date de acest dispozitiv experimental pot fi transcrise astfel:

$$\delta_e = \frac{ID}{2d} \cdot \frac{U}{V}$$

$$\delta_m = \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{ID\mu_0 ng}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I}{\sqrt{V}}$$

Notând factorii constanți:

$$\frac{ID}{2d} = a \text{ și } \frac{ID\mu_0 ng}{\sqrt{2}} = b,$$

obținem:

$$\delta_e = a \frac{U}{V}$$

$$\delta_m = b \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{I}{\sqrt{V}} \quad (9)$$

Tubul catodic este montat în cutia unui redresor, alimentat la rețeaua de curent alternativ 220V, care asigură tensiunea de accelerare $v=1000$ V, precum și tensiunile necesare pentru reglajul focalizării și intensității fasciculului de electroni. Aceste reglaje pot fi făcute rotind butoanele corespunzătoare de pe panoul frontal. Tensiunea pentru deviația electrică, precum și curentul din solenoid sunt asigurate de un al doilea redresor alimentat tot de la rețeaua de curent alternativ 220V, conform schemei din fig. 4.

Modul de lucru

Se conectează cele două redresoare la rețeaua de curent alternativ 220V.

Dupa apariția spotului se micșorează luminozitatea acestuia până la minimum posibil, iar dimensiunea lui se reduce, de asemenea, cât mai mult, prin acționarea butoanelor de reglaj a intensității și focalizării.

1) Verificarea liniarității deviației electrice cu câmpul electric, respectiv cu potențialul U aplicat pe condensator:

$$V=1000 \text{ V} \quad \delta_e = \frac{a}{1000} \cdot U$$

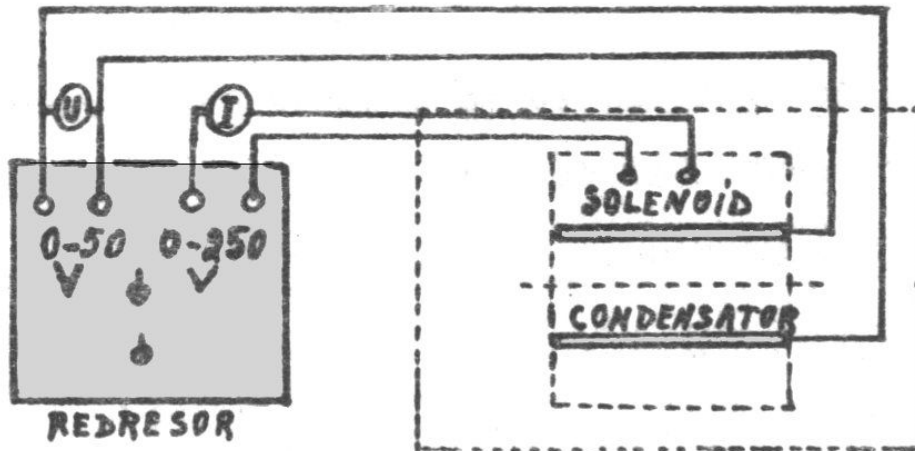


Fig. 4. Schema legăturilor electrice ale condensatorului (C) și ale solenoidului (S)

Se determină deviația electrică pentru cel puțin 10 valori ale lui U în intervalul 0 - 50V.

Se reprezintă grafic $\delta_e = f(U)$. Rezultă o dreaptă. Se determină constanta "a" din panta dreptei obținute. Deviația electrică se va exprima în metri.

2) Verificarea liniarității deviației magnetice cu câmpul magnetic, respectiv cu intensitatea curentului din solenoid

$$\delta_m = \frac{b}{\sqrt{1000}} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot I$$

Se determină deviația magnetică pentru cel puțin 10 valori diferite ale curentului I în domeniul (0 - 0,050) A. Pentru obținerea unor curenți mai mari de 0,025 A, se va acționa comutatorul din partea superioară a redresorului al doilea.

Se reprezintă grafic $\delta_m = f(I)$ Trebuie să rezulte o dreaptă.

3) Determinarea sarcinii specifice e/m prin metoda compensației deviațiilor electrice și magnetice

Din egalitatea:

$$\delta_e = \delta_m$$

rezultă:

$$\frac{e}{m} = \frac{a^2}{b^2 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{U}{I}\right)^2$$

Constanta aparatului $b=4,73 \cdot 10^{-5}$ (in SI); $b^2 = 22,41 \cdot 10^{-10}$. Tensiunea de accelerare $v=10^3$ V.

Practic, se vor alege 10 deviații magnetice corespunzătoare la diferite valori ale curentului alegând de preferință deviații magnetice mai mari.

Procedând astfel, imprecizia în determinarea corectă a poziției ce corespunde la deviația nulă nu va influența prea mult rezultatul final. Pentru fiecare deviație magnetică obținută se va suprapune o deviație electrică - de semn contrar - astfel stabilită, însă spotul luminos să revină în origine. În acest caz, cele două deviații sunt egale și este valabilă relația de mai sus pentru e/m . Se determină cele 10 valori corespunzătoare ale tensiunii U .

Practic, raportul U/I trebuie să fie constant. Se reprezintă grafic $U/I = f(I)$.

Din cele 10 valori obținute pentru U/I se calculează e/m , eroarea δ a unei măsurători și eroarea δ mediei.

Datele experimentale vor fi trecute într-un tabel de forma:

Nr. crt	I (A)	U (V)	U/I	$(U/I)^2$	$10^{-11} e/m$	Δ_i	Δ_i^2
1							
2							
3							
.							
n							

n - fiind numărul de măsurători efectuate.

4) Să se rezolve practic și teoretic următorul caz:

În timpul ultimei determinări s-a aplicat o deviație magnetică apoi una electrică, obținând o deviație totală măsurabilă. Înainte de a face compensația celor două deviații, constatați că voltmetrul lipsește din montaj. Neavând la dispoziție alt voltmetru și folosind montajul existent, fără modificări, cautați o soluție teoretică și practică de a putea folosi și ultima determinare, la calculul sarcinii specifice. Soluția se va elabora pe loc, cu aparatura în funcțiune, fără a utiliza indicațiile voltmetrului.

Bibliografie:

Lucrări practice de Fizică atomică, București 1984