

Determinarea sarcinii specifice a electronului prin metoda deviatiilor in campuri electrice si magnetice transversale

1 Obiectul lucrarii

Prin aceasta lucrare practica se urmareste verificarea legilor de interactiune a electronilor cu campurile electrice si magnetice, iar in final, determinarea sarcinii specifice a electronului, utilizand **metoda compensarii** unei deviatii electrice, cu o deviatie magnetica de sens contrar.

2 Bazele teoretice

Studiul miscarii electronilor in campuri electrice si magnetice a avut o deosebita importanta conducand la intelegerea fortelor care tin electronii legati in atomi, la dovedirea unor proprietati fundamentale ca variatia masei cu viteza, existenta undei asociate si multe altele. Din punct de vedere practic, acest studiu a condus la realizarea unor aparate foarte complexe, ca tubul de televiziune, microscopul electronic, spectrograful de masa, beta-tronul, etc. Demult, s-a stabilit ca asupra unui electron cu sarcina electrica e , care se misca cu viteza \mathbf{v} , intr-un camp magnetic cu inductia magnetica \mathbf{B} , actioneaza o forta, denumita si forta Lorentz:

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

In cele ce urmeaza, vom analiza miscarea electronului intr-un camp magnetic perpendicular pe viteza electronului.

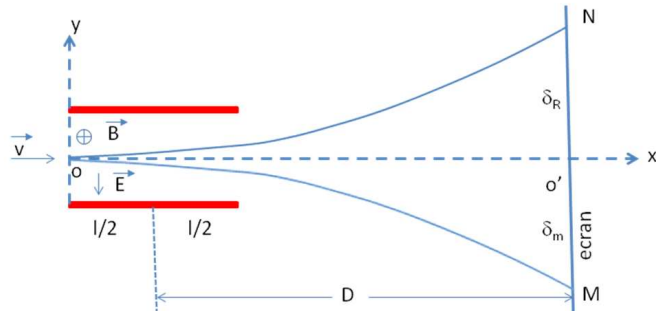


Figure 1: Deviatia electronului

Fie o zona dreptunghiulara de lungime "l" (vezi fig.1) in care campul magnetic este constant si diferit de zero. Campul este orientat perpendicular pe planul figurii. Viteza electronilor este perpendiculara pe inductia \vec{B} . In acest caz, asupra unui electron actioneaza forta cu valoarea absoluta \mathbf{F} :

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

orientata intr-o directie perpendiculara pe \mathbf{v} si pe \mathbf{B} ducand la devierea electronului de la directia initiala, asa cum se vede in figura 1.

Deoarece forta Lorentz actioneaza perpendiculara pe viteza, ea nu poate sa modifice marimea vitezei, schimband doar orientarea ei. Calculul arata ca traiectoria electronului va fi un cerc de raza \mathbf{R} , situat perpendicular pe \mathbf{B} , adica in planul hartiei. Putem obtine usor raza de curbura "R" a cercului punand conditia de echilibru intre forta Lorentz si forta centrifuga ce apare in acest caz:

$$e \cdot v \cdot B = \frac{mv^2}{R} \quad (3)$$

unde m este masa electronului. Altfel scris:

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

Cum m, v, e si \mathbf{B} sunt constante (cazul nerelativist), rezulta ca "R" este constant si traiectoria este un cerc de raza constanta.

In momentul in care electronul paraseste zona cu camp magnetic, inductia devine nula ($\mathbf{B}=\mathbf{0}$), fortele care actionau asupra lui se anuleaza, iar miscarea devine rectilinie si uniforma, pana in punctul (M) unde electronul loveste ecranul fluorescent. Segmentul OM reprezinta deviatia de la directia initiala pe care a suferit-o electronul sub actiunea campului magnetic. Vom nota aceasta deviatia cu δ_m . Ne vom limita la deviatii mici. In acest caz, calculul da pentru deviatia magnetica expresia (vezi [1, 2, 3]):

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

Electronii pot fi deviati de la traiectoria rectilinie si de catre un camp electric. Vom considera numai deviatia produsa de catre un camp electric perpendicular pe viteza initiala a electronilor. Daca in aceasta zona de lungime l va actiona un camp electric \mathbf{E} constant, orientat asa cum se vede si in figura 1, perpendicular pe viteza initiala \mathbf{v} , atunci asupra electronului va actiona forta constanta :

$$\vec{F} = -e \cdot \vec{E} \quad (6)$$

In afara condensatorului forta este nula, iar traiectoria devine rectilinie, atingand ecranul fluorescent intr-un punct oarecare N . Distanta ON reprezinta deviatia electronului de la directia initiala. Calculul da pentru deviatia electrica (vezi [1, 2, 3]) expresia:

$$\delta_e = \frac{e}{m} \cdot E \cdot l \cdot D \cdot \frac{1}{v^2} \quad (7)$$

Viteza electronilor poate fi calculata stiind ca acestia au fost accelerati in prealabil, strabatand o diferenta de potential V . In acest caz:

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

Cu aceasta expresie a vitezei, deviatii electrice si magnetice devin:

$$\delta_e = \frac{l \cdot D}{2 \cdot V} \cdot E \quad (8)$$

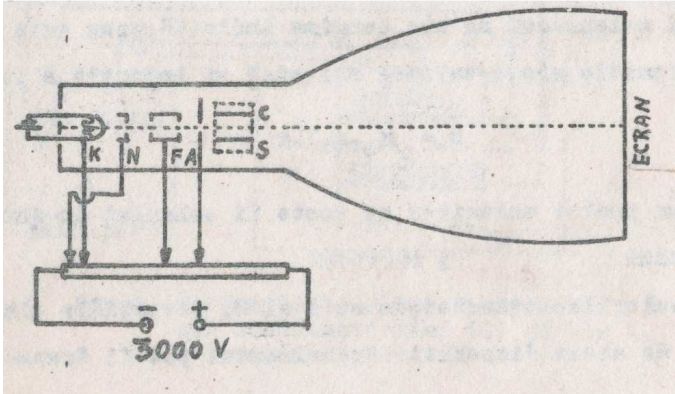


Figure 2: Schema electrica a dispozitivului experimental.

$$\delta_m = \frac{l \cdot D}{\sqrt{2 \cdot V}} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot B \quad (9)$$

3 Dispozitivul experimental

Piesa principala a dispozitivului experimental consta dintr-un tub catodic, redat schematic in figura 2.

Sub actiunea unui filament incalzit electric, catodul "K" devine incandescent emitand electroni, prin emisie termoelectrica. Electronii emisi sunt atrasi de anodul pozitiv A. Un numar de electroni scapa prin orificiul practicat in anod si si continue drumul prin condensatorul C, pana la ecranul fluorescent E. Sub actiunea electronilor pe ecran apare o pata luminoasa. Variind potentialul electrodului intermediar "F", acesta lucreaza ca o lentila electrostatica cu focar variabil, focalizand electronii intr-un punct pe ecran. Din acest motiv electrodul F se mai numeste si electrodul de focalizare. Prin actiunea acestui electrod pata luminoasa de pe ecran poate fi facuta aproape punctiforma. Intensitate fasciculului de electroni, deci si a petei luminoase poate fi micsorata sau marita, variind potentialul negativ aplicat electrodului "N".

In aceasi zona de lungime 'l' unde este plasat condensatorul "C" este asezat un solenoid "S", de o parte si de alta a tubului catodic, astfel incat campul magnetic creaty de acesta sa fie perpendicular pe campul electric si pe viteza electronilor.

Alegand in mod convenabil semnul diferentei de potential "U" aplicate pe condensator si semnul curentului "I" din solenoid, putem face ca deviatia electrica sa se faca in sus, iar deviatia magnetica in jos.

Ecranul fluorescent este prevazut cu o scara gradata, pe care pot fi citite deviatiile δ_e si δ_m . Tubul catodic este vidat.

Fie "d" distanta dintre placile condensatorului. Atunci:

$$E = \frac{U \text{ Volt}}{d \text{ metru}} \quad (10)$$

Fie "n" numarul de spire pe metru ale solenoidului. Atunci pentru un solenoid de lungime infinita:

$$B = \mu \cdot n \cdot I \quad (11)$$

μ fiind permeabilitatea magnetica, in cazul nostru egala cu permeabilitatea vidului;

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ henry/metru} \quad (12)$$

cand solenoidul nu are lungime infinita, cum este cazul si aici, campul magnetic are o valoare mai mica si inductia B devine:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I \cdot g \quad (13)$$

unde "g" este un factor ubunitar ce poate di calculat in functie de forma solenoidului.

Cu valorile obtinute pentru E si B, deviatiile electrice si magnetice date de acest dispozitiv experimental poate fi transcrise astfel:

$$\delta_e = \frac{l \cdot D}{2 \cdot d} \cdot \frac{U}{V} \quad (14)$$

$$\delta_m = \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{l \cdot D \cdot \mu_0 \cdot n \cdot g}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I}{\sqrt{V}} \quad (15)$$

Notand factorii constanti:

$$\frac{l \cdot D}{2 \cdot d} = a \quad (16)$$

$$\frac{l \cdot D \cdot \mu_0 \cdot n \cdot g}{\sqrt{2}} = b \quad (17)$$

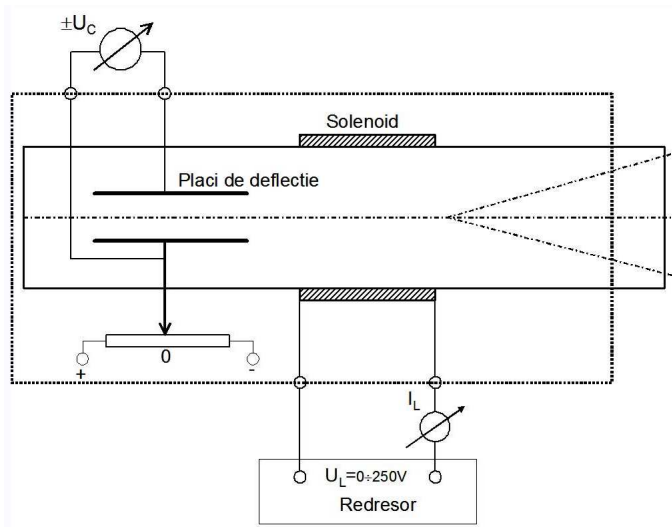


Figure 3: Schema electrica a dispozitivului experimental.

obtinem

$$\delta_e = a \cdot \frac{U}{V} \quad (18)$$

$$\delta_m = b \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{I}{\sqrt{V}} \quad (19)$$

Tubul catodic este montat in cutia unui redresor, alimentat la retea de curent alternativ 220 V, care asigura atat tensiunea de accelerare $V=1000$ V, precum si curentul din solenoid. De asemenea asigura tensiunile necesare pentru reglajul focalizarii si intensitatii fasciculului de electroni.

Aceste reglaje pot fi facute rotind butoanele corespunzatoare de pe panoul frontal.

Tensiunea pentru deviatia electronica sunt asigurate de un redresor alimentat tot de la retea de curent alternativ 220 V conform schemei din figura 3.

4 Modul de lucru

Se conecteaza cele doua redresoare la retea de curent alternativ de 220 V.

Dupa aparitia spotului se micsoreaza luminozitatea acestuia pana la minimum posibil, iar dimensiunea lui se reduce de asemenea, cat mai mult, prin actionarea butoanelor de reglaj a intensitatii si focalizarii.

1. Verificarea linearitatii deviatiei electrice cu campul electric, respectiv cu potentialul U aplicat pe condensator:

$$V = 1000V \quad (20)$$

$$\delta_e = \frac{a}{1000} \cdot U \quad (21)$$

Se determina deviatia electrica pentru cel putin 10 valori ale lui U in intervalul 0-50V. Se reprezinta grafic $\delta_e = f(U)$. Rezulta o dreapta. Se determina constanta " a " din panta dreptei obtinute. Deviatia electrica se va exprima in metri.

2. Verificarea liniaritatii deviatiei magnetice cu campul magnetic, respectiv cu intensitatea curentului din solenoid

$$\delta_m = \frac{b}{\sqrt{1000}} \cdot \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot I \quad (22)$$

Se determina deviatia magnetica pentru cel putin 10 valori diferite ale curentului I in domeniul (0-0.5 A). Se reprezinta grafic $\delta_m = f(I)$. Trebuie sa rezulte o dreapta.

3. Determinarea saricnii specifice e/m prin metoda compensarii deviatilor electrice si magnetice. Din egalitatea : $\delta_m = \delta_e$ rezulta

$$\frac{e}{m} = \frac{a^2}{b^2 \cdot 1000} \cdot \left(\frac{U}{I}\right)^2 \quad (23)$$

Constantele aparatului $b = 4.73 \cdot 10^{-5}$ (in SI); $b^2 = 22.4 \cdot 10^{-10}$. Tensiunea de accelerare: $V = 1 \cdot 10^3 V$.

Practic, se vor alege 10 deviatii magnetice corespunzatoare la diferite valori ale curentului; de preferinta deviatii magnetice mai mari. Procedand astfel, imprecizia in determinarea corecta a pozitiei ce corespunde la deviatie nula nu va influenta prea mult rezultatul final. Pentru fiecare deviatie magnetica obtinuta se va suprapune o deviatie electrica *de semn contrar* astfel stabilita, incat spotul luminos sa revina in

origine. In acest caz, cele doua deviatii sunt egale iar relatia 23 pentru determinarea sarcinii specifice este valabila. Se determina cele 10 valori corespunzatoare ale tensiunii U.

Practic, raportul U/I trebuie sa fie constant. Se reprezinta grafic $U/I = f(I)$. Din cele 10 valori obtinute pentru U/I se calculeaza e/m , eroarea ζ a unei masuratori si eroarea ζ a mediei. Datele experimentale vor fi trecute intr-un tabel de forma:

| Nr.Crt | I(A) | U (V) | U/I | $(U/I)^2$ | $10^{-11} \cdot e/m$ | Δ_i | Δ_i^2 |
|--------|------|-------|-----|-----------|----------------------|------------|--------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| . | | | | | | | |
| . | | | | | | | |
| . | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |

4. Sa se rezolve practic si teoretic urmatorul caz: in timpul ultimei determinari s-a aplicat o deviatie magnetica apoi una electrica, obtinand o deviatie totala masurabila. Inainte de a face compensatia celor doua deviatii, constatati ca voltmetru lipseste din montaj. Neavand la dispozitie alt voltmetru si folosind montajul existent, fara modificari, cautati o solutie teoretica si practica de a putea folosi si ultima determinare, la calculul sarcinii specifice. Solutia se va elabora pe loc, cu aparatul in functiune, fara a utiliza indicatia voltmetrului.

References

- [1] E.V.Spolski: **Fizica Atomica**, vol.I, cap.I, Ed.Tehnica, Bucuresti 1954, Editia a II-a.
- [2] S.Muscalu, **Fizica Atomica**, cap.I, Ed. Didactica si pedagogica.
- [3] I.G.Murgulescu, **Introducere in chimia fizica**, cap.III, Ed.Acad. RSR, Bucuresti 1976.