

**STUDIUL MIȘCĂRII PARTICULELOR ÎNCĂRCATE ÎN CÂMPURI  
ELECTRICE ȘI MAGNETICE.  
METODA PARABOLELOR. SPECTROGRAFUL DE MASĂ THOMSON.**

**Obiectul lucrării**

Prin această lucrare se urmărește determinarea maselor ionilor prin metoda parabolilor a lui Thomson (spectrografie de masă) ca aplicație a mișcării în câmpuri electrice și magnetice

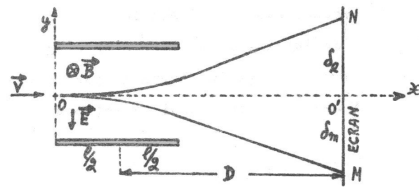
**Bazele teoretice**

Studiul mișcării electronilor în câmpuri electrice și magnetice a avut o deosebită importanță în dezvoltarea concepției actuale despre lumea microparticulelor, conducând la înțelegerea forțelor care țin electronii legați în atom, la dovedirea unor proprietăți fundamentale cum sunt variația masei cu viteza, dezvoltarea modelului undei asociate și multe altele. Din punct de vedere practic, acest studiu a condus la realizarea unor aparate foarte complexe ca tubul catodic, microscopul electronic, spectrograful de masă, betatronul etc.

Se știe 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 forță 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 mișcarea electronului și apoi în câmp electric.



$$e \cdot v \cdot B = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{eB}$$

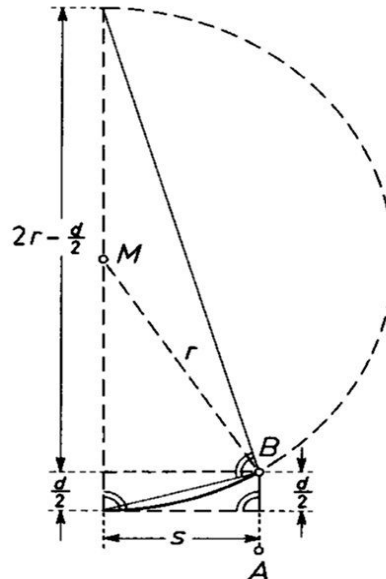


Figura 1a Geometria deviației în câmp magnetic și electric perpendicularare

Figura 1b Geometria de calcul

**Observație:** În cele două figuri, notațiile au fost făcute hibrid, iar relațiile de calcul finale vor fi efectuate într-o notație comună.

Fie o zonă dreptunghiulară de lungime  $l$  (sau  $s$ , figura 1a și 1b) 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 o forță a cărei mărime este:

$$F = evB \quad (2)$$

orientată într-o direcție perpendiculară pe  $v$  și pe  $B$ , producând o deviere a electronului de la direcția inițială, așa cum se vede în figură.

Deoarece forța Lorentz acționează perpendicular pe viteză, ea nu modifică mărimea vitezei, schimbând doar orientarea ei. Din această cauză traiectoria electronului va fi un cerc de rază  $r$ , situat perpendicular pe  $B$ , adică în planul hârtiei. Putem obține ușor raza de curbură  $r$  a cercului exprimând faptul că forța Lorentz este în acest caz forța centripetă și prin urmare:

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

$m$  fiind masa electronului. Sau altfel scris:

$$r = \frac{mv}{eB} \quad (4)$$

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

În momentul în care electronul părăsește zona cu câmp magnetic, inducția este nulă ( $B = 0$ ), forțele care acționau asupra lui se anulează, iar mișcarea devine rectilinie și uniformă, până în punctul (B, figura 1b, sau punctul M în figura 1a) în care electronul lovește ecranul fluorescent. Segmentul O'M reprezintă deviația de la direcția inițială pe care a suferit-o electronul sub acțiunea câmpului magnetic. Vom nota această deviație cu  $\delta_m$ . Ne vom limita la deviații mici. În acest caz, calculul dă pentru deviația magnetică expresia (figura 1a) :

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

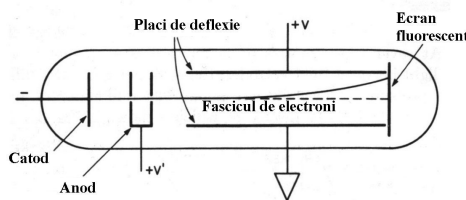


Fig. 2 Deviația în câmp electric.

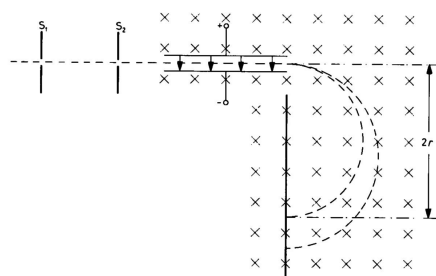


Fig. 2b Schema unui spectrograf modern

Electronii pot fi deviați de la traiectoria rectilinie și de către un câmp electric. Vom considera numai deviația produsă de un câmp electric perpendicular pe viteza inițială a electronilor, câmp produs de un condensator. Dacă în aceeași zonă de lungime  $l$  va acționa un câmp electric  $E$  constant, orientat așa cum se vede în figura 2, perpendicular pe viteza inițială  $v$ , atunci asupra electronului va acționa forța constantă:

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

În afara condensatorului forța este nulă, iar traiectoria devine rectilinie, atingând ecranul fluorescent într-un punct oarecare N. Distanța O'N reprezintă deviația electronului de la direcția inițială (figura 1a).

Calculul dă pentru deviația electrică 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:

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

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

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

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

## Determinarea maselor reale ale atomilor. Metoda parabolilor

Determinarea maselor atomice reale - nu a celor medii - este o problemă foarte importantă. În prezent, determinările cele mai precise ale maselor atomice se bazează exclusiv pe *diferența dintre masele* individuale ale atomilor și nu depind de vreo altă proprietate a acestora. Ele se realizează cu ajutorul deviației ionilor diferitelor gaze în câmp electric și în câmp magnetic. Această metodă a fost propusă pentru prima dată de J. J. Thomson.

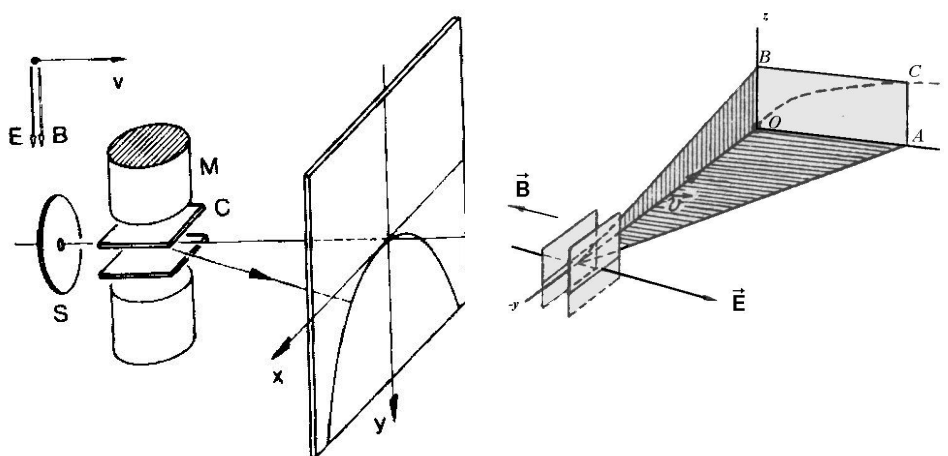


Fig. 3 Schema metodei parabolilor

Dacă în catodul unui tub de descărcare care funcționează la presiune redusă (sutimi de mm Hg), se practică un orificiu, atunci ionii care se îndreaptă spre catod vor trece prin acest orificiu și vor forma în spatele catodului un fascicul de raze, numite *raze canal*. Razele canal sunt formate, în cea mai mare parte, din ioni pozitivi ai resturilor de gaze din tubul de descărcare; în compoziția lor intră, în număr mai mic, particule neutre și ioni negativi, care se formează prin recombinarea ionilor pozitivi cu electroni în spațiul din spatele catodului.

Metoda Thomson permite determinarea maselor relative ale particulelor individuale care intră în compoziția fascicului de raze canal, în modul următor: razele canal se obțin în urma trecerii ionilor produși și accelerați în tubul de descărcare. Datorită lungimii relativ mari a canalului, fasciculul obținut este aproape paralel. El conține particule de diferite energii, până la o energie maximă, determinată de tensiunea aplicată tubului. Fasciculul de raze canal (ioni) este supus apoi acțiunii unor câmpuri transversale, - un câmp electric și unul magnetic, orientate paralel sau antiparalel. Sub acțiunea acestor câmpuri, particulele încărcate sunt deviate în direcții perpendiculare. Dacă fasciculul este format din particule de aceeași masă, dar de viteze diferite, câmpul electric și cel magnetic îl desface astfel încât, căzând pe ecranul fluorescent așezat perpendicular pe direcția fascicului incident sau pe placa fotografică, el va lăsa o urmă sub forma unui arc de parabolă, reprezentată mai detaliat în fig.4a.

Dacă notăm deviația electrică orientată în lungul axei  $x$ , iar cea magnetică în lungul axei  $z$ . Atunci, între  $z$  și  $x$  trebuie să avem următoarea relație:

$$\frac{z^2}{x} = \frac{A^2}{B} \cdot \frac{e}{m}, \quad (9)$$

unde  $A$  și  $B$  sunt constantele aparatului.

Din această relație, obținem ecuația unei parabole:

$$z^2 \cdot \frac{m}{e} = \frac{A^2}{B} \cdot x \quad (10)$$

Sarcina unui ion poate fi un număr întreg de sarcini elementare (adică poate fi  $+e, +2e, \dots$ ). Dacă ionii au toți câte o singură sarcină, atunci după formula (10) pentru o valoare constantă a abscisei  $x$ , masele ionilor vor fi invers proporționale cu pătratele ordonatelor (v. fig. 4a).

Originea coordonatelor se fixează pe placa fotografică cu ajutorul particulelor neutre, care nu sunt deviate în câmpurile electric și magnetic, bine înțeles însă că pe placa fotografică nu avem trasate nici un fel de axe. Pentru a putea măsura ordonatele necesare la determinarea maselor, se schimbă sensul câmpului magnetic în timpul experienței și astfel se obțin, afară de arcele de parabolă MN, PQ, și segmentele simetrice M'N', P'Q'.

Dacă fasciculul conține, afară de ioni cu o singură sarcină și ioni cu două sarcini (de ex.  $O^+$  și  $O^{++}$ ), acești ioni vor da parabole care ar corespunde unei mase pe jumătate (de ex. parabola  $O^{++}$  ar corespunde masei 8). Există însă criterii cu ajutorul cărora se pot deosebi parabolele particulelor cu sarcini multiple de cele ale particulelor cu o singură sarcină.

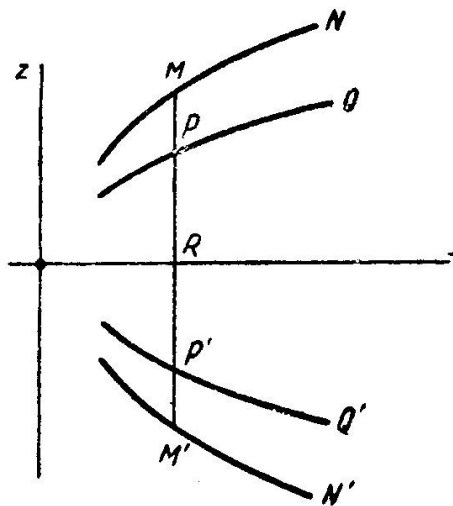


Fig. 4 geometria parabolilor

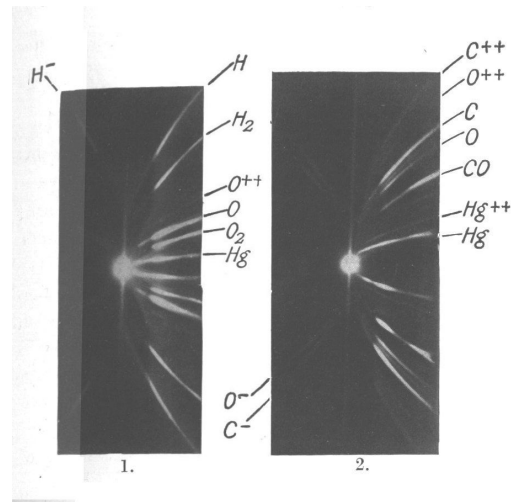


Fig. 5 Parabolele tipice ale ionilor de diferite gaze.

Fig. 5 reproduce fotografiile a cazuri de parabole, obținute prin această metodă,

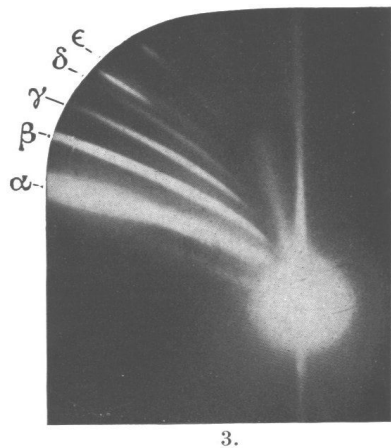


Figura 6. Parabole ale ionilor mercurului multimplu ionizați

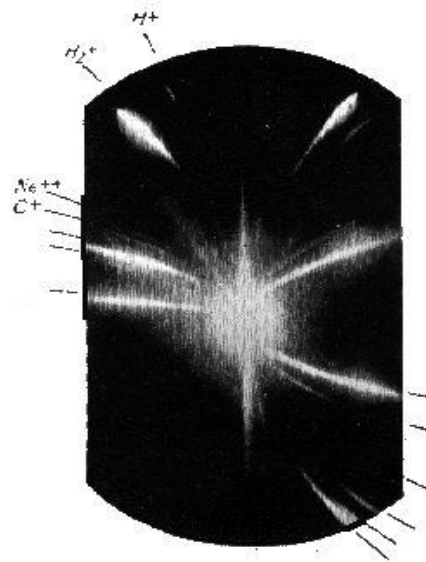


Figura 7. Parabole ale ionilor obținute de către Thompson în 1913

Se va discuta spectrul de mase din figura 7. Pata mare centrală este a razelor nedeviate. În dreapta, parabole obținute cu un sens al câmpului electric și ambele sensuri ale câmpului magnetic. În stânga, arcuri de parabolă obținute cu câmpul electric inversat și un singur sens al câmpului magnetic. Se observă lămurit, în dreapta, parabolele datorate celor doi izotopi ai neonului.

Să se identifice ionii atomici sau moleculari cărora le pot aparține parabolele neidentificate, utilizând în acest scop identificarea făcută pentru ionii indicați pe figură.