

STUDIUL PROCESULUI DE IONIZARE

Obiectul lucrării

Studierea procesului de ionizare utilizând camera de ionizare ca detector de radiații nucleare și determinarea mărimilor fizice care intervin în procesul de detectare.

Bazele teoretice ale lucrării

Camera de ionizare este o incintă închisă, de formă cilindrică, în care se găsesc doi electrozi plan - paraleli și un gaz sau aer în condiții normale. Cei doi electrozi formează un condensator plan cu electrozi aflați la distanța de $d = 3 - 6$ cm unul de altul (figura 1). În camera de ionizare se introduce sursa radioactivă care va determina ionizarea gazului iar schema electronica atașată permite măsurarea curentului electric ce se stabilește între cei doi electrozi.

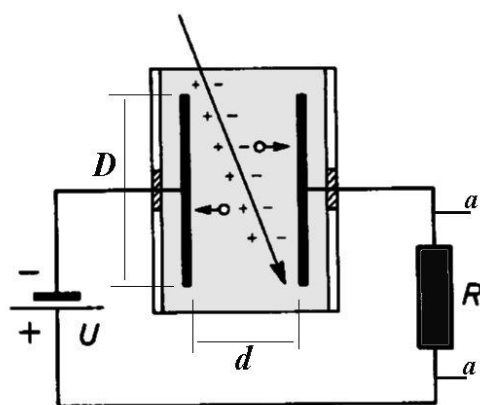


Figura 1 Schema de funcționare a camerei

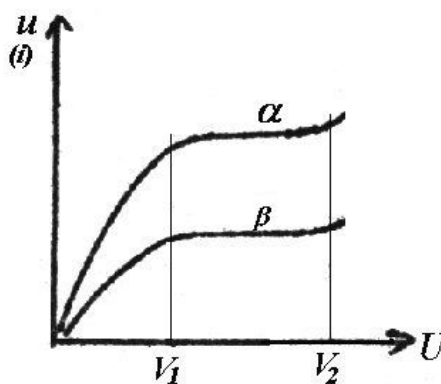


Figura 2 Caracteristica curent-tensiune

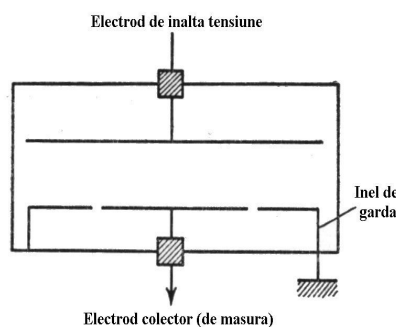


Figura 3 Schita camerei reale

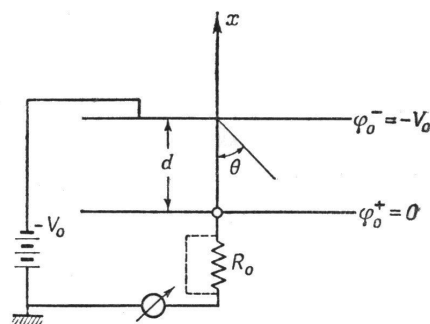


Figura 4 Geometria de colectare

În urma interacțiunii radiațiilor α, β, γ, X cu moleculele gazului care umple camera de ionizare, se produc ioni pozitivi și electroni. Numărul perechilor de sarcini care se produc depinde de natura radiației care a interacționat cu moleculele gazului și de energia lor cinetică. De exemplu o particulă încărcată cu o energie de 10 MeV va produce cam 300.000 perechi de ioni dacă va fi stopată în interiorul camerei. Dacă toată această sarcină este colectată și dacă estimăm capacitatea camerei la $C = 50$ pF, atunci pulsul de tensiune corespunzător încărcării condensatorului (electrozii) va fi de aproximativ

$$\Delta V = -Q/C = (3 \cdot 10^5)(1,6 \cdot 10^{-19}) / (50 \cdot 10^{-12}) = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ V,}$$

sau aproximativ 0,1 mV/MeV.

Pentru producerea unei perechi de sarcini (ion pozitiv și electron) trebuie cheltuită o energie - *energia de ionizare* - care în cazul aerului are valoarea cuprinsa între 30 și 35 eV (în medie 33 eV).

În urma ionizării produse, ionii pozitivi și electronii pot interacționa cu atomii gazului din interiorul camerei. Prin transfer de sarcină pot apărea noi ioni pozitivi, ioni negativi iar prin recombinare atomi neutri. Atunci când nu se aplică o diferență de potențial între electrozii camerei, ionii pozitivi și negativi au o mișcare dezordonată. Un număr de ioni produși se pot recombina.

Dacă între electrozii camerei de ionizare se aplică un câmp electric, ionii pozitivi produși sunt deviați spre catod, iar electronii spre anod. Prin colectarea acestor sarcini, în circuitul atașat camerei apare un curent electric (*curent de ionizare*). Dacă ne referim la trecerea prin camera a unei singure particule ionizante, atunci producerea și dispariția sarcinilor generate are o variație în timp ce determină la bornele unei rezistențe R (de sarcină) un *puls de tensiune*. În funcție de circuitul auxiliar folosit, informația furnizată de camera de ionizare poate fi sub forma unui curent de ionizare sau sub forma unor pulsuri succesive create de o succesiune de particule care au interacționat cu gazul din camera de ionizare.

Dacă sursa de radiație produce un flux constant de particule ionizante ce străbat camera, se stabilește un curent de ionizare de intensitate constantă, i , proporțional cu fluxul de particule. Acest curent produce la bornele (a, a') a rezistenței de sarcină, R , o cădere de potențial constantă, $u = R i$. Valoarea tensiunii u de la bornele rezistorului depinde și de tensiunea aplicată pe cameră din cauza eficienței mai mici sau mai mari de colectare a sarcinii produse prin ionizare în spațiul dintre electrozi. La început, atunci când diferența de potențial este mică, fenomenul de recombinare este mai puternic și o mare parte din purtătorii de sarcină se recombina înainte de a ajunge la electrozi. Pe măsură ce diferența de potențial crește, ionii și electronii accelerați în câmpul electrostatic se mișcă mai repede, probabilitatea de recombinare scade și sarcina colectată la electrozi crește. De la o anumită valoare V_1 a tensiunii, toți ionii generați la trecerea unei particule ionizante sunt practic colectați de electrozi și curentul de ionizare ajunge la saturație. Acesta este domeniul camerei de ionizare (figura 2). De la valoare V_2 regimul camerei de ionizare se schimbă și curentul colectat începe să crească din nou datorită unor fenomene de producere de sarcină electrică prin ciocniri succesive (multiplicare).

Viteza de deplasare a ionilor sau electronilor produși va fi determinată în primul rând de *mobilitatea* lor. Relația care exprimă dependența vitezei de deplasarea a ionilor și mobilitate lor este:

$$v = \mu \cdot \frac{E}{p} \quad (1)$$

unde v este viteza medie de deplasare a ionilor, μ este mobilitatea, E este intensitatea câmpului electric existent între electrozi iar p este presiunea gazului din camera de ionizare.

Mobilitatea μ a ionilor pozitivi are valoarea cuprinsă între $1,0 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^4$ cm². atm./Volt. sec. Dacă diferența de potențial aplicată între electrozi are valoarea de 10^4 V, atunci pentru un gaz a cărui presiune este de 1 atm., viteza de deplasare a ionilor pozitivi va fi egală cu 1 m/sec. Deci, timpul necesar ca ionii produși să ajungă la catod, atunci când distanța dintre anod și catod este de 2 - 3 cm, va fi de ordinul milisecundelor. Electronii având o mobilitate μ de aproximativ 1000 de ori mai mare, viteza lor de deplasare va fi tot de 1000 de ori mai mare și timpul lor de colectare de aproximativ 1000 de ori mai mic. Ca urmare, electronii produși vor ajunge la anod doar în câteva microsecunde. Camera se polarizează astfel încât la electrodul colector să se colecteze electroni.

Dacă viteza de recombinare a ionilor pozitivi și a electronilor este mică, atunci, pentru o anumită viteză de producere a lor putem avea un curent de ionizare măsurabil. Valoarea acestui curent este cu atât mai mare cu cât valoarea diferenței de potențial aplicat între electrozi este mai mare.

Pentru o anumită valoare a acestuia, curentul respectiv poate atinge valoarea maximă (se poate satura) și poartă numele de *curent de saturație*.

Măsurarea curentului de saturație și studierea dependenței lui de activitatea surselor radioactive și de natura și energia particulelor emise de surse este problema de bază care se pune în cazul folosirii camerei de ionizare ca *detector de radiație*.

Dependența curentului de ionizare de valoarea diferenței de potențial aplicat între electrozii camerei, de natura radiației și de viteza de iradiere (numărul de ioni pozitivi + electroni produși în unitatea de timp) este redată de *caracteristica curent - tensiune* a camerei de ionizare care se vede în figura 2 (e - electroni, α - particule alfa; grafic calitativ).

Obținerea curentului de saturație este influențată în primul rând de viteza de recombinare a ionilor produși. Această viteză de recombinare depinde de densitatea ionilor produși de radiația de detectat. Ca urmare, în cazul particulelor α această viteză de recombinare este mult mai mare decât în cazul particulelor β .

Intensitatea radiației de detectat influențează, de asemenea, viteza de recombinare a ionilor produși. Cu cât această intensitate este mai mică și densitatea ionilor produși este mai mică și prin urmare, și viteza de recombinare a lor este mai mică.

Curentul de saturație este puternic influențat de difuzia inversă a ionilor. Acest fenomen apare atunci când ionii pozitivi și electronii au o concentrație mare în apropierea catodului respectiva anodului. În vecinătatea electrozilor poate să apară un câmp electric invers celui existent între electrozii camerei. Acest câmp electric invers duce la apariția difuziei inverse, deci la micșorarea valorii curentului de saturație, pentru o anumită intensitate a radiației. Efectele de recombinare și de difuzie inversă a ionilor vor determina modul de creștere a curentului de ionizare al camerei, până la atingerea curentului de saturație.

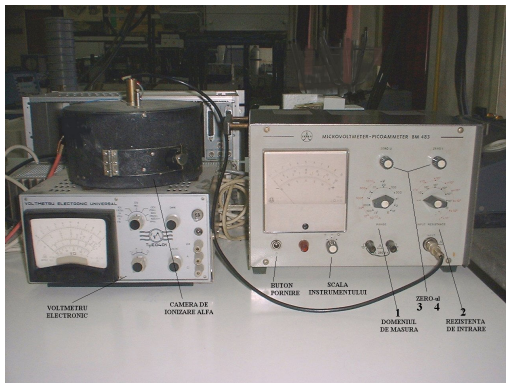


Figura 5 Dispozitivul experimental

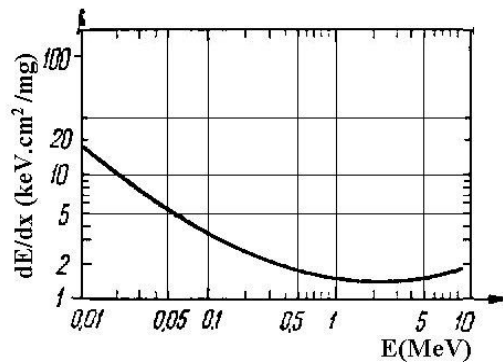


Figura 6 Pierderea de energie specifică pentru particule alfa în aer la presiune normală

Pierderea de energie specifică (adică pe unitate de parcurs) a unei particule alfa sau altă particulă încărcată, prin procese de ionizare a atomilor ciocniți, este dată de relația lui Bethe:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N Z z^2 e^4}{m v^2} \log \frac{2 m v^2}{I} \quad (2)$$

unde N - numărul de atomi pe cm^3 ; Z - numărul atomic al substanței; z - sarcina electrică a particulei incidente; e - sarcina electronului; m - masa de repaus a electronului; v - viteza particulei; potențialul mediu de ionizare, care poate fi calculat aproximativ cu formula lui Țițica: $I = 9,5 Z \text{ eV}$. Datorită pierderii de energie prin ionizare, după un anumit număr de ciocniri, respectiv după un parcurs dat, particula incidentă își cheltuiește toată energia și se oprește. Acest *parcurs* R , este legat de energia inițială a particulei și de mediul străbătut. Pentru particule alfa ce străbat aerul în condiții normale de temperatură și presiune este valabilă relația aproximativă:

$$v^3 = aR \quad (3)$$

unde v este viteza inițială a particulei alfa (cm/s), a - un coeficient, R - parcursul particulei alfa (cm). Viteza particulei alfa după ce a parcurs o distanță x în material (de exemplu aer) poate fi exprimată prin relația lui Geiger (1910):

$$v^3 = a(R - x) \quad (4)$$

Pentru particule alfa de $E=7,68$ MeV coeficientul a este $a=0,1515$

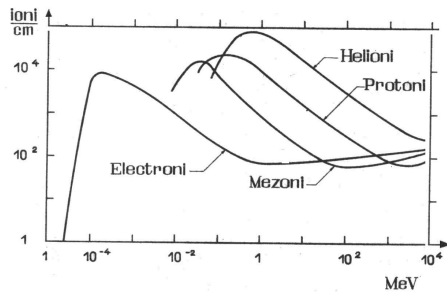


Figura 7 Perechi de ioni produși pe cm

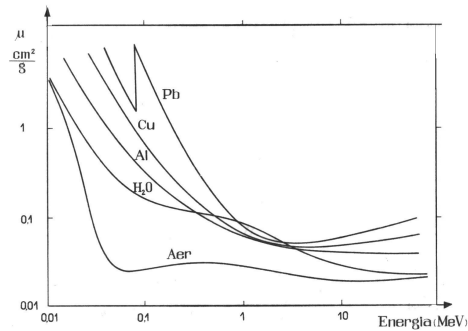


Figura 8 Coeficientul de atenuare

Măsurarea curenților de ionizare se face cu un electrometru care măsoară tensiune pe o rezistență introdusă în circuitul electric al camerei (ea are valoarea cuprinsă între $R = 10^9 - 10^{12} \Omega$). Schema bloc a montajului folosit în lucrare este arătat în figura 3.

Camera de ionizare este legată la o sursă de tensiune care permite aplicarea unei tensiuni pe electrozii camerei, iar curentul de ionizare care se obține se măsoară cu un electrometru care indică ori căderea de tensiune pe rezistența R ori direct valoarea curentului.

Modul de lucru

Se introduce în camera de ionizare o sursă α sau β activă. Se conectează sursa de tensiune și electrometrul la rețea. După fixarea valorii rezistenței electrometrului la 10^7 (comutator 2) se fixează o scală de măsură mai sensibilă cu ajutorul comutatorului 1. Din butoanele 3 și 4 se fixează indicatorul aparatului de măsură la zero. Apoi, se aplică o tensiunea treptat crescătoare din volt în volt pe electrozii camerei de ionizare. Pentru fiecare valoare a tensiunii aplicate se determină valoarea curentului de ionizare. În momentul în care acest curent rămâne aproximativ constant înseamnă că s-a ajuns la saturație. Apoi, se reprezintă I - valorile măsurate în funcție de V aplicat.

Se determină cele două valori de variație a lui $I = f(V)$ atât pentru sursa α cât și pentru sursa β .

Să se explice calitativ diferența dintre cele două caracteristici obținute.

Din curentul de saturație astfel obținut pentru sursa α respectiv β , cunoscând activitățile surselor Λ_1 și Λ_2 și energiile particulelor α și β emise, să se calculeze energiile necesare pentru producerea unei perechi de ioni de către o particulă α respectiv β .

Întrebări

1. În ce condiții se poate utiliza caracteristica $I = f(V)$ pentru determinarea energiei particulelor α sau β ?
2. Care este motivul pentru care curentului de saturație se obține la valori mai mari ale tensiunii aplicate pe electrozii camerei de ionizare pentru particulele α ?
3. Care sunt avantajele camerelor de ionizare față de alte tipuri de detectori de radiație?

Bibliografie:

1. E.Segre, "Experimental Nuclear Physics", vol.1, N.Y., 1953
2. A.Sanielevici, "Radioactivitatea", vol. 1, Ed. Academiei, 1956
3. E.Funfer, H.Neuert, "Zahlrohre und szintillationszahler", Verlag G.Braun, 1959
4. E.Badarau, I.Popescu, "Gaze ionizate", Ed. tehnică, 1965
5. H.Enge, "Introduction to Nuclear Physics", Addison-Wesley, 1966
6. M.Oncescu, "Fizica", Ed. didactica si pedagogica, 1975
7. D.Poenaru, N.Vîlcov, "Măsurarea radiațiilor nucleare cu dispozitive semiconductoare", Ed. Academiei, 1967
8. K.Mihin, "Fizică nucleară experimentală", Ed. Tehnică, 1982