

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ" DIN BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE FIZICĂ**

LABORATORUL BN 030

**CARACTERISTICA DETECTORULUI
GEIGER-MÜLLER**

2004-2005

CARACTERISTICA DETECTORULUI GEIGER-MÜLLER

1. Scopul lucrării

Scopul lucrării îl constituie determinarea caracteristicii unui detector Geiger-Müller, a tensiunii de prag, a întinderii palierului unui asemenea detector, a tensiunii optime de lucru, precum și a tensiunii dincolo de care în detector se produce o descărcare de tip distructiv care ar putea conduce la distrugerea detectorului.

2. Teoria lucrării

2.1. Detectoare de radiații

Detectarea radiațiilor prin mijloace fizice este bazată pe efectele produse la interacția radiațiilor cu substanța, efecte care pot fi: electrice (ex. ionizarea mediilor străbătute), optice (scintilații, luminiscenta), chimice (influența cineticii reacțiilor, radiocatalizarea lor), fotochimice (impresionarea emulsiilor fotografice) etc.

În prezent există o mare diversitate de detectoare de radiații. La noi în laborator se folosesc detectoare care au la bază următoarele fenomene:

- a) ionizarea unui gaz de către radiațiile α sau β , ori de electronii emiși de radiațiile γ dintr-un strat de material (detectorul tip Geiger-Müller, camera de ionizare).
- b) scintilația unui cristal sub acțiunea radiațiilor (detectorul cu scintilație).
- c) acțiunea fotochimică a radiațiilor (emulsii nucleare).

În lucrarea de față vom analiza mai pe larg detectoarele bazate pe primul dintre aceste fenomene.

Pentru un fascicul de radiații, caracteristică este puterea lui de ionizare, adică numărul de perechi de ioni produși de unitatea de parcurs într-un gaz; în aer, de exemplu o particulă α având energia de 1-2 MeV produce circa 40 000 perechi de ioni pe micron de parcurs; particulele β de aceeași energie produc o ionizare mult mai slabă (de circa 100 ori), iar cuantele γ produc o ionizare de circa 100 ori mai slabă decât particulele β .

Puterea de pătrundere (duritatea sau parcursul total) a radiațiilor este invers proporțională cu puterea lor de ionizare; astfel particulele α de 2-3 MeV pătrund doar câteva zeci de microni în substanță, fiind oprite de o simplă foaie de hârtie; particulele β au o putere de ionizare mai mică, și deci o putere de pătrundere proporțional mai mare; ele străbat (la o energie de 1-2 MeV) un strat de aluminiu de 2-3 mm grosime. Radiațiile γ de aceeași energie au o putere de pătrundere mult mai mare, având teoretic un parcurs infinit; se poate totuși observa că străbat câteva zeci de metri în aer, sau câțiva centimetri în plumb, după care intensitatea lor scade la nivelul radiațiilor cosmice. Lungimea parcursului diferitelor radiații determină și dimensiunile detectoarelor. Astfel, detectoarele pentru radiații α au o distanță între electrozi de numai câțiva milimetri, substanța activă fiind introdusă chiar în interiorul detectorului, pe când detectoarele pentru radiația β au

lungimi de ordinul 10-20 cm pentru a se forma un număr suficient de ioni în volumul activ al detectorului, iar detectoarele pentru radiații γ de mare energie pot avea o lungime de peste 1 m.

Sursele radioactive cuprind substanțe (izotopi) ce emit radiații și se pot prezenta într-o mare varietate de forme sau dimensiuni, care însă, din punct de vedere practic, se reduc la trei tipuri principale: surse solide, soluții și surse pulverulente. Deoarece izotopii radioactivi emit aceleași tipuri de radiații și au aceleași energii indiferent de starea de agregare sau de legătura chimică cu materialul în care se găsesc, orice combinație chimică, poate fi, virtual, folosită ca sursă de radiații, cu condiția ca cel puțin unul dintre elementele chimice componente să fie radioactiv.

2.2. Detectoare cu gaze

Detectoarele bazate pe ionizarea gazelor se compun din doi electrozi plan paraleli sau coaxiali, pe care se aplică o diferență de potențial (fig. 1). Între acești doi electrozi se introduce un anumit gaz, constituindu-se de fapt un condensator electric având ca dielectric un gaz.

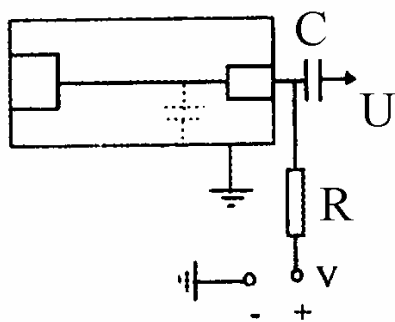


fig. 1

Dacă detectorul este iradiat de o sursă radioactivă, particulele încărcate care îl străbat vor produce o ionizare a gazului cu care este umplut detectorul. Electronii și ionii pozitivi formați, mișcându-se în sensuri contrare sub

acțiunea câmpului electric generat de diferența de potențial aplicată electrozilor detectorului, ajung la electrozi, creând un impuls de curent, care este amplificat și înregistrat de instalația electronică asociată sistemului de detecție. Acest curent creat prin ionizarea gazului din detector este cu atât mai mare cu cât numărul ionilor formați la trecerea radiațiilor prin detector este mai mare; el depinde și de tensiunea aplicată electrozilor detectorului. Amplitudinea impulsului reprezintă variația diferenței de potențial ΔU produsă de colectarea sarcinii electrice produse prin ionizare: $Q = ne$, (n = numărul de electroni, e = sarcina electronului) pe capacitatea C a detectorului:

$$\Delta U = \frac{Q}{C} = \frac{ne}{C}$$

Simultan cu procesul ionizării are loc și fenomenul invers, de recombinare a perechilor electron-ion pozitiv, fenomen care duce la neutralizarea purtătorilor de sarcină liberi și la micșorarea sarcinii colectate.

Dependența amplitudinii impulsurilor de mărimea tensiunii aplicate detectorului este arătată în figura 2. Pornind de la tensiunea zero, pe măsură ce tensiunea crește, scade viteza proceselor de recombinare, câmpul electric reușind să separe perechile ion pozitiv-electron mai repede decât timpul necesar recombinației și, drept urmare, amplitudinea impulsurilor crește (porțiunea $0 - U_1$). La tensiunea U_1 practic toți electronii formați sunt colectați, după care urmează un palier ($U_1 - U_2$) caracteristic fenomenelor de saturare. Porțiunea $0 - U_2$ este domeniul de funcționare al camerelor de ionizare.

Dacă mărim în continuare tensiunea aplicată detectorului constatăm că, peste o anumită tensiune (U_2), amplitudinea impulsurilor crește din nou. Această creștere se datorește ionizărilor suplimentare produse în gaz de către electronii produși inițial prin iradiere, electronii primind de la câmpul electric, între două ciocniri succesive cu atomii gazului o energie suficientă sau mai mare decât cea necesară pentru a produce ionizarea acestora. Are loc o ionizare în avalanșă care produce multiplicări în gaz (raportul dintre numărul de ionizări prin ciocnire cu electronii produși prin iradiere și numărul acestora fiind de ordinul $10^3 - 10^6$).

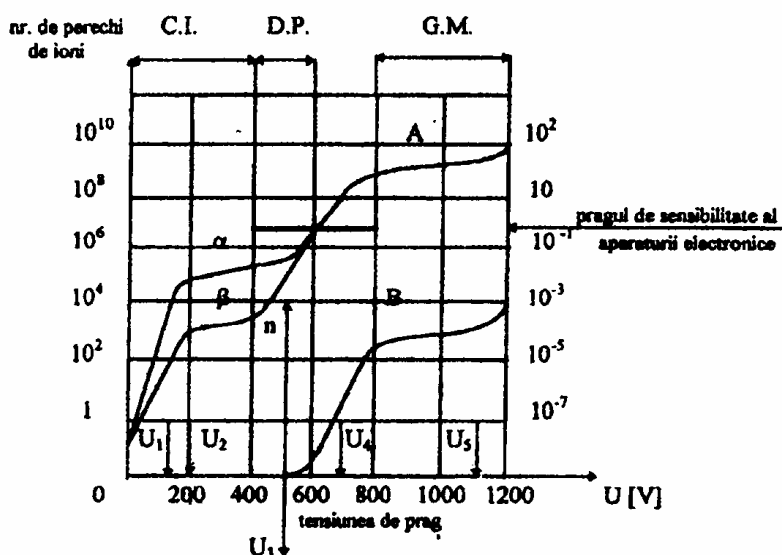


Fig. 2.

În acest domeniu ($U_2 - U_3$) amplitudinea impulsului "multiplicat" în gaz rămâne proporțională cu numărul de ioni formați inițial în gaz și deci (aproximativ) cu energia particulei ionizate inițiale. Acesta este domeniul de funcționare al detectoarelor proporționale.

În domeniul ($U_3 - U_4$) proporționalitatea nu se mai păstrează; acest domeniu nu este folosit pentru detecție.

În domeniul ($U_4 - U_5$) experiența ne arată că amplitudinea impulsurilor nu depinde nici de natura particulei incidente, nici de energia acesteia, ca și cum s-ar produce o saturare a multiplicării în gaz care aduce practic amplificarea tuturor impulsurilor, respectiv numărul de ioni formați prin multiplicare în gaz, la o aceeași valoare finală de saturație. Acest lucru se datorește faptului că energia descărcării este furnizată în principal de generatorul exterior și nu de particulele incidente, cărora le revine numai rolul de a aprinde descărcarea. Este domeniul de lucru al detectorului Geiger-Müller.

Pentru tensiuni mai mari decât U_5 , descărcarea inițiată de particulele incidente se continuă și după trecerea acestora, descărcarea devenind continuă și putând duce la

distrugerea detectorului. Caracteristica detectorului înregistrată de noi se reduce la cea din domeniul Geiger-Müller, notată în figura 2 cu B.

2.3. Detectorul Geiger-Müller

Detectorul Geiger-Müller este constituit din doi electrozi: catodul, cilindric, construit din metal, sticlă metalizată sau grafitată, iar anodul fiind un fir metalic subțire (de obicei din wolfram, cu diametrul de 0,1-0,2 mm), situat pe axa cilindrului.

Există detectoare Geiger-Müller cu gaze inerte (de exemplu argon) și vapori organici, sau gaze inerte și halogeni. Între electrozii detectorului Geiger-Müller se aplică o tensiune electrică continuă. Pătrunzând în volumul sensibil al detectorului, radiația nucleară (electroni, pozitroni, particule încărcate, etc.) interacționează cu atomii gazului, pe care îi ionizează, creând astfel un anumit număr de perechi de ioni pozitivi și electroni. Ionii pozitivi sunt atrași (colectați) de catod, iar electronii de anod. Ca rezultat în circuitul detectorului ia naștere un impuls electric de scurtă durată care se anulează atunci când toți electronii ajung la anod.

Prin caracteristica unui detector Geiger-Müller se înțelege graficul care exprimă dependența vitezei de numărare n a detectorului de tensiunea aplicată acestuia, în condițiile unui flux constant de particule ajunse la detector (viteza de numărare se notează cu n și se dă în impulsuri pe minut).

Alura caracteristicii poate fi urmărită în figura 3. (Pentru tensiuni mai mici decât tensiunea de prag U_A , amplitudinea impulsurilor produse de detector este mai mică decât pragul de sensibilitate al numărătorului electronic și ca urmare ele nu sunt înregistrate).

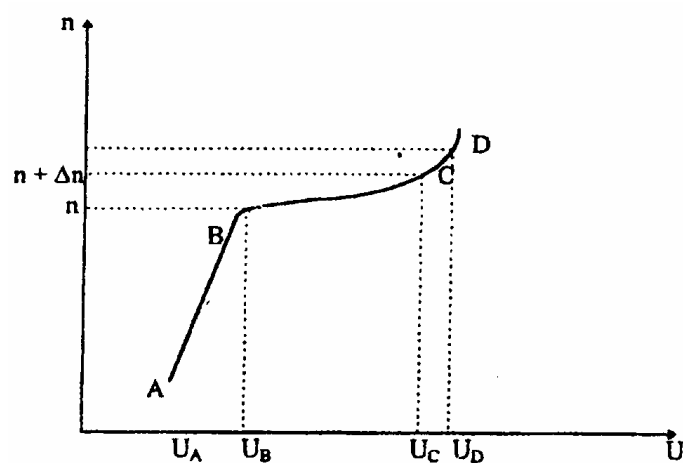


Fig.3.

La sporirea tensiunii aplicate detectorului peste valoarea U_A , amplitudinea celor mai puternice impulsuri începe să depășească pragul de sensibilitate al numărătorului și sunt înregistrate de acesta. Numărul de impulsuri înregistrate crește odată cu valoarea tensiunii, porțiunea AB a caracteristicii corespunzând zonei

de multiplicare proporțională în gaz.

Peste valoarea U_B a tensiunii caracteristica prezintă un palier; în domeniul $U_B < U < U_C$ amplitudinea impulsurilor produse de detector este practic aceeași, indiferent de tipul și de energia particulelor incidente, fenomen caracteristic funcționării detectoarelor în regim

Geiger-Müller. Fiecare detector Geiger-Müller poate fi caracterizat prin panta palierului, care se exprimă în procente de variație (relativă) a vitezei de numărare la suta de volți de palier. Dacă la tensiunea U corespunde viteza de numărare n , iar la tensiunea $U + \Delta U$ corespunde viteza $n + \Delta n$, atunci viteza de numărare medie este:

$$\bar{n} = \frac{n + (n + \Delta n)}{2} = n + \frac{\Delta n}{2} \quad (1)$$

iar variația relativă a vitezei, în procente este:

$$\frac{\Delta n}{\bar{n}} 100 = \frac{\Delta n}{n + \frac{\Delta n}{2}} 100 [\%] \quad (2)$$

Variația Δn corespunde doar la o variație ΔU a tensiunii. La o variație a tensiunii de 100V va corespunde o variație a vitezei de numărare de $100/\Delta U$ ori mai mare, deci panta va fi:

$$S = \frac{1}{\Delta U} \frac{\Delta n}{n + \frac{\Delta n}{2}} 10^4 \left[\frac{\%}{100V} \right] \quad (3)$$

Panta detectorului Geiger-Müller are valori cuprinse între $(2 - 12\%)/100$ V, iar palierul se întinde pe 200 – 300 V. La tensiuni mai mari decât U_C avalanșele secundare care apar în detector produc o creștere mai rapidă a vitezei de numărare. Peste valoarea U_D descărcarea devine continuă și apare pericolul deteriorării detectorului. De aceea este interzisă depășirea acestei valori la ridicarea experimentală a caracteristicii.

Detectoarele au un timp de viață limitat, putând înregistra doar $10^8 - 10^9$ impulsuri, după care caracteristica de numărare se alterează treptat; palierul se micșorează în timp ce panta lui crește. De aceea în exploatare este indicată verificarea periodică a caracteristicii de numărare a detectoarelor.

Tensiunea de lucru se alege în prima jumătate a palierului, iar valoarea ei depinde de tipul detectorului fiind de aproximativ 400 V pentru detectoarele ce au ca gaz de extincție un halogen și 800 – 1700 V pentru detectoarele cu gaz de extincție organic.

3. Descierea instalației experimentale

Sistemul de detectare al radiației nucleare emise de o sursă radioactivă cuprinde un detector și o instalație electronică auxiliară. În detectorul de radiații se produce procesul de interacțiune prin care particula incidentă își cedează energia (parțial sau total), energie pe care detectorul o transformă în semnal electric.

Instalația electronică auxiliară primește impulsurile de la detector indicându-se fie numărul total de impulsuri primite pe durata înregistrării (regim de numărător), fie numărul de impulsuri primite în unitatea de timp sau o mărime proporțională cu acest număr (regim de cadentmetru sau de integrator).

Funcționarea unui numărător electronic poate fi urmărită cu ajutorul schemei bloc date în figura 4.

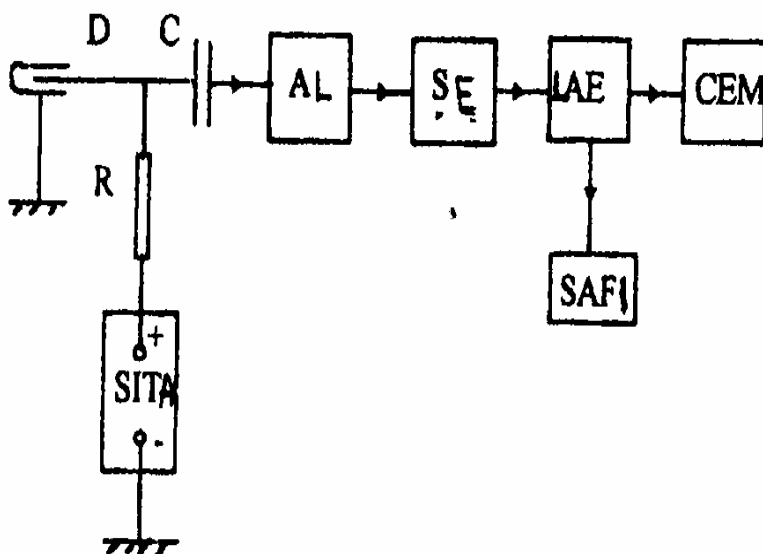


fig. 4

Impulsurile sosite de la detectorul D, care este alimentat de la sursa de înaltă tensiune SIT, sunt culese pe rezistența R, trec prin condensatorul de blocare a componentei de curent continuu C și sunt apoi amplificate în etajul A. Circuitul de standardizare S

aduce toate impulsurile la aceeași durată. Dispozitivul electronic de divizare AE conține de obicei și un sistem de afișare cu becuri de neon SAF, care ne indică - în limitele capacității sale maxime de înmagazinare (de ex. 63 sau 99) - numărul de impulsuri primite. Fiecare al 64-lea impuls (în sistem binar) sau al 100-lea impuls (în sistem zecimal) acționează un dispozitiv numit (contor) electromagnetic CEM. Necesitatea dispozitivului electronic de divizare prealabilă s-a impus datorită faptului că dispozitivul electromagnetic are o inerție relativ însemnată și nu poate răspunde fidel în cazul vitezelor de numărare mari.

4. Modul de lucru

Se va ridica experimental caracteristica de numărare a detectorului Geiger-Müller pentru două regimuri:

- a) în absența sursei radioactive, în care caz impulsurile se datoresc numai fondului de radiație;
- b) sub acțiunea radiațiilor emise de sursa radioactivă.

Plecând de la valoarea minimă a tensiunii, cu numărătorul pornit, se mărește treptat tensiunea aplicată detectorului până când apar primele impulsuri semnalate de numărător. Aceasta înseamnă că a fost depășită tensiunea de prag. Se mai mărește puțin tensiunea (până când indicatorul voltmetrului ajunge în dreptul diviziunii imediat următoare) și se face prima înregistrare a fondului, pe durata a 5 minute. Apoi se variază tensiunea din diviziune în diviziune (intervalul dintre două diviziuni poate fi 25V, 40V sau 50V, după tipul numărătorului) și pentru fiecare valoare se face o înregistrare de 5 minute. Din datele

obținute se determină întinderea palierului. Creșterea tensiunii se oprește atunci când viteza de numărare depășește de 2-3 ori viteza de numărare corespunzătoare palierului.

În mod analog se repetă măsurătorile cu sursă radioactivă, fiecare înregistrare având acum o durată de numai 2 minute.

Rezultatele celor două serii de determinări se trec în următorul tabel, în care numărul de linii depinde de tensiunea maximă permisă pe contor și de rezoluția de variație a tensiunii (acestea informații vor fi oferite de cadrul didactic):

nr. crt.	U[V]	N[timp]	n[imp/min]

În tabel, N este numărul total de impulsuri înregistrate la o determinare, iar n este viteza de numărare corespunzătoare.

5. Indicații pentru prelucrarea rezultatelor experimentale

Se trasează grafic cele două caracteristici de numărare pe hârtie milimetrică, cu ajutorul datelor din tabele. Caracteristicile vor fi trasate prin puncte. Se calculează panta pentru fiecare caracteristică, folosind relația (3).

Referatul va cuprinde un rezumat al teoriei, datele experimentale, cele două caracteristici și calculul pantelor.

Întrebări :

1. Ce este radioactivitatea? Ce sunt radiațiile nucleare?
2. Care este domeniul de lucru al detectorului Geiger-Müller?
3. Ce aplicații practice ale detectoarelor Geiger-Müller cunoașteți?