

MASURAREA ENERGIEI RADIATIEI GAMA CU AJUTORUL  
UNUI SPECTROMETRU CU SCINTILATIE MONOCANAL

Introducere

Radiația gama este emisă de către nucleele atomice aflate în stări excitate, emisia fiind asemănătoare cu cea a radiației electromagnetice emisă de către atomi excitați. Faptul că radiația gama prezintă un spectru discret dovedește că și în nucleu ca și în atom energia este cuantificată. Dezintegrarea  $\alpha$  și  $\beta$  lasă în multe cazuri nucleul nou format într-o stare excitată, revenirea la starea fundamentală făcându-se prin emisia unei sau a mai multor cuante gama. De exemplu o stare excitată a nucleului de  $^{137}_{55}\text{Ba}$  apare la dezintegrarea  $\beta^-$  a  $^{137}_{55}\text{Cs}$  iar la dezintegrarea  $\beta^-$  a  $^{60}_{27}\text{Co}$  apar două din stările excitate ale nucleului  $^{60}_{28}\text{Ni}$ .

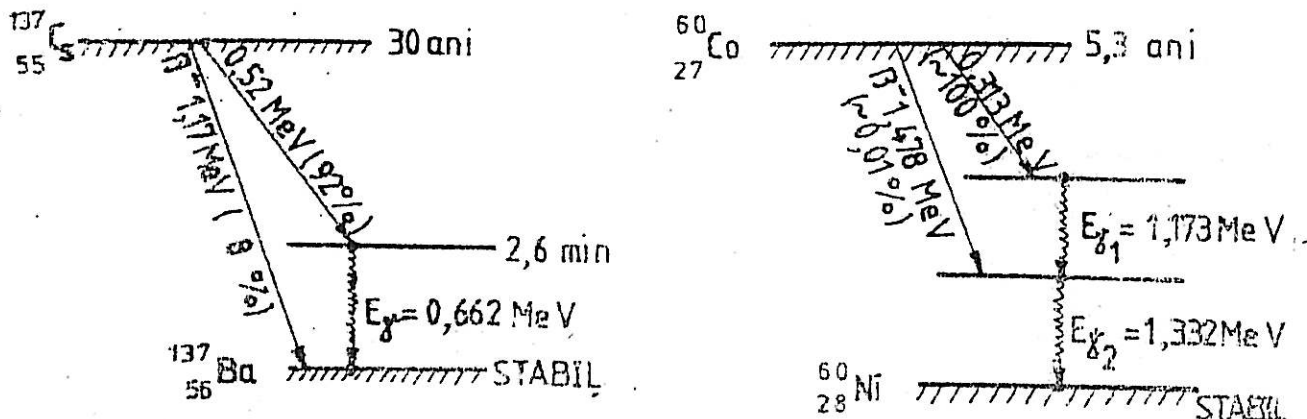


Fig.1.

Măsurarea energiei acestor radiații  $\gamma$  ne dă astfel informații asupra nivelelor de energie din nucleu și deci prezintă o importanță fundamentală pentru fizica nucleară. Printre metodele spectrometriei nucleare amintim: metoda atenuării unui fascicul gama bine colimat; măsurarea lungimii de undă  $\lambda$  ( $E = hc/\lambda$ ) cu

ajutorul difracției pe rețele atomice (spectroscopia cu cristal curbat); măsurarea energiei electronilor Compton la un unghi stabilit cu ajutorul unui spectrometru de electroni; măsurarea energiei electronilor de conversie internă tot cu ajutorul spectrometrelor de electroni; măsurarea energiei cu ajutorul spectrometrelor cu scintilație sau cu ajutorul detectorilor cu semiconductori. În prezenta lucrare se va folosi penultima metodă.

### Principiul lucrării

Metoda spectrometriei cu cristale cu scintilație se bazează pe fenomenele fizice care au loc la interacțiunea radiației  $\gamma$  cu materia. Astfel în cazul substanțelor scintilatoare energia cuante lor  $\gamma$  este convertită în energie luminoasă (scintilație) care este apoi transformată în semnal electric cu ajutorul unui fotomultiplicator. Există multe substanțe minerale sau organice solide și lichide care prezintă astfel de proprietăți scintilatoare. O cerință esențială pentru detecția este ca pentru lungimea de undă a scintilației substanța respectivă să fie transparentă. Una dintre cele mai utilizate substanțe scintilatoare în spectrometria gama este iodura de sodiu activată cu taliu;  $\text{NaI}(\text{Tl})$ , cristal folosit și în cazul nostru. Impuritățile (atomi de taliu) vor constitui centrele de luminiscență. Excitarea acestor centre este făcută de electronii care apar în urma interacțiunii radiației gama cu substanța prin cele trei efecte: efectul fotoelectric, efectul Compton și formarea de perechi. Energia electronilor primari apăruți prin aceste efecte este convertită în energie luminoasă prin intermediul electronilor secundari care excită atomii de impuritate și care prin dezexcitare vor emite radiația luminoasă (scintilația).

Intensitatea acestei scintilații,  $I$ , este proporțională cu numărul de atomi excitați număr care depinde la rândul său de energia cuantelor gama.

$$I = k_1 E_{\gamma} \quad (1)$$

Scintilația produsă scoate prin efect fotoelectric extern din fotocatodul fotomultiplicatorului un număr de electroni,  $n_0$ , proporțional cu intensitatea scintilației  $I$ .

$$n_0 = k_2 I = k_1 k_2 E_{\gamma} = k_3 E_{\gamma} \quad (2)$$

Acest număr de electroni va fi multiplicat de ansamblul de dinode al multiplicatorului obținându-se în final pe rezistența de sarcină un impuls de tensiune,  $U_0$ , proporțional cu numărul electronilor  $n_0$  care cad pe prima dinodă:

$$U_0 = k_0 n_0 a^m = k_0 a^m k_3 E_{\gamma} = k E_{\gamma} \quad (3)$$

În relația (3)  $a^m$  este coeficientul de emisie secundară,  $m$  numărul de dinode al multiplicatorului iar  $k_0$  un coeficient ce ține seama de gradul de colectare a electronilor de către dinode. Dacă amplitudinea impulsului de tensiune,  $U_0$  la ieșirea din fotomultiplicator este proporțională cu energia radiației gama absorbită în scintilator. În principiu dacă această constantă se determină este posibil să determinăm energia radiației gama măsurând amplitudinea impulsului de tensiune la ieșirea din fotomultiplicator

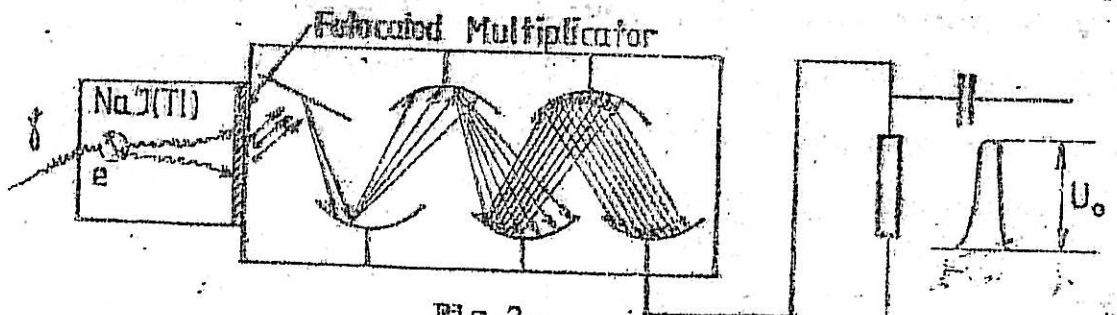


Fig.2.

Ansamblul cristal scintilator-fotomultiplicator descris mai sus și reprezentat schematic în fig.2 servește la obținerea impulsului de amplitudine  $U_0$ , proporțional cu energia pierdută în cristal de radiația gama. Aceste impulsuri sînt standardizate, adică sînt transformate în impulsuri de formă dreptunghiulară. Analiza înălțimii acestor impulsuri se realizează cu ajutorul unui analizor de amplitudine care funcționează după cum este arătat schematic pe figura 3.

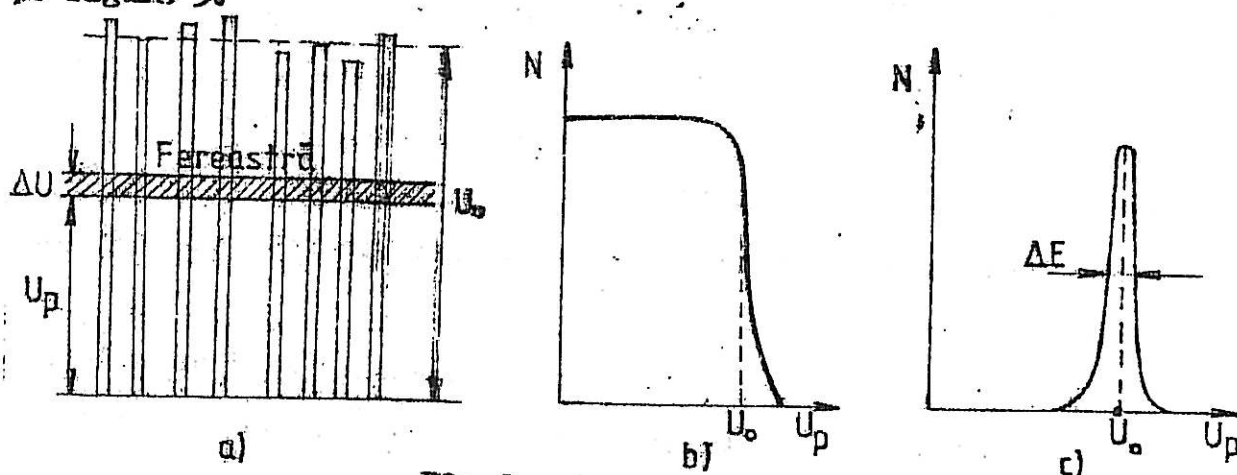
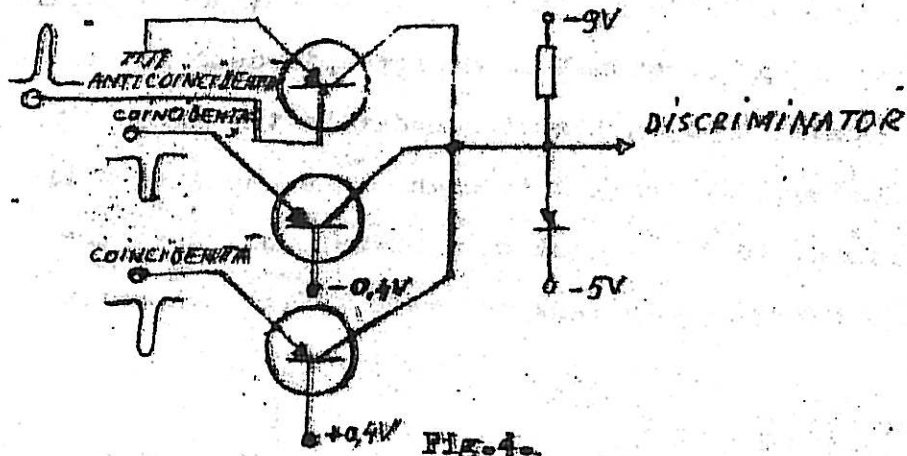


Fig. 3.

În cazul în care fereastra  $\Delta U$  este scoasă din funcțiune analizorul lasă să treacă numai impulsurile a căror valoare este mai mare decât tensiunea de prag  $U_p$ . Această tensiune de prag  $U_p$  poate fi variată continuu cu ajutorul unui potențiomtru de tip helipot. Ridicînd în trepte pragul de la valoarea 0 pînă la  $U_0$  și înregistrînd de fiecare dată numărul de impulsuri care trec prin analizor într-un interval de timp stabilit se obține spectrul integral, figura 3b. În cazul în care punem și fereastra  $\Delta U$  în funcțiune analizorul lasă să treacă numai impulsurile care au înălțimea cuprinsă între  $U_p$  și  $U_p + \Delta U$ , adică pe acele care au înălțimea cuprinsă în intervalul ferestrei.

Acest lucru se poate realiza cu ajutorul unui montaj ca cel din fig.4 care include un circuit de anticioincidență.



Reducând în acest caz de la 0 la  $U_0$  tensiunea de prag în trepte distanțate cu  $\Delta U$  între ele se obține spectrul diferențial din fig.3c.

Din cauza efectelor statistice care au loc atât în cristallul scintilator cât și în multiplicator și restul instalației electronice impulsurile de tensiune  $U_0$  corespunzătoare absorbției totale a energiei cuantei gama au o dispersie a înălțimii lor în jurul unei valori medii (fig.3a). Acest lucru se traduce prin faptul că în spectrul integral din figura 3b scăderea nu este bruscă iar în spectrul diferențial din figura 3c picul să aibă o anumită lărgime  $\Delta E$ .

Spectrele din fig. 3b și 3c sînt spectre ideale și ele ar putea fi obținute doar în cazul în care toată energia cuantelor gama ar fi absorbită de cristallul scintilator. Acest lucru are loc numai în cazul în care interacțiunea cuantei gama cu cristallul are loc prin efect fotoelectric. În acest caz întreaga energie a cuantei gama este preluată de electronul din pătura K sau L a

atomului respectiv (atomii de iod) și fotonul dispare ca entitate. Radiația X emisă la completarea păturii de pe care a plecat electronul (K sau L) suferă în continuare la rândul său un efect fotoelectric cu electronii de pe păturile superioare și astfel în final apar câțiva electroni primari cu energie mare (2-3) care cumulează întreaga energie a cuantei gama. Impulsul de tensiune  $U_0$  apărut va fi proporțional cu energia  $E_\gamma$ . Deci dacă toate cuantele gama ar interacționa cu cristalul prin efect fotoelectric ar apărea spectrul din figura 3. În realitate numai o parte din cuantele gama interacționează cu scintilatorul prin efect fotoelectric, secțiunea eficace a efectului fotoelectric scăzând cu creșterea energiei cuantelor gama. Cu creșterea energiei crește probabilitatea de interacțiune prin efect Compton. Să examinăm ce fel de impulsuri se vor obține la ieșirea din fotomultiplicator în urma interacțiunilor Compton. Prin efect Compton fotonul cu energia  $E_\gamma$  predă unui electron liber din cristal o anumită energie rezultând un foton cu o energie mai mică  $E'_\gamma$  care poate părăsi cristalul. Deci în acest caz energia pierdută în cristal este  $E - E'_\gamma$  iar impulsul de tensiune obținut  $U'$  va fi:

$$U' = k(E_\gamma - E'_\gamma) < U_0 \quad (4)$$

Deoarece energia fotonului difuzat prin efect Compton  $E'_\gamma$  poate varia continuu (vezi efectul Compton) de la energia  $E_\gamma$  (foton difuzat la  $\varphi = 0$ ) până la  $E'_{\gamma \min}$  (foton difuzat la  $\varphi = 180$ ) se vor obține impulsuri de tensiune conform relației (4). Acest fapt se va traduce prin apariția în spectrul diferențial a unui continuum începând de la valoarea 0 până la  $U'_{\max}$  alături de picul datorat efectului fotoelectric care produce impulsuri de

amplitudine  $U_0$ , figura 5 a.

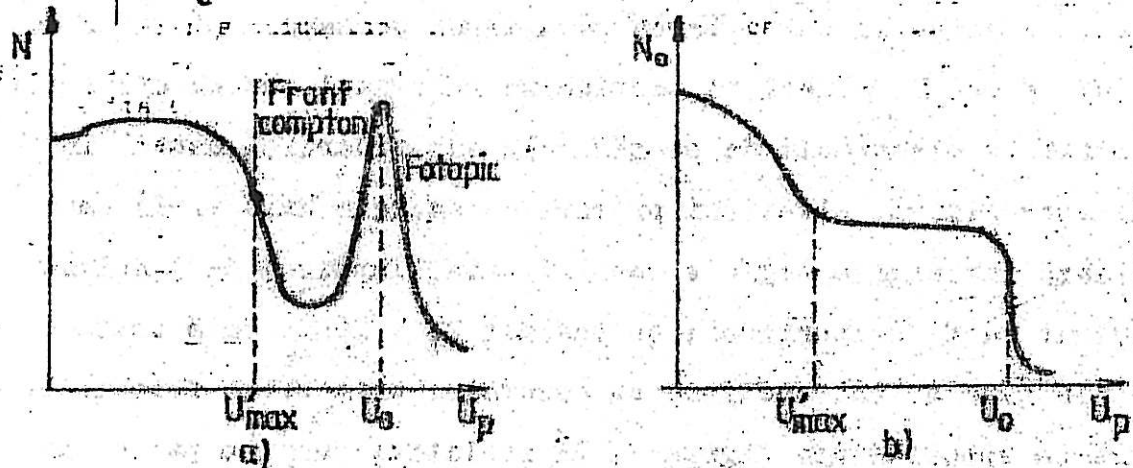


Fig. 5.

In figura 5b este prezentat spectral integral obținut în cazul în care fereastra este stocșă din funcțione și pragul variază în trepte de la 0 la  $U_0$ . Energia  $E_{fmin}$  se poate calcula aplicând legile de conservare a energiei și impulsului pentru fotonul difuzat la  $180^\circ$ .

$$E_f - E_{fmin} = (m - m_0)c^2 \quad (5)$$

$$\frac{E_f}{c} = mv - \frac{E_{fmin}}{c} \quad (6)$$

$$m = \frac{m_0}{1 - v^2/c^2} \quad (7)$$

Rezolvând sistemul dat de relațiile (5-7) se poate, obține viteza electronului Compton precum și energia  $E_{fmin}$ . Spectrul din figura 5 apare în cazul în care radiația gama este compusă din fotoni de o singură  $E_f$ .

Interacțiunea prin formare de perechi face ca în cristal să apară p pereche electron-positron și fotonul dispare. Deci în acest caz va apare tot un impuls de tensiune  $U_0$  proporțional cu  $E_f$  și care va contribui la creșterea fotopicului. În acest caz

însă este posibilă apariția a încă două picuri la energiile:

$$E_{\gamma 1} = E_{\gamma} - 0,511 \text{ MeV} \quad (8)$$

$$E_{\gamma 2} = E_{\gamma} - 2 \times 0,511 \text{ MeV} \quad (9)$$

Pozitronul apărut în cristal după ce a ajuns la energii termice se anihilează cu un electron ducând la apariția a două cuante gama cu energia de 0,511 MeV conform relației:

$$2 m_0 c^2 = 2E_{\gamma} \quad (10)$$

În cazul în care una din cele două cuante de 0,511 MeV a părăsit cristalele înainte de a interacționa iar a doua interacționează prin efect fotoelectric cu cristalele apare picul de la energia  $E_{\gamma 1}$  (rel.8) numit și pic de simplă scăpare. Dacă ambele cuante gama părăsesc cristalele apare atunci picul cu energia  $E_{\gamma 2}$  (9) numit pic de dublă scăpare. Interacțiunea prin *favmare* de perechi este posibilă numai când energia cuantei  $\gamma$  incidente  $E > 2m_0 c^2$  adică 1,022 MeV dar secțiunea eficace a acestui efect devine însemnată numai la energii  $E_{\gamma} > 2 \text{ MeV}$  când și efectul fotoelectric și efectul Compton au probabilități mult mai mici.

#### Descrierea aparaturii

Șema de principiu a unei instalații de spectrometrie gama monocanal este arătată în fig.6. Cristalele scintilator împreună cu fotomultiplicatorul și preamplificatorul formează sonda detectoare încapsulată într-un cilindru de aluminiu. Tot în interiorul sondei se găsește și circuitul de producere a înaltei tensiuni necesare funcționării fotomultiplicatorului. Sonda este



produsă de F.A.N.- București și este de tipul S119 MB. Celelalte

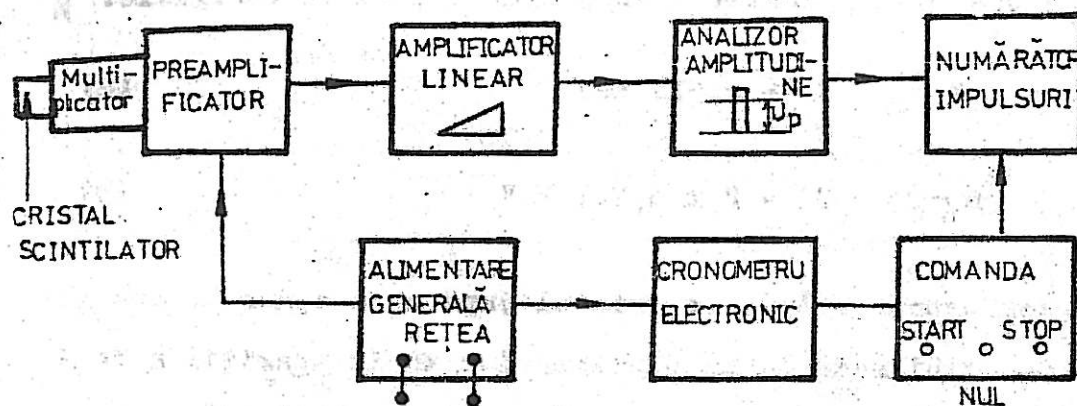


Fig.6.

părți componente ale spectrometrului arătate în fig.5 sînt încorporate în instalația de numărare de tipul NUMECINT 88 produsă de F.A.N.-București.

Pe panoul frontal al instalației NUMECINT 88 se află următoarele comenzi:

1. Cuplarea la rețea (POWER) prin acționare sus-jos. Apare luminat afișajul numărătorului cu opt cifre.

2. Comutatorul modului de lucru (MODE) cu cinci poziții.

Pe prima poziție (PRESET TIME) numărătorul afișează numărul de impulsuri într-un timp stabilit în  $\mu$ s cu ajutorul celor două butoane PRESET STEPS și MULTIPLIER. În poziția doua, PRESET COUNT numărătorul afișează timpul în  $\mu$ s necesar înregistrării unui număr de impulsuri stabilit tot cu ajutorul celor două butoane PRESET STEPS și MULTIPLIER. Pe poziția TIME INTERVAL numărătorul funcționează pe post de cronometru electronic afișînd timpul. Această poziție este cuplată numai cu butonul PRESET STEPS, butonul MULTIPLIER putînd fi în orice poziție. Dacă butonul PRESET STEPS este pe  $10^6$

atunci numărătorul afișează timpul în secunde iar în cazul în care este pe poziția 1 timpul este afișat în  $\mu$ s. Poziția PERIOD AVERAGE cuplată cu butoanele PRESET STEPS pe poziția 1 și MULTIPLIER tot pe poziția 1 face ca numărătorul să afișeze timpul în  $\mu$ s dintre două impulsuri. Pe ultima poziție TEST numărătorul afișează numărul selectat cu ajutorul celor două butoane discutate mai sus. Se folosește pentru verificarea instalației.

În mod normal poziția de lucru a butonului MODE este indicația PRESET TIME adică lucrăm cu un timp de măsură prestabilit cu ajutorul butoanelor amintite. Dacă butonul PRESET STEPS este pe poziția  $\infty$  atunci cronometrul este scos din funcție și oprirea numărării se face prin acționarea butonului STOP. Pe timpul cât instalația numără beculețul GATE este aprins. Pe pozițiile PRESET COUNT și PERIOD AVERAGE se aprinde și beculețul  $\mu$ s.

3. Butonul START-STOP cu acționare prin basculare sus-jos. Porneste și oprește alternativ numărătorul.

4. RESET este butonul de stergere prin apăsare a afișajului.

5. Butonul DISPLAY-STORE. Pe poziția DISPLAY numărătorul afișează numărul de impulsuri (sau unități de timp) pe tot parcursul numărării. Pe poziția STORE afișează numărul de impulsuri numai la sfârșitul măsurătorii.

6. Comutatorul înaltei tensiuni H.V.SUPPLY este pe poziția neacționat (în jos). Se folosește numai atunci când dorim să alimentăm cu tensiune înaltă altă instalație. În acest caz se comută pe poziția ON și tensiunea înaltă se scoate de la mufa H.V.OUT de pe panoul din spatele aparatului. În același timp se aprinde și beculețul indicând polaritatea înaltei tensiuni.

Observație: Înalta tensiune necesară funcționării fotomul-

tiplicatorului este obținută după cum am mai spus în însăși sonda detectoare.

7. Potentiometrul H.V. ADJUST. Variază tensiunea înaltă scoasă prin mufa H.V. OUP. În cazul nostru nu este acționat.

8. Butoanele PRESET STEPS și MULTIPLIER funcționează așa cum a fost descris la comutatorul modului de lucru.

SERTARUL SID 88. Este un sertar interschimbabil cu sertarul SII88. Pe acest sertar se găsesc următoarele comenzi:

9. Mufa INPUT Este o mufă prin care se pot introduce în analizor impulsurile obținute de la altă instalație. Butonul INV-NON INV poate să selecteze polaritatea impulsurilor introduse prin această mufă.

10. Comutatorul COARSE GAIN. Este un buton prin care mărim factorul de amplificare al amplificatorului liniar. Are patru poziții. În funcție de energia cuantelor acesta va fi pus pe valori mari ( $\times 10$ ) pentru energii mici și pe valori mici ( $\times 1$ ) pentru energii mari.

11. Potentiometrul LOW LEVEL este butonul care variază tensiunea de prag de la 0-10 V, respectiv de la 0-1000 diviziuni.

12. Potentiometrul WINDOW este butonul care reglează lățimea ferestrei tot în volți (de la 0-10 V). Spectrul gama diferențial se obține făcând o lățime a ferestrei să zicem de 0,2 V și ridicând pragul de la 0 la 10 V. În acest caz comutatorul care se găsește între fereastră și tensiunea de prag trebuie să fie pe poziția din dreapta, săgeata indicând că fereastra este în funcționare. În cazul în care acest buton este pe poziția din stânga fereastra este scoasă din funcțiune și prin ridicarea tensiunii de prag se obține spectrul integral.

Pe panoul din spate se mai găsesc următoarele:

13. Mufa de legare a sondei scintilatoare la instalația propriuzisă specificată prin indicația PROBE.
14. Indicația REFERENCE cu un comutator. Pe poziția INT toate comenzile sînt date instalației însăși iar pe poziția de jos EXT comenzile sînt date prin mufă respectivă din exterior.
15. Indicația HOLD TIME (timpul de pauză). Conține un comutator cu două poziții și un potențiomtru care poate fi reglat între MIN și MAX. Dacă butonul este pus pe indicația  $\infty$  numărătorul execută o singură măsurare fixată cu ajutorul celor două butoane de pe panoul frontal (PRESET STEPS și MULTIPLIER), după care o nouă măsurare se face ștergînd afișajul cu butonul RESET și dînd o comandă de start din butonul START-STOP.  
In cazul în care butonul HOLD-TIME este pe poziția de jos atunci comanda START-STOP este scoasă din funcțiune și instalația repetă măsurătoarea de un număr de ori. Timpul dintre aceste măsurători se fixează cu ajutorul butonului MIN-MAX.
16. Instalația poate comanda la rîndul său oprirea și pornirea altor instalații prin mafele de START și STOP.

#### MODUL DE LUCRU

Cu ajutorul unei instalații de numărare de acest tip se va ridica spectrul diferențial pentru o sursă de  $^{60}\text{Co}$  și o sursă de  $^{137}\text{Cs}$  avînd energiile gama indicate și pe figura 1. (662 keV pentru cesiu și 1170 keV și respectiv 1330 keV pentru cobalt. Se va lucra cu o lărgime a fîrestrei de 0,1 V variînd tensiunea de prag de la 0-10 V din 0,1 în 0,1 volți. Timpul de măsură se va alege astfel încît să avem un număr suficient de impulsuri și butonul HOLD-TIME va fi pus în jos caz în care

instalația face automat mai multe măsurători. Se vor face câte 3 măsurători pentru fiecare tensiune de prag. Amplificarea COARSE GAIN se va alege în așa fel încît fotonurii cobaltului să intre în spectru. Pentru aceasta se va proceda în felul următor: Se aduce sursa de cobalt în dreptul cristalului scintilator. Se pune comutatorul PRESET STEPS pe poziția 00 și se acționează butonul de start. Pareasta va fi scosă din funcțiune. Fixăm butonul COARSE GAIN pe poziția 10 și ridicăm pragul continuu pînă la 10 V. Dacă și la  $U_p = 10$  numărătorul înregistrează impulsuri numeroase (provenite de la sursă) vom micșora amplificarea cu o treaptă. În cazul în care numărătorul nu mai înregistrează impulsuri la această valoare a amplificării această este corespunzătoare și putem trece la ridicarea spectrului. În caz contrar se micșorează încă cu o treaptă amplificarea ( $\times 2$ ) și așa mai departe. Pentru cesiu se va păstra aceeași valoare a amplificării și se va ridica la fel spectrul diferențial. După obținerea spectrului în cazul celor două surse se va ridica dreapta de etalonare a spectrometrului (Fig.7).

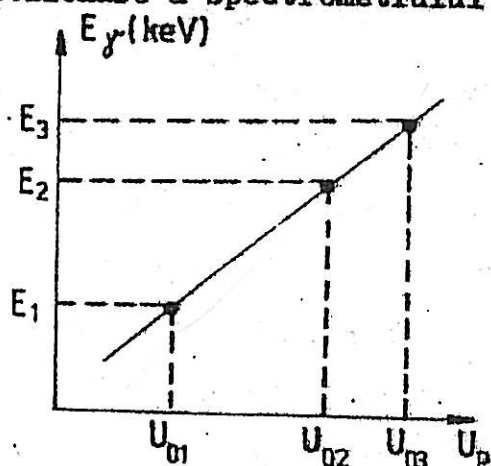


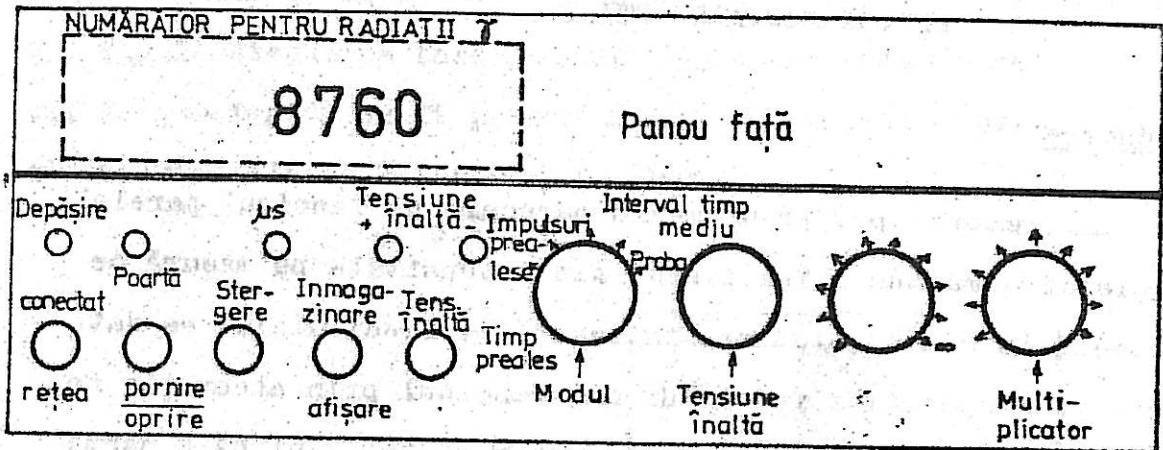
Fig.7.

Pentru a obține această etalonare (echivalentă cu determinarea constantei  $k$  din relația 3) se vor identifica din spectrele obținute tensiunile de prag  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  și  $U_{03}$  la care apar energiile cesiului ( $E_1 = 660$  keV) și cobaltului ( $E_2 = 1170$  keV,  $E_3 = 1330$  keV).

Cele trei puncte de pe grafic vor determina dreapta de etalonare

În continuare se va ridica spectrul gama a unei substanțe care emite energii gama necunoscute (pechblendă). Din poziția fo-

topicurilor din acest spectru și folosind graficul de etalonare din fig.6 se vor determina aceste energii necunoscute.



Numărătorul de impulsuri se caracterizează prin viteza maximă de numărare a impulsurilor pe secundă, prin capacitatea sau numărul total de impulsuri care pot fi citite pe sistemul de afișaj și prin semnalul minim de detecție. Pentru a nu complica și scumpi instalația, o alegere judicioasă a celui mai potrivit numărător se impune și în acest caz. Parametrul hotărâtor în complexitatea numărătorului este reprezentat de viteza lui de numărare, care începe să influențeze puternic de la valori mai mari de  $10^7$  imp/s. Deoarece pentru lucrările de radiochimie analitică detectoarele de radiații nu permit o rezoluție temporală mai bună de  $10^{-6}$  s, rezultă că un numărător cu o viteză de  $10^6$  imp/s este excelent.

Integratorul este un sistem electronic care permite înregistrarea valorii medii a vitezei de numărare a impulsurilor care vin de la detector. Unicul parametru de alegere a acestui aparat îl reprezintă eroarea statistică de integrare pentru diferite viteze de numărare. Deoarece complexitatea aparatului crește considerabil cu posibilitățile de reducere a acestei erori, la alegerea lui trebuie să se țină cont de precizia urmărită în măsurători. Un calcul sumar al erorilor arată că o eroare de numărare a integratorului de 1% este de cele mai multe ori mai mică decât eroarea dată de detector. O astfel de precizie este suficientă în majoritatea măsurătorilor de laborator.

Deoarece integratoarele furnizează valoarea medie a numărului de impulsuri corespunzător unei anumite activități, astfel de aparate se folosesc în special ca indicatoare de nivel al radiațiilor. Folosirea lor în măsurători în locul numărătoarelor electronice este mai incomodă și precizia determinărilor de intensitate este mai mică.

### 1.6.5. Spectrometria radiațiilor $\gamma$

Intensitatea fluorescenței produsă într-un scintilator este proporțională cu energia fotonilor  $\gamma$  absorbiți în întregime de cristal. Din această cauză, scintilatorul permite atât înregistrarea numărului radiațiilor care au produs scintilațiile luminoase, cât și energia lor. Instalația cu care se obțin astfel de informații se numește spectrometru  $\gamma$  cu scintilație. Schema-bloc a unei astfel de instalații este arătată în figura 1.13.

Impulsurile electrice ieșite din fotomultiplicator trec printr-un preamplificator la amplificatorul liniar de bază. Amplitudinile impulsurilor astfel obținute sînt riguros proporționale cu energia fotonilor  $\gamma$ . Selectorul de amplitudine discriminează impulsurile ale căror amplitudini sînt cuprinse între două valori bine determinate. Acest interval se exprimă în volți și poate fi deplasat la valori diferite. Printr-o astfel de deplasare, impulsurile, în totalitatea lor, pot fi măsurate succesiv și permit ridicarea unui spectru (număr de impulsuri în funcție de energia lor) cunoscut sub denumirea de spectru  $\gamma$ . Selectorul, care permite deci

ridicarea unui spectru prin măsurări repetate de amplitudini, se numește un analizor monocanal.

Spectrul  $\gamma$  se poate ridica și deodată, când măsurătorile de amplitudine se fac concomitent pe mai multe canale cu intervale fixe de tensiune. Un astfel de selector se numește analizor multicanal.

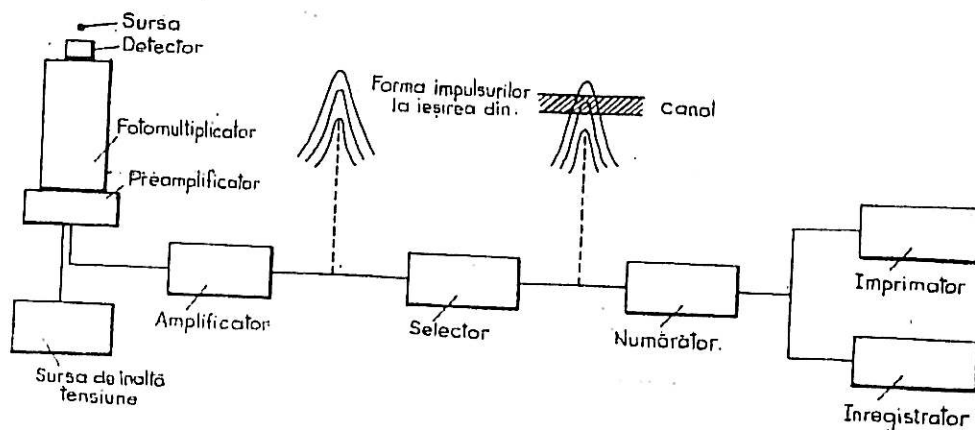


Fig. 1.13. — Schema-bloc a unei instalații de spectrometrie  $\gamma$ .

Analizoarele multicanal sînt aparate deosebit de utile în analiza radiometrică și radiochimică și tind să înlocuiască analizoarele monocanal. Totuși, la ora actuală, acestea au încă o largă utilizare în înregistrarea unei anumite porțiuni din spectrul energetic în prezența radiațiilor care nu depășesc intervalul respectiv de energie.

Analizoarele multicanal moderne pot efectua o serie de măsurători deosebit de utile, ca extragerea fondului, înregistrarea logaritmică a spectrelor, înregistrarea detaliată a anumitor porțiuni din spectru etc. În operația de extragere a fondului, analizorul înregistrează mai întîi spectrul cercetat apoi se îndepărtează sursa și analizorul înregistrează „prin scădere” fondul mediului înconjurător. Evident că timpul de scădere al fondului va fi egal cu timpul necesar pentru ridicarea spectrului.

Deseori întîlnim spectre în care unele linii energetice sînt cu cîteva ordine de mărime mai intense decît altele. În acest caz, înregistrarea logaritmică a spectrului complex favorizează deosebit de mult observarea liniilor slabe ca intensitate în prezența celor intense.

Cînd în spectrul cercetat interesează numai o porțiune cuprinsă într-un anumit interval de canale, analizorul multicanal permite detalierea acestei zone prin transpunerea porțiunii respective din spectru pe mai multe canale.

**1.6.5.1. Înregistrarea spectrelor.** Pentru observarea unui spectru în timpul ridicării sau după ridicare, analizoarele multicanal sînt prevăzute cu un tub catodic. Transcrierea spectrului se poate face manual, notînd numărul de impulsuri din fiecare canal. Acest procedeu durează prea



mult și astăzi aproape că nu se mai folosește. El este înlocuit cu un sistem de înregistrare electromagnetică a numărului de impulsuri de pe fiecare canal. Reprezentarea spectrului se face manual. Atunci când pretențiile la precizia numărului de impulsuri din fiecare canal nu sînt prea mari, caz întilnit frecvent în radiochimia analitică, se preferă înregistrarea grafică directă a spectrului respectiv cu ajutorul potențiofetrelor electronice înregistratoare.

**1.6.5.2. Interpretarea spectrelor.** Deoarece atât detectorul, cît și elementele din circuitul electronic asociat sînt liniare, spectrul obținut poate fi ușor interpretat calibrînd în prealabil instalația cu una sau cu mai multe surse radioactive de energii cunoscute (tabela 1.5).  
Calibrarea analizorului se face astfel. Pe un grafic avînd pe ordonată energia radiațiilor, iar pe abscisă numărul de canale, se suprapun două sau mai multe spectre ale radioizotopilor-etalon (figura 1.14). De la baza picurilor, prin mijlocul lor, se duc verticale, iar prin intersecția lor cu orizontalele corespunzătoare energiilor picurilor se duce, din origine, dreapta de calibrare. În unele cazuri, și anume atunci cînd energia

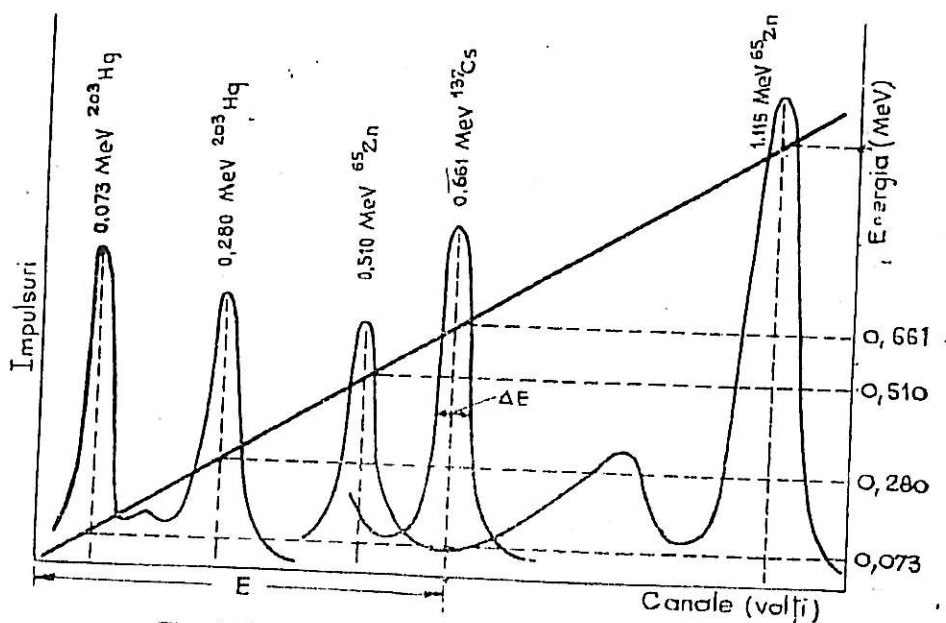
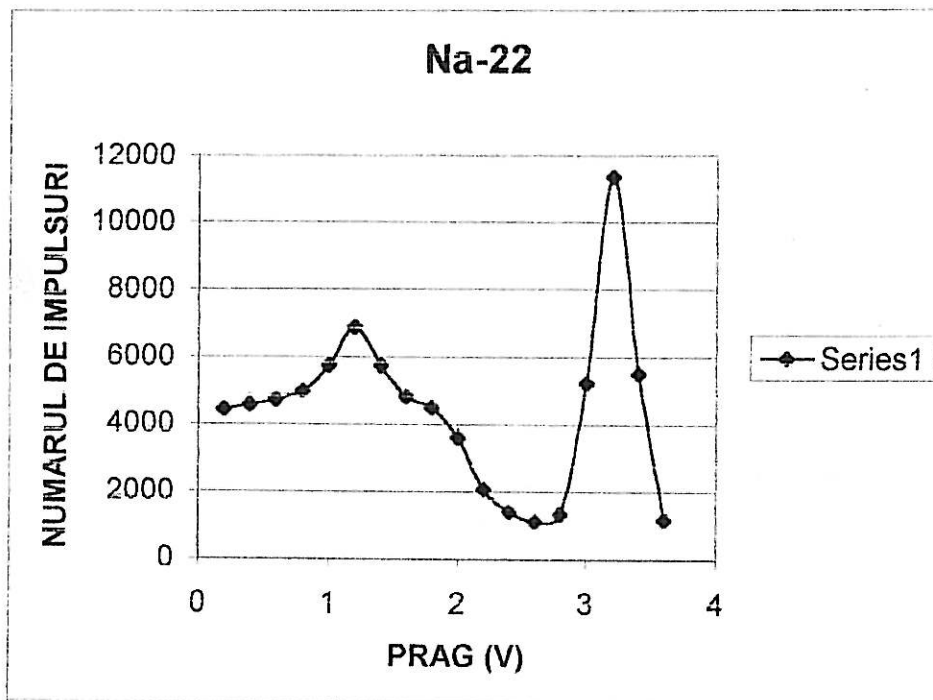
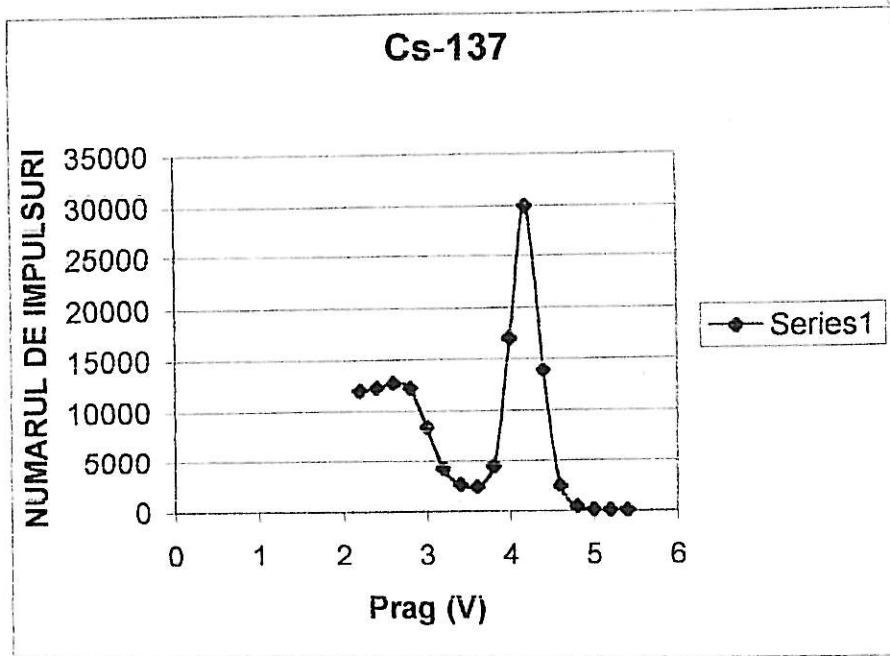


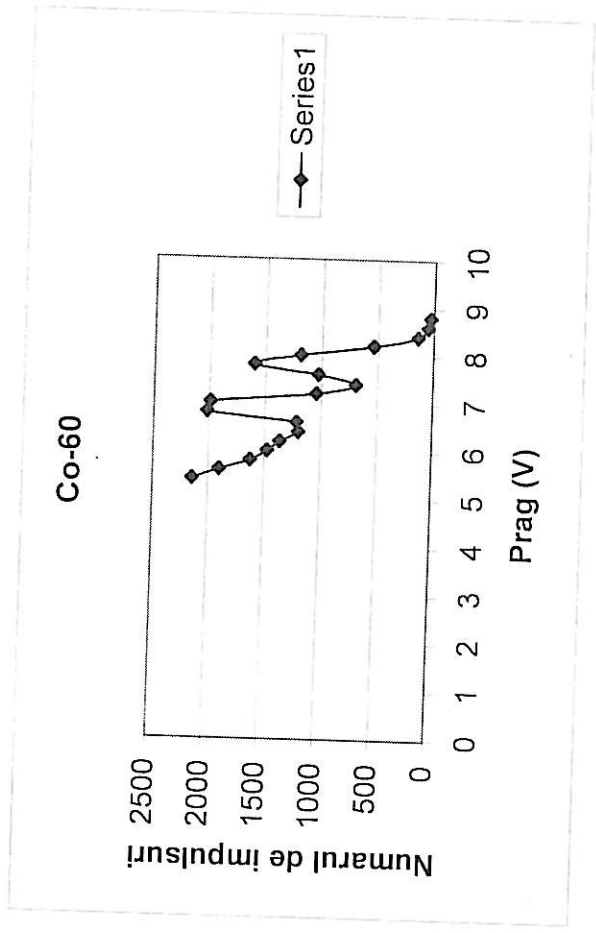
Fig. 1.14. — Etalonarea spectrometrelor de radiații  $\gamma$ .

zero nu coincide cu canalul zero, dreapta de calibrare nu trece prin originea coordonatelor.

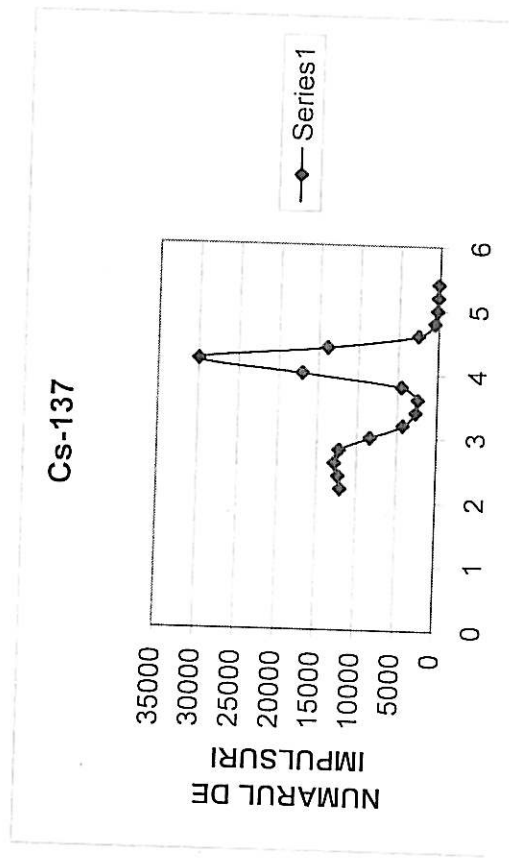
Pentru determinarea energiei corespunzătoare unui pic al unei radiații necunoscute, înregistrat în condițiile în care s-a efectuat calibrarea, se ridică prin mijlocul picului cercetat o verticală și energia corespunzătoare se citește la intersecția ei cu dreapta de calibrare.



prag (V)	
5.4	2141
5.6	1898
5.8	1622
6	1471
6.2	1363
6.4	1198
6.6	1215
6.8	2018
7	1988
7.2	1042
7.4	692
7.6	1029
7.8	1597
8	1187
8.2	538
8.4	142
8.6	51
8.8	33



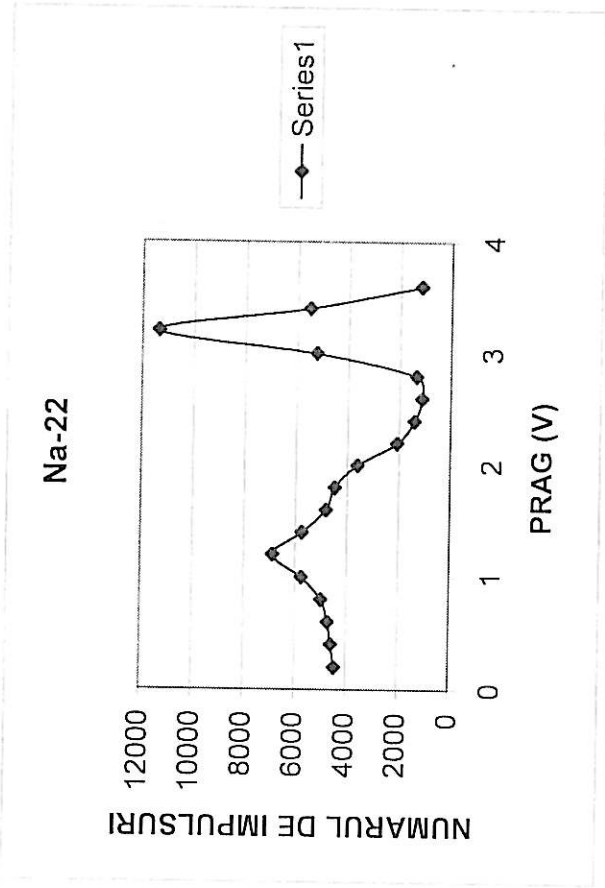
2.2	12012
2.4	12291
2.6	12767
2.8	12233
3	8382
3.2	4303
3.4	2691
3.6	2462
3.8	4507
4	17009
4.2	29936
4.4	13900
4.6	2538
4.8	487



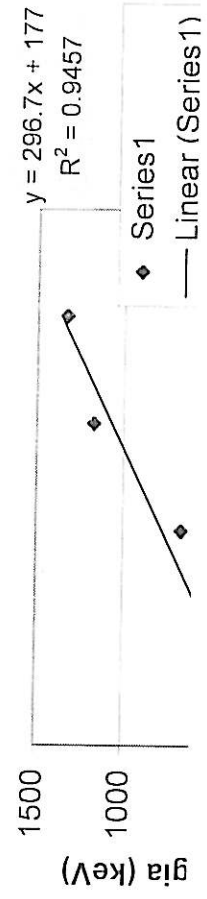
U I 2 3 4 5 6  
Prag (V)

5 192  
5.2 161  
5.4 122

0.2 4445  
0.4 4570  
0.6 4710  
0.8 4983  
1 5745  
1.2 6875  
1.4 5730  
1.6 4811  
1.8 4483  
2 3596  
2.2 2074  
2.4 1401  
2.6 1121  
2.8 1340  
3 5231  
3.2 11345  
3.4 5502  
3.6 1174



Curba de calibrare energetica



Prag (V) Energie  
3,2 511  
4,2 662  
6,8 1172  
7,8 1330