

STUDIUL RADIAȚIILOR X CARACTERISTICE

Obiectul lucrării

Studiul radiațiilor X caracteristice ale elementelor, verificarea legii lui Moseley și determinarea numărului atomic Z al unor elemente folosind legea lui Moseley. Pentru a excita radiațiile X ale atomilor se utilizează fenomenul de producere al radiației caracteristice a lor prin bombardarea atomilor cu particule de mare energie. În cazul de față se va folosi interacția cu radiațiile gama de 60keV emise la dezintegrare de către o sursă de Am^{241} .

Principiul metodei

Radiația X de fluorescență este o radiație X caracteristică produsă la tranzițiile de dezexcitare ale atomilor, adică la trecerea electronilor de nivele de energie superioare (excitate) pe altele inferioare (pe nivele libere), proces care se petrece spontan. Acest proces este guvernat de o lege de tip Balmer. Pentru un atom de tip hidrogenoid (a cărui nucleu are sarcina Ze), această relație are forma (1):

$$h\nu_{mn} = Rhc \left[\frac{(Z - \sigma_m)^2}{m^2} - \frac{(Z - \sigma_n)^2}{n^2} \right] \quad (1)$$

unde R - constanta lui Rydberg, h -constanta lui Planck, c - viteza luminii in vid, σ_m și σ_n fiind constantele de ecranare ale electronului pentru cele două stări, m și respectiv n .

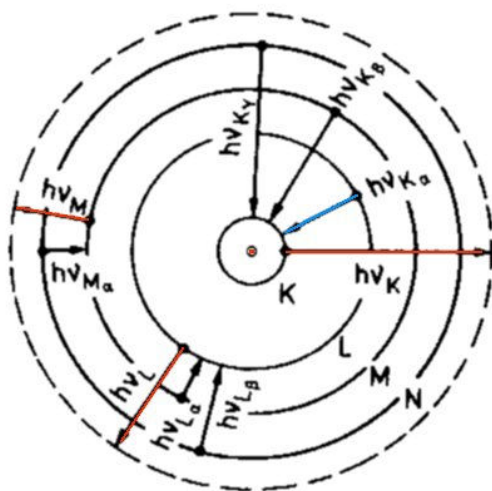


Figura 1

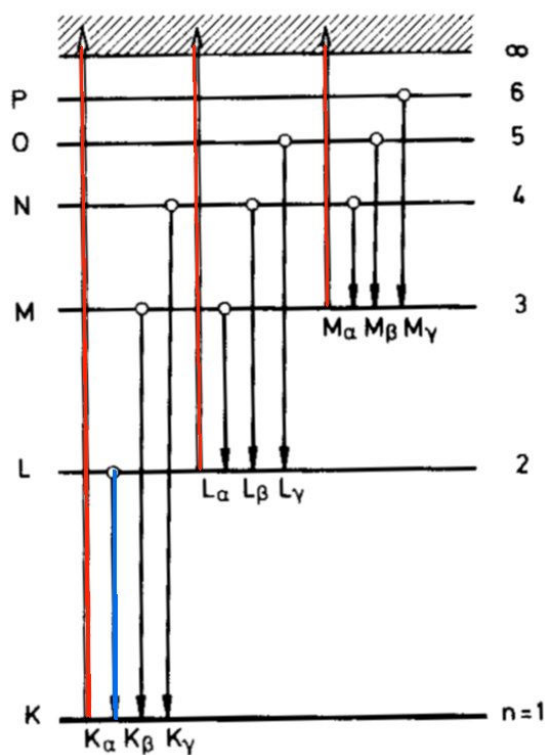


Figura 2

În figurile 1 și 2 sunt prezentate schematic modul de producere a radiației X caracteristice, ca urmare a tranzițiilor de dezexcitare a atomilor bombardați cu particule de energie suficient de mare ca atomii să fie ionizați (să piardă unul sau mai mulți electroni).

Liniile roșii indică procesul de ionizare a atomilor iar liniile albastre reprezintă cazul particular al dezexcitării de pe nivelul 2 pe nivelul 1 atomic. Sunt în același timp prezentate notațiile păturilor atomice, în ordinea crescătoare a energiei lor: K, L, M, N, ș.a.m.d. Deoarece atomii la care ne referim au mulți electroni în jurul nucleului, energia implicată pentru o tranziție este influențată nu numai de sarcina nucleului ci și de numărul și distribuția celorlalți electroni din jurul nucleului. Ca urmare, efectul acestora se poate lua în considerație printr-un termen corectiv denumit constantă de ecranare și care arată micșorarea valorii sarcinii nucleului “văzută” de electronii care suferă tranziții în atom (1). Pentru pătura K, $m=1$ iar pentru pătura L, $m=2$. Cei doi coeficienți de ecranare pentru aceste două pături se vor lua egali cu 1. Din această cauză tranziția 2-1, care conduce la apariția liniei caracteristice K_α (figura 2) va deveni:

$$h\nu_{K_\alpha} = Rhc \frac{3}{4} (Z-1)^2 \quad (2)$$

și de aici:

$$\sqrt{\nu_{K_\alpha}} = \frac{\sqrt{3R}}{2} (Z-1) = c_1 Z + c_2 \quad (3)$$

unde c_1 și c_2 sunt coeficienți ai dreptei ce leagă $\sqrt{\nu_{K_\alpha}}$ de Z . Aceasta este așa numita lege a lui Moseley (figura 3), fizicianul englez care a pus în evidență această dependență în 1913 (figura 4). Numărul atomic Z determină astfel frecvența radiației X caracteristice K_α și de aici apare posibilitatea determinării prezenței și recunoașterii unui element chimic într-o substanță prin analiza radiației X caracteristice produse de acea substanță.

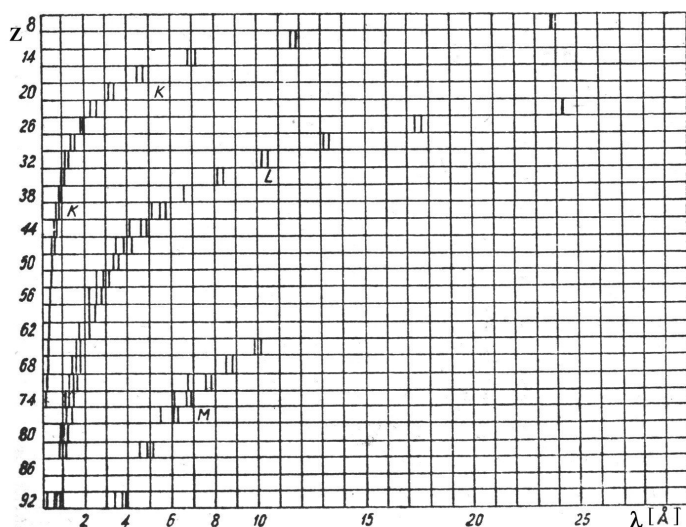


Figura 3



Figura 4

În figura 3 reprezentarea este făcută în funcție de lungimea de undă, iar în figura 5 și figura 6 aceeași dependență este reprezentată față de $\sqrt{\nu_{K_\alpha}}$.

În figura 7 este prezentat un grup de linii spectrale X înregistrate pe film fotografic, folosind un spectrograf care face analiza radiației utilizând o rețea de difracție, iar în figurile 8 și 9 sunt prezentate cele două grupuri de linii din figura 7, împreună cu imaginile graficelor de înregistrare obținute cu ajutorul microfotometrului (sau a calculatorului). Din aceste ultime imagini se poate vedea modul în care se poate determina exact poziția și intensitatea liniilor spectrale. Metodele moderne permit determinarea energiei radiațiilor X, respectiv a spectrului radiației, utilizând analizoare de energie electronice. În lucrarea de față se va folosi cu un analizor electronic.

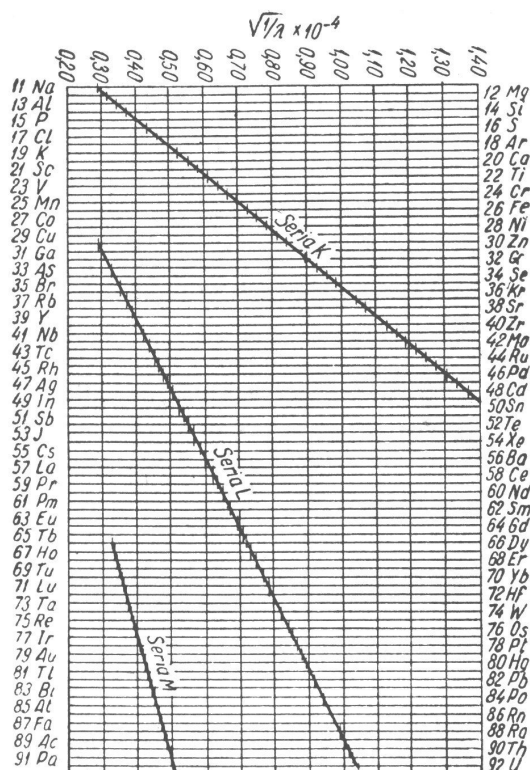


Figura 5

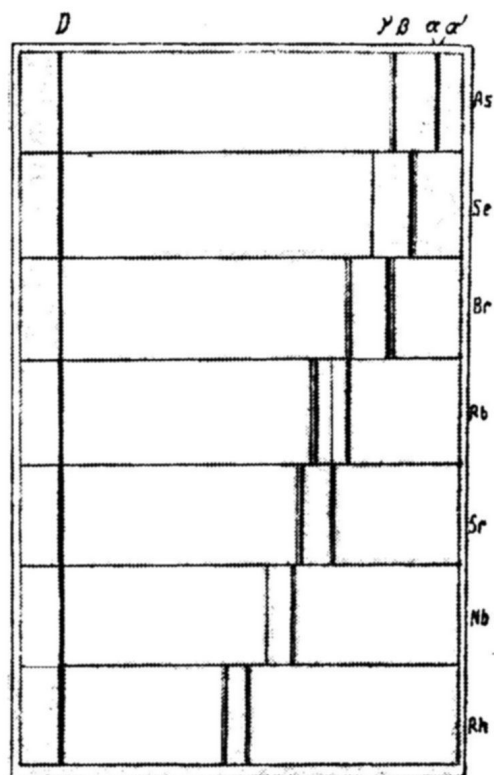


Figura 6



Figura 7

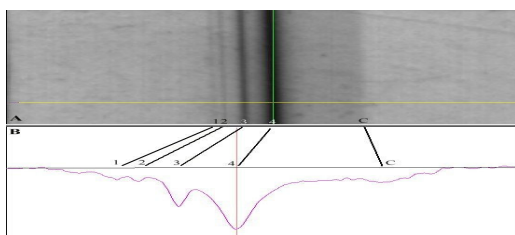


Figura 8

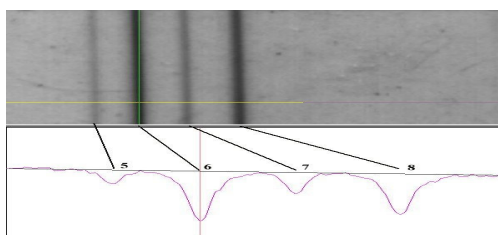


Figura 9

Modul de lucru

Instalația experimentală este prezentată în figurile 10, 11 și 12. Sistemul conține o sursă de Am-241, un detector cu contor proporțional și un lanț de măsură. Lanțul de măsură prezentat în figura 11 cuprinde un amplificator, o sursă de alimentare pentru detector, un analizor monocanal și un numărător electronic.

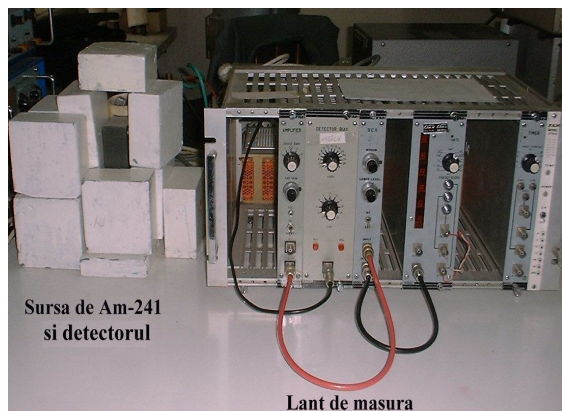


Figura 10

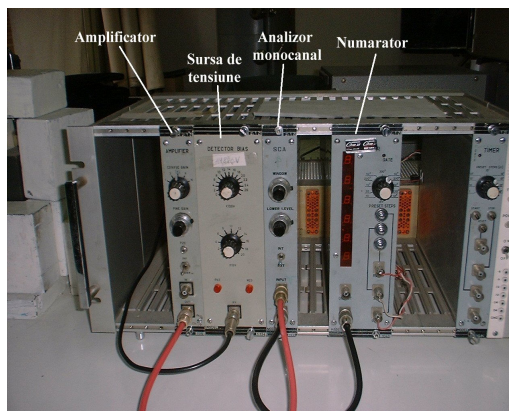


Figura 11

Sursa radioactivă și detectorul sunt plasate într-un “mormânt” de plumb pentru a ecrana și reduce fondul de radiații la detector (figura 12).

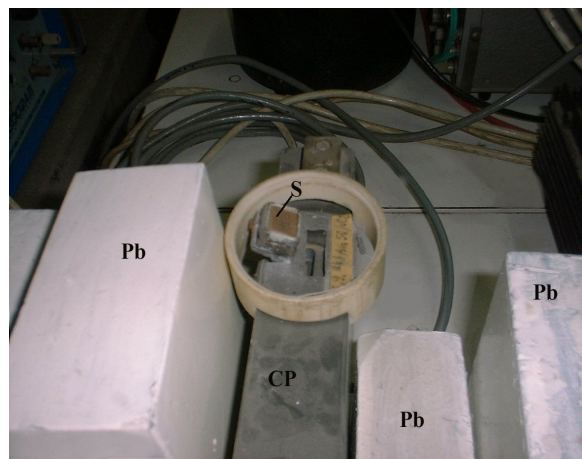


Figura 12

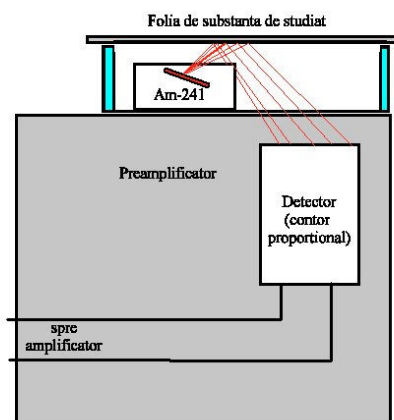


Figura 13

În figura 12 sunt prezentate: Pb – cărămizi de plumb pentru ecranarea detectorului; CP- contor proporțional; S- sursa de Am-241. Sursa de Am-241 emite cuante de 60 keV suficient de energice pentru a excita nivelele interne ale atomilor și a produce radiațiile X de fluorescență. Figura 13 arată principiul experimentului. Sursa emite radiații de 60keV, care pot ajunge în detector doar dacă provin din folia de substanță (de analizat) care este pusă orizontal, peste sursă. Orice radiație directă ce ar putea să ajungă de la sursă la detector este împiedicată cu ajutorul unui ecran subțire de plumb așezat în jurul sursei. Radiațiile provenite de la folie sunt detectate și analizate cu ajutorul unui lanț spectrometric. Contorul proporțional produce impulsuri electrice a căror amplitudine este proporțională cu energia fotonului.

Analizând distribuția de amplitudini ale impulsurilor electrice provenite de la detector se poate determina spectrul de radiații care sosesc la detector (adică dependența numărului de cuante funcție de energia lor). Analizorul monocanal este acela care facilitează această analiză (Anexa 1).

Substanțele care trebuie analizate sunt fie sub forma de folie metalică fie sub forma de pulbere și se prezintă sub forma unor plicuri pătrate. Unele dintre ele au Z -ul cunoscut iar altele nu. Folosind materialele cu Z cunoscut, se calibrează spectrometrul monocanal iar curba de calibrare obținută se folosește pentru a determina apoi Z -ul substanțelor necunoscute.

Prin urmare:

1. Se ridică spectrul de energie al radiațiilor de fluorescență pentru fiecare probă și se identifică canalul la care a apărut maximul (picul) de numărare, care corespunde energiei radiației de fluorescență.
2. Se face un tabel cu două coloane, Z – canal (energie), și apoi se reprezintă grafic perechea $(Z-1)^2$.funcție de canal (energie). Acesta va fi curba de calibrare.
3. Se identifică din curba de calibrare și din poziția canalului (energiei) radiației de fluorescență, Z -ul substanței necunoscute. Corespondența aceasta are deci la bază legea lui Moseley.
4. Faptul că $(Z-1)^2$ funcție de energie (adică frecvența cuantelor) este o linie dreaptă verifică legea lui Moseley.

Întrebări și probleme

1. Care este eroarea în cazul determinării numărului atomic Z ?
2. Din ce cauză se excită mai ușor liniile L ale radiațiilor X pentru elemente cu $Z > 50$?
3. Cum depinde precizia de determinare a Z -ului de viteza de numărare?
4. Calculați energiile (în eV) ale liniilor K pentru elementele studiate.
5. Care este semnificația fizică a constantei de ecranare?

Anexa 1

Analizorul monocanal

Detectorul de particule sesizează trecerea oricărei particule care formează electroni ca urmare a interacțiunilor posibile în contor. Detectorul de particule (contor proporțional), produce impulsuri electrice a căror formă este vizibilă în figura 14, fiind fotografiate pe ecranul unui osciloscop. Pe axa oy este reprezentată amplitudinea impulsului (în volți) și pe axa ox timpul (în s). Impulsul are o zonă de creștere relativ rapidă urmată de o descreștere ceva mai lentă. *Contorul proporțional are proprietatea de a produce impulsuri care au o amplitudine cu atât mai mare cu cât cuanta care străbate contorul are o energie mai mare.* În figura 14 sunt indicate trei astfel de impulsuri de amplitudini diferite.

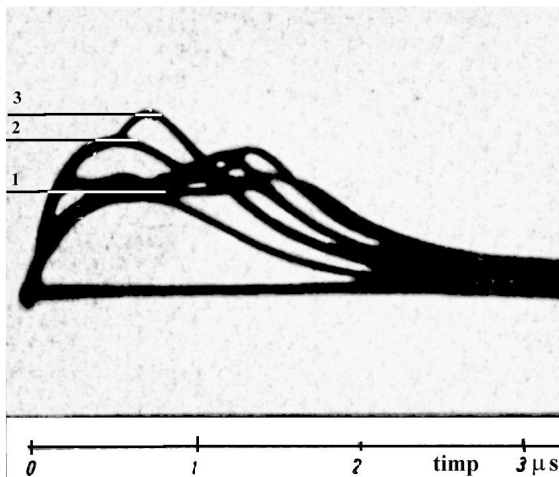


Figura 14

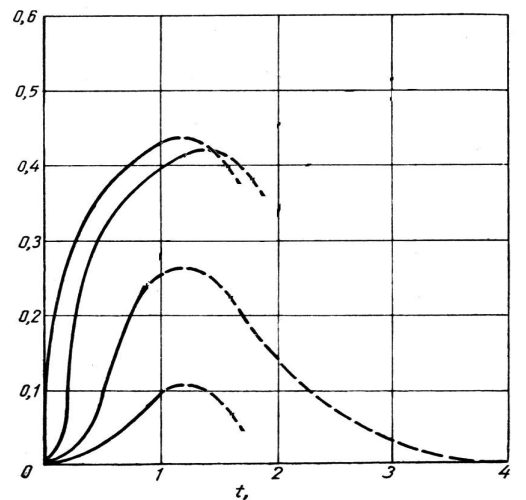


Figura 15

Celelalte impulsuri care sunt vizibile în imagine sunt rezultatul suprapunerii a două sau mai multe impulsuri. Aceasta formă poartă denumirea de “puls”. În figura 16 se prezintă graficul unor pulsuri cu scopul de a evidenția ordinul de mărime al amplitudinii și a variabilității lor. *Dispozitivul cu care putem să analizăm numărul de pulsuri care au o amplitudine dată, respectiv să analizăm fasciculul de radiații și să-i descriem spectrul de energie, se numește analizor monocanal.*

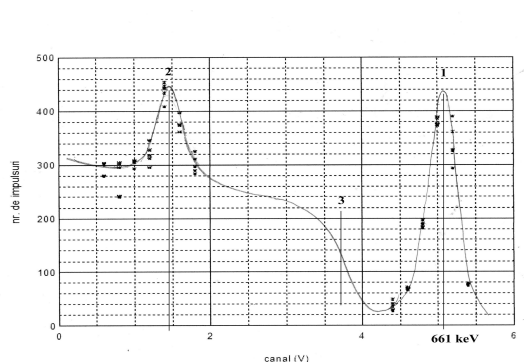


Figura 16

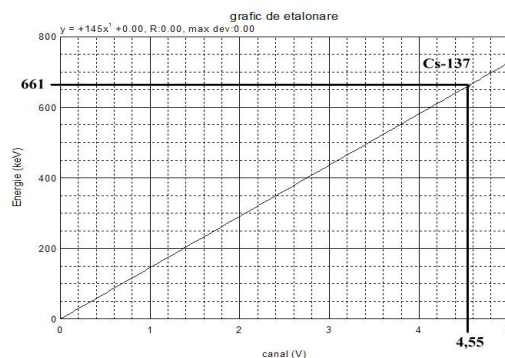


Figura 17

În principiu un analizor monocanal lasă să treacă mai departe (prin el) doar pulsurile care au o amplitudine mai mare ca o valoare prestabilită denumită prag, V_{inf} ($V > V_{inf}$), și mai mică decât o valoare maximă V_{sup} ($V_{sup} > V_{inf}$). Diferența între cele două valori poartă numele de “fereastră”, $\Delta V = V_{sup} - V_{inf}$. Ansamblul tensiunea de prag–fereastră poartă numele de “canal”. Practic se stabilește o fereastră convenabilă (pentru noi este de 0,1 V) și astfel se poate analiza spectrul, crescând treptat valoarea de prag de la 0 la o valoare maximă aleasă astfel încât cele mai energice cuante să producă pulsuri cu amplitudine mai mică ca această valoare (pentru cazul nostru această valoare maximă poate fi între 6 și 10V).

Împreună cu profesorul veți stabili aceste elemente de lucru ale analizorului.

În figura 16 se prezintă un spectru complet obținut pentru o sursă de Cs-137 care emite cuante gama de 661 keV. Picul de cea mai mare amplitudine prezent în spectru (notat cu 1) corespunde fenomenului de efect fotoelectric prin care întreaga energie a cuantei gama se va transfera electronului. Picul de maximă energie va fi produs de evenimente de acest fel, motiv pentru care el poartă numele de fotopic. Picul din figură indicat prin 2 are o altă origine și el se numește pic de retroîmprăștiere. În fine căderea bruscă a vitezei de numărare indicată aproximativ cu 3, corespunde “umărului” Compton. În jurul acestei valori se află energia maximă a electronilor produși prin celălalt proces de interacție a fotonilor gama și anume efectul Compton.

Curba de etalonare energie – canal se stabilește prin utilizarea unor picuri de energie cunoscută. În figura 16 această energie este de 661 keV, astfel încât în primă aproximație curba (dreapta) de etalonare va trece prin originea graficului și prin punctul de coordonate 4,55 (canalul, citit din graficul 16) și 661 (energia în keV). Figura 17 prezintă această dreaptă. Pentru spectrometrul care a fost utilizat și care a dat naștere la spectrul din figura 16 graficul din figura 17 va permite aflarea energiei oricăror cuante din această corespondență. În cazul nostru punctele de etalonare sunt tocmai energiile cunoscute ale radiațiilor X caracteristice produse de substanțele de Z dat.