

Notiuni Introductive de Dozimetrie

Dr. A. Stochioiu

1. Tipuri de radiatii nucleare si caracteristici. Radiatii Rontgen, gama, beta, alfa, neutroni
2. Interactia radiatiei cu substanta
 - Interactia radiatiilor gama cu substanta
 - Interactia radiatiilor beta cu substanta
 - Interactia radiatiilor alfa cu substanta
 - Atenuarea radiatiilor
3. Actiunea biologica a radiatiilor
 - Marimi si unitati folosite pentru evaluarea efectelor biologice
 - Iradieri ale organismului si limite de iradieri
 - Detectarea si masurarea radiatiilor
4. Detectori de radiatii
 - Aparatura portabila pentru masurarea dozei si a debitului dozei de radiatii
 - Aparatura pentru supraveghere dozimetrica individuala

TIPURI DE RADIATII NUCLEARE SI CARACTERISTICI

1. Tipuri de radiatii si caracteristici
 - 1.1 Radiatii Rontgen si gama
 - 1.2 Radiatii beta
 - 1.3 Radiatii alfa
 - 1.4 Neutroni

Dozimetria sau dozimetria radiatiilor nucleare este un capitol al metrologiei radiatiilor nucleare care se ocupa cu masurarea dozei de radiatii nucleare.

Aplicatiile radionuclizilor se bazeaza in principal pe folosirea radiatiilor emise in procesul dezintegrarii radioactive. Radiatie-un fascicul de particule in miscare.

Termenul de particula, folosit aici in sensul cel mai general, cuprinde atat fotonii (particule cu masa de repaus nula) cat si corpusculele (particule cu masa de repaus diferita de zero).

Fasciculele de fotoni constituie radiatiile electromagnetice, iar radiatiile fasciculele de corpuscule (radiatiile alfa, deuteronii, electronii, protonii etc.) constituie radiatii corpusculare.

Radiatiile nucleare cuprind o parte din radiatiile electromagnetice si anume cele penetrante: radiatiile de franare, radiatiile Rontgen (sau X), radiatiile de anihilare si radiatiile gamma.

Radiatiile corpusculare sunt formate din particule elementare (electroni, mezoni, protoni, neutroni etc) si din nuclee de atomi (deuteroni, helioni etc.) in miscare.

Caracteristica principala a radiatiilor nucleare este faptul ca, prin interactiunea cu substanta ele produc, direct sau indirect, ionizarea acesteia. Fasciculele de particule incarcate electric (electroni, mezoni incarcati, protoni etc.) produc ionizarea directa a substantei pe care o strabat, iar fasciculele de particule neutre (neutroni, mezoni neutri, fotoni) produc ionizarea indirecta a substantei strabatute. Radiatiile nucleare se caracterizeaza prin tipul si energia lor.

Ca unitate de masura a energiei radiatiilor nucleare este folosit electronvoltul (eV).

Un electronvolt este energia unui electron (sau a oricarei alte particule incarcata cu o sarcina elementara), care a traversat nestingherit o diferenta de potential de un volt. Energia particulelor fiind o energie cinetica, unitatea de masura, eV, poate fi extinsa si asupra radiatiilor electromagnetice

$$1\text{eV}=1,6\cdot 10^{-12}\text{ erg.}$$

$$1\text{KeV (Kiloelectronvolt)}=10^3\text{ eV}$$

$$1\text{MeV (Megaelectronvolt)}=10^6\text{ eV}$$

Radiatiile alfa

Radiatiile alfa, fiind nuclee de heliu, au masa de repaus mare, ceea ce le permite sa se deplaseze rectiliniu si au parcurs mic. In functie de energie, parcursul in aer al radiatiilor alfa este cuprins intre 2 si 10 cm, iar energiile emise de acestea sunt cuprinse in intervalul $2\div 9$ MeV.

Intr-un camp magnetic, radiatiile alfa emise de o substanta radioactiva sunt deviate sub forma unui fascicul ingust, ceea ce inseamna ca ele practic sunt emise cu aceeasi energie.

Acest tip de radiatii, desi au energie mare, avad insa un parcurs mic, provoaca o puternica ionizare specifica (numar de perechi de ioni produși pe unitatea de lungime a parcursului). In medie, o particula cu o energie de 2 MeV produce in aer 60 000 perechi de ioni pe cm.

Radiatiile beta

Radiatiile beta sunt compuse din particule cu sarcina electrica negativa sau pozitiva, fiind cunoscute in literatura sub numele de radiatii beta minus (negatroni), respectiv radiatii beta plus (pozitroni). Aceste particule au o masa de repaus de peste 7300 ori mai mica decat a particulelor alfa.

Datorita masei lor mici si faptului ca au sarcina electrica, radiatiile beta sunt usor deviate in campurile electrice create de electronii atomilor mediului strabatut, astfel incat traiectoriile lor sunt in zig-zag.

Intr-un camp magnetic, radiatiile beta emise de o substanta radioactiva sunt deviate sub forma unui fascicul larg, lucru ce arata ca ele au diverse energii, distributia energiilor fiind continua, de la valori foarte mici (aproape zero) pana la o valoare maxima, bine determinata. Aceasta este numita limita superioara a spectrului continuu beta, iar energia medie a unui spectru de radiatii beta emis de o anumita substanta radioactiva, reprezinta aproximativ 40% din valoarea acesteia. Radiatiile emise cu energia corespunzatoare limitei superioare caracterizeaza individualitatea unei substante beta-actieve. Domeniul valorilor de energii este destul de larg si cuprins intre $0,01\div 2,00$ MeV. Pentru cea mai mare parte din substantele beta active, domeniul de energii este cuprins intre cateva sute de KeV si 2 MeV.

Spectrul energetic continuu al radiatiilor beta determina un parcurs care variaza in limite foarte largi, parcursul lor in aer fiind de la cativa mm pana la cativa m si chiar zeci de metri.

Pentru radiatii beta cu aceeasi energie ca si a radiatiilor alfa, ionizarea specifica este mult mai mica. Astfel, doua radiatii, una alfa si cealalta beta de aceeasi energie vor produce 60 000 perechi de ioni pe centimetru, respectiv 60 perechi de ioni pe centimetru.

Radiatiile gamma si Rontgen

Radiatiile gamma si Rontgen sunt radiatii de natura electromagnetica ce se caracterizeaza printr-un parcurs foarte mare si o ionizare specifica mica. In functie de energia lor, pot strabate in aer un parcurs cuprins intre metri si sute de metri.

Desi acest tip de radiatii nu au sarcina electrica, datorita proceselor complexe de interactiune cu mediul pe care-l strabat, traiectoriile lor nu sunt rectilinii.

Cele doua tipuri de radiatii electromagnetice nu se diferentiaza prin natura lor inasa, radiatiile gamma au in general o energie mai mare implicit o lungime de unda mai mica fata de radiatiile Rontgen si o putere mai mare de patrundere printr-un mediu material.

Diferenta genetica este aceea ca radiatiile gamma sunt generate de nucleu, pe cand radiatiile Rontgen sunt generate de invelisul electronic al atomului sau prin interactiunea electronilor puternic accelerate cu nucleele atomilor din materialul strabatut. Radiatiile gamma emise de diferite substante radioactive au energii cuprinse in domeniul $0,2$ MeV si 7 MeV, iar spectrul este discret.

Radiatiile gamma cu aceeasi energie ca si a radiatiilor alfa sau beta au o ionizare specifica mult inferioara acestora, astfel, radiatiile gamma cu o energie egala cu a radiatiilor alfa, produc in aer doar o pereche de ioni pe centimetru in loc de 60 000 perechi de ioni pe centimetru.

Neutronii

Neutronii sunt particule lipsite de sarcina electrica, cu masa de repaus egala cu a protonilor (nuclee de hidrogen) mai mica de patru ori decat a radiatiilor alfa si aproape de 2 000 ori mai mare decat a radiatiilor beta. Fiind lipsite de sarcina, parcursul lor este mare, astfel incat, in aer poate ajunge sute de metri. Parcursul lor printr-un mediu material este in forma de zig-zag datorita interactiunii lor cu nucleele si electronii atomilor acestuia. Spre deosebire de radiatiile fotonice, neutronii au o ionizare specifica mai mare datorita nucleelelor de recul create la strabaterea materialului. Materialele usoare (parafina, grafit, apa, apa grea, beriliu metalic, oxid de beriliu etc.) sunt materiale

care incetinesc neutronii si se numesc moderatori, iar borul si cadmiul ii absoarbe; materialele grele incetinesc mult mai putin neutronii.

Energiile cu care sunt emisi neutronii de catre surse curenit utilizate variaza in limite largi, de la 0,1MeV la 13MeV.

Funcie de energia lor, neutronii sunt clasificati astfel:

- neutroni termici cu energie $< 1\text{eV}$
- neutroni de rezonanta cu enrgie $100\text{ eV} \div 1000\text{ eV}$
- neutroni intermediari (epitermici) cu energie $10^3\text{ eV} \div 10^6\text{ eV}$
- neutroni rapizi cu energie $> 10^6\text{ eV}$

INTERACTIA RADIATIILOR CU SUBSTANTA

Procesul de interactiune a radiatiilor cu substanta este important in cunoasterea efectului acestora asupra detectorilor cat si a organismului. La patrunderea radiatiilor in substanta au loc procese de interactiune intre particulele din fasciculul de radiatii si atomii substantei strabatute, particula incidenta fiind scoasa complet din fasciculul initial sau poate ceda numai o parte din energia sa. Scoaterea din fascicul se poate face: i) prin devierea particulei (imprastiere), particulele imprastiate emergand sub diferite unghiuri; ii) prin absorbtia particulei, aceasta pierzandu-si complet energia sa intr-unul sau mai multe acte de intercatiune. Fenomenul de reducere a densitatii fluxului radiatiilor incidente, la trecerea lor printr-un material, ca urmare a proceselor amintite, poarta numele de atenuare.

Procesele de interactiune ale radiatiilor gamma

Pentru energiile pe care le au radiatiile gamma de surse radioactive uzuale, principalele procese de interactiune sunt:

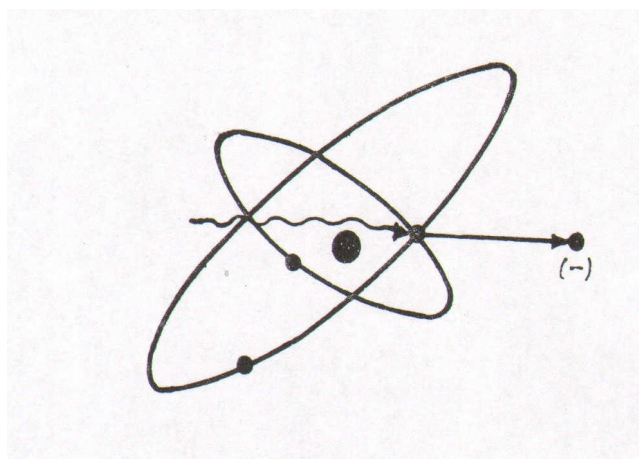
- a) efectul fotoelectric
- b) efectul Compton
- c) formarea perechilor de electroni

Efectul fotoelectric - are loc la intalnirea fotonului gamma incident cu un electron de pe una din paturile electronice ale atomului substantei cu care interactioneaza, proces prin care fotonul cedeaza electronului intreaga sa energie , acesta din urma fiind smuls din atom. Energia cinetica W_c a electronului emergent (denumit de obicei fotoelectron) este mai mica decat energia $W=h\nu$ a fotonului incident, cu o cantitate egala cu energia de legatura W_k a electronului pe patura atomului.

Poate fi scrisa ecuatia:

$$W = h\nu = W_k + W_c$$

Energiile de legatura au valori cuprinse intre 280 eV (pentru carbon) si 88 000 eV (pentru plumb). Intr-un atom, electronii paturii k au cea mai mare energie de legatura. Fotonii cu energii mici interactioneaza prin efect fotoelectric numai cu electronii periferici; pe masura ce energia fotonilor creste, interactiunea are loc cu electronii din ce in ce mai puternic legati. Daca energia fotonilor depaseste energia de legatura a paturii k, toti electronii atomului pot lua parte la efectul fotoelectric. Pentru intelegere, efectul este prezentat schematic doua scheme din figura 1.



sau

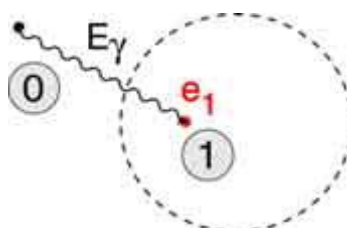


Figura1 : Efectul fotoelectric

Probabilitatea efectului fotoelectric cu un electron este cu atat mai mare cu cat energia fotonului este mai apropiata de energia de legatura a celui electron. Pentru energii mai mari decat energia de legatura a paturii k (de exemplu 9 keV pentru cupru, 88 keV pentru plumb), se poate considera practic ca, efectul fotoelectric are loc numai cu electronii de pe patura k. Efectul fotoelectric este direct proportional cu Z^4 al atomilor materialului strabatut si invers proportional cu energia radiatiilor gama incidente. *Este important de retinut ca, prin efectul fotoelectric, fotonul gamma cedand intreaga sa energie, dispare complet din fasciculul initial.*

Tinand cont de gama larga a energiilor de legatura ale electronilor pe nivelele K,L,M ale atomilor diferitelor elemente, domeniul energiilor radiatiilor incidente la care poate avea loc frecvent efectul fotoelectric este cuprins intre 0,01MeV si 0,11MeV.

Efectul Compton - are loc la intalnirea fotonului gamma incident de energie $h\nu$, cu un electron liber sau usor legat.

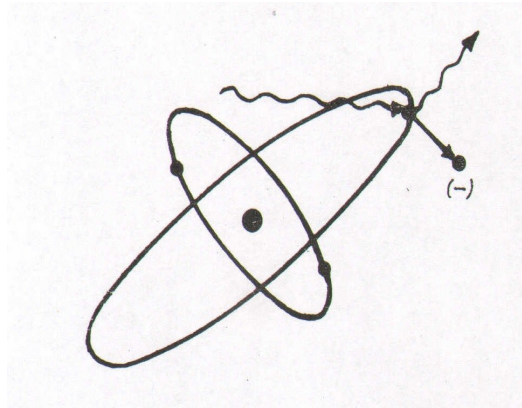
Fotonul cedeaza numai o parte din energia sa cinetica unui electron, pe care-l pune in miscare. Fotonul emerge dupa interactiune, imprastiat sub un anumit unghi si cu o energie $h\nu' < h\nu$, iar electronul ciocnit, numit electron de recul sau electron Compton, are energia cinetica W_c .

$$W_c = h\nu - h\nu'$$

Energia ramasa fotonului imprastiat se poate calcula cu relatia:

$$W' = h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu(1 - \cos \theta)}{0.51}}$$

Unghiul θ este invers proportional cu $h\nu$, iar pentru $\theta=0$, $h\nu' = h\nu$.



sau

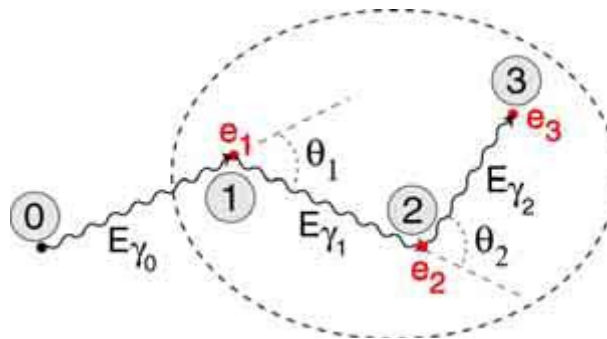


Figura 2: Efectul Compton

Prin efecte Compton, radiatiile incidente ale caror energii sunt joase (<0.1 MeV) sufera o imprastiere aproape uniforma in toate directiile spatiului si energia lor ramane in medie apropiata de cea initiala, iar electronii de recul rezultati sunt proiectati de asemenea uniform si inainte intr-un spatiu semisferic, avand in medie o energie egala cu o fractiune mica din energia radiatiilor incidente. Pentru valorile energiilor gama emise de sursele radioactive uzuale si pentru elemente cu numar atomic Z mic (oxigen, aluminiu etc.), efectul Compton este procesul de interactiune predominant. Pentru interactiunea cu elementele cu Z mare, de exemplu plumb, efectul fotoelectric este predominant pana la energii de aproape 1 MeV.

Formarea de perechi (efectul de materializare electron-pozitron) – apare ca urmare a interactiunii dintre radiatia gamma sau Rontgen cu o energie mai mare de 1.022 MeV si campul nucleului. Radiatia incidenta dispare, intrucat in acest process isi pierde intreaga sa energie, rezultand un electron si un pozitron. Daca radiatia incidenta are energia W , atunci pentru formarea unei perechi electron-pozitron ($e^- + e^+$) este necesara o energie $W=1.022$ MeV, diferenta transmitand-o in mod egal electronului si pozitronului sub forma de energie cinetica, pereche care va ceda energia la randul sau printr-o ionizare secundara. La incetinire, electronul negative este absorbit de atomii mediului, iar electronul pozitiv (pozitronul) se anihileaza cu un electron, dand nastere la doua cuante gama.

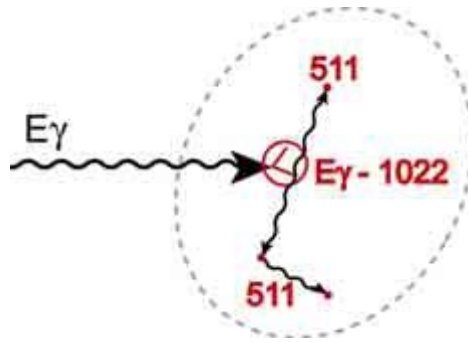


Figura 3: Efectul formarii de perechi

Efectul formarii de perechi este proportional cu Z^2 al atomilor mediului si cu energia radiatiilor electromagnetice incidente. In cazul elementelor grele si pentru energii mari ale radiatiei, fenomenul se produce mai usor.

Atenuarea radiatiilor Rontgen si gama

La trecerea radiatiilor gama printr-o substanta, acestea sunt atenuate treptat, ca urmare a proceselor de interactiune care au loc. Pentru grosimi mari strabatute, intensitatea lor scade mult, atenuarea fiind exponentiala ca si in cazul radiatiilor beta. In acest caz insa se poate vorbi de o valoare determinata a parcursului lor maxim. Legea atenuarii radiatiilor gama este:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_e \cdot x}$$

in care:

I si I_0 reprezinta intensitatile finala si initiala ale radiatiei; x este grosimea stratului de material strabatut; μ_e reprezinta numarul de particule gama atenuate dintr-un fascicul intr-un centimetru de parcurs si se exprima in cm^{-1} si este inversul parcursului linear al radiatiilor. Valoarea lui depinde de natura materialului si de energia maxima a radiatiei. Pentru a elimina variatiile lui μ_e in functie de materialul absorbant, se utilizeaza coeficientul de atenuare masica, μ_m .

$$\mu_m = \frac{\mu_e}{\rho} \quad [\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}]$$

pentru a omogeniza, relatia de mai sus (e) se inmulteste la exponent cu ρ obtinandu-se produsul $\rho \cdot x$ exprimat in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$, marime care se numeste *densitate superficiala*. Deoarece raportul este relativ constant, indiferent de natura materialului strabatut, rezulta ca atenuarea creste pentru materialele cu densitate mare.

Procesele de interactiune ale neutronilor

Neutronii interactioneaza numai cu nucleele atomilor. Neavand sarcina electrica, nu este necesar ca ei sa aiba o energie cinetica ridicata pentru a strabate campul coulumbian al atomului si a ajunge la nucleu ci, pot interactiona cu nucleul si cei cu energii foarte joase. Probabilitatea de patrundere a neutronilor in nucleu este ridicata, in special cei cu energie cinetica scazuta (neutroni termici).

La trecerea neutronilor prin materie sunt posibile trei tipuri de interactiune:

Imprastierea elastica, in care categoria intra doua tipuri de fenomene: ciocnire elastica si captura electronica.

Prin *ciocnirea elastica* a neutronului cu nucleul are loc un transfer de energie cinetica de la neutron la nucleu fara a se ajunge la o schimbare a starii energetice a nucleului sau modificare a structurii acestuia. Aceasta se produce in conditia in care energia nucleului este foarte mare. Neutronii sunt imprastiati si totodata isi cedeaza treptat energia cinetica, avand loc fenomenul de incetinire a lor. Aceasta interactiune corespunde unei reactii nucleare de tipul $X(n,n)X$.

In cazul ciocnirilor elastice, neutronii isi cedeaza continuu energia lor cinetica nucleelor mediului. Pe langa *incetinire* se produce si devierea (imprastierea) lor de la directia initiala, la fiecare ciocnire. Dupa ciocniri succesive, neutronii se comporta ca un gaz molecular care difuzeaza in altul, adica are loc fenomenul de difuzie a neutronilor.

Ciocnirile nu pot avea loc in pozitii preferentiale, asa incat neutronul poate pierde intr-o ciocnire o energie cuprinsa intre zero si o valoare maxima, proprie fiecarui tip de nucleu in parte si cu atat mai mare cu cat aceasta are masa mai apropiata de a neutronului. *Materialele* care incetinesc neutronii prin ciocniri elastice, fara sa-i absoarba, se numesc moderatori (apa, apa grea, beriliu, parafina, grafitul etc.). Domeniul de energie in care neutronii sufera procese de ciocnire elastica si nu sunt absorbiti de nucleu este destul de larg, variind intre 0,02 MeV si 21 MeV. Sub prima valoare incep sa se faca simtite procesele de absorbtie prin captura neutronica, iar peste 20 MeV au loc procese de ciocnire cu fragmentarea nucleului ciocnit (fenomenul de spalatie).

Prin *interactiunea cu captarea neutronilor* de catre nucleu, acesta se transforma pentru un interval de timp scurt (10^{-12} - 10^{-16} s) intr-un nucleu intermediary ($A+1$) si apoi, destul de frecvent se dezintegreaza emitand un neutron si trece in starea initiala.

Prin ciocnirile neelastice rezulta *imprastierea neelastica a neutronilor*, aceasta corespunzand unei interactiuni de tip $X(n,n)X$. Nucleul ciocnit, transformat intr-un nucleu compus, ramane dupa emiterea unui neutron in stare excitata si, pentru a trece in stare fundamentala emite una sau mai multe cuante gamma.

Prin procese de *captura neutronica* rezulta reactii nucleare de diverse tipuri: $X(n,\gamma)Y$, $X(n,p)Z$, $X(n,\alpha)V$ si chiar fisiune nucleara. In acest din ultim caz, din nucleu sunt emisi neutroni, iar nucleul se descompune in doua fractiuni de marimi relativ egale.

La dezexcitarea nucleului intermediar, poate apare unul din procesele de interactiune:

- Emisia unei particule sau chiar mai multe-reactii nucleare de tip (n,p) , (n,n) , $(n,2n)$, (n, α) ;
- Emisia unei radiatii gamma, cand nucleul trece in starea fundamentala sau este inca un nucleu excitat care prin dezexcitare emite particule beta minus sau plus (radionuclizi);
- Dezexcitarea nucleului intermediar prin fragmentarea in doua nucleu mai usoare. Toate aceste fenomene se produc functie de energia neutronilor.

Interactia radiatiilor alfa cu substanta

La trecerea radiatiilor alfa printr-o substanta, radiatiile alfa pot suferi trei tipuri de interactiuni: ciocnire, franare in camp electric si captura de catre nucleu. *Ciocnirea* este tipul de interactiune care se produce cu probabilitatea cea mai mare. In urma ciocnirii unei particule alfa in miscare cu un atom, se poate produce o excitare a acestuia ca urmare a ridicarii unui electron pe un nivel superior de energie. Excitarea are loc ca urmare a actiunii campului electric creat de particula alfa respectiva asupra electronilor orbitali. La revenirea electronilor pe nivelele fundamentale, atomii vor emite radiatii electromagnetice, unele in spectrul vizibil. Se pot produce si fenomene de smulgere a unor electroni din atomii respectivi, fenomenul purtand numele de ionizare. Astfel, in ansamblu, se produce o pereche de ioni, unul pozitiv si unul negative sau unul pozitiv si un electron. De obicei, in medie, mai multe excitari inotesc un fenomen de ionizare. Prin interactiuni succesive, radiatia alfa isi pierde energia sa si se incetinesc pana cand energia ei scade sub o anumita limita sub care nu mai poate produce ionizari. In acest stadiu, particulele alfa capteaza cate doi electroni de la atomii mediului strabatut si se transforma in atomi de heliu.

Interactiunea particulelor alfa cu nucleul este un fenomen foarte rar intalnit, in acest caz producandu-se o reactie nucleara.

Atenuarea fasciculului de radiatii

In urma proceselor de interactiune, particulele alfa isi pierd treptat energia si numai in final sunt imprastiate. Numarul de particule dintr-un fascicul incident nu scade pe masura ce acestea strabat o substanta oarecare. La o anumita grosime a materialului ele sunt total absorbite, procesul numindu-se *atenuare cu parcurs*.

Pentru parcursul radiatiei in aer, poate fi folosita relatia aproximativa:

$$R=3,18 \cdot 10^{-1} W^{3/2} \quad [\text{cm}]$$

Unde: R-parcursul; W-energia initiala a radiatiei; relatia a fost stabilita pentru temperature aerului de 15°C si presiunea de 760 mmHg.

Radiatia alfa este foarte putin penetranta, astfel incat, chiar in substantele cu densitate mica (ex. apa, tesaturile organice, aluminiul etc.), parcursul este foarte mic, de maxim zeci de microni.

Interactia radiatiilor beta cu substanta

Radiatiile beta, ca toate particulele incarcate excita si ionizeaza atomii substantelor prin care trec. Mecanismul interactiunilor este asemanator celui intalnit in cazul radiatiilor alfa. Exista deosebirea ca, pentru radiatiile beta minus, fortele care actioneaza asupra electronilor din atomii materialelor sunt de respingere. Pierderea de energie intr-o interactiune este in general mica. Ionizarea specifica produsa de particulele beta scade pe masura ce creste energia lor cinetica, atingand un minim la 1MeV, dupa care creste lent pentru energii mai mari. Unora dintre electronii smulsi din atomi de particulele beta, li se poate imprima o energie mai ridicata, asa incat, acestia, la randul lor, pot provoca ionizari secundare.

Radiatiile beta minus, dupa ce si-au cedat energia cinetica, sunt absorbite de atomii ionizati ai mediului, neutralizandu-I sau de atomii neutri ai acestui mediu care se ionizeaza negative.

Radiatiile beta plus, au o viata mai scurta decat cele beta minus si, cand ajung la o energie redusa interactioneaza cu un electron al mediului dand nastere la doua cuante gamma cu energia de 0,51MeV fiecare (energiile corespunzatoare masei de repaus a electronului si a pozitronului), fenomenul purtand numele de *anihilarea pozitronului*.

Probabilitatea de inactiune a radiatiilor beta cu nucleele atomilor mediului strabatut si in special a radiatiilor beta si electronilor accelerate, care au energii ridicate este mult mai mare decat in cazul radiatiilor alfa cand, o parte din energia cinetica a radiatiilor se transforma intr-o radiatie electromagnetica se transforma in radiatie Rontgen de franare.

Fenomenul este numit proces de franare a electronilor si sta la baza producerii radiatiilor Rontgen in instalatiile Rontgen folosite in medicina, cercetare sau industrie.

Spectrul energetic al radiatiei de franare este continuu; energia maxima a limitei superioare a spectrului radiatiei Rontgen de franare este socotita egala cu energia maxima a radiatiei beta incidenta.

Atenuarea fasciculului de radiatii

Fascicolul de radiatii beta isi pierde energia fie interactionand cu electronii atomilor mediului strabatut, fie interactionand cu nucleul.

La fiecare ciocnire, radiatia beta sufera mari fluctuatii statice in ceea ce priveste pierderea de energie. Aceasta poate varia de la zero (imprastiere) la pierderea totala a energiei radiatiei (franarii), radiatia suferind un insemnat proces de imprastiere. Astfel, chiar radiatiile monoenergetice care trec prin acelasi mediu material, vor strabate distante diferite. Drumul real strabatut de radiatii este de $1.5 \div 4$ ori mai mare decat grosimea stratului parcurs. In cazul unei radiatii beta cu energie mica este predominant fenomenul de imprastiere. De aceea, pentru radiatia beta este mult mai greu de definit parcursul printr-un mediu absorbant. Analiza teoretica si experimentală a atenuarii radiatiei beta printr-un mediu absorbant se complica si prin faptul ca aceasta radiatie are un spectru energetic continuu. Parcursul este o marime constanta numai pentru radiatiile monoenergetice. O radiatie beta cu energia maxima din spectrul continuu va avea un parcurs maxim, E_{max} , care este proportional cu numarul ciocnirilor neelastice dintre particulele beta si cu densitatea de electroni a substantei absorbante (numarul de electroni in unitatea de volum de substanta). Aceasta densitate de electroni, implicit parcursul mediu variaza cu natura substantei absorbante. In general se foloseste parcursul masic maxim $R_{m\ max} = R_m \cdot \rho$ (ρ -densitatea materialului, g/cm^3). In acest caz, densitatea de electroni, raportata la unitatea de masa a diferitelor substante este aproximativ aceeasi. Calcularea parcursului maxim, pentru o anumita substanta se face impartind valoarea parcursului masic maxim la densitatea absorbantului $\rho [g/cm^3]$. In practica, valorile parcursului maxim al radiatiilor beta in aluminiu se recomanda a fi citit din diagrama (fig.2.4 de la pag.23, Dumitru Serban).

2. Actiunea biologica a radiatiilor

La interactiunile radiatiilor ionizante cu substanta vie au loc aceleasi procese ca si la interactiunea cu material fara viata, diferenta fiind aceea ca efectele finale la care conduc aceste interactiuni sunt efecte biologice.

Radiatiile ionizante pot actiona asupra organismului in trei moduri: i) actiune directa; ii) actiune indirecta; iii) actiune de la distanta.

In urma *actiunii directe a radiatiilor asupra organismului* sunt lezate macromoleculele de importanta vitala (proteine, acizi nucleici) care sufera transformari datorita ionizarii sau excitarii directe.

Mediul principal in care se desfasoara procesele biologice fiind apa, efectele apar ca rezultat al ionizarii acesteia prin aparitia produsilor de descompunere (ioni sau radicali), care actioneaza ca oxidanti si reducatori asupra unor componente celulare esentiale. Astfel, este perturbata buna desfasurare a proceselor biologice din aceste celule. Apare o raspandire in organism a toxinelor dezvoltate de organul iradiat si, prin reactiile sistemului neuroendocrin apar anumite efecte biologice asupra celorlalte organe neiradiate. Iradierea materiei vii poate produce solicitari pentru organism astfel incat acesta sa reactioneze in limite functionale normale sau acestea sa fie depasite. In cel de-al doilea caz are loc o dereglare a metabolismului, care poate conduce la moartea celulelor, tesuturilor sau chiar organismului ca urmare a descompunerii sau distrugerii unor molecule organice, componente. Toate modificarile pot conduce la perturbarea coordonarii proceselor fermentative, a sintezei proteinelor, ucleoproteinelor, glicoproteinelor, anticorpilor, hormonilor etc. In afara de acestea se produc, la nivelul fiecarui tesut, organ, sistem etc. si unele modificari specifice, in raport de structura si rolul fiziologic in cadrul organismului.

Radiosensibilitatea (manifestarea la actiunea radiatiilor) tesuturilor nu este dependenta numai de natura si structura lor, ci si de alti factori generali, dictate de actiunea intregului organism si de echilibrul sau factorii de mediu.

In iradierea organismului este de importanta primordiala efectul produs asupra ansamblului de mecanisme reglatoare, indeosebi asupra sistemului nervos care se concretizeaza in modificari ale activitatii de reglare neurohormonala si aparitia tulburarilor functionale biochimice si biologice in intreg organismul.

Variatele aspecte pe care le poate prezenta efectul radiobiologic sunt explicate decat prin prisma unei conceptii radiobiologice in care se ia in considerare intreg complexul de procese si reactii, directe si indirecte, locale si generale, primare si secundare, spontane si in timp etc. petrecute in organismul care a fost iradiat.

2.1 Marimi si unitati folosite pentru evaluarea efectelor biologice

Diversitatea tipurilor de radiatii a impus definirea unui sistem de masurare a efectelor biologice ale radiatiilor cu marimi corespunzatoare intregului domeniu si unitati de masurare adecvate. A fost introdusa notiunea de factor de calitate (FC) pentru a putea explica faptul ca unele radiatii produc efecte mai daunatoare decat altele.

Valorile factorului de calitate au fost alese luand ca baza valorile apropiate ale eficacitatii biologice relative.

Pentru evaluarea efectelor biologice, un timp s-a utilizat sistemul rontgenologic, dupa care a fost introdus sistemul radiobiologic.

La baza celui de-al doilea sistem sta absorbtia energiei de catre organe sau tesuturi (transferarea de energie, ΔW , prin ionizarea si excitarea unui element de masa Δm).

Pentru evaluarea efectelor biologice produse de toate radiatiile nucleare s-a introdus notiunea de *doza*, marime care defineste cantitatea de energie a radiatiilor absorbite de un mediu material.

Marimile frecvent utilizate in sistemul radiobiologic si unitatile corespunzatoare sunt:

Doza absorbita, D, reprezinta raportul dintre ΔW si Δm , in care ΔW este energia medie comunicata de radiatiile nucleare unei cantitati de materie de masa Δm .

Unitatea SI pentru doza absorbita este gray (Gy), care corespunde unei energii cedate de un joule pe Kg ($1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$); temporar se mai mentine si unitatea speciala denumita rad (rontgen absorbed dose)

$$1\text{rad}=10^{-2}\text{Gy}=10^{-2}\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\text{ sau }1\text{rad}=100\text{ er}\cdot\text{g}^{-1}$$

Relatia pentru doza absorbita este de forma:

$$D = \Delta W / \Delta m \quad [\text{Gy}] \text{ sau } [\text{rad}]$$

Debitul dozei absorbite, \dot{D} , reprezinta variatia dozei absorbite, ΔD , in intervalul de timp Δt si are ca unitate de masura, unitatea derivata din Gy sau rad cu multiplii sau submultiplii lor, raportata la unitatea de timp Δt : Gy/s; Gy/min; Gy/h sau rad/s; rad/min; rad/h etc.

$$\dot{D} = \Delta D / \Delta t \quad [\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}] \text{ sau } [\text{rad}\cdot\text{h}^{-1}]$$

Echivalentul dozei, H, este produsul a trei termeni: D, FC si N, intr-un punct al tesutului considerat, unde D este doza absorbita, FC este factorul de calitate si N este produsul tuturor celorlalti factori modificatori intre care si factorul de distributie; N in prezent se considera 1. Pentru factorul de calitate, orientativ se dau urmatoarele valori:

1-pentru radiatii rontgen, radiatiile gama si electroni;

10-pentru neutroni, protoni si particulele cu sarcina unica care au o masa de repaos superioara unitatii de masa atomica;

20-pentru particulele alfa si particulele cu sarcini multiple.

Unitatea SI a echivalentului dozei, H, se numeste Sievert (Sv), $1\text{Sv}=1\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$.

O alta unitate a echivalentului dozei a carei utilizare este temporara se numeste rem (rontgen equivalent man).

$$1\text{rem}=10^{-2}\text{Sv}; 1\text{Sv}=10^{-2}\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1} \text{ sau } 1\text{rem}=100\text{erg/g}_{\text{tesut}}$$

Relatia pentru echivalentul dozei este:

$$H=D\cdot(\text{FC})\cdot N \quad [\text{Sv}] \text{ sau } [\text{rem}]$$

Debitul echivalentului dozei, \dot{H} , reprezinta variatia echivalentului dozei, ΔH , in intervalul de timp, Δt , care se masoara in unitati adecvate, derivate din Sv sau rem (multipli si submultipli) raportati la unitatea de timp, Δt , considerate: Sv/s; Sv/min; Sv/h; rem/s; rem/min; rem/h etc.

$$\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad [\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}] \quad [\text{rem}\cdot\text{h}^{-1}]$$

La interactiunea radiatiilor Rontgen si gama, avand energii pana la 3 MeV (ai caror factori de calitate sau eficacitati biologice relative sunt egali cu unitatea), la o expunere de 1 rontgen este cedat prin procesele de ionizare unui gram de aer sau de tesut adipos 87,7 ergi, respectiv 93 ergi. Aceste valori sunt apropiate de $100\text{erg}\cdot\text{g}^{-1}$, corespunzatoare dozei de 1rad sau echivalentului dozei de 1 rem.

Se poate considera, din punct de vedere al energiei cedate, ca exprimarea iradierii in unitatile rontgen, rad sau rem sunt aproximativ echivalente.

Echivalentul dozei efectiv, H_E , este definit de relatia:

$$H_E = \sum W_T H_T \quad [\text{Sv}]$$

Unde H_T este echivalentul dozei mediu in tesutul T si W_T este un factor de ponderare ce reprezinta parte ce corespunde tesutului T, datorat efectelor biologice cand corpul este iradiat uniform, iar valorile lui sunt date mai jos.

Tesut	W_T	Tesut	W_T
Gonade	0.25	Tiroida	0.03
Piept (san)	0.15	Suprafetele oaselor	0.03
Maduva osoasa rosie	0.12	Restul organismului	0.30
Pulmon	0.12		

Echivalentii dozei primite de maini si antebrate, labele picioarelor si glezne, piele si cristalin nu sunt luate in considerare pentru calculul echivalentului efectiv.

In functie de tulburarile pe care le produc si zona afectata a organismului, efectele biologice sunt efecte somatice si efecte genetice.

Efecte somatice (asupra organismului) se pot manifesta dupa un interval mai scurt (efecte imediate, cum ar fi efectele localizate-eritem, epilare, arsuri ale pielii, necroze ale pielii si tesuturilor profunde, sterilitate etc. sau efectele generalizate-radiointoxicarea, scaderea apetitului, oboseala, somnolenta, senzatie de vomă etc.) sau dupa intervale mai lungi (ani sau zeci de ani), efecte tardive. Pentru acestea sunt de mentionat efectele intarziate propriu-zise ce pot aparea fie ca urmare a unei expuneri unice ridicate, fie in urma unei expuneri mai reduse cornice (cataract al cristalinului ochiului, cancer osos sau pulmonar, forme ulceroase sau canceroase ale pielii, leucemie etc.) si posibilitati ale efectelor intarziate (scurtarea duratei de viata si imbatranirea prematura, frecventa crescuta a tumorilor maligne etc.)

Efecte genetice (asupra urmasilor)- in aceasta categorie sunt de semnalat cele care reclama o diminuare a calitatilor urmasilor, in sensul aparitiei unor debilitati fizice sau mintale la acestia (reducerea dezvoltarii in inaltime, in greutate, a vitalitatii sau intelectului, scaderea rezistentei la imbolnavire etc.) precum si nou nascuti cu malformatii. Efectele genetice pot aparea la subiecti apartinand pana la 3 sau 4 generatii. Ele au fost puse in evidenta de H. Muller, care a demonstrat efectul mutagen in studiile sale pe animale iradiate cu radiatii Rontgen. Numarul mutatiilor genetice se pare ca este proportional cu doza chiar si pentru valori reduse ale acesteia si depinde numai de doza totala absorbita la nivelul gonadelor si nu de debitul dozei.

2.2 *Iradieri ale organismului si limite de iradieri*

In decursul vietii, organismul uman este expus actiunii mai multor surse de radiatii nucleare. In acest sens se disting:

- iradierea sanitara (controale medicale-diagnosticuri, investigatii, tratamente);
- iradierea naturala (a carui repartitie pe glob variaza in special cu altitudinea);
- iradierea tehnica (ca urmare a utilizarii radionuclizilor sau a altor surse de radiatii ionizante in diverse aplicatii practice);
- iradierile diverse (de la cadranele luminescente, televizoare, precipitatii radioactive, transportul substantelor radioactive, manipularea deseurilor radioactive etc.).

In functie de modul de expunere respectiv de repartizare a iradierilor distingem: i) iradiere profesionala si; ii) iradierea populatiei.

Iradierile sunt profesionale atunci cand rezulta din activitati legate direct de lucrul cu surse de radiatii nucleare (ex.- personalul unitatilor nucleare este expus profesional actiunii radiatiilor ionizante). Limita anuala a echivalentului dozei efectiv pentru lucratori este de 20mSv (2 rem).

Iradierile populatiei sunt atunci cand nu rezulta direct din efectuarea unor lucrari cu substante radioactive sau surse de radiatii ionizante.

De exemplu, iradierea persoanelor din populatie se considera iradierea celor care lucreaza sau au tangenta cu aparatura de masura si control continand surse radioactive pentru testare; astfel, ecranarea acestor surse trebuie sa se faca luand in considerare valoarea dozei pentru populatie.

Limita anuala a echivalentului dozei efectiv pentru persoanele din public este de 1mSv (0.1 rem).

Situatiile de iradiere pe timpul lucrului cu surse de radiatii nucleare se pot grupa in doua categorii: i) iradieri controlate (normale) carora li se poate aplica conditiile de limitare a dozelor; ii) iradieri necontrolate (anormale) care pot sa aiba loc intr-un accident sau situatie de urgenta pentru care nu pot fi limitate dozele.

Pentru definirea unor valori ce nu pot fi depasite este utilizat termenul de limita pentru echivalentul dozei, echivalentul dozei efectiv etc.

Conceptia actuala, in radioprotectie, privind limitele dozelor anuale, porneste de la faptul constatat si verificat ca radiatiile ionizante produc efecte biologice asupra fiintelor vii (deci si a omului, descendentilor sai precum si a umanitatii in general).

Trebuie sa se aiba in vedere permanent asigurarea radioprotectiei avand in vedere urmatoarele elemente: i) justificarea oricarei activitati practice cu surse de radiatii ionizante, avandu-se in vedere eliminarea iradierii inutile; ii) optimizarea radioprotectiei, urmarindu-se ca toate iradierile sa fie mentinute la nivelul cel mai jos posibil; iii) limitarile echivalentului dozei anuale (limitarea dozei individuale, avandu-se in vedere ca echivalentul dozei primit de un individ pe durata activitatii sale cu surse de radiatii sa nu depaseasca limitele dozei aplicabile.

Radiotoxicitatea radionuclizilor

Cand radionuclizii patrund in organism, actiunea lor este destul de vatamatoare, chiar si cand se afla in cantitati foarte mici.

Actiunea substantelor radioactive fixate in unul din organelle critice poate aduce prejudicii grave intregului organism. Prin termenul de *organ critic* se intelege organul mai sensibil la radiatii decat restul corpului. Contactul intim al radiatiilor cu tesutul, permite ca radiatiile alfa ca si cele beta de energii joase sa-si disipeze toata energia intr-un volum foarte mic de tesut, imbolnavind astfel organul respectiv.

Unii radionuclizi, patrundand in organism se distribuie uniform in acesta (Na-24) in timp ce altii se depun preferential in anumite organe sau tesuturi (P-32, Sr-90 etc. in oase, I-131 in glanda tiroida). Pericolul pe care il prezinta radionuclizii la patrunderea lor in organism, poate fi mai mare sau mai mic si cu substantele chimice toxice, pericolul numindu-se radiotoxicitate a radionuclidului respectiv.

Stabilirea gradului de radiotoxicitate s-a facut in functie de mai multi factori: i) mijlocul prin care patrunde radionuclidul (prin inhalare, piele, ingerare); ii) tipul si energia radiatiilor emise (radiatiile alfa sunt cele mai periculoase); iii) timpul de injumatatire (un radionuclid cu viata lunga este mai periculos); iv) modul de distribuire a radionuclidului in organism (sunt mai periculosi radionuclizii care sunt retinuti selectiv intr-un organ).

Functie de gradul de radiotoxicitate, radionuclizii au fost clasificati in patru grupe:

- Grupa I - radiotoxicitate foarte mare;
- Grupa II - radiotoxicitate mare;
- Grupa III - radiotoxicitate medie;
- Grupa IV - radiotoxicitate mica.

Contaminarea interna (activitatea incorporata) cu radionuclizi trebuie astfel limitata incat sa nu se depaseasca iradierea maxima admisa (limita dozei anuale admisa) luand in considerare si iradierea subiectului din exterior. Limita dozei admisa pentru organism, organ sau tesut oarecare trebuie inteleasa ca doza primita atat prin iradierile externe pe durata orelor de lucru cat si doza data de iradierile interne. In Normele Republicane de Securitate Radiologica emis de Comisia Nationala pentru Controlul Activitatilor Nucleare, CNCAN, sunt date atat activitatile maxim admise in organul critic cat si concentratiile maxim admise (CMA) in aer si apa pentru fiecare radionuclid in parte.

Detectarea si masurarea radiatiilor

Pentru detectarea si masurarea radiatiilor, tehnica nucleara utilizeaza o varietate larga de detectori si instalatii de inregistrare. Detectorii de radiatii se bazeaza in special pe efectele produse de radiatiile ionizante la interactiunea lor cu substanta. La interactia radiatiilor cu o substanta se produce de obicei o ionizare a substantei respective. Ionizarea are loc fie pe cale directa (radiatiile alfa si beta) fie pe cale indirecta (neutronii si radiatiile fotonice). In functie de natura substantei de interactiune si de energia radiatiilor, se pot produce o serie de fenomene complementare ionizarii (ex.-excitarea atomilor substantei).

In general se vorbeste de sistem de detectie, care se compune din detector si o instalatie auxiliara, in cele mai multe cazuri electronica, care transforma informatia furnizata de detector intr-un anumit rezultat (numar de pulsuri, viteza de numarare sau current de ionizare). Acest rezultat poate fi indicat de catre un aparat cu citire directa, afisat pe cadranul unui numarator mecanic sau inregistrat grafic.

3. Detectori de radiatii

In lucrarea de fata vor fi prezentati detectori utilizati in mod curent in activitatile nucleare:

- detectori bazati pe ionizarea gazelor si conectarea ionilor (camerele de ionizare, contorii proportionali, contorii Geiger-Muler);
- detectori bazati pe ionizarea cristalelor (contori cu cristal);

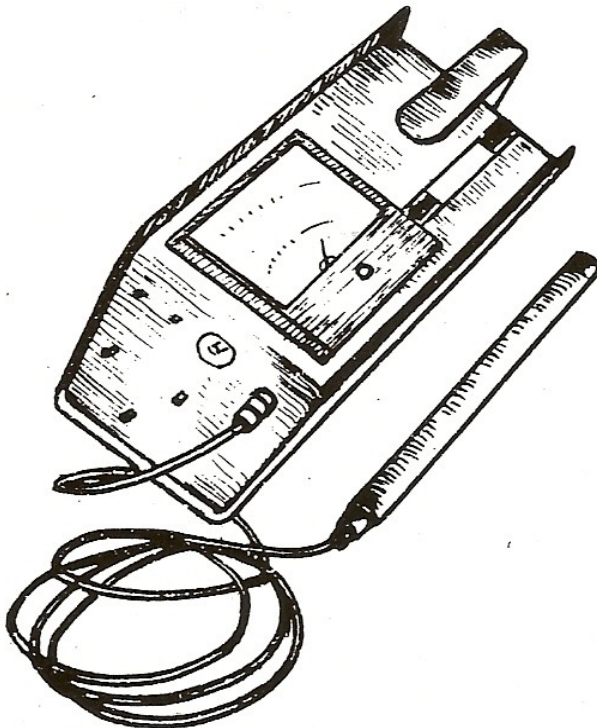
- detectori la baza carora sta fenomenul de impresionare a emulsiilor fotografice (emulsiile nucleare, filmele dozimetrice etc.);
- detectori bazati pe fenomenul de luminescenta (contorii cu scintilatie);
- detectori bazati pe fenomenele de termoluminiscenta si fotoluminiscenta.

4. Aparatura portabila pentru masurarea dozei si a debitului dozei de radiatii

Potentialul ridicat al riscului de iradiere externa sau interna in timpul lucrului cu surse de radiatii a impus utilizarea de mijloace dozimetrice, atat pentru masurarea expunerilor in diverse locuri de munca cat si pentru controlul prezentei substantelor radioactive pe echipamentul de lucru sau la locurile de munca.

Dintre aparatele portabile pentru masurarea radiatiilor, mai uzuale sunt: Gamarad DL- 7 si Dozimetru portabil VA-J-15A (Rontgen-gamma dosimeter VA-J-15A).

Gamarad DL-7- este destinat masuratorilor de debite ale expunerii externe in campuri de radiatii rontgen si gama in scopul radioprotectiei personalului cu expunere profesionala la radiatii din unitatile radiologice. Este prezentat in figura de mai jos.



El este utilizat in situatii specifice ca: i) supraveghere a zonelor de radiatii (monitor); ii) masuratori de rutina ale debitelor expunerii; iii) localizarea surselor de radiatii; iv) sesizarea cazurilor de contaminare.

Dozimetrul Rontgen-gama VA-J-15A este un aparat portabil destinat masuratorilor de doze si debite de doze date de radiatiile Rontgen si gama cu un spectru larg de energie 20 KeV...1,2 MeV ca si a detectarii calitative a radiatiilor beta emise de diferiti radionuclizi. Aparatul are o constanta de timp mica si este utilizat pentru masuratori de radioprotectie in toate domeniile tehnice si de cercetare ale fizicii nucleare si de rontgenologie. El este prezentat in figura de mai jos.

Aparatul are ca detector o camera de ionizare cu aer (mediul in care se face masuratoarea), care poate fi cuplata direct prin insurubare la partea principala a aparatului sau indirect printr-un cablu de legatura cu stecher, posibilitate

ce corespunde cerintelor practice de masurare. Domeniul de masurare este larg, impartit in doua, fiecare avand cate 6 scale atat pentru debitul dozei cat si pentru doza integrata, cu o eroare de masurare de $\pm 15\%$.

Utilizarea aparatului presupune:

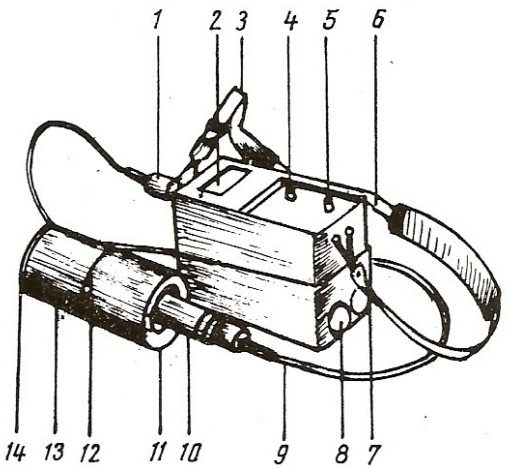
Cuplarea si controlul tensiunii bateriilor de alimentare se face cu ajutorul comutatorului de sub-game, care se pune pe pozitia "baterie". Daca acul indicator se incadreaza in domeniul marcat cu verde arata starea de descarcare a bateriei;

- a) Controlul punctului zero se realizeaza prin fixarea comutatorului de sub game in pozitia 3 si intorcand prin apasare pana la refuz a salterului de rulaj grosier 11 in pozitia N (zero);
- b) Controlul functionarii se efectueaza cu ajutorul sursei radioactive de Sr-90, incorporata in aparat, prin apasarea butonului de deasupra camerei de ionizare, 12;
- c) Alegerea domeniului de masurat se stabileste cu ajutorul salterului de reglaj grosier 11, care se poate fixa pe domeniul R/h, mR/h sau mR.

La masurarea unor surse cu activitate necunoscuta, este bine a se incepe masuratoarea pe valori ridicate ale dozei pentru evitarea situatiei ca acul indicator sa iasa din scala. Datorita sistemelor de integrare utilizate la camerele de ionizare, inaintea fiecarei citiri trebuie asteptat timpul minim de stabilizare a acului aparatului. Pentru masuratori de radiatii beta se scoate capacul de protectie din fata al camerei de ionizare.

La terminarea masuratorii, comutatorul 5 se aduce in pozitia "oprit" iar salterul 11 in pozitia zero (N) pentru a se evita un consum inutil al bateriilor de alimentare.

In cazul neutilizarii aparatului pe un interval mai indelungat de timp sau cand bateriile de alimentare sunt consumate, acestea trebuie sa fie scoase din aparat pentru evitarea unor consecinte neplacute.



1-stecherul de legatura cu aparatul principal

2-instrumentul de masurat

3-surubul pentru pozitionarea punctului zero mecanic

4-fixatorul punctului zero electric

5-salterul, domeniul de masurare fin

6-cureaua de purtare

7-cuplajul pentru inscriptor

8- lacasul bateriilor

9- calul de legatura

10-stecherul capului de masurare

11- salterul "domeniul de masurare grosier"

12-butonul pentru sursa de radiatii de control

13- camera

14-capacul de protectie al camerei

Aparatura pentru supravegherea dozimetrica individuala

Printre sistemele de dozimetrie individuala se practica supravegherea cu:

1. camere de ionizare (stilodozimetre);
2. fotodozimetre;
3. dozimetre TL

Camera de ionizare (stilodozimetru)- este destinat controlului dozimetric individual la iradierea cu radiatii Rontgen, gama si beta dure (beta moi fiind oprite de peretii stiloului). Exista si stilodozimetre cu electroscop (cu fir), acestea fiind prevazute cu sistem optic ce permite citirea directa, in milirontgen, expunerea in intervalul de timp in care a fost expus la radiatii ionizante.

Pentru stilodozimetre este necesara si instalatia de incarcare, utilizata inainte de a fi purtat. Periodic este necesara etalonarea si cu aceasta ocazie se verifica si autodescargarea stilodozimetrelor. La terminarea lucrului, stilodozimetrele sunt depozitate in loc ferit de actiunea radiatiilor.

Dozimetrul individual cu film (fotodozimetru)

Acesta se compune din film dozimetric si caseta cu filtre metalice in care se inchide filmul. Este destinat masurarii dozelor de radiatii gama, Rontgen, beta si neutroni termici incasate pe timpul lucrului de persoana purtatoare.

Filmul dozimetric are doua pelicule de sensibilitati diferite pentru acoperirea unui interval de masurare.

Parametrii dozimetrici ce caracterizeaza filmul:

- este un dozimetru integrator;
- are interval larg de masurare (0.17 mSv-1Sv);
- raspunsul dozimetric functie de energia radiatiilor ionizante este mare, ceea ce impune utilizarea de filtre atenuatoare si discriminatoare de energie;
- precizia de masurare este $\leq 30\%$;
- imaginea fotografica se pastreaza timp indelungat.

Dozimetrul individual cu detectoare termoluminiscente (dozimetru TL)

Acesta se compune din caseta cu filtre metalice asezate in lacasuri amenajate in care se pun detectoare termoluminiscente. Este destinat masurarii dozelor de radiatii gama, Rontgen, beta si neutroni termici incasate pe timpul lucrului de persoana purtatoare.

Detectoarele termoluminiscente sunt de diferite forme (pudra, cips, tablete etc.) cu sensibilitate mare pentru acoperirea unui interval larg de masurare.

Parametrii dozimetrici ce caracterizeaza dozimetrul TL:

- este un dozimetru integrator;
- are interval larg de masurare (0.10 mSv-1Sv);
- raspunsul dozimetric functie de energia radiatiilor ionizante este neglijabila;
- eroarea de masurare este $\leq 10\%$;
- citirea detectoarelor termoluminiscente este rapida;
- se pot refolosi dupa regenerare pana la 80 ori.

Ambele sisteme fac parte din categoria sistemelor dozimetrice pasiva adica utilizarea lor nu presupune existent unei surse de alimentare; sunt foarte larg folosite.

In Laboratorul pentru Dozimetrie de Personal si Mediu din cadrul IFIN-HH se desfasoara si activitatea de supraveghere individuala pentru personalul expus profesional la nivel de institut si nivel national, iar laboratorul detine recunoastere competenta prin notificare de catre CNCAN.