

INTERACȚIA RADIĂȚILOR X ȘI γ CU SUBSTANȚA

Dr. Seleşchi Emilia Dana

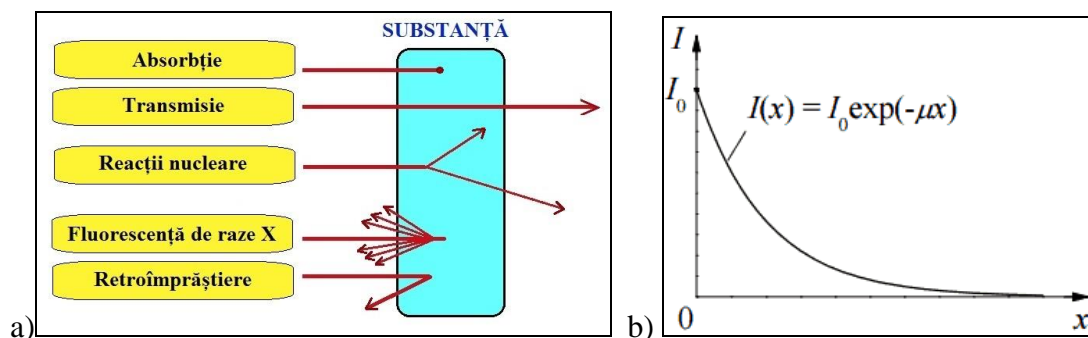
Colegiul Tehnic „CAROL I”, București

FIȘA DE LUCRU

Spre deosebire de radiațiile α și β a căror natură este corpusculară, radiațiile X și γ (gama) sunt de natură electromagnetică având atât o origine atomică (radiația X), cât și o natură nucleară (radiația γ). Radiația gama are o energie fonică peste 100 keV, în timp ce razele X au doar energie de până la 100 keV. Interacția fotonilor X sau γ cu materia poate avea loc cu electroni, cu nucleele sau cu câmpul coulombian electronic sau nuclear al mediului străbătut de aceștia. Ca efect al interacției, fotonii pot fi absorbiți sau împrăștiați elastic sau inelastic de substanță.

▣ **Radiațiile X** sunt utilizate în radioterapie și în imagistica medicală. Cea mai utilizată sursă de radiații X este tubul Coolidge sau tubul de raze X.

▣ **Radiația γ** este o radiație de natură nucleară, fiind emisă de nucleele care au suferit anterior un act de dezintegrare sau un proces de fisiune. Razele gama interacționează cu materia prin care trec prin următoarele mecanisme: efect fotoelectric, efect Compton, generarea de perechi electron – pozitron.



▣ Surse de radiații γ și utilizările lor

Izotopul $^{60}_{27}\text{Co}$ este un important traser radioactiv și se folosește în producerea razelor gama de energie înaltă, în radioterapia cancerelor, în radiografia industrială, la sterilizarea alimentelor și a echipamentelor medicale. Iradierea cu $^{60}_{27}\text{Co}$ este folosită și pentru întârzierea coacerii fructelor și legumelor precum și pentru prevenirea încolțirii. $^{137}_{55}\text{Cs}$ are timpul de înjumătățire de 30,17 ani și

este utilizat în diferite tipuri de măsurare industriale, printre care se numără măsurarea umidității, densității și a grosimii. $^{99m}_{43}\text{Tc}$ este cel mai utilizat radioizotop în studiile de imagistică medicală.

■ **Legea de atenuare a intensității fasciculului de radiație gama** care străbate o anumită substanță omogenă este de tip exponențial:

$$I_{(x)} = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

unde x este grosimea stratului de substanță străbătută de fascicul, μ este coeficientul de atenuare liniară și reprezintă probabilitatea de interacțiune a fotonului cu atomii de substanță pe unitatea de drum liniar străbătut în mediu, I_0 este intensitatea fasciculului la intrarea în strat, iar $I_{(x)}$ este intensitatea fasciculului la ieșirea din strat. Coeficientul de atenuare liniară depinde de tipul de energie al particulei incidente, de tipul interacției, de compoziția și densitatea mediului.

În practică se utilizează adesea mărimea denumită „grosime de înjumătățire” ($d_{1/2}$). Ea se definește ca fiind grosimea stratului de substanță pentru care intensitatea fasciculului scade la jumătate.

$$\frac{I_0}{2} = I_0 \cdot e^{-\mu d_{1/2}} \Rightarrow d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

▲ **Coeficientul de atenuare masiv** (μ_m) se definește ca raportul dintre coeficientul liniar de atenuare și densitatea substanței:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

■ **Detecția radiațiilor nucleare** se face cu ajutorul unor dispozitive numite detectoare de radiații care pun în evidență existența radiațiilor nucleare și permit determinarea calitativă și/ sau cantitativă a unora dintre caracteristicile lor: numărul particulelor nucleare, sarcina lor, masa, etc. Funcționarea detectoarelor de radiație este bazată pe interacțiunile electrice ale particulelor nucleare cu atomii din mediul pe care îl străbat.

■ **Efectul nociv al radiațiilor** asupra materiei vii este datorat în primul rând proprietăților radiației de a ioniza mediul prin care trece (pierderea energiei de către radiații când traversează o substanță). Această energie pierdută este cedată mediului sub formă de energie calorică și sub forma modificărilor structurale.

■ Mărimi utilizate în dozimetrie

▲ **Expunerea** este dată de sarcina electrică totală a electronilor produși de interacția fotonilor cu materia pe unitatea de masă.

$$\chi = \frac{dQ}{dm}; \quad [\chi]_{\text{s.i.}} = \frac{\text{C}}{\text{kg}} \quad (4)$$

● Unitatea de măsură tolerată: $1 \text{ R (röntgen)} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$

▲ **Doza de iradiere sau doza absorbită** (D) este cantitatea de energie absorbită din fasciculul de radiație, de unitata de masă:

$$D = \frac{dW}{dm}; \quad [D]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy}(\text{gray}); \quad (5)$$

● 1 Gray (1 Gy) - reprezinta doza de radiație când o energie de 1J este complet absorbită de unitatea de masă de substanță.

● Unitatea de măsură tolerată: $1\text{rad}(\text{Radiation Absorbed Dose}) = 10^{-2} \text{Gy}$

▲ **Kerma** (Kinetic Energy Released per unit Mass) se notează cu K și reprezintă energia cinetică cedată de fascicul în elementul de masă considerat.

$$K = \frac{dE_{\text{tr}}}{dm}; \quad [K]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy}(\text{gray}) \quad (6)$$

E_{tr} este energia cinetică transferată prin interacții de către fotoni particulelor încărcate secundare (electronii). În sistem tolerat se folosește unitatea numită rad.

▲ **Doza echivalentă** (H) **sau doza biologică** reprezintă produsul dintre doza absorbită D într-un organ sau țesut și factorul de calitate al dozei incidente.

$$H = q \cdot D; \quad [H]_{\text{S.I.}} = \text{Sv}(\text{sievert}) = \frac{\text{J}}{\text{kg}}; \quad (7)$$

q este factorul de calitate al radiației. Cu cât acest factor este mai mare, efectele dozei absorbite vor fi mai pronunțate.

● Unitatea de măsură tolerată: $1\text{rem}(\text{Roentgen Equivalent Man}) = 10^{-2} \text{Sv}$

Doza efectivă (E) este produsul dintre doza echivalentă și factorul de ponderare al țesutului iradiat.

$$E = w_T \cdot H; \quad [E]_{\text{S.I.}} = \text{Sv} \quad (8)$$

Doza efectivă pentru întregul organism este suma produselor dintre doza echivalentă și factorul de ponderare corespunzător fiecărui țesut expus la radiații.

$$E = \sum_i w_{T,i} H_i \quad (9)$$

▲ **Debitul dozei absorbite** (\dot{D}) este raportul dintre doză și durata expunerii.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}; \quad [\dot{D}]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{kg}} = \frac{\text{Gy}}{\text{s}} \quad (10)$$

▲ **Debitul dozei echivalente** (\dot{H}) este raportul dintre doza echivalentă și durata expunerii.

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}; \quad [\dot{H}]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{Sv}}{\text{s}} \quad (11)$$

■ **Tomografia Computerizată cu raze X (prin transmisie)** cunoscută și cu denumirea de Tomografia Axială Computerizată (CAT) constituie o tehnică eficientă de evaluare non-invazivă prin intermediul căreia se obțin imagini 2D și 3D ale țesuturilor și organelor corpului uman. În aplicațiile din domeniul defectoscopiei obiectelor metalice se folosesc sursele izotopice de ^{137}Cs sau ^{60}Co , iar în domeniul medical sunt folosite ca generatoare de radiații tuburile de raze X.

Să presupunem că avem un fascicul foarte îngust monocromatic de raze X care trece printr-un strat de material subțire și omogen, de grosime x , iar l este dreapta ce unește sursa cu detectorul.

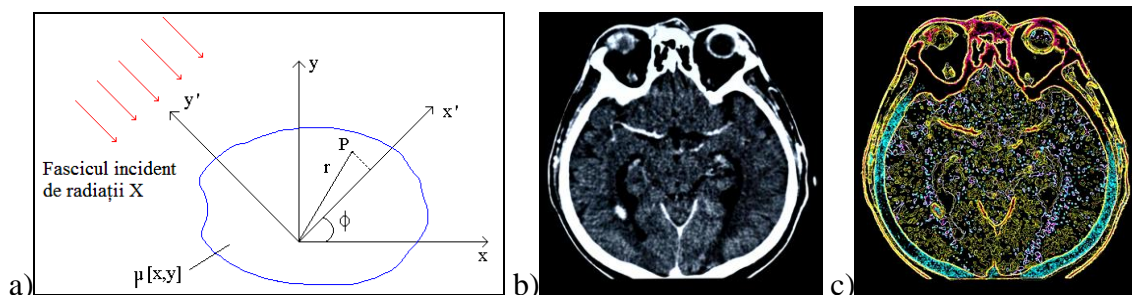


Figura 2. – (a) Ilustrarea principiului tomografiei prin transmisie, (b) tomografie computerizată cu raze X a creierului (c) evidențierea detaliilor interne de structură din fig. 2.b. prin intermediul softurilor de prelucrare a imaginilor digitale

Dacă mediul nu este omogen, legea de atenuare a fotonilor se va scrie:

$$I_{\phi}(x') = I_0(x') \exp\left(-\int_1 \mu[x, y] dy'\right) \quad (12)$$

■ **Tomografia Computerizată prin Emisie** este o metodă de imagistică medicală de ultimă generație, constituind modalitatea cea mai modernă de diagnostic. Dacă se folosește un izotop radioactiv care emite radiații β^+ (^{82}Rb , ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C , ^{68}Ga , ^{18}F) atunci metoda se numește pozitronică sau bifonică (PET) iar în cazul utilizării unui izotop care este doar γ activ (^{99m}Tc , ^{123}I , ^{111}In , ^{201}Tl , ^{133}Xe), metoda se numește unifonică (SPET).

Tomografia computerizată prin emisie permite vizualizarea unor secțiuni de interes la diferite momente de timp, obținându-se informații cu privire la activitatea organelor corpului investigat.

Cei mai eficienți radionuclizi sunt aceia care emit radiații γ cât mai monocromatice și cu energie ușor de colimat, realizează un raport de fixare tumoare/creier cât mai ridicat, se fixează cât mai puțin în mușchi și schelet și au timpul de înjumătățire optim, atât pentru a asigura o activitate înaltă pe durata înregistrării cât și o eliminare rapidă după aceea.

Echivalentul de doză efectivă la care este expus pacientul în timpul unei tomografii computerizate cu raze X, fără contrast este 3 mSv, în timp ce valoarea sa devine 10 mSv într-o tomografie emisivă pozitronică în care radiofarmaceuticul administrat este ^{18}FDG - 370 MBq.

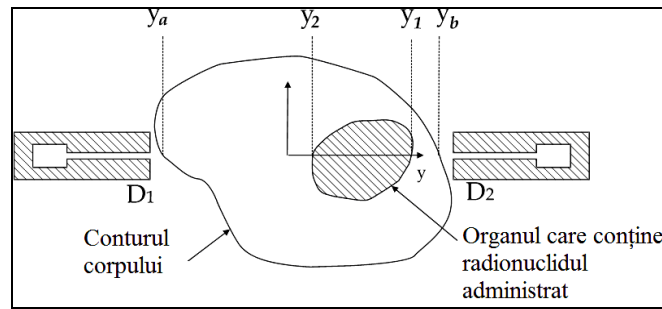


Figura 3. - Ilustrarea principiului tomografiei prin emisie. Corpul investigat situat între detectorii D₁ și D₂

Doza mică de iradiere pe care o primește organismul în scintigrafia cerebrală, după administrarea ^{99m}Tc (0,2 rad) face posibilă repetarea examenului fără pericol deosebit de iradiere.

În Tomografia Computerizată Transmisivă determinăm proiecția distribuției coeficientului liniar de atenuare a razelor X, în timp ce în Tomografia Computerizată Emisivă se determină proiecția distribuției radioactivității în corp în prezența unui μ necunoscut.

TEST DE EVALUARE

1. Coeficientul de atenuare liniară în plumb pentru o radiație γ are valoarea $\mu = 1,16 \text{ cm}^{-1}$. Ce grosime are stratul de plumb pentru a micșora de 16 ori intensitatea fasciculului?
2. Câte grosimi de înjumătățire sunt necesare pentru a atenua intensitatea unui fascicul de radiații γ de 4 ori?
3. Știind că grosimea de înjumătățire pentru un fascicul de radiații care trece printr-un strat de plumb este de 0,5 cm, iar densitatea plumbului $\rho_{\text{pb}} = 11,34 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, să se calculeze:
 - a) coeficienții de atenuare liniari și masici;
 - b) grosimea a stratului de plumb pentru care intensitatea scade de 8 ori;
4. Calculați grosimea unui perete de beton care realizează aceeași ecranare a radiațiilor γ ca și un perete de plumb gros de 20 cm, dacă densitatea plumbului este de 5 ori mai mare decât densitatea betonului.
5. Să se afle grosimea stratului de apă pentru care intensitatea unui fascicul de radiații γ scade la jumătate din valoarea inițială. Se cunoaște coeficientul de atenuare liniară al apei $\mu = 0,047 \text{ cm}^{-1}$.
6. O radiație γ are grosimea de înjumătățire $d_{1/2} = 20 \text{ cm}$. Să se determine grosimea stratului de beton care absoarbe 75% din radiație.
7. Enumerați minim 3 surse de radiații γ și descrieți utilizările lor.
8. Care este rolul detectoarelor de radiații?

9. Care sunt deosebirile dintre tomografia reconstructivă computerizată prin transmisie și cea prin emisie?

BIBLIOGRAFIE

- [1] Tatiana Angelescu, Sorin Bercea, Octavian G. Dului, Livia Harangu. Mircea Oncescu, Mădălina Pop – Probleme rezolvate de dozimetrie și radioprotecție, Editura Universității din București. 2005;
- [2] H. H. Barrett, W. Swindell – Radiological Imaging, The Theory of Image Formation, Detection and Processing, Vol. I-II, Academic Press, 1981;
- [3] Simona Bratu, Vasile Fălie - Manual pentru clasa a XII-a, Editura Didactică și Pedagogică R.A., București 2013;
- [4] O.G. Dului – Aplicațiile radiațiilor nucleare, pg. 1-60, Editura Universității, București 1993;
- [5] Mihaela Garabet, Constantin Mantea – Manual pentru clasa a 12-a, Editura All, București, 2007;
- [6] Cleopatra Gherbanovschi, Nicolae Gherbanovschi – Manual pentru clasa a XII-a, Editura Niculescu, Editura Niculescu ABC, 2017;
- [7] Adriana Ghiță, Andrei Petrescu, Andreea Rodica Sterian – Fizică nucleară - Probleme pentru elevi și studenți, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, 2013;
- [8] A.C. Kak M. Slaney – Principles of Computerized Tomographic Imaging, The Institute of Electrical and electronics Engineers, Inc., New York, 119, 1999
- [9] G. B. Saha – Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine, Springer-Verlag, 1993;
- [10] K.R. Spring J.C. Russ, M.J. Parry-Hill, T.J. Fellers, C.A. Burdett, J.A. Stamper, L.D. Zukerman, A.M. Cusma, M.W. Davidson and M. Abramowitz – Binary Slicing of Digital Images (Interactive Java Tutorials), Olympus America Inc. and The Florida State University, 2007
- [11] Steve Webb – The Physics of Medical Imaging - Medical Science Series, Institute of Physics Publishing Bristol (Great Britain) and Philadelphia (USA), 1996
- [12]http://www.nipne.ro/research/departments/radprot/HANDBOOK_RO/traducere_HANDBOOK_radioprotectie_LOS_ALAMOS.pdf
- [13] https://igienagenerala.usmf.md/sites/default/files/inline-files/Glosar%2C%20final_0.pdf
- [14]<http://www.cncan.ro/assets/Surse-de-radiatii-ionizante/permise/Tehnici-nucleare---Surse-inchise-SI/ListaraspcomentariiTN-SIV1.0-14.01.2019.pdf>