

LEGILE DEZINTEGRĂRII RADIOACTIVE - APLICAȚII

Dr. Seleşchi Emilia Dana – Colegiul Tehnic „CAROL I”, București

FIȘA DE LUCRU

Radioactivitatea este un fenomen fizic prin care nucleul unui atom instabil, numit și radioizotop, se transformă spontan (se dezintegrează), degajând energie sub formă de radiații diverse (alfa, beta sau gama), într-un atom mai stabil. Prin dezintegrare atomul pierde și o parte din masă. Termenul de radioactivitate a fost folosit pentru prima dată de Marie Curie. Radionuclizii care apar în stare naturală se pot clasifica în trei categorii: radionuclizi primari, radionuclizi secundari și radionuclizi cosmogeni.

- Radionuclizii primari (primordiali) sunt prezenți de la formarea Pământului și au timp de înjumătățire de ordinul sutelor de milioane de ani. Dintre cei mai cunoscuți menționăm: $^{238}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$, $^{87}_{37}\text{Rb}$, $^{40}_{19}\text{K}$, $^{147}_{62}\text{Sm}$, $^{144}_{60}\text{Nd}$, etc.

- Radionuclizii secundari sunt izotopi radiogeni derivați din dezintegrarea radionuclizilor primordiali (descendenții capetelor de serie) și au un timp de înjumătățire mai scurt decât al radionuclizilor primordiali.

- Radionuclizii cosmogeni se formează în urma interacției cu radiația cosmică: $^{10}_4\text{Be}$, $^{12}_6\text{C}$, $^{26}_{13}\text{Al}$, $^{41}_{20}\text{Ca}$, etc.

Constanta de dezintegrare λ reprezintă probabilitatea de dezintegrare în unitatea de timp a unui element radioactiv și este specifică tipului de nuclee care se dezintegrează. Legea generală a dezintegrării radioactive stabilită experimental pe baza rezultatelor lui Rutherford și Soddy este:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

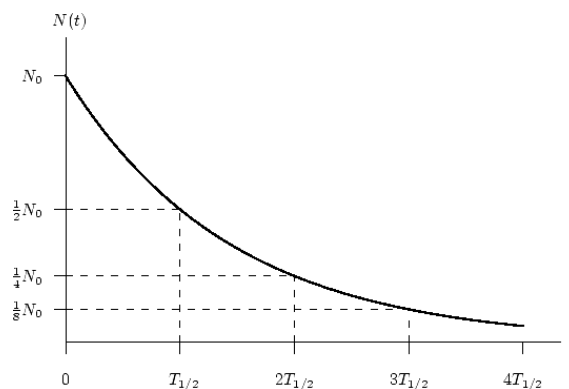


Figura 1. – Variația în timp a numărului de nuclee radioactive.

N_0 este numărul inițial de nuclee radioactive (la momentul $t = 0$)

$N(t)$ este numărul de nuclee radioactive rămase nedezintegrate după un timp t

Timpul de înjumătățire $T_{\frac{1}{2}}$ reprezintă intervalul de timp în care numărul inițial de nuclee radioactive se reduce la jumătate. Din relația (1) se poate obține o legătură între această mărime și constanta de dezintegrare.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2)$$

Timpul mediu de viață τ reprezintă intervalul de timp în care numărul inițial de nuclee se reduce de e ori.

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \, dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Activitatea unei surse radioactive Λ se definește ca numărul de dezintegrări produse în unitatea de timp:

$$\Lambda = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta t} \Rightarrow \Lambda = \lambda N \quad (4)$$

Dacă notăm cu Λ_0 activitatea sursei la momentul inițial t_0 , variația în timp a activității unei surse va fi dată de relația:

$$\Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Activitatea inițială a sursei poate fi scrisă sub forma: $\Lambda_0 = \lambda \cdot N_0 = \lambda \frac{m}{A} N_A$ (6)

În S.I. activitatea se măsoară în dezintegrări pe secundă (Bq - becquerel).

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Între viteza de numărare R și numărul de nuclee din sursă dezintegrate în unitatea de timp există relația:

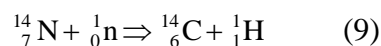
$$R = G \varepsilon S \Lambda \quad (7)$$

Factorul geometric va avea relația: $G = \frac{\Omega}{4\pi}$, unde Ω este unghiul solid sub care sursa (presupusă punctiformă) „vede” partea activă (sensibilă la radiații) a detectorului. Eficacitatea detectorului, ε este raportul dintre numărul de radiații înregistrate (numărul impulsurilor la ieșire) și numărul de radiații ajunse pe detector iar S este factorul de schemă, adică probabilitatea de emisie a radiației respective la o singură dezintegrare. Notând cu R_0 viteza de numărare la momentul t_0 , viteza de numărare la momentul t poate fi scrisă sub forma:

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (8)$$

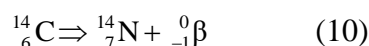
Metoda Carbonului-14 (^{14}C)

Carbonul are doi izotopi stabili ($^{12}_6\text{C}$ și $^{13}_6\text{C}$) având abundențele izotopice de aproximativ: 98,9 % și 1,1 %. Izotopul radioactiv $^{14}_6\text{C}$ se formează în straturile superioare ale atmosferei sub acțiunea razelor cosmice, după următoarea reacție nucleară:



După ce este produs în în stratosferă, $^{14}_6\text{C}$ pătrunde în straturile inferioare ale atmosferei de unde prin intermediul fotosintezei plantelor ajunge în toate organismele vii. Raportul $^{14}_6\text{C}/^{12}_6\text{C}$ se menține

constant în substanțele organice din plante și animale atâta timp cât acestea sunt în viață. După moartea organismelor, aportul de $^{14}_6\text{C}$ este întrerupt cel existent dezintegrându-se. Carbonul-14 este β^- activ, dezintegrându-se conform ecuației:



Datorită timpului său de înjumătățire de 5730 de ani, $^{14}_6\text{C}$ este folosit în probleme privind datarea obiectelor arheologice de origine vegetală și animală având vârste cuprinse între câteva sute de ani și 40 – 50 000 ani. Această tehnică a fost elaborată de Willard Frank Libby. Pentru a data probe cu vârste mai mari de 50 000 ani, dar nu peste 100 000 ani, a fost propusă o nouă metodă prin care atomii de $^{14}_6\text{C}$ sunt detectați în mod direct folosind un accelerator tandem și două spectrografe de masă cuplate cu acceleratorul. Vârsta probei poate fi calculată determinând simultan numărul de nuclee rămase în probă N și numărul de nuclee existente la momentul inițial N_0 .

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{N} \quad (11)$$

Metoda Potasiu-Argon ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$)

Potasiul natural este alcătuit din doi izotopi stabili, $^{39}_{19}\text{K}$ și $^{41}_{19}\text{K}$, și un izotop instabil (radioactiv) $^{40}_{19}\text{K}$, având abundențele izotopice relative de aproximativ: 93,26 %, 6,73 % și 0,012%. Izotopul $^{40}_{19}\text{K}$ se dezintegrează atât prin dezintegrare β^- în $^{40}_{20}\text{Ca}$, precum și prin captură electronică în $^{40}_{18}\text{Ar}$. Metoda de geodatare Potasiu–Argon este una dintre cele mai atractive și în același timp una dintre cele mai utilizate metode geocronologice radiometrice întrucât potasiul este unul dintre cele mai răspândite elemente din natură iar timpul de înjumătățire al $^{40}_{19}\text{K}$ este de $T_{1/2} = 1,25 \cdot 10^9$ ani fiind comparabil cu vârsta Pământului. Cunoscând conținutul de Potasiu-40 și Argon-40 din probe, vârsta acestora poate fi calculată cu ajutorul relației următoare :

$$t = \frac{1}{\lambda_{\text{Ca}} + \lambda_{\text{Ar}}} \ln \left(1 + \frac{\lambda_{\text{Ca}} + \lambda_{\text{Ar}}}{\lambda_{\text{Ar}}} \frac{N_{^{40}\text{Ar}}}{N_{^{40}\text{K}}} \right) \quad (12)$$

λ_{Ar} este constanta de dezintegrare prin captură electronică, λ_{Ca} este constanta de dezintegrare prin dezintegrare β^- , N_{Ar} reprezintă numărul actual de nuclee de Argon-40 iar N_{K} este numărul actual de nuclee de Potasiu-40 din probă.

Metoda Potasiu-Argon poate fi utilizată la determinarea vârstelor oricărui tip de roci: terestre sau de proveniență extraterestră (meteoriți, tectite, roci lunare).

Particularitățile legii de dezintegrare a nucleelor radioactive permit utilizarea radionuclizilor naturali la măsurători de determinare a vârstei unor formațiuni geologice sau a unor obiecte de interes arheologic.

TEST DE EVALUARE

1. Timpul de înjumătățire al unui preparat de $^{222}_{86}\text{Rn}$ este de 3,825 zile.

(a) Să se afle constanta radioactivă a $^{222}_{86}\text{Rn}$;

(b) După cât timp activitatea $^{222}_{86}\text{Rn}$ scade la $\frac{1}{16}$ din activitatea inițială?

2. Două surse radioactive au activitatea inițială Λ_{01} , respectiv Λ_{02} , ($\Lambda_{01} > \Lambda_{02}$) iar timpul de înjumătățire T_1 , respectiv T_2 .

(a) După cât timp numărul de nuclee rămase nedezintegrate ale celor două surse va fi același?

(b) După cât timp activitățile celor două surse vor fi egale?

3. Să se calculeze activitatea inițială a unui gram de $^{238}_{92}\text{U}$ în stare pură, dacă se cunoaște timpul de înjumătățire, $T_{\frac{1}{2}}(^{238}_{92}\text{U}) = 4,47 \cdot 10^9$ ani .

4. Să se determine vârsta unei probe de lemn fosil, știind că activitatea izotopului $^{14}_6\text{C}$ pentru acest obiect este $\frac{1}{4}$ din activitatea a unei probe de lemn actual. Timpul de înjumătățire al $^{14}_6\text{C}$ este de 5730 ani..

5. Ce fel de obiecte pot fi datate prin metoda ^{14}C respectiv $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ și care sunt vârstele geologice pentru care acestea pot fi aplicate?

Bibliografie

- [1] L. C. Dinescu, E. Steinnes, O. G. Dului, C. Ciornea, T. E. Sjobakk, D. E. Dumitrie, M. M. Gugiu, M. Haralambie – Distribution of some major trace elements in Danube Delta lacustrine sediments and soil, J. Radioanal. Nucl. Chem., 262, No. 2, 345-354, 2004;
- [2] O.G. Dului – ”Aplicațiile radiatiilor nucleare”, pg. 1-60, Editura Universitatii, Bucuresti 1993;
- [3] M. A. Geyh and H. Schleicher Absolute Age Determinations – Physical and Chemical Dating Methods and Their Application, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, 1990;
- [4] A. Ghiță, A. Petrescu, A.R. Sterian – Fizica Nucleară – Probleme pentru elevi și studenți, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, 2013;
- [5] G. A. Kovaltsov.; A. Mishev; I. G. Usoskin - „A new model of cosmogenic production of radiocarbon ^{14}C in the atmosphere”. Earth and Planetary Science Letters. 337–338: 114–120, 2012;
- [6] F. Miyake; K. Nagaya; K. Masuda; T. Nakamura - „A signature of cosmic-ray increase in ad 774–775 from tree rings in Japan” (PDF). Nature. 486: 240–2., 2012