

Determinarea timpului de înjumătățire al unui element radioactiv cu viață lungă

Introducere

Activitatea fiecărui element radioactiv descrește după o lege exponențială, independent de faptul, că se găsește în stare pură sau în amestec cu alți izotopi:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

sau

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t \quad (2)$$

Legătura dintre activitatea unei substanțe și numărul de nuclee radioactive prezente în acea substanță este

$$A = \lambda N \quad (3)$$

unde λ este constanta radioactivă. Numărul de nuclee nedezintegrate după un interval de timp "t" are aceeași lege de descreștere

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Se numește timp de înjumătățire intervalul de timp, în care N_0 (numărul inițial de nuclee) s-a dezintegrat la jumătate. Din legea dezintegrării rezultă:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (5)$$

Relația (2) se reprezintă grafic în coordonate semilogaritmice printr-o dreaptă, tangenta unghiului pe care această dreaptă îl formează cu abscisa este (λ) . Înlocuind în (5) rezultă:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (6)$$

$T_{1/2}$ variază într-un domeniu foarte larg, de la 10^{10} s până la sute de miliarde de ani.

La un λ mai mic corespunde un element cu o viață mai lungă. Reprezentând grafic (fig. 1) dezintegrarea mai multor elemente radioactive observăm că:

$$\lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_1 \text{ și } T_{1/2}(3) > T_{1/2}(2) > T_{1/2}(1)$$

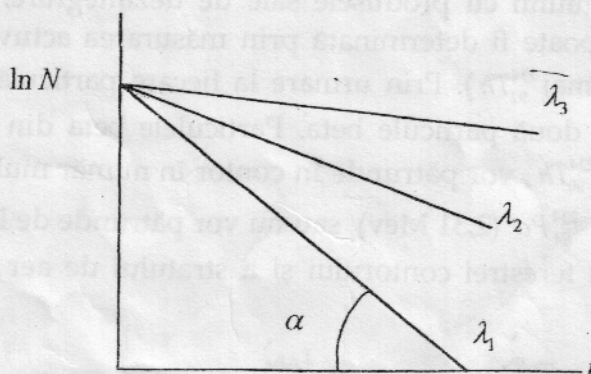


Fig. 1. Variația lui $\ln N$ în funcție de t

Dacă elementele se dezintegrează foarte lent, exemplu U^{238} , dreapta practic devine paralelă cu abscisa și nu mai putem folosi metoda acesta pentru determinarea lui $T_{1/2}$.

Timpul de înjumătățire al unui element radioactiv cu viață lungă se poate determina însă din măsurarea activității absolute. Între activitatea preparatului, care conține o cantitate cunoscută de element radioactiv, și timpul de înjumătățire al acestui element există următoarea relație obținută din relațiile (3) și (5):

$$T_{1/2} = \frac{N \ln 2}{(dN/dt)} \quad (6)$$

în care $T_{1/2}$ este timpul de înjumătățire al izotopului cercetat, N numărul de atomi ai elementului radioactiv, $dN/dt = A$ activitatea absolută a preparatului (viteza de dezintegrare). Dacă se cunoaște N și dN/dt se poate calcula $T_{1/2}$.

Proba utilizată în lucrare conține U^{238} . Numărul N de atomi ai acestui element conținut într-un preparat cu m grame de uraniu se calculează cu ajutorul relației:

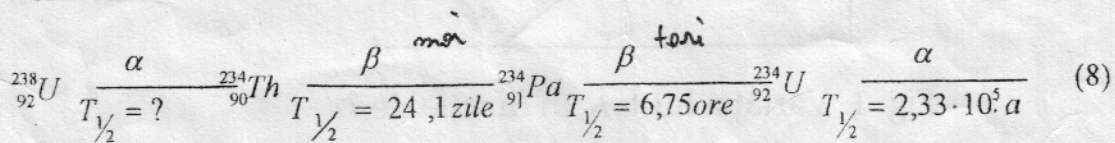
$$N = \frac{m}{A_u} \cdot 6.023 \cdot 10^{23} \quad (7)$$

În care A_u - este greutatea atomică a elementului, $6.023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ este numărul lui Avogadro.

Măsurarea lui dN/dt se face ținând cont că uraniul ^{238}U se dezintegrează în modul următor (relația 8):

Unul dintre elementele radioactive care se găsesc în această serie ^{234}Pa se transformă în ^{234}U pe două căi: calea principală de transformare este redată în schemă. Cealaltă cale prin care se dezintegrează, 15% din numărul total de nuclee de ^{234}Th , constă în formarea unui izomer al ^{234}Pa , care are un timp de înjumătățire de 1,17 min, emițând o cantă gamma de 0,039 Mev și radiații beta cu energia maximă de 0,5 Mev.

La echilibru uraniului cu produsele sale de dezintegrare, activitatea alfa absolută a preparatului poate fi determinată prin măsurarea activității beta totale a ^{234}Th și ^{234}Pa , (sau numai ^{234}Th). Prin urmare la fiecare particulă alfa emisă din uraniu 238 îi corespund două particule beta. Particulele beta din radiațiile "moi" $E_p^{\text{max}} = 0,19 \text{ Mev}$ emise de ^{234}Th , vor pătrunde în contor în număr mult mai mic decât particulele dure emise de ^{234}Pa (2,31 Mev), sau nu vor pătrunde de loc, în funcție de grosimea preparatului, a ferestrei contorului și a stratului de aer dintre probă și contor.



Radiațiile alfa ale uraniului 238 sunt total absorbite într-un strat de aer cu grosime de aproximativ 26,5 mm, în condiții normale, ceea ce corespunde unei grosimii echivalente în aluminiu de 3,4 mg/cm². Radiațiile beta provenite de la $^{234}_{90}\text{Th}$ sunt total absorbite într-un strat de aluminiu cu grosimea de 45 mg/cm², în timp ce absorbția totală a particulelor beta emise de $^{234}_{91}\text{Pa}$ se face într-un strat de aluminiu cu grosimea de 1130 mg/cm².

Efectuând măsurătorile cu un contor frontal cu fereastra de mică subțire (2 - 4 mg/cm²) se poate determina atât intensitatea totală a radiației beta ale ($^{234}_{90}\text{Th} + ^{234}_{91}\text{Pa}$) cât și cea provenită numai de la $^{234}_{91}\text{Pa}$.

În primul caz trebuie respectată condiția ca stratul de aer și fereastra contorului să absoarbă total radiațiile alfa adică distanța de la contor la preparat să fie mai mare de 27 mm sau să existe un absorbant între sursă și fereastra contorului.

Însă la măsurarea activității totale a razelor beta, prezența radiației moi din $^{234}_{90}\text{Th}$ reduce mult precizia determinării datorită faptului că puterea lor de pătrundere este mică. De aceea pentru a obține rezultate mai exacte, se recomandă să se determine activitatea absolută a preparatului de uraniu folosind numai radiațiile lui $^{234}_{91}\text{Pa}$ și nu intensitatea totală a radiațiilor beta ale $^{234}_{90}\text{Th}$ și $^{234}_{91}\text{Pa}$.

Calculul erorilor. Eroarea absolută (abaterea de la media statistică) atunci când rezultatul îl exprimăm printr-o singură măsurătoare este:

$$\sigma = \sqrt{n} \quad (9)$$

iar eroarea relativă

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

Când se face două măsurări independente, eroarea pătratică medie absolută a măsurării globale este $\sigma = \sqrt{\sigma_{f+s}^2 + \sigma_f^2}$, unde σ_{f+s} și σ_f sânt erorile pătratice medii ale măsurărilor independente.

În cazul activităților mici, când numărarea se face în prezența fondului (orice detector înregistrează un anumit număr de impulsuri în lipsa unei surse radioactive, impulsuri ce se datorează atât elementelor radioactive naturale diseminate în toate corpurile din vecinătatea detectorului cât și radiației cosmice) eroarea absolută se exprimă prin relația:

$$\sigma = \sqrt{n_{f+s} + n_f} \quad (11)$$

iar eroarea relativă

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{n_{f+s} + n_s}}{n_{f+s} - n_f} \quad (12)$$

Modul de lucru

3. Măsurați activitatea absolută a radiației β a ($^{234}_{90}\text{Th} + ^{234}_{91}\text{Pa}$) (β -tari), folosind metoda a doua. Măsurările se efectuează așezând în fața preparatului o foiță de aluminiu cu stratul absorbant de 45 mg/cm^2 .

- a. Efectuați 10 măsurări timp de 5 min fiecare, pentru determinarea fondului \bar{n}_0 (fără preparat) și calculați viteza de numărare a fondului R_f

$$R_f = \bar{n}_0 / t \quad (12)$$

- b. Măsurați numărul de impulsuri dat de preparat (cu placa de aluminiu), efectuând 10 măsurări în timp de 5 min fiecare. Calculați viteza de numărare a preparatului R_p

$$R_p = \bar{n} / t \quad (13)$$

4. Calculați activitatea absolută conform relației

$$A = \frac{dN}{dt} = g(R_p - R_f) \quad (14)$$

unde g este un factor de corecție de unghi solid și de absorbție în aer. În cazul așezării sursei în poziția cea mai aproape de contor (sertarul de sus) $g = 18$.

5. Calculați masa U^{238} conținută în 5,2 mg de $[\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7]$ Înlocuind în (7) aflați numărul de atomi de uraniu.
6. Determinați timpul de înjumătățire $T_{1/2}$ cu ajutorul formulei (6), înlocuind rezultatele obținute anterior.
7. Calculați erorile statistice absolute și relative ale măsurătorilor individuale pentru fond și sursă + fond, precum și eroarea absolută și relativă a măsurării globale.
8. Exprimați rezultatul final pentru timpul de înjumătățire, inducând și eroarea de măsură ($T \pm \Delta T$).
9. Introduceți datele obținute în următorul tabel

	Tim. de măs. (min)	σ	ε	Valoarea medie	$\bar{n} \pm \sigma$
Fond					
Sursă+fond					
sursă					