

## 32. Určenie polčasov premeny rádioaktívnych izotopov striebra

### 1. Všeobecná časť

Meranie aktivity žiariča v závislosti od času umožňuje určiť polčasy premeny  $T_{1/2}$  jednotlivých rádionuklidov, ktoré tvoria jeho súčasť. Ak sa počas experimentu rádioaktívne komponenty prakticky úplne rozpadnú, metódou diferenciálneho merania možno polčasy premeny určiť dostatočne presne. Najpresnejšie výsledky získame v prípade, ak počet rádioaktívnych izotopov nie je veľký (nie viac ako tri – štyri), pričom ich polčasy premeny sa výrazne od seba líšia. Aktivita žiariča pozostáva z aktivít jednotlivých komponentov v prípade, že sa rozpadajú nezávisle a že rozpadové produkty sú stabilné:

$$A = \frac{dN}{dt} = \sum_i \lambda_i N_{0i} \exp(-\lambda_i t) = \sum_i A_{0i} \exp(-\lambda_i t) \quad (32.1)$$

kde  $N_{0i}$  je počet atómov  $i$ -tého rádionuklidu v čase  $t = 0$  a  $\lambda_i$  je rozpadová konštanta  $i$ -tého rádionuklidu.

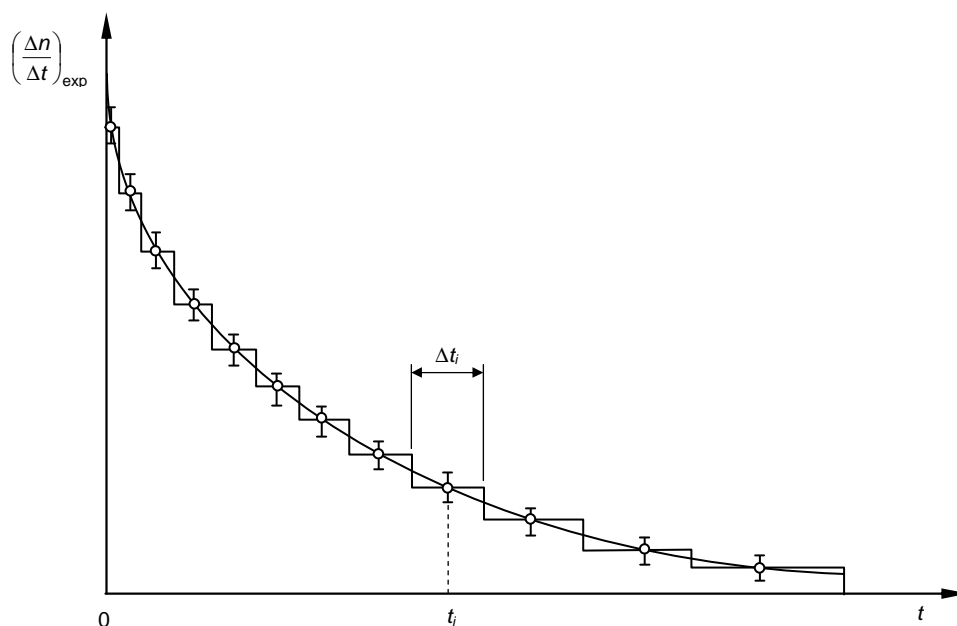
Aktivita každého rádionuklidu v čase  $t = 0$  je  $A_{0i} = \lambda_i N_{0i}$  a exponenciálne klesá. Ak detektor zaregistruje rádioaktívny rozpad, zmeraný počet impulzov  $\Delta n$  za časový interval  $\Delta t$  bude súvisieť s aktivitou žiariča podľa vzťahu:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = [\omega_i A_{0i} \exp(-\lambda_i t)] + \frac{\overline{\Delta n_p}}{\Delta t_p} \quad (32.2)$$

V tomto vzťahu,  $\omega_i$  je stredná pravdepodobnosť registrácie detektorom častíc  $i$ -tého komponentu (hodnoty  $\omega_i$  môžu byť rôzne pre rôzne rádionuklidy, pretože emitované častice majú rôznu energiu) a  $\overline{\Delta n_p}/\Delta t_p$  je stredný počet impulzov pozadia za jednotku času.

V prípade merania aktivity v krátkych časových intervaloch  $\Delta t$ , experimentálne údaje po odpočítaní pozadia budú mať tvar histogramu (obr. 32.1). Pretože do grafu vynášame početnosti prepočítané na jednotku času, intervaly  $\Delta t$  nemusia byť rovnaké. Treba však dodržať zásadu, aby  $\Delta t \ll T_{1/2}$  pre každý komponent žiariča. Platí:

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right)_{\text{exp}} = \left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right)_{\text{mer}} - \left(\frac{\overline{\Delta n_p}}{\Delta t_p}\right) \quad (32.3)$$

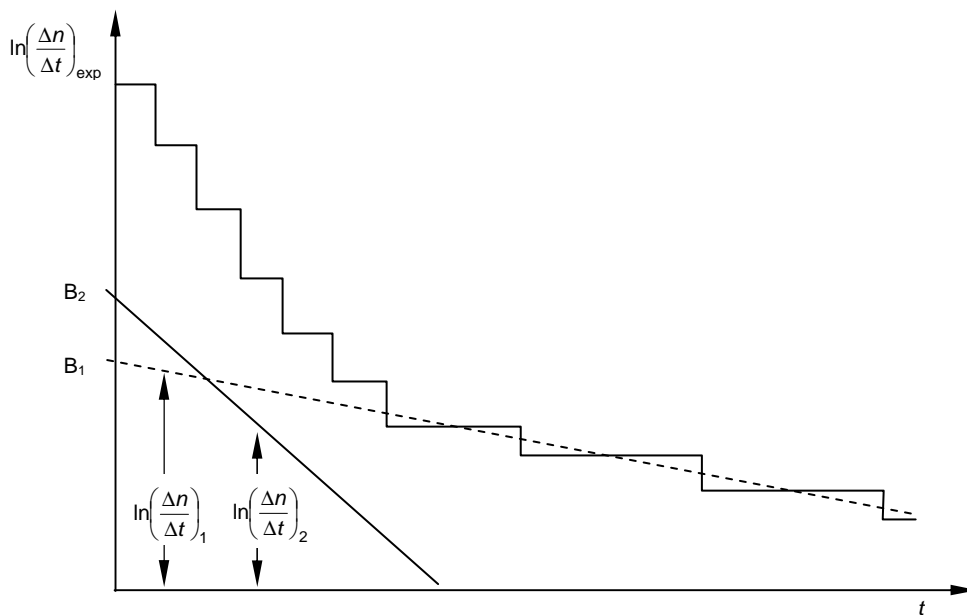


Obr. 32.1: Priebeh nameranej aktivity po odpočítaní pozadia.

Ak hodnoty  $(\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}}$  vynesieme v semilogaritmickej mierke (obr. 32.2), môžeme analyzovať sumu exponenťov a nájsť jednotlivé polčasy premeny. Po dostatočne dlhom čase sa krátkožijúce komponenty prakticky rozpadnú. Rozpadáť sa bude už iba posledný – najdlhšie žijúci – komponent. Rozpadová krivka bude mať tvar priamky zodpovedajúcej tomuto komponentu. Extrapoláciou získanej priamky k  $t = 0$  možno separovať dlhožijúci komponent  $(\Delta n/\Delta t)_1$  od celkovej rozpadovej krivky  $(\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}}$  a nakresliť graf pre krátkožijúci komponent.

$$\ln\left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right)_2 = \ln\left[\left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right)_{\text{exp}} - \left(\frac{\Delta n}{\Delta t}\right)_1\right] \quad (32.4)$$

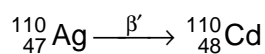
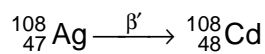
Opakovaním tohto postupu určíme polčasy premeny všetkých komponentov. Úseky  $B_i$  na osi y sú rovné  $B_i = A_{0i}\omega_i$ . Ak poznáme účinnosť registrácie  $\omega_i$ , môžeme určiť  $A_{0i}$ .



Obr. 32.2: Rozklad rozpadovej krivky na jednotlivé komponenty.

## 2. Zadanie

Cieľom tejto úlohy je skúmanie žiariča, ktorý pozostáva zo zmesi dvoch nezávislých izotopov striebra a stanovenie ich polčasov premeny. Prebiehajú nasledovné reakcie:



Ako žiarič použijeme doštičku prírodného striebra, ktorú ožiarime neutrónmi. Izotopové zloženie striebra, vlastnosti izotopov a  $\beta$  – aktívnych produktov reakcie  $(n,\gamma)$  sú uvedené v tab. 32.1.

Stabilný izotop	Obsah izotopu [%]	Produkt reakcie (n,γ)	$T_{1/2}$	Mikroskopický účinný prierez $\sigma_{akt}$	Makroskopický účinný prierez $\Sigma_{akt}$
$^{107}_{47}\text{Ag}$	51,9	$^{108}_{47}\text{Ag}$	2,3 min	$(44 \pm 9) \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$	0,131 $\text{cm}^2/\text{g}$
$^{109}_{47}\text{Ag}$	48,1	$^{110}_{47}\text{Ag}$	24,5 s	$(110 \pm 20) \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$	0,35 $\text{cm}^2/\text{g}$

Účinný prierez aktivácie  $\sigma_{akt}$  platí pre neutróny s rýchlosťou  $v_n = 2200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Mikroskopický účinný prierez je vzťahnutý na jeden atóm príslušného stabilného izotopu, pričom charakterizuje pravdepodobnosť vzniku konkrétneho produktu reakcie (n,γ):



V neutrónovej aktivačnej analýze sa často používa tzv. makroskopický účinný prierez aktivácie  $\Sigma_{akt}$ , ktorý sa uvádza v tabuľkách. Má rozmer  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Takto udávaný makroskopický účinný prierez aktivácie už zahrňuje aj percentuálne zastúpenie izotopu v prírodnej zmesi prvkov.

Pri spracovaní výsledkov merania treba brať do úvahy, že prírodné striebro sa aktivuje nielen tepelnými neutrónmi. Účinný prierez aktivácie izotopu  $^{109}_{47}\text{Ag}$  má výrazné rezonančné maximum v oblasti energií neutrónov  $E_{rez} = 5,3 \text{ eV}$  ( $\sigma_{rez} = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ m}^2$ ). Vzorku ožarujeme rádioizotopickým zdrojom neutrónov (Am – Be), neutróny sú produktom reakcie  $^9_4\text{Be} (\alpha, n) ^{12}_6\text{C}$ . Spomalenie neutrónov dosiahneme obalením zdroja parafínom.

Pri meraní budeme postupovať takto:

- 1) Umiestnime striebornú doštičku do neutrónového poľa. Dobu ožarovania  $t$  volíme tak, aby dosiahli nasýtený stav aktivácie, t.j.  $t = \frac{8 \div 10}{\lambda}$ , keď počet rozpadajúcich sa jadier je rovný počtu vznikajúcich.
- 2) Zmeriame pozadie.
- 3) Vyberieme doštičku z ožarovacieho miesta v neutrónovom zdroji. Tento časový okamih označíme ako  $t = 0$ , odkedy sa rádioaktívne izotopy rozpadajú, ale nové už nevznikajú.

- 4) Čo najrýchlejšie (10 ÷ 20 s) umiestnime doštičku pod detektor a začneme registrovať počet impulzov v krátkych časových intervaloch (napr. 10 s) s prestávkami medzi jednotlivými meraniami 5 s. Merací interval po 30 ÷ 50 s možno predĺžiť. Meranie končí, keď sa údaje detektora približujú k hodnote pozadia (najmenej 10 min).
- 5) Hodnoty  $t$ ,  $\Delta n$ ,  $(\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}}$ ,  $\ln(\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}}$ ,  $\ln(\Delta n/\Delta t)_1$ ,  
 $(\Delta n/\Delta t)_2 = (\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}} - (\Delta n/\Delta t)_1$ ,  $\ln(\Delta n/\Delta t)_2$ , zapisujeme do tabuľky.
- 6) Zostrojíme závislosť  $\ln(\Delta n/\Delta t)_{\text{exp}} = f(t)$  a  $\ln(\Delta n/\Delta t)_2 = f(t)$ . Z grafov určíme polčasy premeny izotopov striebra.
- 7) Za predpokladu, že  $\omega_1 = \omega_2$ , určíme pomer  $(N_{01}/N_{02})_{\text{exp}}$  jadier  $^{108}\text{Ag}$  a  $^{110}\text{Ag}$  v okamihu konca ožiarenia. Vypočítame túto hodnotu podľa údajov účinných prierezov aktivácie tepelnými neutrónmi:

$$\left(\frac{N_{01}}{N_{02}}\right)_{\text{výp}} = \frac{a_1 \sigma_{1\text{akt}} T_1}{a_2 \sigma_{2\text{akt}} T_2}$$

- 8) Výsledky merania vyhodnotíme na počítači.