

Úloha č.

10

RADIOAKTIVNÍ ROVNOVÁHA

Úvod

Vzniká-li rozpadem radionuklidu s rozpadovou konstantou λ_1 nuklid rovněž radioaktivní (λ_2), je počet atomů tohoto dceřinného nuklidu v čase t dán vztahem

$$N_{2,t} = N_{1,0} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right) \quad (1)$$

kde $N_{1,0}$ je počet atomů mateřského radionuklidu na počátku pokusu, kdy pro jednoduchost předpokládáme, že $N_{2,0} = 0$ (odvození vztahu (1) viz např. Jaderná chemie, str. 45). Je-li $\lambda_1 \ll \lambda_2$ (tj. $T_1 \gg T_2$), zjednodušuje se vztah (1) na

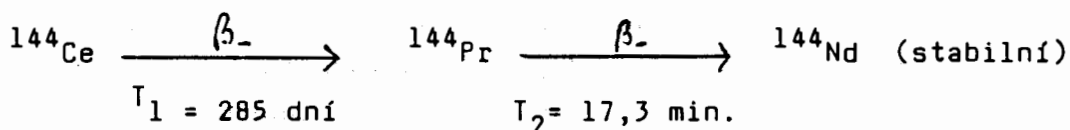
$$N_{2,t} = N_{1,0} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) = N_{1,0} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-0,693t/T_2}) \quad (2)$$

Je-li tedy na počítku přítomen pouze mateřský nuklid, narůstá množství dceřinného nuklidu asymptoticky podle vztahu (2). Po dostatečně dlouhé době, prakticky asi deseti poločasech dceřinného nuklidu, je exponenciální člen ve vztahu (2) zanedbatelný a s použitím definice aktivity $A = \lambda N$ dostáváme:

$$A_{2,\infty} = A_{1,0} \quad (3)$$

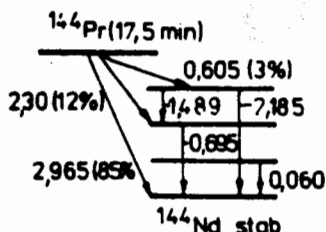
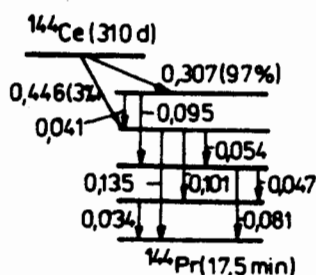
Je to stav tzv. trvalé radioaktivní rovnováhy, kdy aktivita dceřinného nuklidu po periodě narůstání dosáhla konstantní hodnoty rovné aktivitě nuklidu mateřského. Aktivita dceřinného nuklidu se s časem dále nemění, protože poločas mateřského nuklidu je tak velký, že pokles jeho aktivity v čase je zanedbatelný.

V úloze je ke studiu radioaktivní rovnováhy tohoto typu použito dvojice radionuklidů



Jejich rozpadová schemata jsou na obr. 36 a 37.

Podle vztahu (3) je směs ${}^{144}\text{Ce}/{}^{144}\text{Pr}$ v trvalé radioaktivní rovnováze. Abychom mohli sledovat růstovou křivku ${}^{144}\text{Pr}$, je nutno nejprve mateřský nuklid ${}^{144}\text{Ce}$ získat v radiochemicky čistém stavu a oddělit jej od rovnovážné aktivity ${}^{144}\text{Pr}$. K dělení ceru od ostatních lanthanoidů se s výhodou



Obr. 36

Rozpadové schéma ^{144}Ce

Obr. 37

Rozpadové schéma ^{144}Pr

používá snadného přechodu ceru do čtyřmocenství. Ve směsi $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ se cer zoxiduje na Ce^{IV} bromičnanem v kyselém prostředí a pak se vysráží jako $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$ po přidání izotopického nosiče $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$. Adsorpce ^{144}Pr na sraženinu $^{144}\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$ se potlačí zadržujícím nosičem - solí lanthanitou. Narůstající aktivitu ^{144}Pr v preparátu $^{144}\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$ budeme měřit okénkovým Geiger-Müllerovým počítacem. Nízkoenergetické β záření ^{144}Ce odfiltrujeme hliníkovou folií o tloušťce 70 mg/cm^2 .

Upozornění

V úloze se pracuje s roztokem $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$. Tato dvojice radionuklidů má vyšší střední radiotoxicitu. Dodržujeme proto důsledně pravidla pro práci s otevřenými zářiči.

Použití roztoky

Ce^{IV} nosič, $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$, 5 mg Ce/ml; La^{III} nosič, $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ v koncentrované HNO_3 , 5 mg La/ml; nasycený roztok KIO_3 .

Postup

1. Podle návodu k obsluze připravíme k měření nukleární čítač 20046.
2. Na fritě filtračního kelímku připravíme asi 2 mm silnou vrstvu vláknitého asbestu udusáním tyčinkou.
3. Kelímek s asbestem vložíme do olověného krytu, překryjeme hliníkovým filtrem a změníme pozadí ($t_p = 200 \text{ s}$). Pak nastavíme předvolbu času na 40 s a režim automatického opakování měření (str. 22) se zápisem tiskárnou. Zapneme hlavní vypínač tiskárny (vlevo na boku), rozsvítí se žlutá dioda POWER a zelená READY, a stiskneme červené tlačítko na převodním členu. Tlačítko SPEICH zůstává nestlačené!
4. Do kádinky napipetujeme 2 ml nosiče Ce^{IV} , 2 ml nosiče La^{III} a odměrným válečkem přidáme 6 ml koncentrované HNO_3 . Nakonec přidáme roztok $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$ (objem uveden u úlohy). Použijeme k tomu pipetu spojenou s injekční stříkačkou přes pojistnou nádobku.
5. Přidáme malé množství NaBrO_3 a po jeho rozpuštění 15 ml roztoku KIO_3

odměrným válečkem. V okamžiku přidání KIO_3 a tedy vysrážení $Ce(IO_3)_4$, spustíme stopky ($t = 0$), které během měření nesmíme zastavit.

6. Kádinkou mícháme asi 30 s do zkoagulování sraženiny, kterou pak odsajeme nejprve mírným, potom silným vakuem. Promyjeme rychle malým množstvím vody, odpojíme vakuum, kelímek zespodu otřeme papírovou vatou, přeneseme jej pod GM počítáč do přesně vymezené polohy a překryjeme hliníkovým filtrem. Od srážení do začátku měření nemá uplynout více než 5 minut.
7. Růstovou křivku začneme měřit od nejbližší celé minuty (čas začátku měření zaznamenáme) stisknutím tlačítka AUT. Necháme zaznamenat tiskárnou 21 hodnot po 40 s. (Po 20 zaznamenaných hodnotách, tj. asi za 13,5 min. od začátku měření vypneme automatický režim - tlačítko AUT). Dále provedeme ještě 10 měření ($t = 40$ s) vždy po 4 min 20 s (celkový interval 5 min). Během prodlevy mezi těmito měřeními vypínáme vysoké napětí červeným spínačem na čítači.
8. Po skončení měření růstové křivky vyčistíme kádinku vlhkou papírovou vatou, po př. vatou navlhčenou roztokem EDTA + KI.

Pro určení poločasu rozpadu ^{144}Pr z růstové křivky je třeba znát rovnovážnou hodnotu aktivity ^{144}Pr (N_{∞}). Je jí dosaženo po uplynutí deseti poločasů ^{144}Pr , tj. po přibližně 3 hodinách. Z časových důvodů není možné tuto hodnotu stanovit na konci měření růstové křivky. Kelímek se vzorkem proto uschováme na vyznačené místo a rovnovážnou aktivitu změříme později. Měříme ji 5 x po 30 s a použijeme průměrnou hodnotu. Asbestovou vrstvu s preparátem $^{144}Ce/^{144}Pr$ potom odstraníme pinsetou do odpadu, kelímek vyčistíme vlhkou papírovou vatou. V případě, že kelímek vykazuje zvýšenou aktivitu, propláchneme jej opakovaně roztokem EDTA + KI, popř. jej necháme do dalšího cvičení ponořený v kádince s tímto roztokem.

Vyhodnocení

Uvedeme výsledky měření pozadí: t_p , N_p a N'_p (počet impulsů za 40 s).

Tabulka obsahující čas od vysrážení $Ce(IO_3)_4$, $N_{t(v+p)}$ (počet impulsů za 40 s), σ_{v+p} , $N_{t(v)}$, $N'_{t(v)}$ (oprava na mrtvou dobu pomocí vztahu (2) v úloze č. 2 s použitím hodnoty uvedené u úlohy), rozdíl $(N_{\infty} - N'_{t(v)})$ a $\ln(N_{\infty} - N'_{t(v)})$. Opravu hodnot $N_{t(v)}$ a N_{∞} na pozadí a mrtvou dobu počítáče provádíme s ohledem na odchylku σ_{v+p} .

Graf závislosti $N'_{t(v)}$ na čase - růstová křivka ^{144}Pr . Rozpadovou konstantu ^{144}Pr určíme ze závislosti $\ln(N_{\infty} - N'_{t(v)})$ na čase, a ze vztahu (2) v úloze č. 7 určíme poločas rozpadu ^{144}Pr , který srovnáme s literární hodnotou.

Podle pokynů pro kategorizaci pracovišť s otevřenými zářiči (str. 10) vypočteme aktivitu ^{144}Ce povolenou pro práci v jednom pokusu a srovnáme ji s aktivitou skutečně použitou.