

## Radioaktivní rovnováha - dodatek.

### Úvod

Stav trvalé radioaktivní rovnováhy (str.71) budeme studovat na dvojici radionuklidů  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Rozpadové schema je uvedeno na obr. 15, str.44.

Abychom mohli sledovat růstovou křivku  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , musíme nejprve mateřský nuklid  $^{137}\text{Cs}$  získat v radiochemicky čistém stavu. K dělení cesia od barya využijeme selektivní adsorpce iontu  $\text{Cs}^+$  na fosfomolybdenanu amonném z kyselého roztoku. Na fosfomolybdenanu se cesium zadrží, protože fosfomolybdenan cesný je nerozpustný. Po promytí sraženiny 6M  $\text{HNO}_3$ , baryum přechází do filtrátu ve formě  $^{137\text{m}}\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ . Adsorpci  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  na sraženinu potlačíme zadržujícím nosičem - dusičnanem barnatým. Nárůst aktivity  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  změříme krystalem  $\text{NaI}(\text{Tl})$ .

Pro určení poločasu rozpadu  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  z růstové křivky je třeba znát rovnovážnou hodnotu aktivity  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  ( $N_\infty$ ). Je jí dosaženo po uplynutí deseti poločasů  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , tj. přibližně půl hodiny po oddělení.

Soustavu  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$  lze využít i pro demonstraci funkce tzv. **generátoru krátkodobého radionuklidu**. Principem je systém tvořený dvěma radionuklidy, z nichž žádaný (generovaný) je dceřinný a má kratší poločas než mateřský. Mateřský nuklid je obvykle zakotven na sloupci adsorbentu nebo ionexu a po ustálení rovnováhy se dceřinný nuklid vymyje z kolonky vhodným elučním činidlem. Proces narůstání aktivity dceřinného nuklidu a jeho eluci lze vícekrát opakovat. Některé z takto získaných krátkodobých radionuklidů našly využití v lékařské diagnostice.

### Upozornění

V úloze se pracuje s roztokem  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Tato dvojice nuklidů je zařazena do první, tj. nejrizikovější skupiny radionuklidů z hlediska radiotoxicity a ohrožení zevním ozářením. Dodržujeme proto důsledně pravidla pro práci s otevřenými zářiči.

### Použité chemikálie

Molybdenan amonný, roztoky:  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , 0,01M  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , 6 M  $\text{HNO}_3$ ,  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$  (označení 42A).

### Postup

1. Připravíme sraženinu fosfomolybdenanu amonného: 3 g molybdenanu amonného rozpustíme za tepla v 30 ml vody a roztok vlejeme do 30 ml 6 M  $\text{HNO}_3$ . Okyselený roztok molybdenanu amonného smícháme s 20 ml roztoku  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  v Erlenmayerově baňce. Vznikne žlutá sraženina fosfomolybdenanu amonného.
2. Podle návodu k obsluze připravíme k měření nukleární čítač 20 046. Všechna měření (tj. měření pozadí, vzorků i rovnovážné aktivity) provádíme v režimu automatického opakování měření (str.22) s časovou předvolbou 20s.
3. Prázdný filtrační kelímek vložíme do oloveného krytu a změříme 5x pozadí. Pro výpočet použijeme průměrnou hodnotu.
4. Roztok se sraženinou v Erlenmayerově baňce rozmícháme a asi 20 ml této suspenze odebereme do kádinky (s označením SEPARACE). K tomuto podílu přidáme dělenou pipetou 2,5 ml 0,01M dusičnanu barnatého a automatickou pipetou 0,5 ml roztoku  $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$ .
5. Obsah kádinky zfiltrujeme přes skleněný filtrační kelímek.

6. Sraženinu na kelímku promyjeme dvakrát 5 ml 6 M HNO<sub>3</sub>. V okamžiku nalití prvního podílu kyseliny do filtračního kelímku spustíme stopky - okamžik separace, na sraženině je čistý mateřský nuklid. Po odpojení vakua otřeme kelímek zesponu papírovou vatou a přeneseme jej do oloveného krytu.
7. Růstovou křivku <sup>137m</sup>Ba začneme měřit stisknutím tlačítka AUT (pro lepší vynášení hodnot času do grafu, spustíme měření od nejbližšího celého násobku 5 vteřin). V tomto okamžiku vypneme stopky (zaznamenáme čas - dobu od oddělení nuklidů do začátku měření). Zaznamenáme 25 hodnot po 20 s. Dále provedeme ještě pět měření (t = 20 s): tři po uplynutí dvou minut a dvě po uplynutí pěti minut.
8. Po skončení měření růstové křivky kádinku (s označením SEPARACE) vypláchneme lihem do láhve na kapalný odpad a vytřeme papírovou vatou. Zbývající suspenzi ponecháme v Erlenmayerově baňce pro další skupinu studentů.
9. Po uplynutí patnácti minut od ukončení měření růstové křivky, změříme pětkrát po 20s rovnovážnou aktivitu (N<sub>∞</sub>) <sup>137m</sup>Ba. Pro výpočty pak použijeme průměrnou hodnotu opravenou na pozadí (  $\bar{N}_\infty$  ).
10. Sraženinu s preparátem <sup>137</sup>Cs/ <sup>137m</sup>Ba opět promyjeme 2 x 5 ml HNO<sub>3</sub>. Dále postupujeme podle bodů 6,7.
11. Sraženinu z filtračního kelímku odstraníme pinzetou do pevného odpadu, kelímek vypláchneme lihem do láhve s kapalným odpadem a vytřeme papírovou vatou. Pak jej ponoříme do kádinky s roztokem NaOH, kde jej ponecháme do dalšího cvičení.

### Vyhodnocení

Uvedeme výsledky měření pozadí: t<sub>p</sub>, N<sub>p</sub> a  $\bar{N}_p$ . Dále uvedeme tabulku pro obě růstové křivky obsahující čas od oddělení Ba<sup>2+</sup> (od sraženiny), N<sub>v+p</sub>, σ<sub>v+p</sub>, N<sub>v</sub>, rozdíl (  $\bar{N}_\infty - N_v$  ) a ln (  $\bar{N}_\infty - N_v$  ). Opravu hodnot N<sub>v</sub> a  $\bar{N}_\infty$  na pozadí provádíme s ohledem na σ<sub>v+p</sub>.

Do jednoho grafu vyneseme obě růstové křivky <sup>137m</sup>Ba - závislost N<sub>v</sub> na čase. Poločas rozpadu <sup>137m</sup>Ba vypočítáme z rozpadové konstanty, kterou určíme z grafu závislosti ln (  $\bar{N}_\infty - N_v$  ) na čase. Nakonec srovnáme vypočítanou hodnotu poločasu rozpadu <sup>137m</sup>Ba s hodnotou uvedenou v literatuře.

Podle podkladů ke kategorizaci prací a pracovišť s otevřenými zářiči (k § 40 vyhlášky č. 184 / 1997 Sb.) vypočítáme maximální aktivitu <sup>137</sup>Cs povolenou pro práci na pracovním místě a srovnáme ji s aktivitou skutečně použitou.