

# Práce v radiochemické laboratoři – Ověření radioaktivních přeměn

Anna Hrubá, Gymnázium Bučovice, [hruba-anna@seznam.cz](mailto:hruba-anna@seznam.cz)

Pavel Suk, Gymnázium Pelhřimov, [xpasukx@gmail.com](mailto:xpasukx@gmail.com)

Ondřej Fedor, Gymnázium Chomutov, [fedorondra@seznam.cz](mailto:fedorondra@seznam.cz)

## Abstrakt:

Demonstrace funkce a použití radionuklidového generátoru a základních kinetických zákonů spontánních radioaktivních přeměn u prvků s krátkým poločasem rozpadu.

## 1 Úvod

Radioaktivní přeměny jsou změny, které probíhají v jádrech určitých prvků resp. v jádrech nestabilních nuklidů prvků, během nichž jsou z jádra emitovány částice a elektromagnetické záření. Podle toho, co se z jádra během přeměny vyzařuje, rozlišujeme tyto přeměny na alfa (emitována je stabilní částice alfa, tj. jádro helia  ${}^4_2\text{He}$ ), beta ( $\beta^+$ , je-li vyzařován pozitron,  $\beta^-$ , je-li vyzařován elektron), neutronové záření (proud neutronů) a gama, což je typ elektromagnetického záření. Při pokusech jsme se zabývali přeměnou beta $^-$ .

## 2 Radionuklidové generátory

Generátor krátkodobých radionuklidů je systém tvořený párem geneticky svázaných radionuklidů, z nichž požadovaný radionuklid je dceřiný nuklid s poločasem přeměny významně kratším než nuklid mateřský.

Princip použití generátoru spočívá v separaci dceřiného radionuklidu od mateřského pevně vázaného v matici (měnič iontů, org. kapalina...). Díky krátkému poločasu dceřiného radionuklidu se radioaktivní rovnováha (často posuvná) ustavuje velmi rychle a separaci lze v krátké době opakovat.

V našem případě má mateřský nuklid mnohem delší poločas než nuklid dceřiný. Změnu aktivity mateřského radionuklidu lze v pozorovacím čase  $t_p$  zanedbat ( $T_1 \gg T_2$ ,  $T_2 < t_p \ll T_1$ ). Platí následující vztahy (odvození viz Základy jaderné chemie, V. Majer a kol., SNTL/Alfa 1981):

$$A_2 = A_1(1 - e^{-\lambda_2 t}),$$

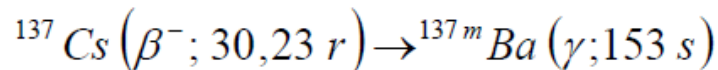
který po dostatečně dlouhé době  $t_p > 10T_2$  přejde na vztah  $A_2 = A_1$  nebo jinak

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1} = \text{konst.}$$

kde  $\lambda_1$ ,  $T_1$  a  $\lambda_2$ ,  $T_2$  jsou přeměnové konstanty resp. poločasy mateřského a dceřiného radionuklidu,  $N_2$ ,  $N_1$ ,  $A_2$ ,  $A_1$  jsou odpovídající počty částic resp. aktivity. To znamená, že po dostatečně dlouhé době (prakticky po nejméně 10 poločasech dceřiného nuklidu) dochází

k ustavení trvalého, na čase nezávislého stavu, tzv. trvalé radioaktivní rovnováhy, kdy je úbytek atomů dceřiného radionuklidu právě kompenzován přírůstkem z rozpadu radionuklidu mateřského.

Radionuklidový generátor  $^{137m}\text{Ba}$  použitý v této úloze je chromatografická kolonka naplněná sorbentem na bázi ferrokyanidu draselno-nikelnatého, který specificky iontovou výměnou váže cesné ionty. Následující radioaktivní rovnováha



se ustaví velmi rychle ( $10T_2 = 25,5 \text{ min}$ ), vzniklé baryum není sorbentem zadržováno a je možné ho rychle a jednoduše vymýt např. fyziologickým roztokem (tato technika se používá k dynamickým studiím cévního systému).

### 3 Eluce generátoru a stanovení poločasu rozpadu $^{137m}\text{Ba}$

#### Pomůcky:

Eluční roztok NaCl (0,9%), 20 ml stříkačka, radionuklidový generátor  $^{137}\text{Cs} - ^{137m}\text{Ba}$ , měřicí souprava se studňovým detektorem NaI (TI), olověné stínění kolonky generátoru.

#### **Ověření zákonitostí průběhu přeměny radionuklidu $^{137m}\text{Ba}$**

#### Pracovní postup:

Po odvzdušnění kolonky generátoru protlačením elučního roztoku zdola nahoru jsme vymyli  $^{137m}\text{Ba}$  z kolonky 5 ml fyziologického roztoku pomocí stříkačky vsazené do vstupu kolonky. S takto připraveným vzorkem jsme zahájili měření aktivity v 20 s intervalech s desetisekundovými pauzami a to na scintilačním počítači se studňovým krystalem. Měřili jsme přibližně 10 minut a z naměřených hodnot jsme sestrojili rozpadovou křivku a z grafu určili poločas přeměny  $^{137m}\text{Ba}$ .

#### Výsledky:

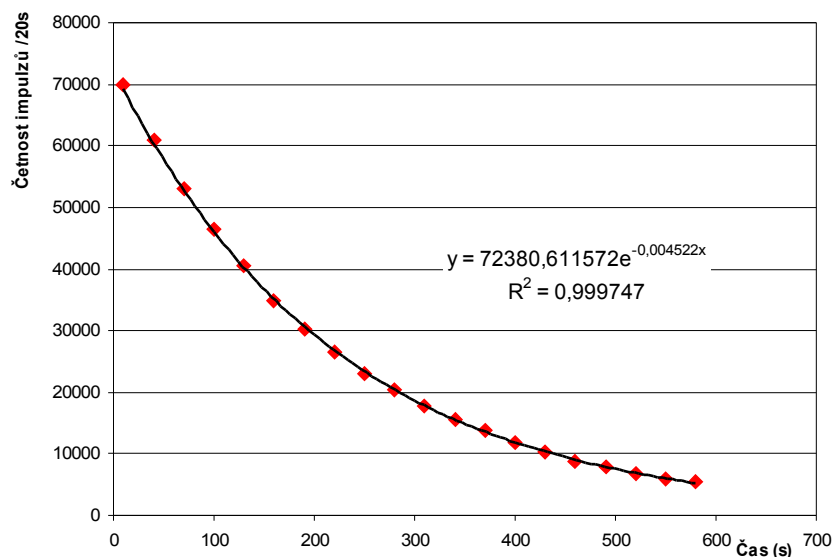
Hodnoty vynesené do grafu jsme proložili exponenciální funkcí:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

kde A je aktivita,  $A_0$  je počáteční aktivita nuklidu ( $t=0$ ) a t je čas. Ze vztahu jsme získali konstantu  $\lambda$ , kterou jsme dosadili do vztahu pro výpočet poločasu rozpadu

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Eluci a měření kinetiky přeměny  $^{137m}\text{Ba}$  jsme provedli celkem třikrát s průměrnou zjištěnou hodnotou poločasu přeměny 154,1s. Nejlepší dosažený výsledek hodnoty poločasu rozpadu  $^{137m}\text{Ba}$  153,2 s byl prakticky shodný s tabelovanou hodnotou 153,12 s.



Obr.1: Rozpadová křivka  $^{137m}\text{Ba}$

### Stanovení účinnosti vymývání dceřiného radionuklidu

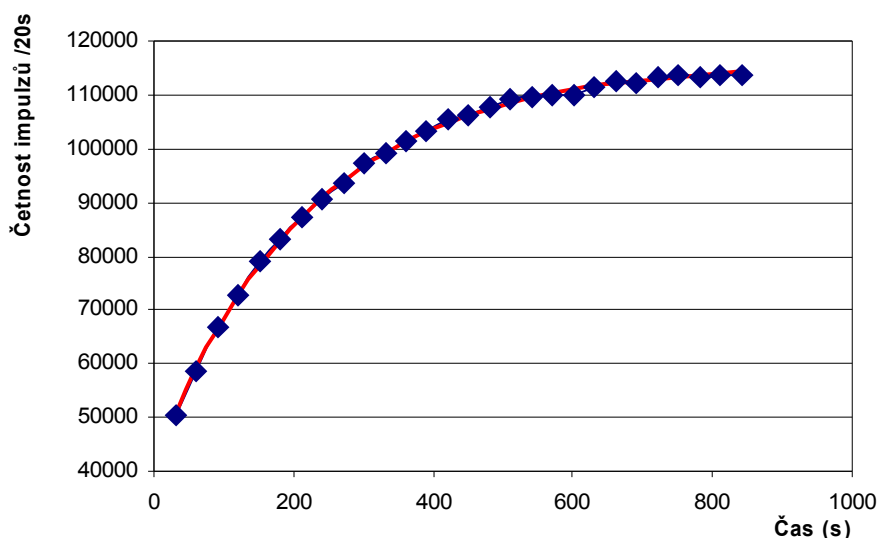
#### Pracovní postup:

Chromatografickou kolonku z radionuklidového generátoru jsme promyli fyziologickým roztokem stejně jako v předchozích případech, v tenkém olověném stínění ji vložili do studňového detektoru a poté jsme měřili nárůst aktivity při ustavování radioaktivní rovnováhy cca 14 minut po 20 s intervalech s 10 s pauzami. Získané hodnoty jsme vynesli do grafu, který jsme opět proložili exponenciální funkcí tentokrát ve tvaru

$$A_2 = A_1(1 - e^{-\lambda t})$$

ze které jsme určili hodnotu přeměnové konstanty  $\lambda$  (a z ní poločas rozpadu), počáteční aktivitu po vymytí generátoru a také aktivitu po ustavení radioaktivní rovnováhy.

Poměr počáteční a rovnovážné aktivity kolonky generátoru nám určil naši účinnost promytí kolonky.



Obr.2: Vývoj radioaktivní rovnováhy v řetězu radioaktivní přeměny

### Výsledky:

Podobným způsobem jako v předchozí úloze jsme hodnoty vynesli do grafu (viz Obr.2). Počáteční aktivitu jsme určili na 41124 imp / 20s, přičemž tu maximální na 115936 imp / 20s. Dospěli jsme k hodnotě účinnosti 64,53%, což je relativně dobrý výsledek.

## 4 Aktivace neutrony, analýza složené rozpadové křivky

### Pomůcky:

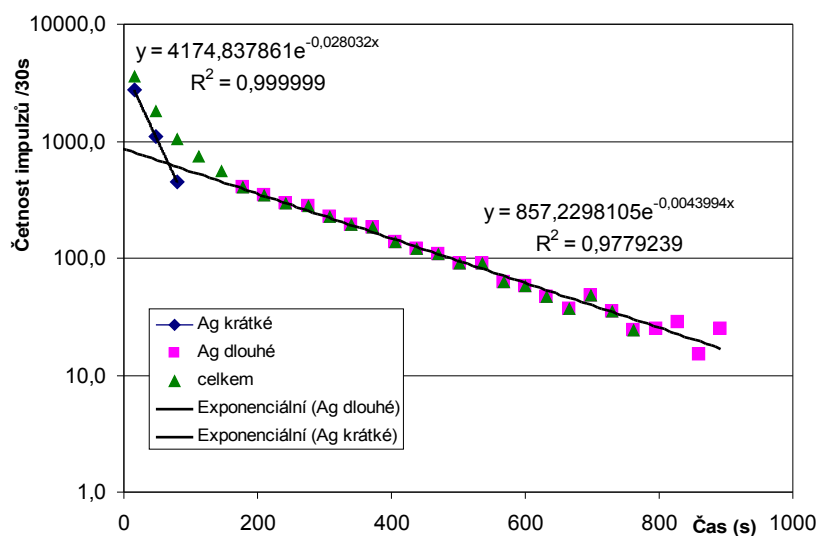
Scintilační detektor ( $\beta$ -plastik) připojený k jednocanálovému analyzátoru, stříbrný terčík umístěný na destičce z plexiskla, neutronový zdroj, dvoje stopky.

### Pracovní postup:

Stříbrný plíšek jsme umístili s parafinovým blokem zajišťujícím zpomalení neutronů k neutronovému zdroji a ozařovali pomalými neutrony 20 min. Při ozařování probíhaly jaderné reakce za vzniku dvou nestabilních izotopů stříbra ( $^{108}\text{Ag}$ ,  $^{110}\text{Ag}$ ).



Po skončení ozařování jsme přenesli co nejrychleji preparát pod měřicí přístroj, který zaznamenával údaje v třicetisekundových intervalech. Ozařování a měření jsme provedli třikrát, hodnoty vynesli do grafu a zpracovali.



Obr.3: Složená rozpadová křivka stříbra

Aktivita vzniklých radioizotopů se vyznačuje složitou rozpadovou křivkou, kterou lze geometricky rozdělit na rozpadové křivky jednotlivých radioizotopů. Část křivky pod označením „Ag dlouhé“ je v semilogaritmickém měřítku přímka (jinak opět exponenciála), ze které lze rovnou vypočítat poločas rozpadu déle žijícího radioizotopu  $^{108}\text{Ag}$  (v tomto čase se krátkožijící radioizotop již rozpadl). Dopočítáním odpovídajících četností impulsů do času  $t = 0$  a jejich odečtením od celkové měřené četnosti impulsů jsme získali četnosti impulsů krátkodobějšího radioizotopu stříbra  $^{110}\text{Ag}$ . Proložení těchto dat (křivka označená „Ag krátké“) jsme vypočítali poločas rozpadu tohoto radioizotopu. Analýzu složené rozpadové křivky jsme prováděli graficky, jednotlivé přímky jsme rozdělili v místě odhadu rozpadu většiny krátkodobého izotopu, což lze rozpoznat výrazným zmenšením strmosti křivky.

Z rovnic jednotlivých proložení jsme určili poločas rozpadu  $^{110}\text{Ag}$  24,73 s (tabelovaná hodnota 24,6 s) a  $^{108}\text{Ag}$  157,55 s (tabelovaná hodnota 144,6 s).

## 6 Shrnutí

Experimentálně zjištěné hodnoty poločasů rozpadu ať už u  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  nebo u radioizotopů Ag se nijak zásadně nelišily od hodnot uvedených v tabulkách, přesnost našeho měření však byla ovlivněna časovým časovou prodlevou mezi získáním radioaktivního vzorku a měřením jeho záření. Vliv na výsledné hodnoty měly i výkyvy radioaktivního pozadí v místnosti a lidský faktor při měření času.

## Poděkování

Děkujeme především panu Ing. Mojzíru Němcovi za podporu a vedení při projektu, dále pak FJFI při ČVUT za organizaci TV v čele s panem Vojtěchem Svobodou.

## Reference:

- [1]  $^{137}\text{Ba}_{56}$  - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=56&n=81>, 18.6.2012
- [2]  $^{110}\text{Ag}_{47}$  - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=47&n=63>, 18.6.2012
- [3]  $^{108}\text{Ag}_{47}$  - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=47&n=61>, 18.6.2012
- [4] [http://www.fjfi.cvut.cz/kjch/materialy/RCHP/RG\\_TLC.PDF](http://www.fjfi.cvut.cz/kjch/materialy/RCHP/RG_TLC.PDF), 18.6. 2012
- [5] MAJER, V.: Základy jaderné chemie, Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1961, pp. 96–98
- [6] <http://www.fjfi.cvut.cz/kjch/materialy/RCHP/>, 19.6.2012