

Práce v radiochemické laboratoři - ověření zákonitostí radioaktivních přeměn

Autoři:

H.Brandejská, Gymnázium Jiřího Ortena, brandejskahelena@seznam.cz

A. Hladíková, Gymnázium J.K.Tyla, AJA.HLADIK@seznam.cz

T.Pfohl, Gymnázium a SOŠPg Jeronýmova, PfohlTomas@seznam.cz

D. Valko, Střední škola logistiky a chemie, ValkoDavid@seznam.cz

J. Kaňourek, Gymnázium Otrokovice, janvanourek@seznam.cz

Abstrakt:

Měření poločasu radioaktivní přeměny krátkožijících radionuklidů. Aktivace stabilních izotopů stříbra neutrony s využitím neutronového generátoru Am-Be o aktivitě ^{241}Am 500mCi. Eluce $^{137\text{m}}\text{Ba}$ z radionuklidového generátoru fyziologickým roztokem a stanovení poločasu rozpadu $^{137\text{m}}\text{Ba}$ spolu se stanovením účinnosti vymytí kolony.

Úvod

Na Zemi se vyskytují prvky, které se dají rozdělit na stabilní a nestabilní - radionuklidy. Ty podléhají v čase přeměně, při které se mění jejich aktivita a tedy i množství. Radionuklidy můžeme dále rozdělit na přírodní a umělé. Mezi přirozené radioaktivní látky patří např.: uran, thorium a řady jejich dceřiných produktů. Dále sem náleží radionuklidy, které tyto řady nevytvářejí, jako jsou například $_{40}\text{K}$, $_{14}\text{C}$, $_{3}\text{H}$. Umělé radionuklidy vznikají v jaderných reaktorech nebo na cyklotronech.

Pro počet jader radioaktivního prvku v závislosti na čase platí základní rozpadový zákon:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

kde N je počet částic v čase t , N_0 je počet částic v $t = 0$ a λ je přeměnová konstanta.

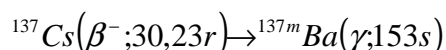
Dále platí vztah pro určení závislosti poločasu rozpadu T na přeměnné konstantě:

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

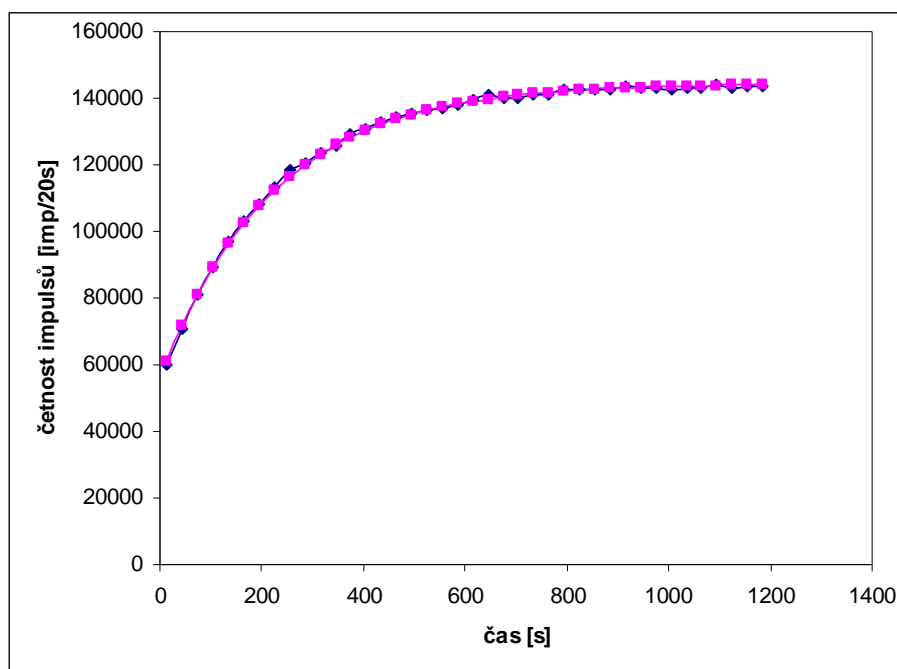
Obecná a experimentální část

Stanovení poločasu ^{137m}Ba a měření nárůstové křivky

Radionuklidový generátor pracuje na principu separace dceřiného radionuklidu od mateřského, který je pevně vázán v matrici. Použitý radionuklidový generátor $^{137}\text{Cs}-^{137m}\text{Ba}$ byl naplněn sorbentem na bázi ferrokyanidu draselno-nikelnatého, který iontovou výměnou váže cesné ionty, zatímco Ba^{2+} ionty nezadržuje. Chemickou separací je tedy možné získat dceřiný radionuklid přímo do elučního roztoku. Tímto postupem jsme připravili roztok ^{137m}Ba . Následující radioaktivní rovnováha



je díky krátkému poločasu dceřiného nuklidu ustavena relativně rychle, používá se doba 10 poločasů, kdy je aktivita ^{137m}Ba rovna již 99,9% aktivity mateřského ^{137}Cs , tedy po 25,5 minuty. Ustanovení rovnováhy mezi baryem a cesiem po vymytí generátoru popisuje následující graf:



Obr. 1: Ustanovení rovnováhy mezi Ba a Cs po vymytí generátoru

Pomůcky:

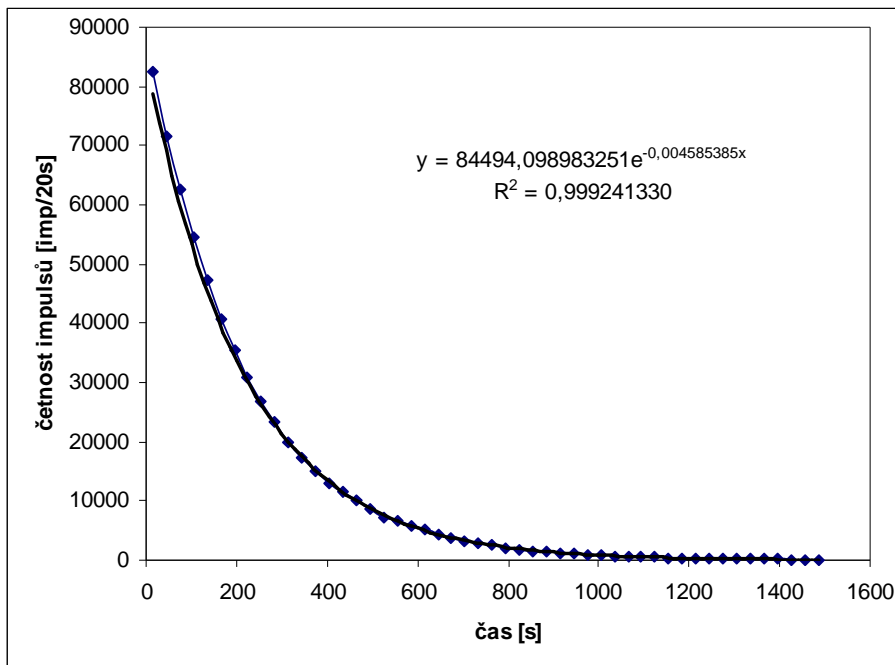
Radionuklidový generátor ($^{137}\text{Cs}-^{137m}\text{Ba}$), fyziologický roztok NaCl, stříkačka, měřicí ampule, studňový NaI(Tl) detektor, stopky.

Pracovní postup:

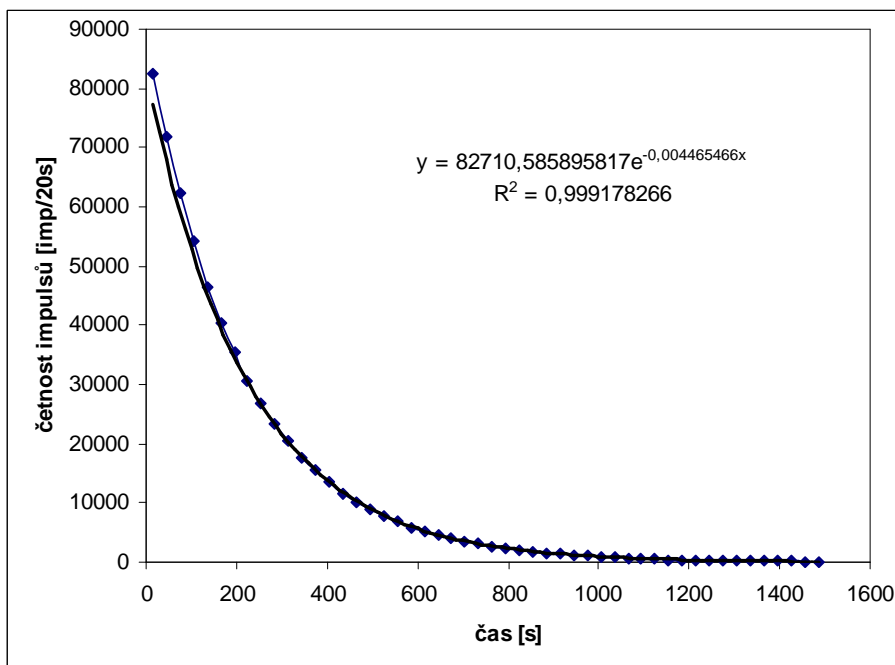
Připravili jsem generátor k promytí, zamezili jsme vzniku bublin v generátoru a připojili stříkačku s fyziologickým roztokem. Generátor jsme eluovali 5 ml fyziologického roztoku protlačením ze stříkačky, eluát jsme jímali do 7 ml měřicí ampule. Ampuli jsme ve studňovém NaI(Tl) detektoru měřili opakovaně 20s s 10s prodlevou. Naměřená data byla přímo vkládána do programu MS Excel a prokládána exponenciální závislostí.

Výsledky:

U připravených vzorků roztoku ^{137m}Ba jsme z naměřených hodnot sestrojili grafy rozpadových křivek a z proložení exponenciální závislosti získali hodnoty poločasu rozpadu ^{137m}Ba (Tabulka1). Z grafů jsme určili poločasy přeměny, které jsme porovnali s tabulkovou hodnotou (153s).



Obr. 2: Rozpadová křivka vzorku č. 2, ($y = 84494,09e^{-0,00458x}$, $R^2 = 0,999$)



Obr. 3: Rozpadová křivka vzorku č. 3, ($y = 82710,58e^{-0,00446x}$, $R^2 = 0,999$)

Tabulka 1: Naměřené hodnoty poločasu rozpadu ^{137m}Ba

Vzorek	Poločas přeměny (s)	Rozdíl proti tabulkové hodnotě (%)
1	149,3	2,5
2	151,2	1,2
3	155,2	1,4
4	150,4	1,7
Průměr	$151,5 \pm 2,2$	1,7

Na Obr. 1 je uvedeno postupné ustavování trvalé radioaktivní rovnováhy v použitém radionuklidovém generátoru. Získaná závislost byla proložena nárůstovou funkcí:

$$A = A_0(1 - e^{-\lambda t}) + A_x,$$

kde A_0 je počáteční aktivita v čase měření $t = 0$, a A_x je aktivita generátoru po ukončení eluce. Ze získaných hodnot počáteční (A_x) a saturační aktivity ($A_0 + A_x$) po promytí generátoru byla vypočtena účinnost jeho eluce, která činila 76%.

Poločas rozpadů izotopů stříbra

Přírodní stříbro se vyskytuje jako směs dvou stabilních izotopů ^{107}Ag a ^{109}Ag . Jejich ozařováním pomalými neutrony vznikají jadernou reakcí nestabilní izotopy ^{108}Ag a ^{110}Ag , beta zářiče, jejichž aktivitu lze změřit např. scintilačním detektorem. Naměřená závislost počtu impulsů na čase má exponenciální charakter. Pokud by byl přítomen pouze jeden radioizotop, měla by tato závislost v semilogaritmickém měřítku tvar přímky.

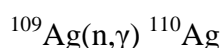
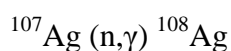
Pomůcky:

Počítací zařízení s trubicí beta, stříbrný terčik umístěný na destičce z plexiskla, neutronový zdroj, dvoje stopky

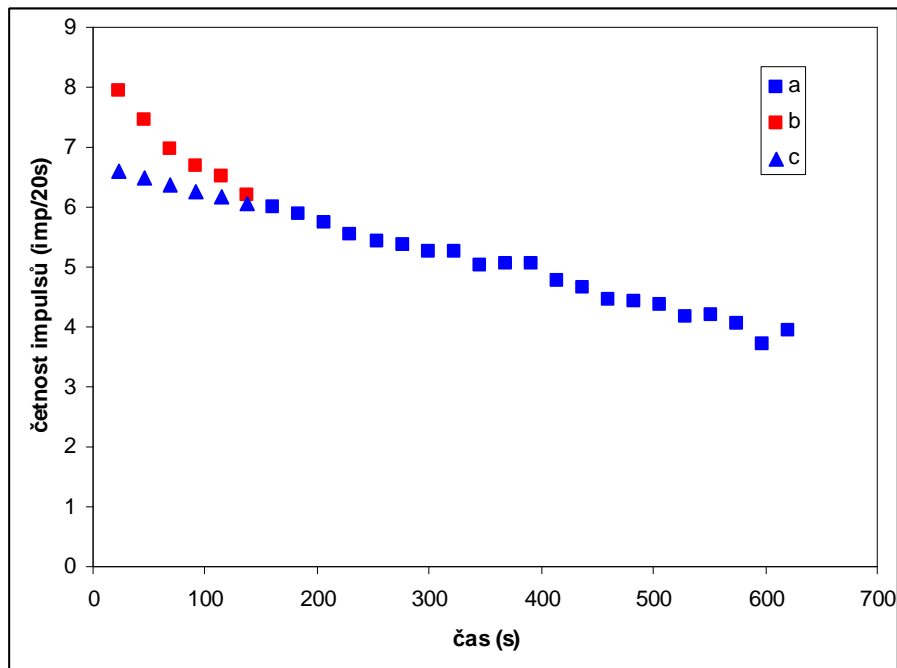
Pracovní postup:

Stříbrný plíšek vložíme ke zdroji termálních (pomalých) neutronů a necháme jej ozařovat asi dvacet minut. Během ozařování minimálně pětkrát změříme přirozenou radioaktivitu pozadí. Jelikož vznikající izotopy stříbra mají krátké poločasy rozpadu, je třeba po ukončení aktivace plíšku a vyjmutí izotopů z neutronového generátoru postupovat rychle. Ozářené plíšky vložíme do detektoru (nejpozději 15-25 sekund po skončení ozařování) a zahájíme měření. Měřicí program automaticky zaznamenává četnost impulsů v čase. Z těchto výsledků sestrojíme graf závislosti logaritmu aktivity na čase. Provedeme grafickou analýzu rozpadové křivky a určíme poločasy rozpadů obou radioizotopů. Měření provedeme alespoň čtyřikrát.

Při ozařování probíhají jaderné reakce

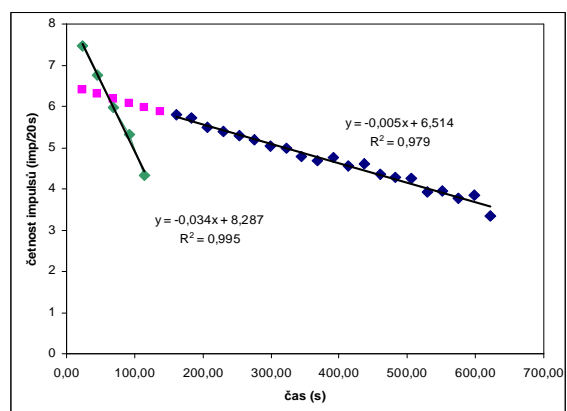
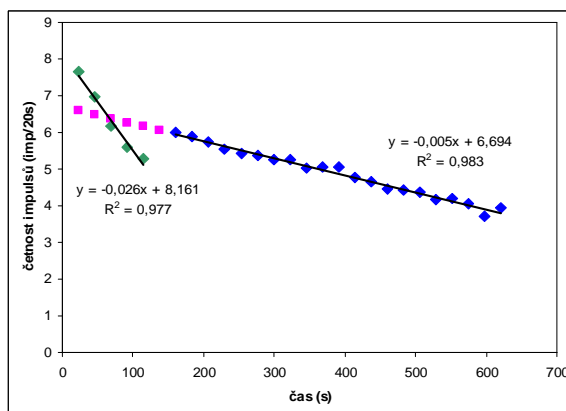


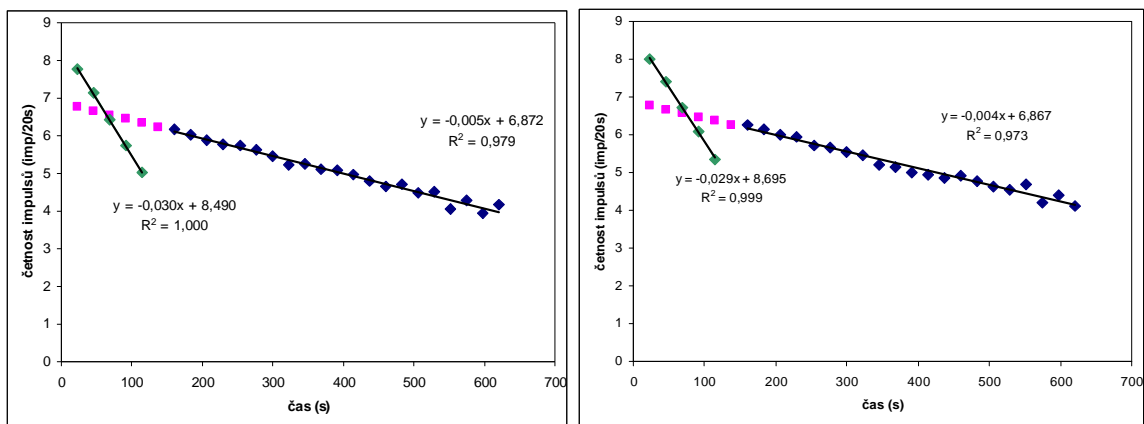
Aktivita vzniklých radioizotopů se vyznačuje složitou rozpadovou křivkou, kterou lze geometricky rozdělit na rozpadové křivky jednotlivých radioizotopů. Část křivky pod označením „a“ je v logaritmickém měřítku přímka, ze které lze rovnou vypočítat poločas rozpadu déle žijícího radioizotopu ^{108}Ag (v tomto čase se krátkožijící radioizotop již rozpadl). Část křivky pod označením „b“ vyjadřuje společnou aktivitu obou radioizotopů, ze které lze po odečtení příspěvku dlouhodobějšího izotopu „c“ vypočítat poločas rozpadu krátkožijícího radioizotopu. Přímku rozdělíme v místě odhadu většinového rozpadu většiny krátkodobého izotopu, což lze rozpoznat výrazným zmenšením strmosti křivky.



Obr.4: Záznam naměřených četností impulsů ozařovaného vzorku stříbra a jeho rozložení na příspěvky jednotlivých izotopů (a – ^{110}Ag , b-sumární četnost impulsů směsi obou izotopů, c-příspěvek ^{110}Ag k celkové četnosti směsi obou izotopů).

Výsledky měření:





Obr.5: Rozklad závislostí celkových četností impulsů jednotlivých vzorků Ag na čase na příspěvky jednotlivých izotopů, zobrazení v semilogaritmickém měřítku.

Tabulka 2: Stanovené hodnoty poločasu rozpadu připravených izotopů stříbra a jejich rozdíly proti tabulkovým hodnotám

měření	108Ag	110Ag	rozdíl (%)	108Ag	110Ag
1.	146,8	20,6	1.	1,5	16,2
2.	149,1	26,2	2.	3,1	6,5
3.	149,1	23,1	3.	3,1	6,0
4.	157,9	24,1	4.	9,2	1,9
průměr smoch smoch%	150,7 4,3 2,8	23,5 2,0 8,5	průměr	4,22	7,67
Poločas	150,7 ± 4,3 s	23,5 ± 2,0 s			
Tabelováno	144,6 s	24,6 s			

Závěr

Z naměřených hodnot jsme ověřili platnost základního rozpadového zákona a vytvořili rozpadové křivky. Pro tyto účely jsme využili radionuklidový generátor a určili jsme, jaké účinnosti eluce dceřiného radionuklidu jsme dosáhli. Průměrná hodnota námi stanoveného poločasu ^{137m}Ba činila $(151,5 \pm 2,2)\text{s}$ průměrným rozdílem od tabulkových hodnot o 1,7%.

Dále jsme aktivovali ^{107}Ag a ^{109}Ag pomalými neutrony za vzniku izotopů ^{108}Ag a ^{110}Ag a stanovili jejich poločas rozpadu ($150 \pm 7\text{s}$ u ^{108}Ag a $23,5 \pm 2\text{s}$ u ^{110}Ag).

Poděkování

Rádi bychom poděkovali Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské Českého vysokého učení technického v Praze za poskytnutí zázemí k našemu měření. Děkujeme pořadatelům Týdne vědy na FJFI ČVUT a našemu supervizorovi ing. Mojmíru Němcovi, Ph.D. za uvedení do problematiky a pomoc během vypracovávání práce.

Reference

- [1] $^{137}_{56}\text{Ba}$ - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=56&n=81>, 21.6.2011
- [2] $^{110}_{47}\text{Ag}$ - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=47&n=63>, 21.6.2011
- [3] $^{108}_{47}\text{Ag}$ - NuDat 2, <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/reCenter.jsp?z=47&n=61>, 21.6.2011
- [4] MAJER, V.: Základy jaderné chemie, Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1961, pp. 96–98