

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2016-151

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

B01D 15/42 (2006.01)
B01D 15/36 (2006.01)
B01D 15/04 (2006.01)
C22B 60/02 (2006.01)
C22B 3/42 (2006.01)
G21G 1/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLŮVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **16.03.2016**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **24.05.2017**

(Věstník č. 21/2017)

(71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6 -
Dejvice, CZ
ÚJV Řež, a.s., Husinec - Řež, CZ
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká
fakulta, Praha 1 - Staré Město, CZ

(72) Původce:
RNDr. Ján Kozempel, Ph.D., Uherský Brod, CZ
RNDr. Martin Vlk, Ph.D., Unín, CZ
Ing. Petra Mičolová, Rtyně v Podkrkonoší, CZ
Ing. Ekaterina Kukleva, Karlovy Vary, CZ
Kateřina Fialová, Blovice, CZ
Bc. Lucie Kománková, Praha 6 - Nebušice, CZ
Bc. Anna Bajzíková, Liberec, CZ
Ing. Josef Podlaha, Klecany, CZ
Karel Svoboda, Kladno, CZ
Patrick Burian, Chlumín, CZ
Michal Hoffmann, Roztoky u Prahy, CZ
Stanislav Smrček, Praha 4 - Krč, CZ

(74) Zástupce:
INVENTIA s.r.o., RNDr. Kateřina Hartvichová, Na
Bělidle 3, 150 00 Praha 5

(54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob izolace Ac ze směsi radia, aktinia a
thoria**

(57) Anotace:
Předkládané řešení poskytuje způsob izolace Ac ze směsi
radia, aktinia a thoria, který zahrnuje následující kroky: a)
směs Ra/Ac/Th se nanese na separační kolonu obsahující
anex na bázi styrenu síťovaného divinylnbenzenem, kde
obsah síťovacího činidla je v rozsahu 5 až 50 %, výhodně
8 % až 16 % (např. Dowex 1x8 – silný anex síťovaný 8 a
více % divinylnbenzenem), v nitrátovém cyklu a eluuje se
elučním roztokem obsahujícím směs 0,6 až 0,8 M
vodného roztoku kyseliny dusičné a methanolu
v objemových poměrech roztok kyseliny
dusičné:methanol = 30:70 až 10:90, b) eluát ze separační
kolony se provádí přes dočišťovací kolonu obsahující
anex na bázi styrenu síťovaného divinylnbenzenem, kde

obsah síťovacího činidla je v rozsahu 5 až 50 %, výhodně
8 % až 16 % (např. Dowex 1x8 – silný anex síťovaný 8 a
více % divinylnbenzenem), v nitrátovém cyklu a eluuje se
elučním roztokem obsahujícím směs 0,6 až 0,8 M
vodného roztoku kyseliny dusičné a methanolu
v objemových poměrech roztok kyseliny
dusičné:methanol = 30:70 až 10:90, c) eluát z kroku b),
obsahující ²²⁶Ra, se izoluje, s výhodou pro recyklaci pro
opakované ozařování, d) Ac a/nebo Th se ze separační i
dočišťovací kolony vymyje elučním roztokem
obsahujícím 5 až 10 M minerální kyselinu a popřípadě
alespoň jedno komplexační činidlo, s výhodou je
minerální kyselinou HNO₃ a/nebo HCl. Pokud je
výstupem kroku d) směs Ac a Th, dále se dělí v dalších
krocích postupu.

Způsob izolace Ac ze směsi radia, aktinia a thoria

Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká způsobu přípravy a získání ^{227}Ac a jeho dceřiných produktů, a recyklace terčového ^{226}Ra , který umožňuje zvýšení výtěžku ^{227}Ac .

Dosavadní stav techniky

Aktinium-227 se získává ozařováním ^{226}Ra v jaderném reaktoru pomalými neutrony, přičemž vzniká nejprve ^{227}Ra (42 min), které se následně rozpadá na ^{227}Ac (21,8 roku), které je v rovnováze s dceřiným ^{227}Th (18,6 dne), které se rozpadá přeměnou alfa na ^{223}Ra (11,4 dne) a jeho další produkty rozpadu. Jako produkt parazitní reakce také vzniká ^{228}Ac (6,1 h) rozpadající se na ^{228}Th (1,9 roku), které je v rovnováze s ^{224}Ra (3,6 dne). Rozpadové schéma je znázorněno na obrázku 1. Aktinium-227 je však i členem přírodní uranové rozpadové řady. Rozpadové schéma je znázorněno na obrázku 1.

Je známo několik postupů získávání aktinia z takto vznikajících směsí, založených na srážení z homogenních roztoků ve formě méně rozpustných solí $\text{Ac}(\text{Ox})_3$ nebo spolusrážením s PbSO_4 (*Anal Chem* **28**, 11, 1780-1782, 1956 a Report MLM-967, 1954). Komplementární metodou získávání aktinia je spolusrážení RaCO_3 , kdy se aktinium hromadí v matečném roztoku (Baetslé, L. H. and Droissart, A. (1973) Production and Applications of ^{227}Ac . Report BLG-483). Avšak tyto metody nejsou optimální z hlediska kvantity získaného aktinia a množství prováděných separačních kroků a jsou vhodné pro velká množství radionuklidů. Popsány byly rovněž postupy získávání aktinia pomocí kolonové chromatografie na měničích iontů s využitím anexu MPL v NO_3^- a Cl^- cyklu pro získání beznosičového aktinia (*Applied Radiation and Isotopes* **62**, 667-679, 2005). V dalších pracích je popisováno využití anexu na bázi styrenu síťovaného divinylbenzenem v NO_3^- cyklu, např.: Dowex 50 nebo Dowex 1, kdy jako eluční činidla byly použity roztoky silných kyselin (*Radiochim Acta* **9**, 4, 181-186, 1968), eventuálně byla používána kombinace katexu a titanium fosfátu TiP v 1N HNO_3 (*J Radioanal Chem* **35**, 185-196, 1977). Další postupy získávání aktinia jsou založeny zejména na extrakční chromatografii a použití extrakčních činidel. Při separaci pomocí extrakční chromatografie se stacionární fázi impregnovanou extrakčním činidlem dochází také k vymývání extrakčního činidla ze sorpčního lože kolony a tím jednak k degradaci sorpční účinnosti a také ke zhoršení chemické čistoty eluátu. U separačních metod založených na rozdělování pomocí iontoměníčů zejména na bázi styrenu síťovaného divinylbenzenem, např. Dowex 1 a Dowex 50, byly pozorovány problémy s vymýváním Th a Ac při dlouhodobém používání, nebo ztráty těchto radionuklidů (*J Radioanal Nucl Chem*, **260**, 167-172, 2004 a *J Radioanal Nucl Chem*, **285**, 667-673, 2010).

Podstata vynálezu

Předkládaný vynález poskytuje způsob izolace Ac, například radionuklidu ^{227}Ac , ze směsi radia, aktinia a thoria (např. $^{226}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}/^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}/^{228}\text{Th}/^{229}\text{Th}$). Výhodou této metody je mimo jiné to, že se při ní izoluje ^{226}Ra , které je tak možno recyklovat pro opakované ozařování.

Způsob podle vynálezu zahrnuje následující kroky:

- a) směs Ra/Ac/Th, např. $^{226}\text{Ra}/^{227}\text{Ac}/\text{Th}$, se nanese na separační kolonu obsahující anex na bázi styrenu síťovaného divinylbenzenem, kde obsah síťovacího činidla je v rozsahu 5 až 50 %, výhodně 8 až 16 % (např. Dowex 1×8 - silný anex síťovaný 8 a více % divinylbenzenem), v nitrátovém cyklu a eluuje se elučním roztokem obsahujícím směs 0,6 až 0,8 M vodného roztoku kyseliny dusičné a methanolu v objemových poměrech roztok kyseliny dusičné:methanol = 30 : 70 až 10 : 90,
- b) eluát ze separační kolony se provádí přes dočišťovací kolonu obsahující anex na bázi styrenu síťovaného divinylbenzenem, kde obsah síťovacího činidla je v rozsahu 5 až 50 %, výhodně 8 až 16 % (např. Dowex 1×8 - silný anex síťovaný 8 a více % divinylbenzenem), v nitrátovém cyklu a eluuje se elučním roztokem obsahujícím směs 0,6 až 0,8 M vodného roztoku kyseliny dusičné a methanolu v objemových poměrech roztok kyseliny dusičné:methanol = 30 : 70 až 10 : 90,
- c) eluát z kroku b), obsahující Ra, se izoluje, s výhodou pro recyklaci pro opakované ozařování,
- d) Ac a/nebo Th se ze separační i dočišťovací kolony vymyje elučním roztokem obsahujícím 5 až 10 M minerální kyselinu a popřípadě alespoň jedno komplexační činidlo, s výhodou je minerální kyselinou HNO_3 a/nebo HCl .

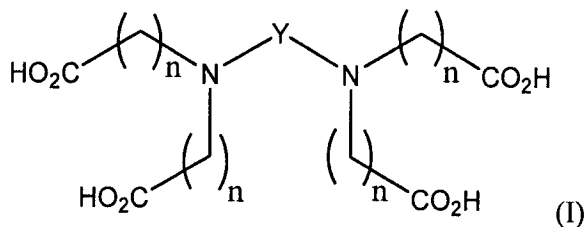
Eluce v kroku d) se obvykle provádí za jímání jednotlivých frakcí, přičemž přední frakce typicky obsahují aktinium, střední frakce typicky obsahují směs aktinia a thoria, a zadní frakce typicky obsahují thorium. Může dojít i k úplnému rozdělení Ac a Th. Frakce obsahující izolované aktinium lze potom použít odpovídajícím způsobem dále, například jako zdroj ^{223}Ra . Frakce obsahující izolované thorium lze případně také použít dále pro odpovídající účely.

Frakce eluátu obsahující Ac mohou popřípadě obsahovat malou příměs Ra vzniklého rozpadem Ac nebo Th. Zbytky Ra pak lze odstranit z roztoku Ac známými způsoby, např. sorpcí na MnO_2 při pH 4 až 8, přičemž Ac se následně eluuje 0,2M HNO_3 .

Z celého eluátu z kroku d), nebo (pokud byly jímány frakce) z frakcí obsahujících směs aktinia a thoria lze izolovat aktinium dalšími kroky postupu, kdy se směs nanese na kolonu obsahující polymerní nosič obsahující komplexační činidlo, s výhodou je komplexační činidlo na polymerním nosiči kovalentně vázáno, a nanesená směs se eluuje 0,1 až 10 M minerální kyselinou, s výhodou vybranou ze skupiny zahrnující HNO_3 a/nebo HCl . Při kovalentní vazbě komplexačního činidla nedochází k jeho uvolňování z kolony.

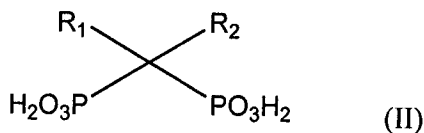
Jako polymerní nosič v případě kovalentně vázaného komplexačního činidla může být použit polymer s aminovými nebo nitrilovými funkčními skupinami, ve formě kuliček, vláken nebo tkanin.

Komplexační činidlo je vybráno ze skupiny zahrnující polyaminokarboxylové kyseliny obecného vzorce ~~II~~



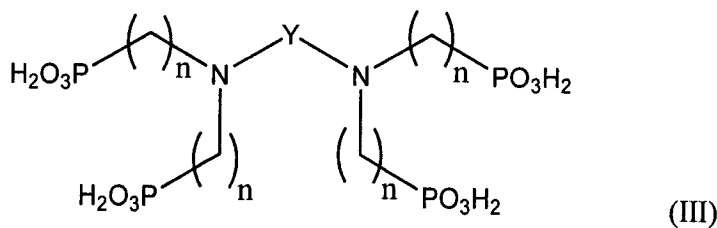
přičemž n může být 1-5, Y může být ze skupiny obsahující C₁-C₁₀ alkan-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkan-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkan-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alken-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkyn-1,3-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,1-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,2-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,3-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,2-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,3-diyl, C₃-C₁₀ heteroar-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroar-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocykl-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocykl-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P; a/nebo sole polyaminokarboxylových kyselin s Na⁺, K⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Zn²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺;

polyfosfonové kyseliny obecného vzorce ~~II~~



přičemž R₁, R₂ mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁-C₁₀ alkyl, C₆-C₁₀ aryl, C₁-C₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocykl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I);

polyfosfonové kyseliny obecného vzorce ~~III~~

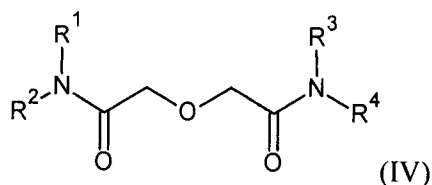


přičemž n může být 1-5, Y může být ze skupiny obsahující C₁-C₁₀ alkan-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkan-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkan-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alken-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkyn-1,3-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,1-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,2-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,3-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,2-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,3-diyl, C₃-C₁₀

heteroar-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heteroar-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocykl-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocykl-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P;

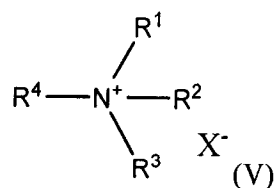
estery kyseliny fosforité s s C₁₋₁₀ alkyl, C₆₋₁₀ aryl, C₁₋₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I), s výhodou např. bis-(2-ethyl-hexyl)-fosforitou kyselinu (HDEHP); amino tris(methylenfosforitou) kyselinu (ATMP) a její estery s C₁₋₁₀ alkyl, C₆₋₁₀ aryl, C₁₋₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I);

diglykolylamidy obecného vzorce (IV)



přičemž R₁, R₂, R₃ mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁₋₁₀ alkyl, C₆₋₁₀ aryl, C₃₋₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, R₄ symbolizuje zbytek molekuly polymerního nosiče nebo má stejný význam jako R₁ až R₃. Výhodným diglykolylamidem může být například *N,N,N',N'*-tetraoktyldiglykolylamid (TODGA);

kvarterní amoniové sole



přičemž R₁, R₂, R₃, R₄ mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁₋₁₀ alkyl, C₆₋₁₀ aryl, C₃₋₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃₋₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, X může být Cl⁻, Br⁻ a I⁻, s výhodou např.: N-Methyl-N,N,N-trioktylamonium chlorid (Aliquat 336).

S výhodou lze také použít dikarbolidy, thenoyltrifluoraceton (TTA) nebo nitriloctovou kyselinou (NTA), fenylctovou kyselinou (FOK).

Provedení pro separaci směsi Ac a Th lze rovněž provádět na dvou za sebe zařazených kolonách, přičemž jedna z nich obsahuje polymerní nosič s kovalentně vázaným komplexačním činidlem a jedna z nich obsahuje anex.

Takto lze dosáhnout snadného a spolehlivého oddělení Ac a Th po předchozím oddělení Ra.

Pro kroky a) a b) lze s výhodou použít zařízení podle přihlášky užitného vzoru PUV 2015-31943.

Přítomnost separační i dočišťovací kolony v krocích a) a b) je důležitá pro spolehlivé odstranění radia od směsi aktinia a thoria. Zejména při dlouhodobém používání separační kolony se sorbentem může v důsledku radiační degradace sorbentu, atomovému odrazu dceřiných nuklidů a chemickým stopovým nečistotám docházet k vymývání aktinia a thoria spolu s radiem, ale druhé dělení na dočišťovací kolonce tento problém odstraňuje, a to i při dlouhodobém používání obou kolon.

Objasnění výkresů Stručný popis vyobrazení

Obrázek 1: Rozpadové schéma ^{235}U .

Obrázek 2: Znárodnuje schematicky uspořádání kolon pro separaci Ac, Th, Ra (1 – zásobník elučního roztoku, 3 – separační kolonka, 5 – dočišťovací kolonka, 2, 4, 6 – ventily).

Obrázek 3: Porovnání gama spekter čisté frakce ^{223}Ra a směsi ^{227}Ac a ^{227}Th zachycených na separační kolonce.

Obrázek 4: Porovnání alfa spekter čisté frakce ^{223}Ra a směsi ^{227}Ac a ^{227}Th zachycených na separační kolonce.

Obrázek 5: a) Gama spektrum frakce ^{227}Ac ihned po separaci - na úrovni přirozeného pozadí, b) Spektrum ^{227}Ac po ustavení radioaktivní rovnováhy $^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}/^{223}\text{Ra}/^{211}\text{Pb}$ měřeno po 1 roce od separace.

Obrázek 6: Gama spektrum čisté frakce ^{227}Th ihned po separaci.

uskutečnění Příklady provedení vynálezu

Metodika měření:

Aktivity eluovaných frakcí byly měřeny pomocí scintilačního studnového detektoru NaI(Tl) typu CII CRC-55tW (Capintec®). Jímány byly vždy frakce o elučním objemu (specifikováno u příkladu provedení vynálezu) do PE scintilačních lahvíček. Gama spektra jednotlivých frakcí byla měřena pomocí mnohokanálového analyzátoru (mnohokanálová vyrovnávací paměť Ortec 919 Spectrum Master, který je připojen k PC s řídicím programem MAESTRO) s koaxiálním polovodičovým

detektorem, který je tvořen vysoce čistým krystalem germania HPGe (Princeton Gamma Technologies), se zdrojem vysokého napětí Canberra 2100, zabudovaným předzesilovačem a spektroskopickým zesilovačem Ortec 672 v rozmezí energií fotonů 0,2000 keV. Jednotlivé vzorky nebyly před měřením nijak upravovány. K měření alfa spekter byl využit alfa-spektrometrický systém Octete (Ortec, USA). Před samotným měřením byly vzorky naneseny příslušného alikvotu (10 μ l) na kovovou podložku a odpařeny.

Měření ^{227}Ac se zpravidla (z důvodů nízké intenzity emitovaného záření) provádí nepřímě – aktivita byla stanovena z nárůstu aktivity dceřiného ^{227}Th , ^{223}Ra a ^{211}Pb v časovém odstupu aspoň 1 měsíc po separaci.

Pro všechny uvedené příklady byla jako modelový roztok zvolena směs $^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}/^{223}\text{Ra}$, která má chemicky stejné vlastnosti jako $^{226}\text{Ra}/^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}$.

Příklad 1: Separace ^{223}Ra od Ac/Th

Připraví se separační kolonka 3. 5 g sorbentu Dowex 1 \times 8, 100 \times 200 mesh v Cl⁻ cyklu se nechá bobtnat v 0,1M HNO₃, následně se převede do nitrátového cyklu ve směsi 0,7M HNO₃ a 80% methanolu. Sorbent se nanese na prázdnou plastovou nebo skleněnou kolonku o objemu cca 2,5 mL a promyje se cca 30 mL stejnou směsí, tím se připraví separační kolonka 3. Uspořádání experimentu je takové, že eluát ze separační kolonky 3 vstupuje přes připouštěcí a/nebo odzdušňovací ventil 4 na dočišťovací kolonku 5 a z ní je jímán do připravených nádob. Zásobní roztok Ac, Th, Ra se převede do 0,7M HNO₃ v 80% methanolu a takto se nanese na separační kolonu 3 až do úplného vsáknutí, přičemž jsou sbírány jednotlivé frakce 0,5 až 1 ml. Eluce 0,7 M HNO₃ v 80% methanolu se provádí gravitační silou při laboratorní teplotě, ale s výhodou lze použít i peristaltické čerpadlo. Celkové ztráty Ra při první separaci na kolonce 3 a dočišťovací kolonce 5 nepřesahují 5 %. Na kolonkách zachycená směs Ac/Th se z iontoměniče vymyje 8M HNO₃.

Příklad 2: Čištění Ac od Th

Připraví se kolonka. 2 g sorbentu Dowex 1 \times 8, 100 \times 200 mesh v Cl⁻ cyklu se nechá bobtnat v 0,1M HNO₃, následně se převede do nitrátového cyklu ve směsi 8M HNO₃ až 1M HNO₃. Část sorbentu se nanese na prázdnou plastovou kolonku o objemu cca 0,5 mL a promyje se cca 30 mL stejnou směsí, tím se připraví kolonka. Uspořádání separace je takové, že eluát proudí přes kolonku a jsou jímány frakce. Odpařený eluát (směs Ac/Th vymytá 8M HNO₃) z příkladu 1 je rekonstituován v 0,5 ml 8M HNO₃ a nanesen na kolonku až do úplného vsáknutí, přičemž eluát proudí přes kolonku a jsou jímány frakce 0,5 až 1 ml. Eluce se provádí gravitační silou při laboratorní teplotě, ale s výhodou lze použít i peristaltické čerpadlo. Nejprve se ze separační a záchytné kolonky vymývá Ac s malou příměsí Ra, Th se eluje 0,5M HNO₃. Zbytky Ra lze odstranit z roztoku Ac např. sorpcí na MnO₂ při pH 4 \times 8, přičemž Ac se následně eluje 0,2M HNO₃.

Tento příklad je modelový a obdobně lze směs Ac a Th zachycenou na kolonkách v příkladu 1 přímo rozdělit změnou elučního roztoku na 8M HNO₃ a 0,5M HNO₃ po vymytí Ra.

Příklad 3: Čištění Ac od Th

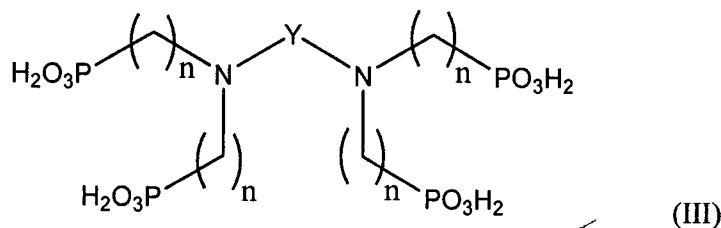
1 g sorbentu polymerního nosiče s kovalentně vázaným komplexačním činidlem (TODGA) se nechá bobtnat v 0,1M HCl. Sorbent se nanese na prázdnou plastovou kolonku o objemu cca 1,5 mL a promyje se cca 30 mL 1M HCl. Uspořádání separace je takové, že eluát proudí přes kolonku a jsou jímány frakce. Vymyté frakce s obsahem Ac a Th po separaci Ra (odpařený eluát z příkladu 1) jsou rekonstituovány v 1 ml 1M HCl a je nanesený na kolonku až do úplného vsáknutí, přičemž jsou jímány frakce 0,5 až 1,5 ml. Eluce se provádí roztokem 1M až 10M minerálních kyselin, např. HNO₃ nebo HCl, gravitační silou při laboratorní teplotě, ale s výhodou lze použít i peristaltické čerpadlo. Z kolony se nejdříve eluuje Ac a následně pak s delším retenčním časem Th.

Průmyslová využitelnost

Postup přípravy a získání ²²⁷Ac z ozářených terčů ²²⁶Ra poskytuje aktinium v radiochemické a radionuklidové čistotě postačující pro využití ²²⁷Ac jak v radionuklidových generátorech pro získávání ²²³Ra pro účely nukleární medicíny, tak v průmyslových aplikacích jako např. výroba Ac-Be neutronových zdrojů nebo radionuklidových baterií pro využití v kosmonautice, popř. vojenství.

přičemž R₁, R₂ mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁-C₁₀ alkyl, C₆-C₁₀ aryl, C₁-C₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I),

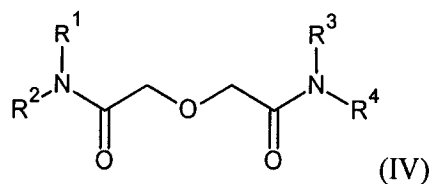
- polyfosfonové kyseliny obecného vzorce (III)



přičemž n může být 1-5, Y může být ze skupiny obsahující C₁-C₁₀ alkan-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkan-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkan-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alken-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alken-1,3-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,1-diyl, C₂-C₁₀ alkyn-1,2-diyl, C₃-C₁₀ alkyn-1,3-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,1-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,2-diyl, C₃-C₁₀ cykloalk-1,3-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,2-diyl, C₆-C₁₀ ar-1,3-diyl, C₃-C₁₀ heteroar-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroar-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocykl-1,2-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocykl-1,3-diyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P;

- estery kyseliny fosforité s C₁-C₁₀ alkyl, C₆-C₁₀ aryl, C₁-C₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I), s výhodou např. bis-(2-ethyl-hexyl)-fosforitou kyselinou (HDEHP); amino tris(methylenfosforitou) kyselinou (ATMP) a její estery s C₁-C₁₀ alkyl, C₆-C₁₀ aryl, C₁-C₁₀ heteroalkyl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, hydroxyl, nitril, amin, halogenid (F, Cl, Br, I),

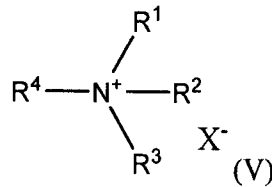
- diglykolylamidy obecného vzorce (IV)



přičemž R₁, R₂, R₃ mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁-C₁₀ alkyl, C₆-C₁₀ aryl, C₃-C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃-C₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N,

P, R4 symbolizuje zbytek molekuly polymerního nosiče nebo má stejný význam jako R1 až R3, výhodným diglykolylamidem je *N,N,N',N'*-tetraoktyldiglykolylamid (TODGA);

- kvarterní amoniové sole

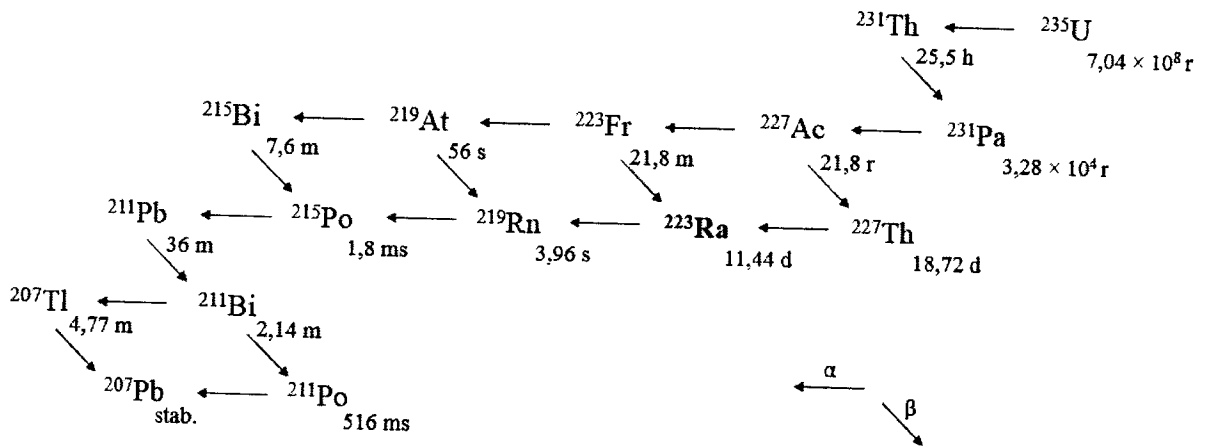


přičemž R1, R2, R3, R4 mohou být stejné nebo různé, vybrané ze skupiny zahrnující vodík, C₁ až C₄₀ alkyl, C₆ až C₁₀ aryl, C₃ až C₁₀ heteroaryl obsahující alespoň jeden heteroatom, C₃ až C₁₀ heterocyklyl obsahující alespoň jeden heteroatom, kde heteroatomy jsou vybrány ze skupiny zahrnující O, S, N, P, X může být Cl⁻, Br⁻ a I⁻, s výhodou např.: N-Methyl-N,N,N-trioktylamonium chlorid.

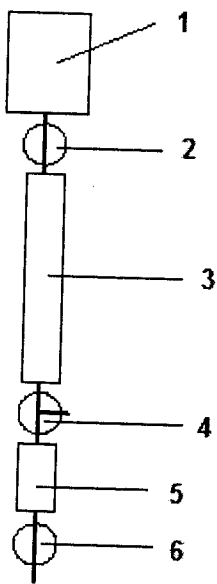
2. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že je-li výstupem z kroku d) směs Ac a Th, nanese se tato směs na kolonu obsahující polymerní nosič obsahující komplexační činidlo, s výhodou je komplexační činidlo na polymerním nosiči kovalentně vázáno, a nanesená směs se eluuje 0,1 až 10 M minerální kyselinou, s výhodou vybranou ze skupiny zahrnující HNO₃ a/nebo HCl.

3. Způsob podle nároku 2, vyznačený tím, že separace směsi Ac a Th se provede na dvou za sebe zařazených kolonách, přičemž jedna z nich obsahuje polymerní nosič s kovalentně vázaným komplexačním činidlem a jedna z nich obsahuje anex.

Obrázek 1 - Rozpadová řada ²³⁵U



Obrázek 2 – Uspořádání separace pro Metodu 1A a 1B

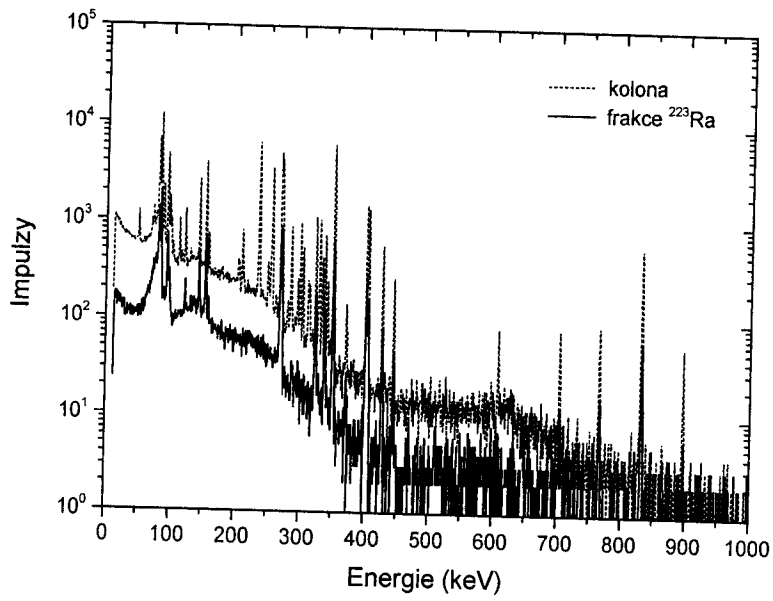


213

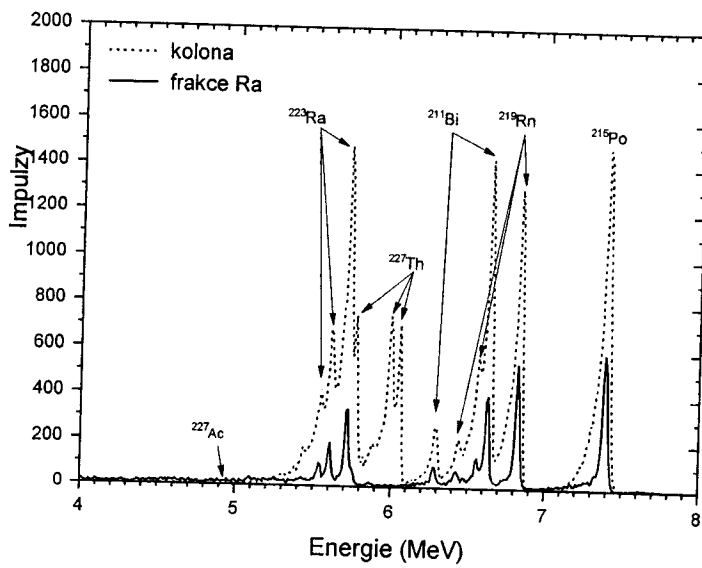
18

15.03.18
7V 2016 - 157

Obrázek 3

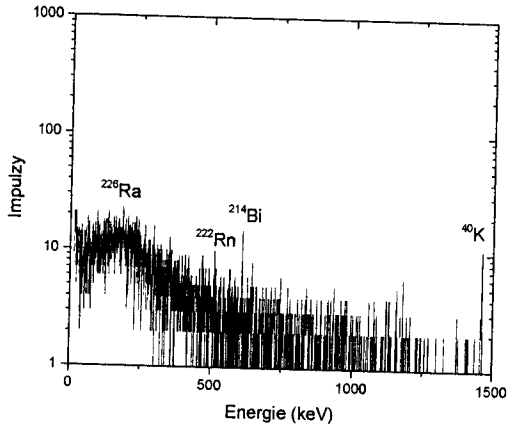


Obrázek 4

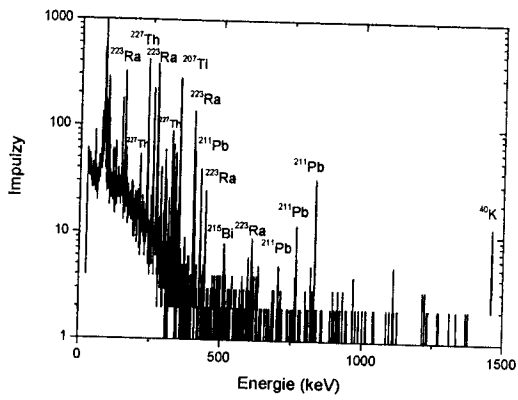


Obrázek 5

a)



b)



Obrázek 6

