

RADIOTOXIKOLOGIE POLONIA

Jiří PATOČKA, Leoš NAVRÁTIL, Pavel KUNA

Katedra radiologie a toxikologie Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity, České Budějovice

Souhrn

Polonium (Po) je chemický prvek který má v periodické tabulce atomové číslo 84. Polonium bylo objeveno Marií Skłodowskou-Curie a jejím manželem Pierrem Curie v roce 1898 a nazváno na počest Mariiny rodné země Polska. V přírodě je polonium velmi vzácný prvek pro velmi krátký poločas všech jeho izotopů. Známe 25 izotopů polonia a všechny jsou radioaktivní. Mají atomové hmotnosti od 194 do 218. Nejdostupnějším izotopem je ^{210}Po , které se dá vyrobit ozařováním přírodního ^{209}Bi neutrony. ^{210}Po je alfa-zářič s poločasem rozpadu 138,39 dne a rozpadá se na svůj dceřiný izotop ^{206}Pb . Alfa-záření emitované poloniem může snadno poškodit biologickou tkáň, jestliže je polonium spolknuto nebo inhalováno. Nicméně přes kůži neprochází, a není proto nebezpečné, pokud se nedostane do těla. Největším nebezpečím polonia je jeho silná radioaktivita. Díky tomu je ^{210}Po nebezpečné již v mikrogramových množstvích a vyžaduje speciální přístroje i manipulaci. Polonium je asi pět milionkrát toxičtější než kyanovodík.

Klíčová slova: Polonium; Chemie; Radioaktivita; Radiotoxicita; Riziko.

Radiotoxicology of Polonium

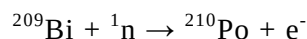
Summary

Polonium (Po) is a chemical element in the periodic table that has the atomic number 84. Polonium was discovered by Marie-Skłodowska-Curie and her husband Pierre Curie in 1898 and was later named after Marie's native land of Poland. It is a very rare element in nature because of the very short half-life of all its isotopes. Polonium has 25 known isotopes and all of them are radioactive. They have atomic masses that range from 194 to 218. ^{210}Po is the most widely available when natural ^{209}Bi is bombarded with neutrons. ^{210}Po is an alpha emitter that has a half-life of 138.39 days; it decays directly to its daughter isotope ^{206}Pb . Alpha particles emitted by polonium will damage organic tissue easily if polonium is ingested or inhaled. Though they do not penetrate the epidermis and hence are not hazardous if the polonium is outside the body. The main hazard of polonium is its strong radioactivity. Even in microgram amounts, handling ^{210}Po is extremely dangerous, requiring specialized equipment and strict handling procedures. Polonium is around 5 million times more toxic than hydrogen cyanide.

Key words: Polonium; Chemistry; Radioactivity; Radiotoxicity; Risk.

Úvod

Polonium (Po) je kovový prvek šesté hlavní podskupiny periodické soustavy s atomovým číslem 84, který má více izotopů než kterýkoli jiný prvek, a všechny jsou radioaktivní (tab. 1). V přírodě se vyskytuje jen v extrémně malém množství v uranových rudách (pouze 0,1 gramu v 1 tuně rudy), ale jeho izotop ^{210}Po se dá v menších množstvích vyrobit uměle bombardováním vizmutu neutrony, a je tak nejdostupnějším izotopem polonia.



S poločasem rozpadu 138,39 dní se ^{210}Po rozpadá za vyzáření alfa částice na izotop olova ^{206}Pb . Při tom se uvolní energie 141 W/g, takže kovové polonium se samo ohřívá a vydává teplo. Tato vlastnost polonia nachází využití např. v kosmonautice pro výrobu termoelektrických baterií. Částice alfa mají energii 5,3 MeV, doprovázející záření gama 0,773 MeV. Záření gama je v podstatě zanedbatelné. Na 1 milion rozpadů připadá 7–8 fotonů gama.

Tabulka 1

Poločasy rozpadu nejvýznamnějších radioizotopů polonia

Izotop polonia	Poločas rozpadu
206	8,8 dnů
207	5,8 hodin
208	2,98 let
209	102,0 let
210	138,83 dnů
211	0,51 sekund
212	0,29 mikrosekund
213	4,0 mikrosekund
214	163,7 mikrosekund
215	1,78 mikrosekund
216	0,14 sekund
218	3,1 minut

Chemie

Kovové polonium (CAS 7440-08-6) má specifickou hustotu $9,4 \text{ g/cm}^3$, b. t. 254°C a b. v. 962°C , molární objem $22,73 \text{ cm}^3/\text{mol}$, specifické teplo $0,12 \text{ J/gK}$, slučovací teplo $60,1 \text{ kJ/mol}$, tlak par $0,0176 \text{ Pa}$ při 254°C (1). Svými chemickými vlastnostmi se polonium podobá telluru a vizmutu. Snadno se rozpouští v kyselinách a poskytuje ve vodě rozpustné růžově zbarvené hydráty Po(II) , zvláště $[\text{Po}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Jejich oxidací vznikají žlutě zbarvené soli Po(IV) . Soli polonia podléhají snadno hydrolýze, proto po rozpuštění ve vodě tvoří koloidní roztoky hydroxidu Po(OH)_2 (5).

Biologie

Biologické účinky ^{210}Po jsou vyvolány jednak účinkem jeho záření (radiotoxicita), jednak jeho chemickou toxicitou jako kovového prvku. Oba druhy toxicity je ale obtížné oddělit. Rozhodující pro jeho toxický účinek na organismus savců a člověka je však zřejmě jeho radiotoxicita. Alfa-záření izotopu ^{210}Po není pro člověka nebezpečné při vnějším ozáření, ale protože je velmi intenzivní, je nebezpečné při vnitřní kontaminaci, tedy pronikne-li polonium do organismu (7). Jeden miligram ^{210}Po vyzáří tolik alfa-částic jako 5 g radia. ^{210}Po je proto pro člověka nejnebezpečnějším známým radionuklidem.

Ze tří velmi toxických alfa-zářičů (Ra, Pu, Po) je nejnebezpečnější polonium, zejména při akutních

projevech. Toxicita polonia je asi 120krát vyšší než radia a jeho rozpadových produktů. Při inhalaci se v organismu zadrží asi 26 %, při ingesci asi 3 % celkového množství. V organismu se rozděluje rovnoměrně s mírnou převahou v RES, v lymfatických uzlinách, ve slezině a v játrech (20). Rozpustné soli polonia se vstřebávají z gastrointestinálního traktu v množství 7 až 13 % podaného množství a rychle pronikají do krve. Z experimentů na laboratorních zvířatech vyplývá, že polonium prochází též přes placentární bariéru v množství asi 8 % (6).

Polonium se v organismu člověka ukládá hlavně v játrech, ledvinách a slezině. Jeho biologický poločas se pohybuje mezi 30 až 50 dny (8). U makaka byla naměřena hodnota biologického poločasu 15,6 dne (4) a vylučování je urychleno, má-li moč kyselou reakci (3). Polonium se vylučuje částečně močí, částečně stolicí. Poškozuje především ledviny tím, že vyvolává degeneraci tubulů a způsobuje nekrózu ledvinových buněk podobně jako uran (13, 14). Urychleného vylučování polonia z organismu se dá dosáhnout podáváním některých chelatačních činidel, např. 2,3-dimerkaptopropan-1-olu, 2,3-dimerkaptopropan-1-sulfonátu, N,N'-di-(2-hydroxyethyl) ethylenediamine-N,N-bis-karbodithioátu apod. (15, 16, 17, 18).

Radiotoxikologie

Subchronická letální dávka ^{210}Po pro laboratorního potkana je udávána $1,45 \text{ MBq/kg}$ (16), pro člověka není známa. V literatuře popsána nahodilá intoxikace 10 dětí a 4 adolescentů, u nichž bylo naměřeno depozitum polonia od $18,5 \text{ kBq}$ do 370 kBq , ukázala, že nejvíce poškozeny byly jaterní funkce. Došlo také ke snížení počtu leukocytů a krevních destiček, které se normalizovalo až po několika měsících po expozici (9). U pracovníků pracujících s poloniem byl zaznamenán zvýšený výskyt rakoviny ledvin (10).

Polonium v cigaretách

Od šedesátých let minulého století se ví, že cigarety obsahují značné množství polonia. Není přesně známo, jak se polonium do tabáku dostává, ale je zjevně výsledkem přeměn izotopu uranu ^{238}U v tzv. uran-radiové rozpadové řadě. Zvýšený obsah polonia v tabáku se datuje od 50. let minulého sto-

letí a zřejmě souvisí s umělým přihnojováním rostlin fosfátovými hnojivy, protože uran se váže na fosfáty. Množství polonia v jedné cigaretě odpovídá radioaktivitě 16,6 (9,7 až 22,5) mBq, takže kuřák, který kouří jednu krabičku cigaret denně, inhaluje v průměru 123 mBq/den (11). Na této radioaktivitě se vedle ^{210}Po podílí také radioizotop olova ^{210}Pb , který je rovněž produktem uran-radiové rozpadové řady (19). Roční souhrn dávkového ekvivalentu inhalovaného kuřákem (20 cigaret denně) odpovídá 193 až 251 microSv.

(Pozn.: Sievert (Sv) je jednotkou dávkového ekvivalentu. Dávka 1 Sv jakéhokoli záření má stejné biologické účinky jako dávka 1 Gy rentgenového nebo gamma-záření s jakostním faktorem = 1. Jeden gray (Gy) je jednotkou absorbované dávky a odpovídá energii ionizujícího záření v daném místě ozaření.)

Cigaretové filtry sice zadrží část dehtových látek vznikajících spalováním tabáku, ale propouštějí většinu polonia. Radioaktivními izotopy polonia a olova jsou ohroženi i nekuřáci, pokud žijí ve společnosti kuřáků. Inhalují sice 12krát méně těchto radioizotopů, ale dávka radioaktivity ani u nich nemusí být při dlouhodobé inhalaci zanedbatelná.

Závěr

Polonium je radioaktivní prvek emitující alfa-záření, který donedávna nevzbuzoval ani zájem toxicologů, ani zájem veřejnosti. Ze zdravotního hlediska je však polonium vysoce rizikový prvek a při manipulaci s ním musí být dodržována přísná bezpečnostní opatření. Podle oznámení londýnské policie byl poloniem ^{210}Po otráven bývalý ruský tajný agent Alexandr Litviněnko, který zemřel v r. 2006 v Londýně (2, 12).

Literatura

1. BARBALACE, K. Periodic Table of Elements – Polonium – Po. Environmental Chemistry.com. 1995–2007. Accessed on-line: 1/23/2007
<http://EnvironmentalChemistry.com/yogi/periodic/Po.html>
2. EDWARDS, R. Ex-spy's polonium poisoning suggests sophistication. NewScientist. com. Nov 30, 2006.
<http://www.newscientisttech.com/article/dn10668-exspys-polonium-poisoning-suggests-sophistication.html>
3. FELLMAN, A., et al. The importance of acid digestion of urine prior to spontaneous deposition of ^{210}Po . *Health Physics*, 1989, vol. 57, p. 615–621.
4. FELLMAN, A., et al. Polonium metabolism on adult female baboons. *Radiat. Res.*, 1994, vol. 137, p. 238–250.
5. FIGGINS, PE. The radiochemistry of polonium. Subcommittee on Radiochemistry, National Academy of Sciences – National Research Council, Washington D.C., USA, January 1961. 68 p.
6. HAINES, JW., et al. Transfer of polonium to the embryo and foetus of rat and guinea pig. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1995, vol. 67, p. 381–390.
7. HARRISON, JD., et al. Fetal uptake of plutonium and polonium in animals and estimates of doses to humans. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1991, vol. 60, p. 555–559.
8. IARC 2001a. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-PRESENT. Part 2, 2001, vol. 78, p. 346.
9. IARC 2001b. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-PRESENT. Part 2, 2001, vol. 78, p. 396.
10. IARC 2001c. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-PRESENT. Part 2, 2001, vol. 78, p. 222.
11. KHATER, AE. Polonium-210 budget in cigarettes. *J. Environ. Radioact.*, 2004, vol. 71, p. 33–41.
12. LAYTON, J. Can people get poisoned by indirect exposure to polonium-210? Physical Science.
<http://science.howstuffworks.com/polonium-210.htm>
13. PATOČKA, J. – KASSA, J. – ŠTĚTINA, R. Toxikologie uranu. *Voj. zdrav. Listy*, 2000, roč. 69, s. 199–205.
14. PATOČKA, J., et al. Toxicological aspects of depleted uranium. *J. Appl. Biomed.*, 2004, vol. 2, p. 37–42.
15. RENČOVÁ, J., et al. Relative effectiveness of dithiol and dithiocarbamate chelating agents in reducing retention of polonium-210 in rats. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1993, vol. 63, p. 223–232.
16. RENČOVÁ, J., et al. Reduction of detoxification of polonium-210 in rats by chelating agents. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1997, vol. 72, p. 341–348.
17. RENČOVÁ, J., et al. Mobilization and detoxification of polonium-210 in rats by 2,3-dimercaptosuccinic acid and its derivatives. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2000, vol. 76, p. 1409–1415.
18. RENČOVÁ, J., et al. Influence of heavy metals upon the retention and mobilization of polonium-210 in rats. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2004, vol. 80, p. 769–776.
19. SAVIDOU, A. – KEHAGIA, K. – ELEFTHERIADIS, K. Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece. *J. Environ. Radioact.*, 2006, vol. 85, p. 94–102.
20. SLOUKA, V. *Základy toxikologie radioaktivních látek*. Praha, Státní zdravotnické nakladatelství, 1962. 148 s.

Korespondence: Prof. RNDr. Jiří Patočka, DrSc.
Jihočeská univerzita
Zdravotně sociální fakulta
Katedra radiologie a toxikologie
Matice školské 17
370 01 České Budějovice
e-mail: prof.patocka@gmail.com

Do redakce došlo 30. 1. 2007