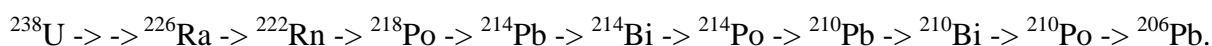


# Polonium - radiotoxitet och andra egenskaper

8 december 2006

## Polonium 210 i naturen

Polonium 210,  $^{210}\text{Po}$  (Po-210), finns i små mängder i naturen. Ytterst härrör ämnet från sönderfallskedjan som börjar med uran 238. Uran 238 sönderfaller via fem steg till radium 226 och radon 222 och dessa omvandlas i sin tur i en flerstegsprocess till polonium 210 och slutligen till stabilt bly 206 ( $^{206}\text{Pb}$ ) enligt följande sönderfallsserie:



Halveringstiden för radium 226 är avsevärt längre (1600 år) än halveringstiden för de efterföljande dotterprodukterna där  $^{210}\text{Pb}$  är den mest långlivade med halveringstiden 22 år. Detta innebär att dotterprodukterna till  $^{226}\text{Ra}$  förekommer i avsevärt lägre halter (räknat som massa) i naturen än  $^{226}\text{Ra}$  självt.

## Framställning av polonium 210

Polonium 210 kan bl a framställas genom att man neutronbestrålar stabilt vismut 209 i en kärnreaktor varvid vismut 210 bildas. Vismut 210 med halveringstiden 5 dygn omvandlas sedan via ett betasönderfall till polonium 210. Man kan också tänka sig metoder som bygger på någon form av kemisk extraktion från radiumkällor men detta förefaller vara en ganska besvärlig framställningsväg både med tanke på renhet och på verkningsgrad.

## Poloniums egenskaper

Polonium har atomnummer 84 och återfinns i periodiska systemet i syregruppen. Det innebär att dess kemiska egenskaper närmast är besläktade med selen och tellur. Ett 25-tal isotoper av polonium är kända varav ingen är stabil. Polonium 210 sönderfaller genom ett alfasönderfall (utan medföljande gammastrålning) med energin 5,6 MeV till bly 206. Halveringstiden för detta sönderfall är 138 dagar. Endast cirka ett sönderfall på 100 000 resulterar i ett alfasönderfall med en gammakomponent. Detta gör att det är svårt att detektera polonium 210 genom att mäta gammastrålning. Den relativt korta sönderfallstiden för  $^{210}\text{Po}$  ger definitionsmässigt den höga specifika (radio)aktiviteten som är  $1,67 \times 10^{14}$  Bq per gram. Denna höga aktivitet kan vara svår att förstå men kan också uttryckas som att ett milligram polonium 210 ger samma aktivitet som 5 gram radium 226.

Poloniums plats i periodiska systemet är syregruppen, dvs längst ned under svavel, selen och tellur. Det betyder att ämnet ligger i gränsregionen mellan icke-metaller och metaller. Sett i termer av elektronegativitet är polonium därför även närbesläktat med antimon, arsenik, germanium, kisel och fosfor. Polonium har endast en ringa löslighet i alkali men löses annars lätt i utspädda syror.

I sammanhang som rör  $^{210}\text{Po}$  och strålrisker för människa är gram en alldeles för stor referensmängd och därför kan den specifika aktiviteten kanske hellre förstås som ca 170 miljoner alfasönderfall per sekund och mikrogram  $^{210}\text{Po}$ . Mängden 100 mikrogram eller mindre är svårt att se med blotta ögat vilket medför att för mikrogrammängder  $^{210}\text{Po}$  är aktivitet ofta ett mer begripligt mått än det massbaserade (gram).

Veterligen har ingen människa rapporterat "hur polonium smakar". Detta sammanhänger naturligtvis med att storleksordningen 1 mikrogram  $^{210}\text{Po}$  är tillräckligt för att döda en

människa. Sådana mängder är alldeles för små för att ge klassisk giftverkan genom att t ex på ett kritiskt sätt inhibera enzymer och annat på molekylär eller cellulär nivå.

### **Teknisk användning av polonium 210**

Polonium 210 används väsentligen för två typer av tekniska ändamål. Den höga specifika aktiviteten innebär definitionsmässigt en hög nivå av jonisationer. Dessa jonisationer har man dragit nytta av i syfte att få bort statisk elektrisk elektricitet i olika sammanhang där det kanske mest kända är specialborstar för rengöring av kameralinser. De källor man använder – en slags nålar - är i viss bemärkelse slutna och därför inte lätta att nyttja för den som skulle skada andra. Företaget United Nuclear som säljer borstar för nämnda antistatverkan anger att man behöver 15 000 av deras ”nålar” (till en kostnad av 1 miljon USD) för att nå toxiska effekter. Den höga jonisationstätheten innebär också en värmeutveckling vilket nyttjats som värmekälla i satelliter mm.

Polonium 210 tillsammans med beryllium i legerad form används även som neutronkälla.

### **Polonium 210 i tobak**

Tobaksodling involverar oftast fosfatgödselmedel som i sin tur innehåller varierande mängder uran 238 beroende på fosfatets ursprung. Fosfatgödning innebär därför också ofta att uranseriens dotterprodukter följer med, inklusive  $^{210}\text{Pb}$  och  $^{210}\text{Po}$  som är de utstråldosynpunkt viktigaste i sammanhanget. För rökare kan upptaget av de båda ämnena till lungvävnaden öka kraftigt (Khater, 2004). Forskning har visat att rökning av ett paket cigaretter i genomsnitt ger en radioaktivitet på storleksordningen 120 mBq för vardera av  $^{210}\text{Pb}$  och  $^{210}\text{Po}$ . Khater har med antagandet att hälften av  $^{210}\text{Pb}$  och  $^{210}\text{Po}$  faktiskt också kommer in i kroppen beräknat medelvärdet för den årliga effektiva dosen till 193 respektive 251 mikrosievert. Andra forskare har som utgångspunkt tagit rökning av två paket cigaretter om dagen under 25 år och i sammanhanget kommenterat att en femtedel av motsvarande mängd  $^{210}\text{Po}$  klart har visats resultera i tumörer hos försöksdjur. Räknat som massa motsvarar mängden  $^{210}\text{Po}$  i en cigarett storleksordningen ett miljarddels mikrogram.

### **Radiotoxicitet och stråldos till människa**

Polonium 210 är en av de mest radiotoxiska isotoper man känner till. Polonium som kommer in i blodomloppet deponeras väsentligen i mjukvävnader. För råttor som injicerats med polonium intravenöst blev koncentrationen i det blodkroppsbyggande systemet ungefär 10 gånger högre än i andra mjukvävnader (Stannard and Cassarett, 1964). För hundar som exponerats för  $^{210}\text{Po}$ -innehållande aerosol fann man att överföringen via blodet främst ledde till en deponering i lever, njurar och mjälte (Smith *et al.*, 1961). Författarna Moroz och Parfenov (1972) diskuterar resultat av ett annat försök som gjorts på hundar och man kan av deras data dra slutsatsen att storleksordningen 25 MBq räcker för att ge en människa på 70 kg en absorberad dos på ca 5 Gy.

Utöver resonemang som rör akuta vävnadseffekter medför lägre exponeringsnivåer slumpmässiga risker såsom canceruppkomst. För intag via mat eller dryck anger ICRP *Publication 67* (1993) följande doskoefficienter för beräkning av dosekvivalent (till de mest belastade enskilda organen enligt tabellen nedan) respektive den sammanviktade sk effektiva doskoefficienten:

Benytor/benhinna:	$1,6 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
Lever	$6,6 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
Mjälte	$1,1 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq
Njurar	$1,3 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq
Röd benmärg	$2,6 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq
Effektiv dos (alla organ sammanviktade)	$1,2 \cdot 10^{-6}$ Sv/Bq

För inandning (inhalation) anger ICRP (1995) data för flera olika absorptionstyper beroende på kemisk form mm. Då data saknas rekommenderas att man använder utgår från ett medel-snabbt upptag (den s k "klass M", mer exakt definition framgår av ICRP, 1995) från inandad luft i lunga till överföring i kroppsvätskor mm. M-klassen, som bl a är relevant för polonium 210 i cigarettök ger högst dosekvivalent till lungor ( $2,6 \cdot 10^{-5}$  Sv/Bq), luftvägarna utanför bröst-korgen ( $3,5 \cdot 10^{-6}$  Sv/Bq), benytor/benhinna ( $2,8 \cdot 10^{-7}$  Sv/Bq), njurar ( $2,2 \cdot 10^{-6}$  Sv/Bq), mjälte ( $1,9 \cdot 10^{-6}$  Sv/Bq), lever och röd benmärg ( $4,6 \cdot 10^{-7}$  Sv/Bq). För *effektiv dos* (dvs viktad över alla organ) anger ICRP doskoefficienten  $3,3 \cdot 10^{-6}$  Sv/Bq.

I de modeller ICRP använder för beräkning av dosekvivalent mm till olika organ ingår utsöndring via urin (10 %) och avföring (90 %). Denna utsöndring motsvaras av en halveringstid på 50 dagar för en vuxen människa. Eftersom den fysikaliska halveringstiden är 138 dagar medför detta en effektiv halveringstid på 37 dagar.

### Poloniumupptag i olika organismer

Eftersom  $^{210}\text{Po}$  förekommer i naturen har man ibland mätt dess halter i olika organismer (se tabellen nedan). Man har då bl a funnit att ämnet kan ge höga naturliga stråldoser i marina organismer. Sålunda har forskaren Robin Cherry (Sydafrika) rapporterat om höga naturliga stråldoser i marina organismer. Genom alfapartikelarnas korta räckvidd (upp till ca 60 mikrometer) deponeras all energi helt i organismen ifråga utom för de allra minsta organismerna.

Typiska koncentrationer av  $^{210}\text{Po}$  (Bq/kg våtvikt) ges för några olika biologiska material i tabellen nedan<sup>1</sup>. Streck i tabellen nedan betyder att data saknas eller är svårt att ange.

Taxon	Hela djuret	Muskel	Ben <sup>2</sup>	Lever <sup>3</sup>	Gonader (könskörtlar)
Räka ( <i>Gennadas</i> <sup>4</sup> )	800	-	-	4000	600
Anshovis & sill	50	10	20	1000	300
Delfin	30	80	30	120	4
Karibou & ren	-	8	90	160	10
Hoppkräftor	30	-	-	-	-
Krill	15	2	9	200	-
Boskap	-	0,5	7	4	-
Människa	0,3	0,08	1,4	0,6	0,2

<sup>1</sup> För publicerade källor bör man gå till R.D. Cherry *et al.*, *J. Environ. Radioactivity*, Vol. 24, 1994:273-1994 och därifrån leta bakåt.

<sup>2</sup> För kräftdjuren inklusive räkor och krill avses "skalet", inte ben.

<sup>3</sup> För kräftdjuren inklusive räkor och krill avses för levern "hepatopancreas" (dvs lever och bukspottkörtel sammantaget).

<sup>4</sup> Ordning *Decapoda*, Fam. *Benthescymidae*, eng. "prawn", har ej kunnat hitta svenskt namn

Som framgår är räkor av släktet *Gennadas* den djurgrupp som har det högsta medianvärdet av  $^{210}\text{Po}$  bland undersökta marina organismer. *Observera den stora skillnaden mellan människa och "räka" för lever (för räka avses hepatopancreas) - en skillnad på cirka fyra tiopotenser.*

Man kan nu räkna ut stråldosen från 1 Bq  $^{210}\text{Po}$ /kg med antagandet att all energi (5,3 MeV) deponeras i vävnaden samt att viktningfaktorn för alfapartikeln är 20. Detta ger en ekvivalent stråldos på 0,53 mSv per år (anm. Enheten sievert gäller definitionsmässigt endast människa varför ekvivalentdosen i en annan organism inte kan överföras utan vidare). För mänsklig vävnad erhålls då 0,16 mSv/år som dos från naturligt  $^{210}\text{Po}$ . Den högsta "helkroppskoncentration" av  $^{210}\text{Po}$  man mätt i räkor av släktet *Gennadas* (i nordöstra Atlanten) är 5700 Bq/kg (våtvikt) vilket för "*hepatopancreas*" (en motsvarighet till lever och bukspottkörtel sammantagna) resulterar i 50 000 Bq/kg och en årsdos som motsvarar 26 Sv (Anm. Detta om man överför viktningfaktorn för alfastrålningens biologiska verkan från människa till i detta fallet räka).

### **Upptag av polonium 210 i människa och andra däggdjur**

Eftersom  $^{210}\text{Po}$  förekommer i små mängder i naturen har forskare på olika sätt studerat i vilken grad ämnet, beroende på kemisk form, tas upp i människa respektive olika försöksdjur. Resultaten visar att absorptionsgraden blir relativt hög när  $^{210}\text{Po}$  följer med exempelvis renkött (en faktor 0,3-0,5 tas upp). I en studie med sex frivilliga försökspersoner studerades upptaget från krabbkött och man fann en absorptionsgrad på 0,8. Försök med råttor respektive marsvin där man undersökt peroralt respektive intravenöst upptag av polonium 210 i form av nitrat, klorid respektive citrat resulterar i en avsevärt lägre absorptionsgrad (ungefärligt absorptionsintervall: 0,03-0,10). Mer generellt förefaller kunskapen om  $^{210}\text{Po}$  i biokemiskt och fysiologiskt hänseende (upptag i organ mm) vara relativt begränsad vilket säkert hänger samman med både ämnets sällsynthet och dess farlighet. Forskarna Kovacs och medarbetare (2004) har visat att  $^{210}\text{Po}$  förekommer i förhöjda nivåer i vissa mineralvatten vilket kan ge stråldoser avsevärt över de gränser som är tillåtna.

### **Referenser**

J.N. Stannard and G.W. Cassarett, Metabolism and biological effects of an alpha-emitter, polonium 210. *Academic Press*, New York, 1964.

F.A. Smith, P.E. Morrow et al., Distribution and excretion studies in dogs exposed to an aerosol containing polonium 210. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.*, Vol. 22, 1969:201-208.

Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients. International Commission on Radiological Protection, *ICRP Publication 67*, Vol. 23, No. 3-4, 1993:81-84.

Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients, International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 71*, Vol. 25, No. 3-4, 1995:267-271.

B.B. Moroz and Y.D. Parfenov, Metabolism and biological effects of polonium 210. *Atomic Energy Review*, Vol. 10, 1972:175-232.

A.E.M. Khater, Polonium-210 budget in cigarettes. *J. Environ. Radioactivity*, Vol. 71, 2004:33-41.

B.S. Cohen, M. Eisenbud, M.E. Wrenn and N.H. Harley, Distribution of polonium 210 in the human lungs. *Radiat. Res.*, Vol. 79, 1979:162-168.

R.D. Cherry M. Heyraud and R. Rindfuss, Polonium-210 in teleost fish and in marine mammals: interfamily differences and a possible association between polonium-210 and red muscle content. *J. Environ. Radioactivity*, Vol. 24, 1994:273-291.

R.D. Cherry, High Natural Radiation Doses to Marine Organisms, *11<sup>th</sup> International Congress of Radiation Research*, Dublin July 18-23, Vol. 2, Proceedings, 1999:296-299.

Ionizing Radiation, Part II, Some Internally Deposited Radionuclides, Monographs on the Evaluation of the Carcinogenetic Risk of Chemicals to Man, *International Agency for Research on Cancer*, Vol. 78, 2001:345 (1972-, multivolume work).

T. Kovacs, E. Bodrogi, P. Dombovari, J. Somlai, C. Nemeth, A. Carpote and S. Tarjan,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$  concentrations of bottled mineral waters in Hungary and their committed effective dose. *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol. 108, 2004:175-181.

Björn Cedervall  
Med dr, Docent (Medicinsk Strålningsbiologi)  
Civ ing (Kärnkemi och Biokemi)  
[bjorn\\_cedervall@yahoo.com](mailto:bjorn_cedervall@yahoo.com)