

Vergiftiging met polonium?

Een dubieus sterfgeval wordt precies 8 jaar na het overlijden onderzocht. Vermoed wordt dat de overleden man is vergiftigd met de zuivere α -emitter polonium-210 (^{210}Po), die hij via voedingsmiddelen heeft binnengekregen. Er wordt besloten om kledingstukken van de overledene te analyseren op ^{210}Po . Met behulp van een speciale fosforzuurhoudende scintillatiecocktail wordt de mogelijke besmetting uit het textiel opgelost en direct geteld in een vloeistofscintillatieteller. Uit eerder onderzoek is gebleken dat uitsluitend polonium (en geen andere α -emitters uit de uranium- en thoriumreeksen) via deze werkwijze in de scintillatiecocktail oplost.

De vloeistofscintillatieteller is specifiek uitgerust voor het meten van α -straling: de achtergrond wordt door afscherming zo laag mogelijk gehouden en er wordt gebruik gemaakt van softwarematige α/β -discriminatie.

Gegevens:

- Een achtergrondmeting van 1000 minuten in het gebruikte meetgebied levert 0,010 cpm op (1 cpm = 1 count per minute);
- Het rendement van de hele procedure (extractieopbrengst en meetrendement) bedraagt voor ^{210}Po 0,85 cps/Bq;
- **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007), blz. 228-229, gegevens ^{210}Po .

De detectielimiet is gedefinieerd als die activiteit die een netto teltempo veroorzaakt dat net buiten het 99,7% betrouwbaarheidsinterval van de achtergrondmeting valt.

Vraag 1

Bereken de minimaal detecteerbare activiteit voor de hierboven beschreven meetmethode voor ^{210}Po bij een teltijd van 1000 minuten.

Een kledingstuk van de overledene dat niet in de laatste weken voor zijn dood is gedragen, wordt aangemerkt als controlesample en wordt met deze methode geanalyseerd. Het teltempo van deze controlemeting bedraagt 0,34 cpm.

Een kledingstuk dat de man de dag vóór zijn overlijden heeft gedragen, bevat een vlek waarin een teltempo van 3,06 cpm gemeten wordt. De meettijd van beide analyses was 1000 minuten. Het verschil tussen beide metingen wordt gezien als het netto teltempo veroorzaakt door de besmetting.

Vraag 2

Bereken het netto teltempo van de besmetting in cps en bereken ook de standaarddeviatie hierin.

Vraag 3

Bereken de activiteit van de besmetting die zich op het kledingstuk van de overledene bevond, **toen de besmetting ontstond**.

Chemische analyse wees uit dat de vlek een urinevlek betrof. Het oorspronkelijke urinevolume dat de vlek veroorzaakt had, wordt door analyse op zouten en ureum vastgesteld op circa 3 mL. De standaard gemiddelde 24-uurs urineproductie van een volwassen man is 1,4 liter. Ga er voor de berekening van uit dat de besmetting is ontstaan op de 3^e dag na een eenmalige inname door ingestie.

Vraag 4.a

Bereken de vermoedelijke activiteitsinname aan de hand van de analyse van de urine op het kledingsample en de gedane aannames. Indien u geen antwoord op vraag 3 heeft, ga dan uit van een activiteit van de besmetting van 100 kBq.

Vraag 4.b

Beargumenteer of deze activiteitsinname de dood binnen enkele dagen tot gevolg kan hebben gehad.

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007),
²¹⁰Po**

²¹⁰Po

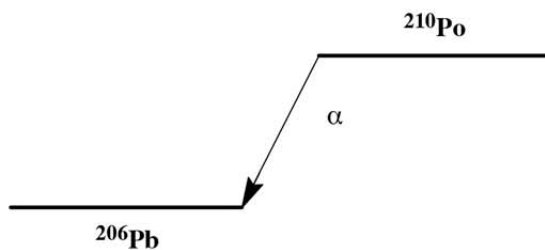
Z = 84

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 138,38 \text{ d} = 1,20 \times 10^7 \text{ s}$$

$$\lambda = 5,80 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
α_1	1,000	5297
α terugstoot	1,000	103

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 1,66 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} < 10^{-14} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,4 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,02 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ²¹⁰Po is een natuurproduct. Het komt voor in de uraniumvervalreeks. De vluchtigheid van polonium maakt dat het nuclide vrijkomt bij processen waarbij stoffen met (sporen) uranium verhit worden.

Grotere hoeveelheden ²¹⁰Po kunnen worden geproduceerd door bestraling van bismuth met neutronen. In 2006 is bekend geworden dat dit nuclide onder spionnen als effectieve gifstof toepassing vindt. Een inname van enkele microgrammen is al dodelijk (hoge specifieke activiteit, hoge radiotoxiciteit, opname in essentiële organen).

N = 126

 ^{210}Po **Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat polonium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 30% naar lever, 10% naar nieren, 5% naar milt, 10% naar rood beenmerg en de rest naar de overige organen/weefsels.

De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt gesteld op 50 dagen.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 0,1$

Inhalatie

Als natuurlijke (rest)stof $f_1 = 0,01$ Klasse SHydroxide, oxide, nitraat $f_1 = 0,1$ Klasse MOverige verbindingen $f_1 = 0,1$ Klasse F**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent****voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)**

	Ingestie $f_1 = 0,1$	Inhalatie F	Inhalatie M	Inhalatie S	
$e(50)(w)$	$2,4 \times 10^{-7}$	$7,1 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-6}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$4,2 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	$3,1 \times 10^5$	Bq
$e(50)(b)$	$2,4 \times 10^{-7}$	$6,0 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-6}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$4,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	Bq

Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

Tijd (d) Urineconcentratie (Bq/d per Bq inname)

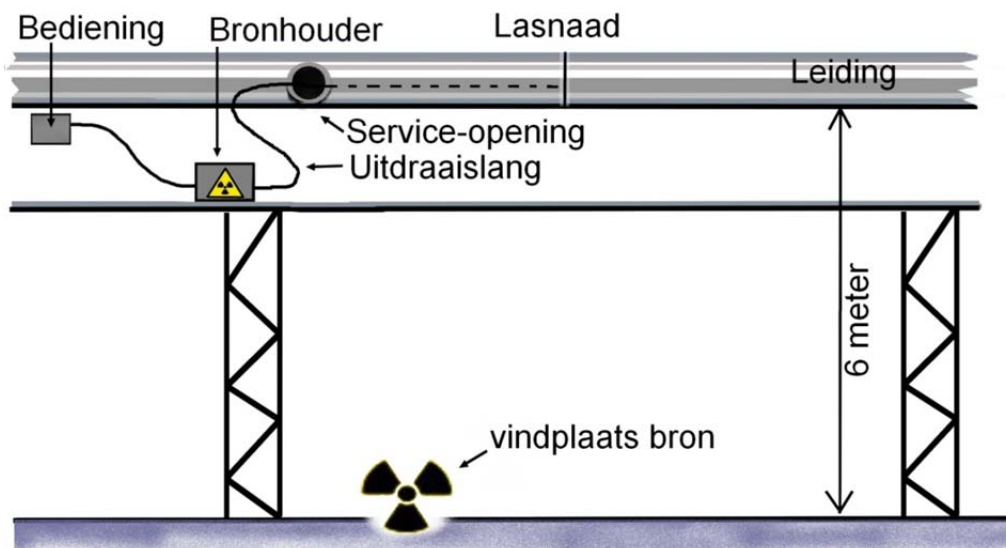
Tijd (d)	Urineconcentratie (Bq/d per Bq inname)			
1	$1,9 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-6}$
2	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$
3	$4,4 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-5}$
5	$4,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$
7	$4,1 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$

Industriële radiografie

Om de kwaliteit van een aantal lasnaden te controleren in een oliegestookte energiecentrale wordt radiografie toegepast. Hierbij wordt rond de lasnaad een lichtdicht afgesloten röntgenfilm aangebracht, waarna via een serviceopening een bron van 185 GBq ^{192}Ir in de leiding wordt gebracht. Na voldoende belichtingstijd wordt de bron weer weggehaald.

Om veilig met een hoogactieve bron te kunnen werken is deze verankerd aan een stalen kabel, waarmee deze in en uit de afgeschermde bronhouder kan worden gebracht. Dit gebeurt met een mechanische afstandsbediening, die op enige afstand van de bronhouder is geplaatst.

Op een dag wordt een pijpleiding, die zich 6 meter boven de grond bevindt, met radiografie gecontroleerd. Nadat de radiografie is uitgevoerd wordt de bron met behulp van de uitdraaislang teruggedraaid in de afscherming. Ter controle wordt een dosimeting gedaan waarbij de dosimeter tegen de bronhouder wordt gehouden. Er worden normale meetwaarden geregistreerd, waaruit (ten onrechte, zoals zal blijken) wordt geconcludeerd dat de procedure goed is verlopen. Later blijkt namelijk dat de bron niet in de afgeschermd bronhouder zit, maar is vermist.



Figuur 1 Situatieschets van de radiografielocatie en vindplaats

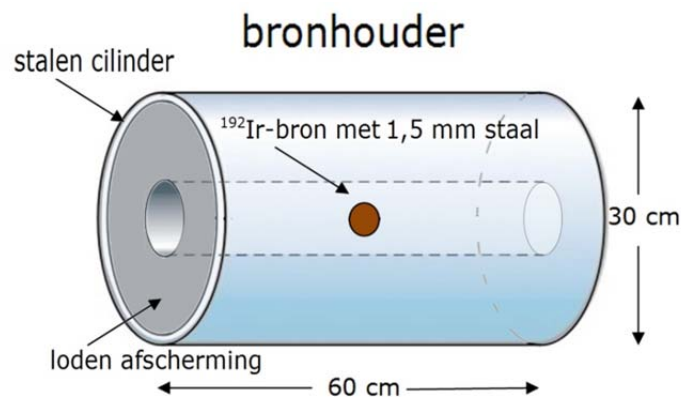
Een paar uur na het uitvoeren van de radiografie komt een werknemer van de energiecentrale bij de stralingsdeskundige. Hij vertelt dat hij last heeft van duizeligheid, misselijkheid en pijn. Hij legt uit dat hij een klein metalen voorwerp op de grond heeft gevonden en dit in zijn borstzak heeft gestopt.

Zodra hij de klachten begon te krijgen heeft hij het voorwerp op de vindplaats teruggelegd. Het voorwerp is ongeveer 1½ uur in zijn borstzak aanwezig geweest.

De stralingsdeskundige stuurt direct een medewerker naar de vindplaats. Deze vindt de bron op de aangegeven plaats op de grond, 6 meter onder de radiografielocatie. Hij bergt de bron direct in een geschikte container op.

Gegevens:

- De ^{192}Ir -bron heeft een activiteit van 185 GBq;
- De ^{192}Ir -bron heeft een buitenwand van 1,5 mm staal;
- De dichtheid van staal is $7,9 \text{ g/cm}^3$;
- De bronhouder is een stalen cilinder met een straal van 15 cm. In deze cilinder bevindt zich een cilindervormige loden afscherming;
- Afscherming door het staal van de bron en bronhouder mag worden verwaarloosd;



- Het hoogste omgevingsdosisequivalenttempo op 1 meter afstand van het oppervlak van de bronhouder met bron is $12 \mu\text{Sv/h}$;
- Een eventuele afzetting moet worden aangebracht op de positie waar het omgevingsdosisequivalenttempo op de grond maximaal $10 \mu\text{Sv/h}$ bedraagt;
- Tijdens de radiografie bevindt de bron zich 6 meter boven de grond;
- Het ontstaan van remstraling mag worden verwaarloosd;
- Ter vereenvoudiging mag worden aangenomen dat elk foton in het vervalschema een energie heeft van 366 keV;
- **Bijlage:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007), blz 214; gegevens ^{192}Ir ;
- **Bijlage:** Interactiecoëfficiënten voor fotonen in spierweefsel;
- $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

Vraag 1

De looddikte van de cilindervormige loden afscherming in de bronhouder bedraagt ca. 5 cm, corresponderend met een transmissiefactor $T = 6 \cdot 10^{-4}$. Verifieer deze transmissiefactor door berekening.

Vraag 2

Bereken de straal van de cirkelvormige afzetting die **op de grond** moet worden aangebracht voordat de onafgeschermd bron in de pijpleiding wordt geplaatst. Aangenomen mag worden dat de bron in de pijpleiding zich op 6 meter hoogte bevindt. De afscherming door de pijpleiding zelf mag worden verwaarloosd.

Nadat de radiografie was verricht, werd de uitdraaislang teruggedraaid in de afscherming. Daarna is een dosismetring tegen de buitenzijde van de bronhouder verricht en werd geconcludeerd dat de bron weer in de bronhouder was teruggekeerd.

Vraag 3

Verklaar hoe deze onjuiste conclusie kon worden getrokken, door het dosistempo op de bronhouder met de bron erin te vergelijken met het dosistempo op de bronhouder terwijl de bron op de grond ligt, op 6 meter afstand van de bronhouder.

Vraag 4

De werknemer heeft de bron gedurende 1½ uur in zijn borstzak gehad. Hierbij bevond de bron zich op 3,0 centimeter afstand van de huid. Bereken de geabsorbeerde dosis op de huid ten gevolge van de uitgezonden fotonen. Veronderstel elektronenevenwicht en veronderstel dat huid dezelfde absorptie-eigenschappen heeft als spierweefsel. De bron mag worden beschouwd als een puntbron. Gebruik de vergelijking $D = \Phi E \mu_{en}/\rho$.

Naschrift

Dit is een vereenvoudigde weergave van een ongeval dat op 24 juli 1996 heeft plaatsgevonden in Gilan, Iran. De werknemer heeft een intensieve behandeling gehad, waaronder een huidtransplantatie. Hij heeft het ongeval overleefd.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007),
¹⁹²Ir

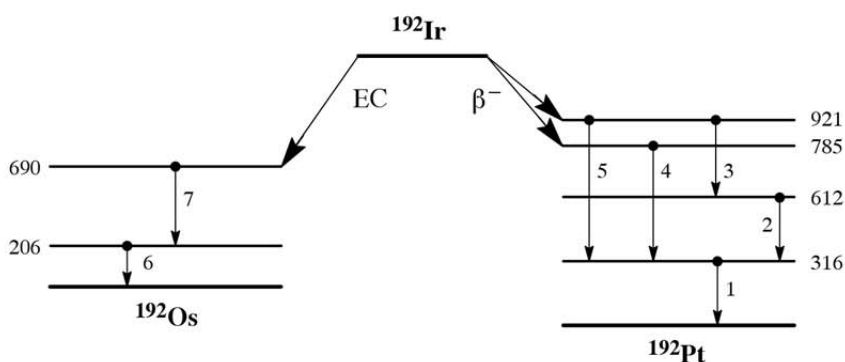
¹⁹²Ir
Z = 77

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 73,83 \text{ d} = 6,38 \times 10^6 \text{ s}$

$\lambda = 1,09 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)	Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β ⁻	0,415	161 536	γ ₄	0,478	468
β ⁻	0,481	209 672	γ ₅	0,082	604
γ ₁	0,828	316	γ ₆	0,033	206
γ ₂	0,290	296	γ ₇	0,032	485
γ ₃	0,297	308			

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,11 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,14 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,41 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 7,0 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 1 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Bijlage: Interactiecoëfficiënten voor fotonen in spierweefsel

Fotonenergie (MeV)	μ/ρ ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	μ_{tr}/ρ ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	μ_{en}/ρ ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
0,2	0,136	0,0294	0,0294
0,3	0,118	0,0317	0,0317
0,4	0,105	0,0325	0,0325
0,5	0,0958	0,0328	0,0328
0,6	0,0886	0,0326	0,0325