

## Vraagstuk 1. Radium Girls

Snel na de ontdekking van radioactiviteit door Henri Becquerel in 1896 ontstonden er veel toepassingen. Langzaam maar zeker werden echter ook de gevaren duidelijk. Een bekend voorbeeld is de wijzerplaatindustrie. Daar werd lichtgevende verf gebruikt, die bestond uit zinksulfide vermengd met een radiumzout.



In een laboratorium staat als demonstratiemodel een oude Westclox wekker met lichtgevende wijzeruiteinden. Om een indruk te krijgen van de activiteit die nog op de wijzers zit, worden de wijzerpunten bij elkaar gezet en wordt er met een dosistempometer (deze meet alleen fotonen) op ongeveer 5 cm afstand van de punten een netto omgevingsdosisequivalenttempo van  $0,4 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  gemeten.

### Gegevens:

- **Bijlage blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2007), blz. 230-231, gegevens  $^{226}\text{Ra}$
- De geometrie van de meting is zo, dat de puntbronbenadering mag worden toegepast

### Vraag 1.1

Maak een schatting van de activiteit  $^{226}\text{Ra}$  die nu nog op de wijzers van deze wekker aanwezig is. U mag ervan uitgaan dat het gemeten dosistempo alleen door  $^{226}\text{Ra}$  (inclusief dochters) wordt veroorzaakt.

In de wijzerplaatindustrie is het sinds 1925 verboden om met de mond een puntje aan het penseel te maken. Ernstige bot-sarcomen zijn alleen gevonden binnen de groep medewerksters die voor 1925 in deze industrie werkten. Besmetting via de mond wordt daarom ook gezien als de voornaamste besmettingsroute voor de wijzerplaatschilders, de 'Dial Painters'. In september 1994 is er door R.E. Rowland van het Argonne National Laboratory in Illinois een groot overzichtsartikel gepubliceerd over 'Radium in Humans'.

Als voorbeeld gaan we in dit vraagstuk uit van "Case 00-003" uit het artikel van Rowland, een vrouw, geboren in 1894, overleden in 1927, doodsoorzaak kwaadaardige bottumoren in haar bovenlijf. We noemen haar verder 'Casie'. Voor Casie wordt vermeld dat zij in 1917 is begonnen als wijzerplaatschilderes. Zij heeft dat 104 weken gedaan en heeft daarbij  $603,7 \mu\text{Ci } ^{226}\text{Ra}$  binnengekregen. Het artikel vermeldt een bijbehorende dosis van 3404 cGy.

### **Vraag 1.2**

Neem aan dat Casie iedere werkweek  $1/104^{\text{e}}$  deel van de totale activiteit heeft binnengekregen. Bereken dan de effectieve volg dosis voor 1 werkweek van Casie, alsof de inname in die ene werkweek de enige inname zou zijn.

Een stralingsdeskundige doet een aantal aannames om zelf een globale schatting van de energie-overdracht van  $603,7 \mu\text{Ci } ^{226}\text{Ra}$  te kunnen maken.

### **Gegevens en aannames:**

- Voor de berekeningen mag worden aangenomen dat  $^{226}\text{Ra}$  op het moment van inname in evenwicht was met alle dochters
- Er mag worden aangenomen dat de alfa-yield van  $^{226}\text{Ra}$  en elk van haar dochters 100% is

### **Vraag 1.3**

Stel dat er  $603,7 \mu\text{Ci } ^{226}\text{Ra}$  in evenwicht met al de dochters is opgelost in een goed gesloten bak met 70 liter water. Bepaal voor deze bak water de geabsorbeerde dosis in Gy voor één jaar. U hoeft in deze berekening alleen de energie van de alfastraling mee te nemen.

De dochter van  $^{226}\text{Ra}$ , het edelgas radon-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) heeft een halveringstijd van 3,82 dagen. Voor een mens wordt aangenomen dat, na inname van  $^{226}\text{Ra}$ ,  $2/3^{\text{e}}$  deel van het gevormde radon het lichaam verlaat door uitscheiding via de longen.

### **Vraag 1.4**

Pas de berekening van 1.3 aan voor de situatie dat de bak water van 70 liter niet meer goed gesloten is en dat er  $2/3$  van het gevormde radon direct ontsnapt.

**Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2007),  
blz. 230-231, gegevens <sup>226</sup>Ra**

met een aanzienlijke activiteit. Toepassingen waren: radiotherapie, lichtgevende verf, bliksemafleiders, medische kwakzalverij. Vanwege de hoge radiotoxiciteit is het langzamerhand verdrongen door minder toxische radionucliden.

#### Halveringstijden en belangrijkste uitgezonden straling

Radionuclide	$T_{1/2}$	$E_{\alpha}$ (keV)	$E_{\beta, \text{gem}}$ (keV)	$E_{\beta, \text{max}}$ (keV)	$E_{\gamma}$ (keV)
$^{226}\text{Ra}$	1600 j	4784			
$^{222}\text{Rn}$	3,82 d	5490			
$^{218}\text{Po}$	3,05 min	6003			
$^{214}\text{Pb}$	26,8 min		207	672	352
			227	729	295
$^{214}\text{Bi}$	19,9 min		525	1505	609
			539	1540	1120
			1269	3270	1765
$^{214}\text{Po}$	0,164 ms	7687			
$^{210}\text{Pb}^*$	22,3 j		4	16	46
			16	63	
$^{210}\text{Bi}$	5,01 d		389	1161	
$^{210}\text{Po}^*$	138,4 d	5297			

\* Deze radionucliden zijn tevens apart opgenomen (zie aldaar).

#### Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie	$f_1$	Klasse
Alle verbindingen	$f_1 = 0,2$	
Inhalatie		
Als natuurlijke (rest)stof	$f_1 = 0,01$	Klasse S
Overige verbindingen	$f_1 = 0,2$	Klasse M

#### Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie $f_1 = 0,2$	Inhalatie M*	Inhalatie S*	Inhalatie S**	
$e(50)(w)$	$2,8 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-6}$	$4,0 \times 10^{-5}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$3,6 \times 10^6$	$4,5 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$2,5 \times 10^4$	Bq
$e(50)(b)$	$2,8 \times 10^{-7}$	$3,5 \times 10^{-6}$	$9,5 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-5}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$3,6 \times 10^6$	$2,9 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	Bq

\* aangenomen dat dochter  $^{222}\text{Rn}$  grotendeels ontsnapt uit het ingeademde deeltje

\*\* aangenomen dat het  $^{222}\text{Rn}$  niet ontsnapt uit het ingeademde deeltje en met alle dochters in radiologisch evenwicht

## Vraagstuk 1 Radium Girls

### Vraag 1.1

Maak een schatting van de activiteit  $^{226}\text{Ra}$  die nu nog op de wijzers van deze wekker aanwezig is. U mag er vanuit gaan dat het gemeten dosistempo alleen door  $^{226}\text{Ra}$  (inclusief dochters) wordt veroorzaakt.

De vormgeving van de meting is zo, dat de puntbronbenadering mag worden toegepast.

$$\dot{H}^* = \frac{h \cdot A}{r^2}. \quad \text{Invullen geeft: } 0,4 \left( \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \right) = \frac{0,26 \left( \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{MBq}} \right) \times A \text{ (MBq)}}{0,05^2 \text{ ([m}^2\text{])}}$$
$$A = \frac{0,4 \times 0,05^2}{0,26} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ MBq} = 4 \text{ kBq}$$

### Vraag 1.2

Neem aan dat Casie iedere werkweek 1/104-e deel van de totale activiteit heeft binnengekregen. Bereken dan de effectieve volgdozis voor 1 werkweek van Casie, alsof de inname in die ene werkweek de enige inname zou zijn.

$$E(50) = A \times e(50)$$

$$A_{\text{totaal}} = 603,7 \text{ } \mu\text{Ci}$$

$$\text{Per week } 603,7 \cdot 10^{-6} \text{ (Ci)} : 104 \text{ (weken)} \times 37 \cdot 10^9 \text{ (Bq/Ci)} = 214,8 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

$$E(50) \text{ (Sv)} = 214,8 \cdot 10^3 \text{ (Bq)} \times 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ (Sv/Bq)} = 0,060 \text{ Sv}$$

### Vraag 1.3

Stel dat er 603,7  $\mu\text{Ci}$   $^{226}\text{Ra}$  in evenwicht met al de dochters is opgelost in een goed gesloten bak met 70 liter water. Bepaal voor deze bak water de geabsorbeerde dosis in Gy voor één jaar. U hoeft in deze berekening alleen de energie van de alfastraling mee te nemen.

$$\text{Op jaarbasis } 603,7 \text{ } \mu\text{Ci} = 22,34 \text{ MBq}$$

Afname van de activiteit door tussentijds verval van  $^{226}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2} = 1600$  jaar, hoeft niet meegerekend te worden.

Het totaal aantal desintegraties voor 22,34 MBq  $^{226}\text{Ra}$  in 1 jaar =

$$22,34 \cdot 10^6 \text{ (desintegraties/s)} \times 3600 \text{ (s/uur)} \times 24 \text{ (uur/dag)} \times 365,25 \text{ (dagen/jaar)} \\ = 7,05 \cdot 10^{14} \text{ desintegraties/jaar}$$

De totale  $\alpha$ -energie per desintegratie =  
 $4,784 + 5,490 + 6,003 + 7,687 + 5,297 \text{ MeV} = 29,26 \text{ MeV/desintegratie}$

$7,05 \cdot 10^{14} \text{ desintegraties/jaar} \times 29,26 \text{ MeV/desintegratie} = 2,06 \cdot 10^{16} \text{ MeV}$   
 $2,06 \cdot 10^{16} \text{ MeV} \times 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} : 70 \text{ kg} = 47,1 \text{ J/kg} = 47,1 \text{ Gy}$

#### **Vraag 1.4**

*Pas de berekening van 1.3 aan voor de situatie dat de bak water van 70 liter niet meer goed gesloten is en dat er 2/3 van het gevormde radon direct ontsnapt.*

Het totaal aantal desintegraties voor  $22,34 \text{ MBq } ^{226}\text{Ra}$  in 1 jaar blijft onveranderd gelijk aan  $7,05 \cdot 10^{14} \text{ desintegraties/jaar}$

De totale  $\alpha$ -energie per desintegratie =  
 $4,784 + 1/3 \times (5,490 + 6,003 + 7,687 + 5,297) \text{ MeV} = 4,784 + 8,159 = 12,94 \text{ MeV/desintegratie}$

$7,05 \cdot 10^{14} \text{ desintegraties/jaar} \times 12,94 \text{ MeV/desintegratie} = 9,12 \cdot 10^{15} \text{ MeV}$

$9,12 \cdot 10^{15} \text{ MeV} \times 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J/MeV} : 70 \text{ kg} = 20,9 \text{ J/kg} = 20,9 \text{ Gy}$

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 1</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1.1	3
1.2	4
1.3	5
1.4	3
<b>Totaal</b>	<b>15</b>