

Uitwerkingen

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

13 december 2010

Vraagstuk 1 ^{137}Cs in wilde zwijnen

Vraag 1

750 Bq na 5 dagen

Volgens de gegevens voor totale-lichaamstelling (Handboek Radionucliden) is na 5 dagen nog $9,0 \cdot 10^{-1}$ Bq per Bq inname over

$$A_{\text{inname}} = 750 / 9,0 \cdot 10^{-1} = 833 \text{ Bq} = 0,83 \text{ kBq}$$

$$e_{50} = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 833 \text{ Bq} \times 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} = 11 \mu\text{Sv}$$

Vraag 2

833 Bq/400 gram = 2,1 kBq/kg; dit is meer dan de grens voor toelating tot consumptie (600 Bq/kg). De grens wordt dus overschreden.

Vraag 3a

Volgens de gegevens voor totale-lichaamstelling (Handboek Radionucliden) is na 7 dagen nog $8,8 \cdot 10^{-1}$ Bq per Bq inname over, na 5 dagen is dit nog $9,0 \cdot 10^{-1}$ Bq per Bq inname. Er is dus $2 \cdot 10^{-2}$ Bq per Bq inname verdwenen. Bij 833 Bq inname is dit 17 Bq. Hiervan is 90% via de urine uitgescheiden: 15 Bq

Vraag 3b

15 Bq in 2,8 liter ($2 \text{ d} \times 1,4 \text{ liter/d}$) levert 0,054 Bq in 10 ml

Bij een meetrendement van 0,5 cpm/dpm en een meettijd van 10 minuten is het netto aantal counts:

$$0,054 \text{ Bq} \times 60 \text{ s} \times 10 \text{ m} \times 0,5 \text{ cpm/dpm} = 16,1 \text{ counts}$$

Vraag 4a

Het bruto aantal counts is $16,1 \text{ counts} + 89 \text{ counts} = 105 \text{ counts}$

De standaarddeviatie in het bruto aantal counts is de wortel hieruit: 10,3 counts

De standaarddeviatie in de achtergrondmeting is de wortel hieruit: 9,4 counts

De standaarddeviatie in de netto meting is dan:

$$\sigma_{\text{netto}}^2 = \sigma_{\text{bruto}}^2 + \sigma_{\text{achtergrond}}^2 = 10,7^2 + 9,4^2 = 105 + 89 = 194$$

$$\sigma_{\text{netto}} = 13,9 \text{ counts}$$

Vraag 4b

$\sigma_{\text{achtergrond}} = 9,4 \text{ counts}$; $3 \cdot \sigma_{\text{achtergrond}} = 28 \text{ counts}$.

Dit is groter dan het netto aantal counts \rightarrow onder de gegeven aannames is de meting met de LSC geen alternatief voor de TLT.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1	4
2	1
3a	3
3b	3
4a	4
4b	2
Totaal	<i>17</i>

Vraagstuk 2 Behandeling verhoogde schildklierfunctie met ^{131}I

Vraag 1a

$$\dot{H}^*(10) = \frac{h \cdot A}{r^2}$$

$$\dot{H}^*(10) = \frac{0,066 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \times 900 \text{ MBq}}{1 \text{ m}^2} = 59 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Dit omgevingsdosisequivalenttempo is een goede schatter voor het effectieve dosistempo

Vraag 1b

eis: $\dot{H}^*(10) = 2 \mu\text{Sv}/3 \text{ min}$, dus $\dot{H}^*(10) = 40 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

$$\dot{H}^*(10) = \frac{h \cdot A}{r^2} \cdot T = 40 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\dot{H}^*(10) = \frac{0,066 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \times 900 \text{ MBq}}{(0,30)^2 \text{ m}^2} \times T = 40 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \rightarrow T = 0,06$$

Alternatief voor bepaling T:

Effectieve dosis op 1 m afstand van alle activiteit is $59 \mu\text{Sv}/\text{h}$ (zie antwoord op vraag 1a).

$$H^*(10) = [59 (\mu\text{Sv}/\text{h}) \times (3/60) (\text{h})] / (0,30)^2 = 33 \mu\text{Sv}$$

$$T = (2 \mu\text{Sv}) / (33 \mu\text{Sv}) = 0,06$$

aflezen in de grafiek geeft 1,3 cm, afgerond 1,5 cm loodequivalent in loodglas.

Vraag 2

$$20 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{0,066 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \times A \cdot \text{MBq}}{1 \text{ m}^2} \rightarrow A = 303 \text{ MBq, bij een}$$

Effectieve dosistempo van $20 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.

De activiteit in de patiënt is na 24 uur (1 dag) 50% van de oorspronkelijke activiteit (900 MBq), dus 450 MBq. De rest is binnen 24 uur uitgescheiden.

$T_{1/2, \text{biol}} = 90$ dagen, $T_{1/2, \text{fysisch}} = 8,02$ dagen,

$$\frac{1}{T_{1/2, \text{eff}}} = \frac{1}{T_{1/2, \text{fys}}} + \frac{1}{T_{1/2, \text{biol}}} \rightarrow T_{1/2, \text{eff}} = 7,4 \text{ dag}$$

$A(0) = 450 \text{ MBq}$, $A(t) = 303 \text{ MBq}$ en $T_{1/2, \text{eff}} = 7,4 \text{ dag}$

$$303 \text{ MBq} = 450 \text{ MBq} \cdot e^{-\ln 2 \cdot t / 7,4} \Rightarrow$$

$$e^{-\ln 2 \cdot t / 7,4} = 0,67 (\approx 1/\sqrt{2}, \text{ dus ongeveer een halve halveringstijd wachten}).$$

$$t = 4,2 \text{ dagen}$$

Na (4,2 + 1 =) 5,2, afgerond 5,5 dagen, mag de patiënt naar huis.

Alternatief:

Effectieve dosis op 1 m afstand van alle activiteit is 59 $\mu\text{Sv/h}$ (zie antwoord op vraag 1a).

Na 24 uur resteert hiervan 50% als puntbron in de schildklier, dus:

$$H^*(10) = 50\% \times 59 \mu\text{Sv/h} = 30 \mu\text{Sv/h}.$$

Vereiste reductiefactor is $(20 \mu\text{Sv/h}) / (30 \mu\text{Sv/h}) = 0,67$.

$$e^{-\ln 2 \cdot t / T_{1/2, \text{eff}}} = 0,67 \quad \text{enz.}$$

Vraag 3

Het isotoop met de β^- -energie die het dichtst bij die van ^{131}I ligt is ^{204}Tl .

Uit fig.2 : het geabsorbeerde dosistempo in lucht (en dus in weefsel) op 1 cm bedraagt ca.

0,13 Gy/h per MBq.

Afstand is $0,8/2 = 0,4$ cm. Tijdsduur = 2 s. Activiteit = 900 MBq.

$$D_{\beta} = 0,13 \times 900 \times \frac{2}{3600} \times \left(\frac{1}{0,4} \right)^2 = 0,41 \text{ Gy.}$$

Opmerking van de redactie:

Omdat in de gegevens van het Handboek Radionucliden een emissierendement van 0,89 voor de bètastraling van ^{131}I staat genoemd, wordt het ook goed gerekend wanneer de berekende uitkomst met 0,89 is vermenigvuldigd. In werkelijkheid is het emissiepercentage echter 100%, wat niet zichtbaar is in het vereenvoudigde vervalschema in het Handboek Radionucliden.

Vraag 4

$$\dot{K}_{\text{lucht}} = \frac{k \cdot A}{r^2} = \frac{0,052 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot 900 \text{ MBq}}{(0,004)^2 \text{ m}^2} = 2,9 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\dot{K}_{\text{lucht}} \approx \dot{D}_{\text{weefsel}}$$

$$\dot{D}_{\gamma} = \frac{2,9 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}}{3600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1}} = 806 \mu\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 0,81 \text{ mGy} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_{\gamma} = 0,81 \cdot 2 \text{ s} = 1,6 \text{ mGy}$$

(hetgeen zoals verwacht verwaarloosbaar is ten opzichte van het antwoord op vraag 3)

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
1a	2
1b	3
2	5
3	3
4	3
Totaal	<i>16</i>

Vraagstuk 3 Afscherming positronenbron

Vraag 1

Bijdrage van 1275 keV fotonen ($y = 99,9\%$) aan k : $1,275/8 = 0,16$. Dit alleen is niet voldoende om de gegeven luchtkermatempoconstante te verklaren.

Bijdrage van annihilatie fotonen ($y = 180\%$) aan k : $(0,5 \times 1,8)/8 = 0,11$.

Totaal: $0,16 + 0,11 = 0,27 \approx k$. De annihilatiefotonen zijn in de luchtkermatempoconstante inbegrepen.

(N.b. Uit fig. 2 kan ook afgelezen worden $\sum_i y(i) \times E(i) = 2,19 \rightarrow k \approx 2,19/8 = 0,27$)

Vraag 2

Uit de bron komen β^+ - en β^+ -deeltjes. Daarvan hebben de β^+ -deeltjes de hoogste gemiddelde energie van 0,835 MeV. De maximale energie bedraagt $3 \times 0,835 = 2,51$ MeV. De dracht van deze deeltjes bedraagt volgens de regel van Feather:

$$R = \frac{1}{\rho} (0,542E - 0,133) = \frac{1}{11,35} (0,542 \times 2,51 - 0,133) = 0,11 \text{ cm}$$

0,11 cm = 1,1 mm. Afronden naar boven levert de minimaal benodigde looddikte op: 2 mm. Berekening met de 'eenvoudige vuistregel'

$$R = \frac{0,5E}{\rho} = \frac{0,5 \times 2,51}{11,35} = 0,11 \text{ cm levert hetzelfde resultaat op.}$$

Vraag 3a

Op plaats T worden $2 \cdot 10^{-4} \times 2,78 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1} \times 0,898 = 5,0 \cdot 10^5$ β^+ -deeltjes per seconde gestopt.

(De bijdrage van de β^+ -deeltjes met emissiewaarschijnlijkheid $y = 6,0 \cdot 10^{-4}$ kan worden verwaarloosd). Per deeltje worden twee fotonen geproduceerd. Dit levert op 1 meter afstand van punt T een fluentietempo van de 511 keV annihilatiefotonen van:

$$\varphi = 2 \times \frac{5,0 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}}{4\pi 1^2 \text{ m}^2} = 8,0 \cdot 10^4 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Vraag 3b

Het in vraag 3a berekende fluentietempo resulteert in een luchtkermatempo van:

$$\dot{K} = \varphi E \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{lucht} = 8,0 \cdot 10^4 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \times 0,511 \text{ MeV} \times 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J MeV}^{-1} \times 2,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

$1,9 \cdot 10^{-11} \text{ Gy s}^{-1} = 0,07 \text{ } \mu\text{Gy h}^{-1}$. Dit ligt tussen de waarden 0,05 en 0,2 $\mu\text{Gy h}^{-1}$.

Vraag 4

Onafgeschermd levert de bron op 2 m afstand een kermatempo van:

$$K = \frac{k \cdot A}{r^2} = \frac{0,28 \mu\text{Gy m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1} \times 2,78 \cdot 10^3 \text{ MBq}}{2^2 \text{ m}^2} = 195 \mu\text{Gy h}^{-1}$$

De transmissie van de loden wand moet dus zijn;

$$T = \frac{(1 - 0,07) \cdot 10^{-6}}{1,95 \cdot 10^{-4}} = 4,77 \cdot 10^{-3}$$

Uit figuur 3 volgt dan een looddikte van 8,8 cm. Afgerond: 9 cm.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
1	3
2	3
3a	4
3b	3
4	4
Totaal	<i>17</i>

Vraagstuk 4 Ingebruikname van een ijkopstelling

Vraag 1

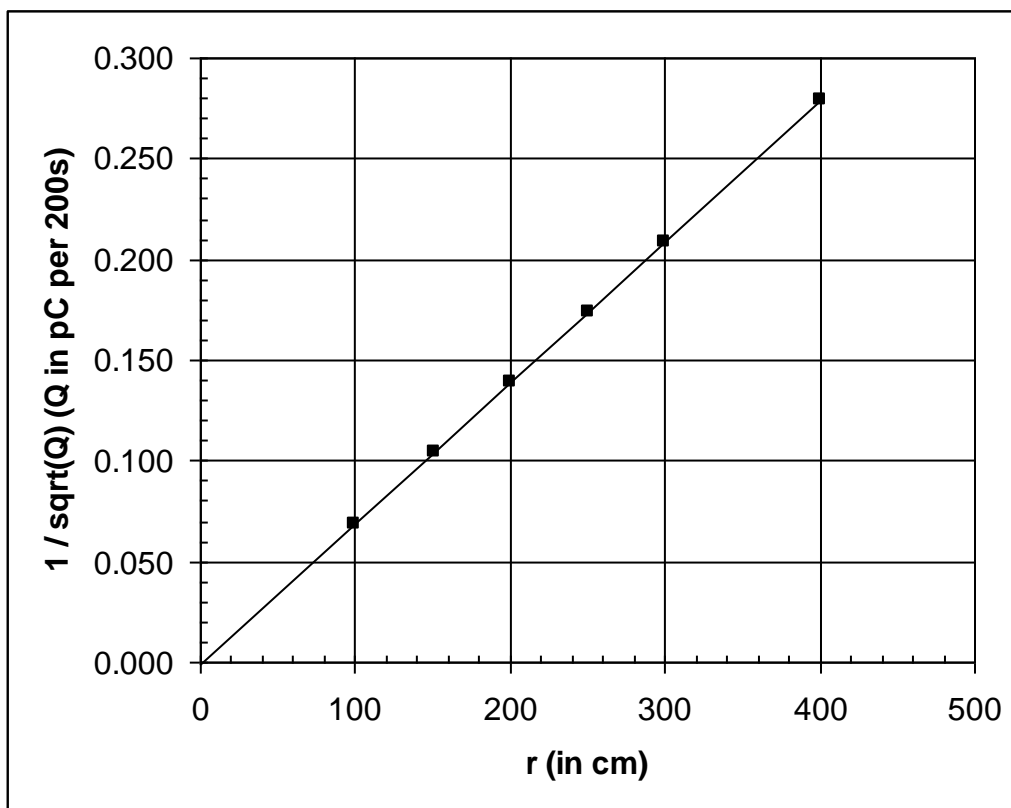
tijdsverloop tussen 15-06-1992 en 15-06-2010 is 18 jaar

$$\begin{aligned}
 A(15-06-2010) &= A(15-06-1992) \times e^{-\ln 2 \times 18 / 5,272} \\
 &= 3,06 \text{ (Ci)} \times 0,0938 = 0,287 \text{ Ci} \\
 &= 0,287 \text{ (Ci)} \times 3,7 \cdot 10^{10} \text{ (Bq Ci}^{-1}\text{)} = 1,06 \cdot 10^{10} \text{ Bq}
 \end{aligned}$$

Vraag 2

zie grafiek

de trendlijn gaat door de oorsprong, met een onzekerheid van ten hoogste ± 5 cm.



Vraag 3

$$\text{lading per tijdseenheid} = 12,81 \cdot 10^{-12} \text{ (C)} / 200 \text{ (s)} = 6,41 \cdot 10^{-14} \text{ C s}^{-1}$$

$$\text{luchtmasse} = 30,0 \text{ (cm}^3\text{)} \times 1,293 \cdot 10^{-3} \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = 0,0388 \text{ g} = 3,88 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{het exposietempo is } \dot{X} &= 6,41 \cdot 10^{-14} \text{ (C s}^{-1}\text{)} \times 3600 \text{ (s h}^{-1}\text{)} / 3,88 \cdot 10^{-5} \text{ (kg)} \\
 &= 5,95 \cdot 10^{-6} \text{ C kg}^{-1} \text{ h}^{-1} \\
 &= 5,95 \cdot 10^{-6} \text{ (C kg}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{)} / 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ (C kg}^{-1} \text{ R}^{-1}\text{)} \\
 &= 0,0231 \text{ R h}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\text{het luchtkerमतempo is } \dot{K} = 0,0231 \text{ (R h}^{-1}\text{)} \times 0,00876 \text{ (Gy R}^{-1}\text{)} = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ Gy h}^{-1}$$

Vraag 4

de bronconstante is $k = 0,31 \text{ (}\mu\text{Gy h}^{-1} \text{ MBq}^{-1} \text{ m}^2\text{)} = 0,31 \cdot 10^{-12} \text{ (Gy h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^2\text{)}$
de bronsterkte is

$$A = \dot{K} \times r^2 / k = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ (Gy h}^{-1}\text{)} \times 4,00^2 \text{ (m}^2\text{)} / 0,31 \cdot 10^{-12} \text{ (Gy h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^2\text{)}$$

$$= 1,04 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Met het fictieve antwoord voor het luchtkermaptempo ($2 \cdot 10^{-4} \text{ Gy h}^{-1}$) wordt
 $A = 1,03 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Vraag 5

$$\mu d = 0,06 \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)} \times 400 \text{ (cm)} \times 1,293 \cdot 10^{-3} \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = 0,031$$

$$\text{absorptie in lucht} = 1 - e^{-\mu d} = 1 - 0,97 = 0,03 = 3\%$$

Dit zou het verschil kunnen verklaren: het is ongeveer gelijk aan het relatieve verschil tussen nominale en gemeten activiteit: $(1,06 - 1,04) / 1,06 = 0,02 = 2\%$.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
1	3
2	3
3	5
4	2
5	4
Totaal	17