

Uitwerkingen

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

14 december 2009

Vraagstuk 1 Skeletscintigrafie met ^{99m}Tc

Vraag 1

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t} = 565,59 e^{-(\ln 2/6,0) \times 0,75} = 0,52 \text{ GBq (518,65 MBq)}.$$

Vraag 2

$$E(50) = A \times e(50) = 518,65 \cdot 10^6 \text{ (Bq)} \times 8,0 \cdot 10^{-12} \text{ (Sv/Bq)} = 4,1 \text{ mSv}.$$

Vraag 3

Het gemeten exposietempo bedraagt 4,0 mR/h; dit correspondeert met een luchtkerमतempo van $4,0 \text{ (mR/h)} \times 8,8 \text{ (mGy/R)} = 35 \text{ } \mu\text{Gy/h}$.

$$\dot{H}^*(10) = 1,5 \times \dot{K} = 53 \text{ } \mu\text{Sv/h}.$$

Vraag 4a

$$A(1 \text{ uur}) = 565,59 e^{-(\ln 2/6,0) \times 1,00} = 0,50 \text{ GBq (503,88 MBq)}.$$

Absorptie van straling in weefsel mag worden verwaarloosd.

$$\dot{H}^*(10) = \frac{h \cdot A}{r^2} = \frac{0,023 \times 503,88}{0,30^2} = 1,3 \cdot 10^2 \text{ } \mu\text{Sv/h}.$$

Vraag 4b

$$a = A(1 \text{ uur}) / 1,70 \text{ (m)} = 0,30 \text{ GBq/m (296 MBq/m)}.$$

De fractie van de straling die door het lichaam als geheel wordt geabsorbeerd is:

$$AF = \text{SAF} \times m = 5 \cdot 10^{-6} \text{ (g}^{-1}\text{)} \times 70.000 \text{ (g)} = 0,35 \text{ en dus draagt een fractie } [1 - 0,35] \text{ van de activiteit bij aan het dosisequivalenttempo op 0,3 m van het lichaam:}$$

$$\dot{H}^*(10) = [3,14 \times 0,023 \times 296 / 0,30] \times [1 - 0,35] = 5 \cdot 10^1 \text{ } \mu\text{Sv/h}$$

$$(46 \text{ } \mu\text{Sv/h}).$$

P.S. Een correcte berekening met een eindige lijnbron zou leiden tot $36 \text{ } \mu\text{Sv/h}$.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1	3
2	2
3	3
4a	3
4b	5
Totaal	16

Vraagstuk 2 Meting aan afvalwater

Vraag 1

Aflezen uit grafiek: fotopiekrendement is 0,037

Uit handboek radionucliden: $y = 0,812$

Totale rendement is $0,037 \times 0,812 = 0,030$ cps/Bq

Netto teltempo = $(8291 - 359)/(5 \times 60) = 26,4$ cps

Activiteit = $26,4 \text{ cps} / 0,030 \text{ cps/Bq} = 8,8 \cdot 10^2 \text{ Bq}$

Vraag 2

Activiteitsconcentratie was $880 \text{ Bq}/2 \text{ liter} = 440 \text{ Bq/l}$

Totale volume (inclusief monster) was 1345 liter

Totale activiteit was $592 \cdot 10^3 \text{ Bq}$

Er is 47 uur verstreken, correctie voor verval nodig:

$A_t = A_0 (1/2)^{t/t_{1/2}} = 592 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot (1/2)^{47/(8,02 \cdot 24)} = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Bq}$

Vraag 3

Uit handboek radionucliden: $1 \text{ Re}_{\text{ing, burgers}} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

Correctiefactor CR = 0,1

De lozing is dus $0,1 \times 5,0 \cdot 10^5 \text{ Bq} / 4,5 \cdot 10^7 \text{ Bq/Re} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Re}$

Vraag 4

$3\sigma = 3 \sqrt{R_{\text{achtergrond}}/t} = 3 \sqrt{[(359/(5 \times 60)) / (5 \times 60)]} = 3 \times 0,0632 = 0,189 \text{ cps}$

$A_{\text{min}} = R/\varepsilon = 0,189 \text{ cps}/0,03 \text{ cps/Bq} = 6,3 \text{ Bq}$

Bij een monstervolume van 2 liter is dit $6,3 \text{ Bq}/2 \text{ l} = 3,2 \text{ Bq/l}$

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
1	4
2	4
3	3
4	5
Totaal	16

Vraagstuk 3 Inhalatie van splijtingsproducten

Vraag 1

De inwendige besmetting via inhalatie betreft een blootgestelde werker, daarom wordt gerekend met een AMAD-waarde van $5 \mu\text{m}$. In de neus bevindt zich $1,9 \text{ kBq}$, dit is $33,9 \%$ (depositiefractie in ET_1 , $\text{AMAD} = 5 \mu\text{m}$), 100% is dan $5,6 \text{ kBq}$.

$$e_{50,\text{inh}} = 3,0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

$$E_{50} = 3,0 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} \cdot 5,6 \text{ kBq} = 1,7 \times 10^{-4} \text{ Sv} = 0,17 \text{ mSv. (Type F, Handboek Radionucliden)}$$

Vraag 2

Met de TLT wordt na 2 dagen $50 \text{ kBq } ^{137}\text{Cs}$ gevonden. Volgens het Handboek radionucliden is dit gelijk aan 51% . De ingenomen activiteit is 98 kBq .

$$E_{50} = 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq} \times 98 \cdot 10^3 \text{ Bq} = 6,6 \times 10^{-4} \text{ Sv} = 0,66 \text{ mSv.}$$

Vraag 3

Oxiden van ^{90}Sr behoren volgens het Handboek Radionucliden tot de F-klasse. Urine-analyse geeft dat het urine-uitscheidingsstempo bij 7 dagen $6,30 \times 10^{-3} \text{ Bq} \cdot \text{d}^{-1}$ per Bq inname is.

$$\text{Aantal Bq inname is geweest: } \frac{7,1 \text{ Bq}}{6,3 \times 10^{-3} \text{ Bq} \cdot \text{d}^{-1} \text{ per Bq inname}} = 1127 \text{ Bq} = 1,1 \text{ kBq}$$

$$E_{50} = 3,0 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq} \times 1,1 \cdot 10^3 \text{ Bq} = 3,3 \times 10^{-5} \text{ Sv} = 33 \mu\text{Sv}$$

Vraag 4a

Het urine-uitscheidingsstempo van longzuiveringsklasse M en $\text{AMAD} = 5 \mu\text{m}$ is na 7 dagen $1,4 \times 10^{-3} \text{ Bq}$ per Bq inname; $e_{50, \text{inh, werker}} = 2,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ (zie tabel 2).

$$E_{50} = 2,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} \times 7,1 \text{ Bq} / 1,4 \times 10^{-3} \text{ Bq per Bq inname} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ Sv} = 0,12 \text{ mSv.}$$

Vraag 4b

Longzuiveringsklasse M en een deeltjesgrootte van $\text{AMAD} = 5 \mu\text{m}$ geven als resultaat een inname, die het dichtst bij de resultaten van de analyse van het neussnuitsel liggen.

Berekening van de intake van de ^{90}Sr -activiteit vanuit het neussnuitsel geeft $5,6 \text{ kBq}$ en berekening vanuit het urine-uitscheidingsstempo geeft een intake van $5,1 \text{ kBq}$.

Vraag 4c

Effectieve volgdozis ten gevolge van inwendige besmetting met ^{137}Cs : $0,66 \text{ mSv}$.

Effectieve volgdozis ten gevolge van inwendige besmetting met ^{90}Sr : $0,17 \text{ mSv}$ (meest ongunstige waarde).

De totale effectieve volgdozis bedraagt: $0,83 \text{ mSv}$. Uitwendige bestraling is niet aan de orde. Er worden dus geen dosislimieten overschreden, noch stochastisch (= 20 mSv voor blootgestelde werknemers) noch deterministisch (handen/voeten, huid, oogleden worden niet bestraald).

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
1	4
2	3
3	3
4a	3
4b	2
4c	2
Totaal	17

Vraagstuk 4 Afscherming van een Van de Graaff-generator

Vraag 1

Aflezings van figuur 2 bij een versnelspanning van 6 MV levert:

$$\dot{K} = 0,13 \text{ mGy/s op 1 m bij } I = 1 \text{ } \mu\text{A.}$$

Het omgevingsdosisequivalent per jaar ten gevolge van de directe straling op 1 m afstand is dan:

$$\begin{aligned} H^*(10) &= 0,13 \cdot 10^{-3} \text{ Gy s}^{-1} \mu\text{A}^{-1} \times 1,15 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 1000 \mu\text{A} \times 3600 \text{ s h}^{-1} \times 4000 \text{ h jaar}^{-1} \\ &= 2,15 \cdot 10^6 \text{ Sv/jaar} \end{aligned}$$

Vraag 2

Onafgeschermd zou het omgevingsdosisequivalent t.g.v. de directe straling in punt A zijn:

$$H^*(10)_A = \frac{2,15 \cdot 10^6}{4^2} = 1,34 \cdot 10^5 \text{ Sv}$$

De totaal benodigde transmissie is dan:

$$T = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}}{1,34 \cdot 10^5 \text{ Sv}} = 7,4 \cdot 10^{-9}$$

Uit figuur 3 volgt dat de transmissie door 25 cm lood $1,1 \cdot 10^{-5}$ bedraagt, zodat de transmissie van de betonnen muur moet zijn:

$$T = \frac{7,4 \cdot 10^{-9}}{1,1 \cdot 10^{-5}} = 6,8 \cdot 10^{-4}$$

Uit figuur 4 volgt dan een muurdikte van 110 cm beton.

Vraag 3

a. Analytische oplossingsmethode

Onafgeschermd zou het omgevingsdosisequivalent t.g.v. de directe straling in punt B zijn:

$$H^*(10)_B = \frac{2,15 \cdot 10^6}{(4+x)^2}$$

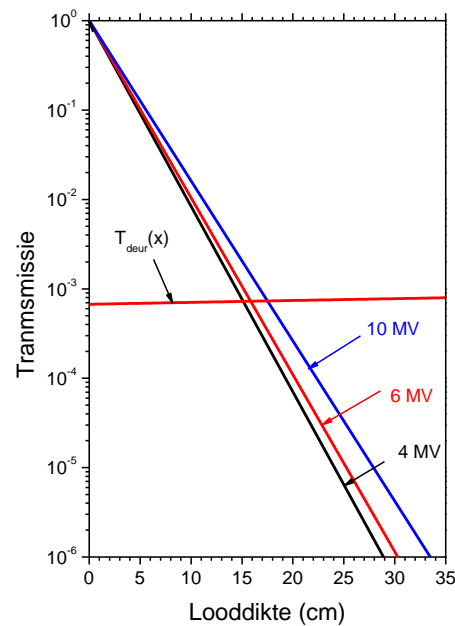
De totaal benodigde transmissie is dan:

$$T_{\text{totaal}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv/jaar}}{2,15 \cdot 10^6 \text{ Sv/jaar}} (4+x)^2$$

Het lood van de box neemt hiervan al $1,1 \cdot 10^{-5}$ voor zijn rekening zodat voor de transmissie door de deur moet gelden:

$$T_{\text{deur}}(x) = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2,15 \cdot 10^6} (4+x)^2 \frac{1}{1,1 \cdot 10^{-5}} = 4,2 \cdot 10^{-5} (4+x)^2$$

We vinden x door de functie $T_{\text{deur}}(x)$ in figuur 3 te tekenen waarbij x in meters moet worden uitgedrukt. Het snijpunt van $T_{\text{deur}}(x)$ en $T_{\text{lood}}(x)$ levert de gevraagde looddikte: $x = 16 \text{ cm}$



b. *Trial and error* methode

We schatten de looddikte op grond van de transmissie door het beton: $T_{\text{beton}} = 6,8 \cdot 10^{-4}$ (zie vraag 2). Volgens figuur 3 heb je hier 16 cm lood voor nodig. De vraag is nu of de positie van punt B nog een effect heeft. Het punt B ligt dus op $4 + 0,16 = 4,16$ m van de trefplaat. Onafgeschermd zou het omgevingsdosisequivalent t.g.v. de directe straling in punt B zijn:

$$H^*(10)_B = \frac{2,15 \cdot 10^6}{(4 + 0,16)^2} = 1,24 \cdot 10^5$$

De totaal benodigde transmissie is dan:

$$T_{\text{totaal}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv/jaar}}{1,24 \cdot 10^5 \text{ Sv/jaar}} = 8,06 \cdot 10^{-9}$$

Het lood van de box neemt hiervan al $1,1 \cdot 10^{-5}$ voor zijn rekening zodat voor de transmissie door de loden deur moet gelden:

$$T_{\text{deur}}(x) = \frac{8,06 \cdot 10^{-9}}{1,1 \cdot 10^{-5}} = 7,3 \cdot 10^{-4}$$

Dit is bijna hetzelfde als de $T_{\text{beton}} = 6,8 \cdot 10^{-4}$ waar we vanuit zijn gegaan en levert dus ook een looddikte van 16 cm op. Als we uitgaan van een dikte van 10 of 20 cm is de uitkomst nauwelijks anders. Dit betekent dat de iets grotere afstand ten opzichte van de trefplaat (punt B i.p.v. punt A) nauwelijks invloed heeft op het antwoord. De eerste schatting op grond van de transmissie door het beton is dus gerechtvaardigd.

Vraag 4

Het omgevingsdosisequivalent op de muur in punt M bij een 8 h lange bestraling bedraagt:

$$H^*(10)_M = \frac{2,15 \cdot 10^6 \text{ Sv/jaar}}{2,8^2} \times \frac{8 \text{ h}}{4000 \text{ h/jaar}} = 5,48 \cdot 10^2 \text{ Sv}$$

Onafgeschermd zou het omgevingsdosisequivalent in het punt C bedragen:

$$H^*(10)_C = 5,48 \cdot 10^2 \text{ Sv} \times 0,0009 \cdot 10^{-2} \times \frac{1}{4^2} \times \frac{300 \text{ cm} \times 200 \text{ cm}}{100 \text{ cm}^2} = 0,19 \text{ Sv}$$

waarbij de verstrooide fractie 0,0009 is afgelezen in figuur 5 voor 6 MV (linker Y-as).

De transmissie van de muur bij C voor onder 90 graden verstrooide straling (figuur 6) is

$$T_{110 \text{ cm}} = T_{70 \text{ cm}} \times T_{40 \text{ cm}} = 1 \cdot 10^{-4} \times 6 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-7}$$

zodat

$$H^*(10)_C = 0,19 \text{ Sv} \times 6 \cdot 10^{-7} = 0,11 \mu\text{Sv}$$

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
1	4
2	4
3	5
4	5
Totaal	18