

Uitwerkingen examen niveau 3, 11 mei 2009

Vraagstuk 1 Afscherming ^{60}Co -bestralingsfaciliteit

Vraag 1

De omgevingsdosisequivalenttempoconstante $h(10) = 0,36 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

$$\overset{\circ}{H}^*(10) = h(10) \cdot \frac{A}{r^2} \cdot T \Rightarrow$$

$$\overset{\circ}{H}^*(10) = \frac{0,36 [\mu\text{Sv m}^{-2} \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}] \times 3,7 \cdot 10^6 [\text{MBq}]}{1 [\text{m}]^2} \times T = 1,0 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

Hieruit volgt $T = 7,5 \times 10^{-7}$. Uit **Figuur 2** volgt de benodigde dikte uranium: $d = 14 \text{ cm}$ (afgerond naar boven).

Vraag 2

Onafgeschermd op 4 m bedraagt het omgevingsdosisequivalenttempo:

$$\overset{\circ}{H}^*(10) = \frac{0,36 [\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}] \times 3,7 \cdot 10^6 [\text{Bq}]}{4^2 [\text{m}]^2} = 8,3 \cdot 10^4 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

De bestralingstijd is 2 uur per week. Hiervan is de persoon 0,25 van de tijd in de bundel, dus de blootstellingstijd is 0,5 uur per week. Maximaal toelaatbaar is $5 \mu\text{Sv}$ per week. Dit geeft als maximaal toelaatbaar omgevingsdosisequivalenttempo $5 \mu\text{Sv week}^{-1} / 0,5 \text{ h week}^{-1} = 10 \mu\text{Sv h}^{-1}$.

Benodigde transmissie: $10 \mu\text{Sv h}^{-1} / 8,3 \times 10^4 \mu\text{Sv h}^{-1} = 1,2 \times 10^{-4}$. Uit **Figuur 3** volgt dat hiervoor 92 cm beton nodig is. Dus de additioneel aan te brengen afscherming bedraagt: $92 \text{ [cm]} - 30 \text{ [cm]} = 62 \text{ cm beton}$.

Vraag 3

$\overset{\circ}{H}^*(10)$ onafgeschermd op 1 m bedraagt:

$$\overset{\circ}{H}^*(10) = \frac{0,36 [\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}] \times 3,7 \cdot 10^6 [\text{Bq}]}{1^2 [\text{m}]^2} = 1,33 \cdot 10^6 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

Afstand tot de binnenzijde betonafscherming: $4,00 \text{ m} - \text{totale betondikte} = 4,0 \text{ [m]} - 0,92 \text{ [m]} = 3,1 \text{ m}$

$$\overset{\circ}{H}^*(10) \text{ op } 3,1 \text{ m} = 1,33 \times 10^6 / 3,1^2 = 1,4 \times 10^5 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

$$\text{Bundeldoorsnede op } 3,1 \text{ m} = 100 \text{ cm}^2 \times 3,1^2 = 9,6 \times 10^2 \text{ cm}^2$$

Verstrooide straling op 1 m van het verstrooiingscentrum:

$$\overset{\circ}{H}^*(10) = 1,4 \times 10^5 \mu\text{Sv h}^{-1} \times 2 \cdot 10^{-5} \times 960 \text{ cm}^2 / 100 \text{ cm}^2 = 26,9 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

Op 3 m wordt dit $\overset{\circ}{H}^*(10) = 26,9 / 3^2 = 3 \mu\text{Sv h}^{-1}$.

De eis is $\overset{\circ}{H}^*(10) < 10 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Dus zonder muur wordt reeds aan de eis voldaan.

[Uit **Figuur 3** leest men af dat de wand/het plafond van 30 cm dikte nog een extra verzwakking geeft van een factor $3,5 \cdot 10^{-2}$]

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1	4
2	5
3	6
Totaal	15

Vraagstuk 2 Vervoer van ^{13}N **Vraag 1**

Gebruikmakend van de MIRD-gegevens in **Figuur 1**:

$$h(10) \approx \frac{1}{6} \sum_i y_i \times E_i = \frac{1}{6} \times 1,02 = 0,17 \mu\text{Sv/h per MBq op 1 m.}$$

Vraag 2

Het preparaat wordt in niet-speciale (normale) toestand vervoerd: de A2-waarde is bepalend. De activiteit bedraagt 4 GBq, hetgeen $4 / 600 = 0,007$ maal de A2-waarde. Indien de activiteit groter dan 0,001 keer de A2-waarde, maar kleiner dan de A1-waarde is, dient het preparaat in een type-A-verpakking te worden vervoerd.

Vraag 3

Op oppervlak ($r = 0,2$ m): dosistempo < 2 mSv/h.

$$\dot{H}^*(10) = \frac{hA}{r^2} = \frac{0,17 \times 4000}{0,2^2} = 17 \text{ mSv/h} \Rightarrow \text{benodigde transmissie: } 2/17 = 0,12$$

Op 1 m van het oppervlak ($r = 1,2$ m): dosistempo $< 0,1$ mSv/h.

$$\dot{H}^*(10) = \frac{hA}{r^2} = \frac{0,17 \times 4000}{1,2^2} = 0,47 \text{ mSv/h} \Rightarrow \text{benodigde transmissie: } 0,1/0,47 = 0,21$$

Dosistempo op het oppervlak is dus bepalend.

Halveringsdikte lood bedraagt 6 mm = 0,6 cm.

$$B = 1,6$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{d/0,6} \times 1,6 = 0,12 \Rightarrow \ln 2 \cdot d / 0,6 = 2,6 \Rightarrow d = 2,2 \text{ cm.}$$

Afgerond volstaat 3 cm lood.

Vraag 4

$$T = \left(\frac{1}{2}\right)^{3/0,6} \times 1,6 = 0,050$$

$$\dot{H}^*(10) = \frac{hAT}{r^2} = \frac{0,17 \times 4000 \times 0,050}{2,0^2} = 8,5 \mu\text{Sv/h}$$

Dit is minder dan 20 $\mu\text{Sv/h}$.

Vraag 5

$$A(7,5 \text{ min}) = A(0) \times \exp(-\ln 2 \times t/T_{1/2}) = 4 \times \exp(-0,69 \times 7,5/10) = 2,4 \text{ GBq.}$$

$$H^*(10) = \frac{hAT}{r^2} \times t = \frac{0,17 \times 2,4 \cdot 10^3 \times 0,050}{2,0^2} \times (12 \times 0,25) = 15 \mu\text{Sv}$$

Dit wordt als een goede schatter voor de effectieve dosis beschouwd. Een exacte berekening (integraal over de tijdsduur van het transport) levert ca. 1,5 μSv meer op.

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 3 jodium-131 in een B-laboratorium

Vraag 1

p = onbekend; $q = 3$ (B-lab); $r = 0$ (op tafel)

$e_{50,\text{inh}}(w) = 1,1 \cdot 10^{-8}$ (overige verbinding, klasse F)

$A = 1 \text{ GBq}$

$$X = A \cdot e_{50,\text{inh}} = 1 \cdot 10^9 \cdot 1,1 \cdot 10^{-8} = 11 \text{ Re}$$

$$X_{\text{max}} = 0,02 \cdot 10^{p+q+r} \geq 11 \text{ Re}$$

$$0,02 \cdot 10^{p+3+0} \geq 11 \text{ Re}$$

$$p \geq -3 + \log\left(\frac{11}{0,02}\right)$$

$$p \geq -0,3$$

1 GBq is voor geen enkele handeling toegestaan.

Vraag 2

$$\lambda_v = 8 \text{ h}^{-1} \rightarrow T_{1/2,v} = \frac{\ln 2 \times 60}{8} = 5,2 \text{ min (fysisch verval te verwaarlozen)}$$

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda_v t}$$

$$A(0) = \frac{1 \cdot 10^9 \text{ Bq}}{15 \times 10 \times 3 \text{ m}^3} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Bq / m}^3$$

$$A_{\text{inhalatie}} = 1,2 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 2,2 \cdot 10^6 \text{ (Bq / m}^3) \times \int_0^2 e^{-\lambda_v t} dt = 1,2 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 2,2 \cdot 10^6 \text{ (Bq / m}^3) / 8 \text{ (h}^{-1})$$

$$= 3,3 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

$$E_{50} = A_{\text{inhalatie}} \times e(50) = 3,3 \cdot 10^5 \text{ (Bq)} \times 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ (Sv / Bq)} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 6,6 \text{ mSv}$$

Vraag 3

$$E(50) = e_{50} \cdot A_{\text{inh}} = 10 \text{ } \mu\text{Sv}$$

$$A_{\text{inh}} = 10 \text{ } \mu\text{Sv} / 2,0 \cdot 10^{-8} = 500 \text{ Bq}$$

schildkliertelling: $A/A_{\text{in}} = 0,11$ (I_2 -inhalatie) na 6 uur (0,25 d)

$$A_{\text{schildklier}} = A_{\text{inh}} \times 0,11 = 500 \text{ Bq} \times 0,11 = 55 \text{ Bq}$$

Vraag 4a

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{int}} \times \varepsilon_{\text{geo}} = 0,23 \times \frac{\pi \left(\frac{4,97 \text{ cm}}{2} \right)^2}{4 \pi (50 \text{ cm})^2} = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ cps / Bq}$$

Vraag 4b

twee standaarddeviaties $\rightarrow k = 2$

$$A_{\text{min}} = \frac{2}{\varepsilon} \sqrt{\frac{R_a}{t}}$$

$$55 = \frac{2}{1,42 \cdot 10^{-4}} \sqrt{\frac{7}{600 \text{ s}} \frac{1}{t}}$$

$$t = 765 \text{ sec} = 13 \text{ min}$$

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 4 Besmetting van levensmiddelen

Vraag 1

Jaarlimiet (effectieve dosis) voor het publiek = 1 mSv.

Dosisconversiecoëfficiënt voor Cs-137: $e(50)_{\text{ing}} = 1,3 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq.

Binnengekregen activiteit bij $E(50) = 1$ mSv is: $0,001$ [Sv] / $1,3 \cdot 10^{-8}$ [Sv/Bq] = $7,7 \cdot 10^4$ Bq.

Maximaal toelaatbaar niveau voor Cs-137 in zuivelproducten is 1000 Bq/kg, dus bij consumptie van $7,7 \cdot 10^4$ [Bq] / 1000 [Bq/kg] = 77 kg maximaal besmette zuivel wordt deze volgdosis verkregen.

De dichtheid van melk is bij benadering 1 kg/L, dus 77 L besmette melk moet worden gedronken.

Vraag 2

(het fysisch verval is vrijwel verwaarloosbaar ten opzichte van het biologisch verval).

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{fysisch}} + \lambda_{\text{biologisch}} = 7,26 \cdot 10^{-10} [\text{s}^{-1}] + (\ln 2 / (110 [\text{d}] \times 24 [\text{h/d}] \times 3600 [\text{s/d}])) = 7,26 \cdot 10^{-10} [\text{s}^{-1}] + 7,29 \cdot 10^{-8} [\text{s}^{-1}] = 7,37 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}.$$

$$T_{1/2, \text{eff}} = \ln 2 / 7,37 \cdot 10^{-8} [\text{s}^{-1}] = 9,41 \cdot 10^6 \text{ s} = 109 \text{ dagen}.$$

Vraag 3

De activiteit in het lichaam wordt bepaald door een continu opnametempo \dot{P} en het effectief verval volgens de beschrijving:

$$A(t) = \frac{\dot{P}}{\lambda_{\text{eff}}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{\text{eff}} \cdot t})$$

Invullen van de bekende gegevens (λ_{eff} omgerekend naar d^{-1}) geeft:

$$9,0 \cdot 10^3 [\text{Bq}] = \frac{\dot{P}}{6,4 \cdot 10^{-3} [\text{d}^{-1}]} \cdot (1 - e^{-6,4 \cdot 10^{-3} [\text{d}^{-1}] \cdot 60 [\text{d}]})$$

$$9,0 \cdot 10^3 [\text{Bq}] = \dot{P} \times 50 [\text{d}]$$

$$\dot{P} = 180 \text{ Bq/d}$$

Vraag 4

Het opnametempo bedroeg 180 Bq/dag voor het langzame compartiment. Dit omvat 90% van de binnengekregen activiteit. Die moet dus 200 Bq/dag hebben bedragen.

Per dag werd 0,8 L melk geconsumeerd, waarmee de activiteitsconcentratie uitkomt op $200 \text{ Bq} / 0,8 \text{ L} = 250 \text{ Bq/L}$.

Aangezien de dichtheid bij benadering 1 kg/L is, is de massieke activiteit van de besmette melk 250 Bq/kg (dus 1/4 van het maximaal toelaatbare).

Vraag 5

De man heeft 60 dagen besmette melk gedronken en daarmee 60 maal 200 Bq binnengekregen. De totaal binnengekregen activiteit is daarmee 12.000 Bq.

$$E(50) = e(50)_{\text{ing}} \cdot A_{\text{in}} = 1,3 \cdot 10^{-8} [\text{Sv/Bq}] \times 1,2 \cdot 10^4 [\text{Bq}] = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 0,16 \text{ mSv.}$$

Puntenwaardering:

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