

UITWERKINGEN

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC
TU Eindhoven	TU/e

Examendatum: 14 mei 2018

Vraagstuk 1 Afscherming ^{166}Ho

Vraag 1.1 (3 punten)

Hoe dik dient de wand van de perspexcontainer minimaal te zijn om alle bètastraling af te schermen?

De hoogst energetische bètacomponent (bèta-7) heeft een gemiddelde energie van 0,693 MeV. De maximale energie bedraagt dus: $3 \times 0,693 = 2,08$ MeV.

Volgens de vuistregel (Bos e.a. blz. 52) is de maximale dracht:

$$R_{\rho} = 0,5 E = 1,04 \text{ g/cm}^2$$

$$\text{Dracht is: } D = R_{\rho}/\rho \text{ cm} = 1,04/1,19 = 0,87 \text{ cm}$$

of

Volgens de Regel van Feather (Bos e.a. blz. 51) is de maximale dracht:

$$R_{\rho} = 0,542 E - 0,133 = 0,99 \text{ g/cm}^2$$

$$\text{Dracht is: } D = R_{\rho}/\rho \text{ cm} = 0,99 /1,19 = 0,84 \text{ cm}$$

(opzoeken hoogste bèta = 1 punt, uitrekenen E_{max} = 1 punt en uitrekenen dracht = 1 punt)

Vraag 1.2 (5 punten)

Bereken het omgevingsdosisequivalenttempo voor een 14 GBq ^{166}Ho -bron in de perspexcontainer op 15 centimeter afstand. Omdat er geen bronconstanten beschikbaar zijn, dient u eerst de luchtkermatempoconstante voor ^{166}Ho uit te rekenen.

$$\Gamma_{\delta} = 45,9 \cdot \sum y_i \cdot E_i \cdot (\mu_{\text{tr}}/\rho)_{i,\text{lucht}}$$

$$\sum y_i \cdot E_i \cdot (\mu_{\text{tr}}/\rho)_{i,\text{lucht}} = (4,2 \cdot 10^{-3} \times 0,00406) + (5,4 \cdot 10^{-3} \times 0,00243) + (18 \cdot 10^{-3} \times 0,00256) = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ MeV} \cdot (\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Gamma_{\delta} = 45,9 \times 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ MeV} \cdot (\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} = 0,0035 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$$

Via de vuistregel wordt ook goedgekeurd:

$$\Gamma = 1/8E$$

Met waarden uit geclusterde energieën:

$$\Sigma y \cdot E = (4,2 \cdot 10^{-3} + 5,41 \cdot 10^{-3} + 18 \cdot 10^{-3}) = 0,028 \text{ MeV} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Gamma = 0,028 \text{ MeV} \cdot \text{s}^{-1} / 8 = 0,0035 \text{ } \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$$

Of

$$\text{Met waarde uit verval schema: } \Sigma y \cdot E = 0,0301 \text{ MeV} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Gamma = 0,0301 \text{ MeV} \cdot \text{s}^{-1} / 8 = 0,0038 \text{ } \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$$

$$\dot{K} = 0,0035 \text{ } \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h} \times 14 \cdot 10^3 \text{ MBq} / (0,15)^2 = 2177 \text{ } \mu\text{Gy} / \text{h} = 2,2 \text{ mGy} / \text{h}$$

$$\dot{H}^*(10) = 2177 \text{ } \mu\text{Gy} / \text{h} \times 1,2 = 2613,4 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{h} = 2,6 \text{ mSv} / \text{h}$$

Vraag 1.3 (3 punten)

Verifieer dat het transport van de ¹⁶⁶Ho-bron van 14 GBq in een type A collo mag plaatsvinden. Bepaal vervolgens met behulp van de categorie-indeling van transportverpakkingen of, en zo ja in welke categorie, de bron met alleen de perspexcontainer in het collo mag worden getransporteerd.

Type A collo, want $A < A_2$ en $A > 0,001 \times A_2$ (1 punt)

$$\dot{H}^*(10)_{\text{opp}} = 2613 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{h} > 2000 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{h} \quad (1 \text{ punt})$$

Het omgevingsdosistempo is te hoog voor de gegeven categorieën. De activiteit mag niet op deze manier worden vervoerd. (conclusie categorie = 1 punt)

NB. Berekening voor 1 meter van oppervlak geeft:

$2613 \cdot (0,15/1,15)^2 = 44 \text{ } \mu\text{Sv} / \text{h}$, op basis hiervan III-geel, maar op basis van oppervlakedosistempo straalt het teveel.

Vraag 1.4 (5 punten)

Wat is de minimaal benodigde dikte (in hele mm's) van de loodomhulling indien u het transport in categorie II-GEEL wil laten plaatsvinden? En wat wordt in dat geval de transportindex?

Bij afscherming speelt alleen cluster 3 (1,5 MeV) een rol. Eerst omgevingsdosistempo uitrekenen als gevolg van cluster 3:

$$y_i \cdot E_i \cdot \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_i = 18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00256 = 4,6 \cdot 10^{-5}$$

$$\Gamma = 45,9 \cdot 4,6 \cdot 10^{-5} = 0,0021 \rightarrow \dot{K} = 0,0021 \cdot \left(\frac{14 \cdot 10^3}{0,15^2}\right) = 1,3 \cdot 10^3 \mu Gy/h = 1,3 mGy/h$$

$$\rightarrow \dot{H}^*(10) = 1,3 \cdot 10^3 \frac{\mu Gy}{h} \cdot 1,2 = 1,579 \frac{mSv}{h} = 1,6 \frac{mSv}{h}$$

categorie II-GEEL collo: 5 μSv/h < $\dot{H}^(10)_{opp}$ < 500 μSv/h*

$$\mu/\rho \text{ (lood, 1,5 MeV)} = 0,0518 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\rho_{lood} = 11,34 \text{ g/cm}^3$$

$$\rightarrow \mu = 0,587 \text{ cm}^{-1}$$

$$\rightarrow T = \frac{0,5}{1,6} = 0,32 = 1,6 \cdot e^{-0,587 \cdot d}$$

$$\frac{\ln\left(\frac{0,316}{1,6}\right)}{-0,587} = 2,76 \text{ cm} = 28 \text{ mm}$$

$$\dot{H}^*(10)_{(op 1 m van opp met 28 mm lood)} =$$

$$1579 \mu Sv/h \times (0,15/1,15)^2 \times 0,32 = 8,49 \mu Sv/h = 8,5 \mu Sv/h$$

$$TI = 0,9$$

Berekenen met omgevingsdosistempo van vraag 1.2 (alle fotonenstraling) geeft 1 punt aftrek, tenzij duidelijk vermeld dat de reden is om conservatief te zijn.

De volgende berekening is dan van toepassing:

$$\dot{H}_{opp} = 2613 \mu Sv/h$$

$$T = 500 \mu Sv/h / 2613 \mu Sv/h = 0,19$$

$$T = B \cdot e^{-\mu d} = 0,19$$

$$0,15 = 1,6 \cdot e^{(-0,587 \times d)} \rightarrow d = 4,1 \text{ cm} = 41 \text{ mm lood.}$$

$$\frac{\ln\left(\frac{0,19}{1,6}\right)}{-0,587} = 3,61 \text{ cm} = 37 \text{ mm}$$

$$\dot{H}^*(10)_{(op 1 m van opp met 37 mm lood)} =$$

$$2613 \mu Sv/h \times (0,15/1,15)^2 \times 0,19 = 8,4 \mu Sv/h$$

$$TI = 0,9$$

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	3
1.2	5
1.3	3
1.4	5
Totaal	16

Vraagstuk 2: Stroostraling via het plafond

Vraag 2.1 (3 punten)

Bereken het kermatempo in punt A als gevolg van de directe 511-keV-fotonen uit bron B.

Transmissie voor brede bundel 511-keV-fotonen in 8 mm lood is 0,3362

$$\dot{K} = \frac{0,135 [\mu\text{Gy}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2] \times 200 [\text{MBq}]}{4,0^2[\text{m}^2]} \times 0,3362 = 0,567 \mu\text{Gy/uur}$$

$$= 0,57 \mu\text{Gy/uur}$$

Vraag 2.2 (4 punten)

Bereken het kermatempo in punt A als gevolg van de door het plafond verstrooide straling.

Uit figuur Verstrooiingsfractie van kerma, 100 – 300 kV, 90 graden: 0,017% op 1 meter afstand (waarden van 0,016 tot 0,018 goed rekenen)

Kermatempo op 2,8 meter van de bron is

$$K = \frac{0,135 [\mu\text{Gy}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2] \times 200 [\text{MBq}]}{2,8^2[\text{m}^2]} = 3,44 \mu\text{Gy/uur}$$

Verstrooide fractie is

$$0,017\%/100\% \times 10 \times 10000 [\text{cm}^2/\text{m}^2]/100 [\text{cm}^2] = 0,17 \text{ op 1 meter}$$

Het kermatempo in punt A is:

$$3,44 [\mu\text{Gy/uur}] \times (1/2,8)^2 \times 0,17 = 0,075 \mu\text{Gy/uur}$$

Vraag 2.3 (3 punten)

Ga met een berekening na of deze vuistregel bruikbaar is voor deze situatie en beargumenteer of dit een onder- of overschatting van het risico geeft.

"Wanneer, bij 511-keV-straling van PET-nucliden, de muur 8 mm lood bevat veroorzaakt de stroostraling minder dan 15% van de totale dosis in de naastgelegen ruimte."

Uit vraag 1: het kermatempo in punt A als gevolg van de directe 511-keV-straling is 0,567 $\mu\text{Gy/uur}$

Uit vraag 2: het kermatempo in punt A als gevolg van de verstrooide straling is 0,075 $\mu\text{Gy}/\text{uur}$

Totale dosis is dan: $0,567 [\mu\text{Gy}/\text{uur}] + 0,075 [\mu\text{Gy}/\text{uur}] = 0,642 \mu\text{Gy}/\text{uur}$
 $0,075 [\mu\text{Gy}/\text{uur}] / 0,642 [\mu\text{Gy}/\text{uur}] = 0,117 = 12\%$.

Dit is minder dan 15% dus de vuistregel klopt.

Als 15% zou worden gebruikt voor een berekening geeft de vuistregel een overschatting. (de overschatting is niet groot, maar dat is subjectief)

Vraag 2.4 (4 punten)

Beredeneer welk van de twee opties de grootste reductie geeft van het kermatempo in de naastliggende ruimte.

Als de muur 2x zo hoog wordt, moet de transmissie van 0,3362 vermenigvuldigd worden met het antwoord van vraag 2.

$$0,075 \times 0,3362 = 0,025 \mu\text{Gy}/\text{uur} \quad (1 \text{ punt})$$

$$(0,025 + 0,567) / 0,642 = 0,92$$

Dus reductie van slechts 8% (1 punt)

De muur dubbel zo dik maken levert een muur van 16 mm looddikte op, met een transmissie van 0,099 in plaats van 0,3362. (1 punt)

Dit reduceert het kermatempo met een factor 3 en is dus veel effectiever dan de afscherming tot aan het plafond aan brengen. (1 punt)

N.B. doordat de stroostraling onder een hoek van 45 graden door de loodwand gaat is de dikte van het lood effectief 11,3 mm, waardoor nog meer stroostraling wordt tegengehouden en de reductie kleiner is dan 5%. Dit gegeven is niet nodig om het antwoord te geven en levert geen extra punten of aftrek op.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	3
2.2	4
2.3	3
2.4	4
Totaal	14

Vraagstuk 3: Jodiumprofylaxe

Vraag 3.1 (2 punten)

Bepaal de effectieve halveringstijd voor ^{131}I in de schildklier.

$$\lambda_{eff} = \lambda_f + \lambda_b = \frac{\ln 2}{8,021[d]} + \frac{\ln 2}{90[d]} = 9,41 \cdot 10^{-2} d^{-1} \quad (1 \text{ punt})$$

$$T_{1/2,eff} = \frac{\ln 2}{9,41 \cdot 10^{-2} [d^{-1}]} = 7,36 \text{ d} \quad (1 \text{ punt})$$

(0,5 punt aftrek voor gebruik 80 dagen in plaats van 90 dagen)

Vraag 3.2 (6 punten)

Bepaal de activiteit in de schildklier die leidt tot het interventieniveau van een equivalente volg dosis van 100 mSv voor de schildklier. Er dient hierbij gebruik gemaakt te worden van de SEE en het aantal benodigde desintegraties U_s .

Elektronen: (β^- en ce): $AF(S \leftarrow S) = 1$, waarbij S de schildklier is.

$$H_{th}(50) = U_s \times \sum_i \frac{(y_i \times E_i \times w_{R,i} AF(T \leftarrow S))}{m_T} = 100 \text{ mSv}$$

$$100 \cdot 10^{-3} = U_s \times \sum_i \frac{((0,894 [Bq \cdot s] \times 192 [keV] + 0,036 [Bq \cdot s] \times 46 [keV]) \times 1,6 \cdot 10^{-16} \frac{[J]}{[keV]}) \times 1 \times 1}{0,02 [kg]}$$

(3 punten)

$$U_s = 7,2 \cdot 10^{10} \text{ desintegraties}$$

$$U_s = \int_0^\infty A(t) dt = \frac{A(0)}{\lambda}$$

$$A(0) = U_s \times \lambda = 7,2 \cdot 10^{10} \times \frac{\ln 2}{7,36 \times 24 \times 3600 [s]} = 78,6 \text{ kBq} \quad (3 \text{ punten})$$

N.B. Via de effectieve volg dosis komt dezelfde orde van grootte eruit. Hierbij wordt de gammastraling niet verwaarloosd.

$$E(50) = H(50) \times w_T = 100 [mSv] \times 0,05 = 5,2 \text{ mSv}$$

$$E(50) = e(50) \times A \rightarrow A = \frac{5 [mSv]}{2,0 \cdot 10^{-8} \frac{[Sv]}{[Bq]}} = 250 \text{ kBq}$$

$$250 \times (30/100) = 75 \text{ kBq. (30% opname in schildklier)}$$

[Indien het onverhoopt toch via deze weg wordt opgelost is de som maximaal 3 punten waard.]

Vraag 3.3 (3 punten)

Bepaal de geïnhaleerde activiteit die leidt tot het interventieniveau van een equivalente volgdosis van 100 mSv voor de schildklier en bereken de effectieve volgdosis ten gevolge van deze inhalatie. Indien u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven, ga dan uit van 100 kBq in de schildklier.

De gevonden activiteit is 30% van de ingenomen activiteit (biodistributie).

De totale ingenomen activiteit is daarom 262 kBq. (1 punt)

$$E(50) = A_{in} \cdot e(50) = 262 \text{ kBq} \cdot 2,0 \cdot 10^{-8} = 5 \text{ mSv}$$

Ook goed rekenen: via 100 mSv en W_T naar 5 mSv.

Vraag 3.4 (4 punten)

Laat zien dat een jodium tablet voldoende jodium bevat om de schildklier te verzadigen door de verhouding uit te rekenen tussen de massa van de berekende activiteit bij vraag 3.2 en de massa van het jodium die wordt ingenomen als jodiumprofylaxe. Indien u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven, ga dan uit van 100 kBq in de schildklier.

$$A = \lambda \cdot N \rightarrow N = \frac{A}{\lambda} = \frac{2,62 \cdot 10^5 \text{ Bq}}{1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 2,62 \cdot 10^{11} \text{ atomen} \quad (1 \text{ punt})$$

$$\text{massa radioactief jodium is } \frac{N}{N_A} \cdot M = \frac{2,62 \cdot 10^{11} \text{ atomen}}{6,022 \cdot \frac{10^{23} \text{ atomen}}{\text{mol}}} \cdot 130,9 \frac{\text{gram}}{\text{mol}} =$$

$5,69 \cdot 10^{-10} \text{ gram}$ radioactief jodium geïnhaleerd vs 100 milligram in een tablet.

De hoeveelheid in het tablet is een factor $1,76 \cdot 10^9$ keer groter.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	2
3.2	6
3.3	3
3.4	4
Totaal	15

Vraagstuk 4: Watermonster**Vraag 4.1.** (2 punten)

Welke radionucliden zijn zichtbaar in het gammaspectrum? Motiveer uw antwoord.

^{133}Ba en ^{137}Cs (als motivatie: de gevonden pieken benoemen)
(voor elk goed radionuclide 1 pt)

Vraag 4.2. (4 punten)

Wat is de activiteitsconcentratie (Bq/mL) in het monster van het radionuclide dat de rechterpiek veroorzaakt? Het netto aantal counts in deze fotopiek is 2440.

$$N_{\text{netto}} = 2440 \text{ counts}, t = 86400 \text{ s}$$

$$R_{\text{netto}} = 2440 / 86400 = 0,028 \text{ cps}$$

Rendement voor Cs-137 = 0,004901 counts per gamma

$$\text{Yield} = 460,8927 / 541,589 = 0,851 \text{ gamma per desintegratie}$$

$$A = 0,028 \text{ cps} / [0,004901 \text{ counts per gamma} \times 0,851 \text{ gamma per desintegratie}] \\ = 6,8 \text{ Bq}$$

Inhoud monster = 500 ml

Activiteitsconcentratie van Cs-137 in monster = 6,8 Bq / 500 ml = 14 mBq/ml

Vraag 4.3. (4 punten)

Wat is de activiteit (in Bq) en de standaarddeviatie hierin van het watermonster voor het nuclide uit vraag 4.2?

$$\text{Meetijd} = 86400 \text{ s}$$

$$R_{\text{bruto}} = \frac{2440 + 3200}{86400} = 0,065 \text{ cps}$$

$$R_{\text{achtergrond}} = \frac{3200}{86400} = 0,037 \text{ cps}$$

$$R_{\text{netto}} = \frac{2440}{86400} = 0,028 \text{ cps}$$

$$S_{R_{\text{netto}}} = \sqrt{\frac{R_{\text{bruto}}}{t} + \frac{R_{\text{achtergrond}}}{t}} = \sqrt{\frac{0,065}{86400} + \frac{0,037}{86400}} = 1,088 \cdot 10^{-3} \text{ cps}$$

$$\frac{S_{R_{\text{netto}}}}{R_{\text{netto}}} \times 100\% = \frac{1,088 \cdot 10^{-3}}{0,028} \times 100\% = 3,9\% \text{ (68\% betrouwbaarheid)}$$

Procentuele standaardafwijking in activiteit = procentuele standaardafwijking in R_{netto}

$S_{\text{activiteit}} = 3,9\%$, 3,9% van 6,8 Bq is 0,27 Bq

$$\text{Of: } s_A = \frac{s_{R_{\text{netto}}}}{\eta} = \frac{1,088 \cdot 10^{-3}}{0,004901 \cdot 0,851} = 0,26 \text{ Bq}$$

$A = 6,8 \text{ Bq} \pm 0,3 \text{ Bq}$

Vraag 4.4. (3 punten)

Bereken de MDA van het nuclide uit vraag 4.2 bij een meettijd van 86400 s.

$R_{\text{achtergrond}} = 3200 \text{ counts} / 86400 \text{ s} = 0,037 \text{ cps}$

$$\text{MDA} = \frac{3}{\varepsilon} \sqrt{\left(\frac{R_{\text{achtergrond}}}{t}\right)} = \frac{3}{(0,004901 \text{ c}/\gamma \times 0,85 \text{ } \gamma/\text{des})} \sqrt{\left(\frac{0,037 \text{ cps}}{86400 \text{ s}}\right)} = 0,5 \text{ Bq}$$

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	2
4.2	4
4.3	4
4.4	3
Totaal	13