

UITWERKINGEN

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and Consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboud Universiteit/UMC St.Radboud	RU/UMC
TU Eindhoven	TUE

Examendatum: 10 december 2012

Vraagstuk 1 Iridium en niet-destructief onderzoek (NDO)

Vraag 1

Bijlage blz. 3: $\gamma_1 = 316$ keV heeft de hoogste emissiewaarschijnlijkheid ($0,828 \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$),

Bijlage blz. 7: μ/ρ (ijzer) bij deze energie = $0,107 \text{ cm}^2/\text{g}$

$$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = \mu/\rho \text{ (cm}^2/\text{g)} \times \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,107 \times 7,87 = 0,842 \text{ cm}^{-1}$$

Vraag 2

Redenering

Uit de figuur op blz. 9 van de bijlage blijkt dat voor 3 tot 6 cm staal de helling van de transmissiecurve voor ^{192}Ir een factor 1,8 keer groter is dan die van ^{60}Co . Dat betekent dat het verschil in intensiteit bij geringe verschillen in dikte van de lasnaad bij ^{192}Ir dezelfde factor groter is. Met dit radionuclide ben je dus gevoeliger en kan je gemakkelijker kleine scheurtjes opsporen.

Alternatief, berekening:

Keverling Buisman: de laagste gamma energie van cobalt-60 = 1173 keV

μ/ρ (ijzer) bij deze energie = $0,0555 \text{ cm}^2/\text{g}$

$$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = \mu/\rho \text{ (cm}^2/\text{g)} \times \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,0555 \times 7,87 = 0,437 \text{ cm}^{-1}$$

De halveringsdikte voor zelfs de laagst-energetische gamma van ^{60}Co is ongeveer het dubbele van de halveringsdikte voor de voornaamste gamma van ^{192}Ir . Er zal veel minder contrast te zien zijn, omdat de straling veel minder wordt afgezwakt door het ijzer.

De berekening uitgaande van de gemiddelde gamma-energie van ^{60}Co , 1250 keV, is vergelijkbaar:

μ/ρ (ijzer) bij deze energie = $0,0535 \text{ cm}^2/\text{g}$

$$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)} = \mu/\rho \text{ (cm}^2/\text{g)} \times \rho \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,0535 \times 7,87 = 0,421 \text{ cm}^{-1}$$

Vraag 3

De afstand van de bron tot het oppervlak van de doos bedraagt $0,50 \text{ m} / 2 = 0,25 \text{ m}$. De TI is te berekenen uit het omgevingsdosisequivalenttempo op 1 meter van het oppervlak van de doos, dus op totaal $1,25 \text{ m}$ van de bron.

De TI = de stralingsintensiteit in mSv/h vermenigvuldigd met 100 en naar boven afgerond op 1 decimaal achter de komma.

De TI = 3,4

Vraag 4

$50 \text{ Ci} = 50 \times 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 1,85 \cdot 10^6 \text{ MBq}$.

De kortste afstand van de bron tot de cabine bedraagt: $2,25/2 = 1,13 \text{ m}$.

De transmissie na 6 cm lood is af te lezen uit de figuur op blz. 8 van de bijlage en bedraagt $2,0 \cdot 10^{-4}$.

Dit is meer dan de richtlijn toestaat. Reductie van de stralingsbelasting in de cabine kan worden gerealiseerd door:

- de bron naar achteren in de laadruimte te verplaatsen. De afstand dient tenminste $1,13 \times \sqrt{41/20} = 1,62 \text{ m}$ te zijn. [Aan een ander vervoersvoorschrift $\dot{H} < 100 \mu\text{Sv/h}$ op 2 m van het voertuig is dan nog voldaan].
- Een loodafscherming aan te brengen met een transmissie $T < 20/41$. Deze transmissie wordt bereikt met een loodlaag die iets meer is dan de halveringsdikte die 3 mm bedraagt (Bos, et al. Appendix D).

[Slechts één van de twee oplossingen hoeft te worden gegeven – de berekening mag achterwege blijven].

Puntentelling

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

Vraagstuk 2 Kerncentrale Dodewaard

Vraag 1

$$\dot{H} = \frac{hA}{r^2} = \frac{0,093 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2) \times 28 \times 14 \cdot 10^9 (\text{MBq})}{50^2 \text{ m}^2} = 1,46 \cdot 10^7 \mu\text{Sv} / \text{h}$$

Vraag 2

$$\dot{H}_t = \frac{hA_t}{r^2} = \frac{0,093 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2) \times A_t (\text{MBq})}{1^2 (\text{m}^2)} = 0,1 \mu\text{Sv} / \text{h}$$

$$A_t = 1,1 \text{ MBq}$$

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow$$

$$t = \frac{-1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_t}{A_0}\right) = \frac{-1}{7,26 \cdot 10^{-10} (\text{s}^{-1})} \times \ln\left(\frac{1,1 (\text{MBq})}{28 \times 14 \cdot 10^9 (\text{MBq})}\right) = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ s} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ j}$$

Vraag 3a

$$\begin{aligned} H^*(10) &= \frac{hA}{v} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \right) = \\ &= \frac{0,093 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2) \times 28 \times 14 \cdot 10^9 (\text{MBq})}{10 \cdot 10^3 (\text{m} \cdot \text{h}^{-1})} \left(\frac{1}{25 (\text{m})} - \frac{1}{50 (\text{m})} \right) \\ &= 7,3 \cdot 10^4 \mu\text{Sv} = 73 \text{ mSv} \end{aligned}$$

Vraag 3b (zowel 1. als 2. noemen)

1. Deterministische effecten komen niet voor, aangezien het omgevingsdosisequivalent (onder conservatieve aannames als "alle activiteit aanwezig als ^{137}Cs " en "een vat geïnterpreteerd als alle canisters") van 73 mSv \sim 73 mGy onder de drempeldosis van enig effect ligt (ordegrootte 0,1-0,5 Gy).

'Dood neervallen', zoals de campagneleider suggereert is niet aan de orde, aangezien voor totale lichaamsbestraling de LD₅₀ van de mens ca. 3 -5 Gy bedraagt. Bij blootstelling aan een dosis ter grootte van de LD₅₀ heeft de blootgestelde een kans van 50% - zonder medisch ingrijpen - om aan het beenmergsyndroom te overlijden. Dit effect treedt zo'n één tot twee maanden na de blootstelling op.

2. Voor stochastische effecten wordt geen drempeldosis aangenomen. De blootstelling leidt tot een verhoogde kans op een stralingsgeïnduceerde tumor en, indien van toepassing, genetische (overerfbare) effecten. Deze effecten treden voor solide tumoren bij volwassenen op na een latente periode van zo'n 8 (leukemie) tot 20 jaar (solide tumoren) na blootstelling of, in het geval van genetische effecten, in de volgende generatie.

Vraag 4

Gewenste transmissie

$$T = \frac{\dot{H}_d}{\dot{H}_0} = \frac{0,4 (\mu\text{Sv} / \text{h})}{1,46 \cdot 10^7 (\mu\text{Sv} / \text{h})} = 2,7 \cdot 10^{-8}$$

Omdat de gevraagde transmissie buiten de grafiek valt, wordt de transmissie in twee stappen afgelezen.

Dit is toegestaan, omdat de grafiek over het gehele transmissiebereik nagenoeg recht is.

Aflezend figuur 16: 13 cm lood levert $T = 1 \cdot 10^{-6}$

$$T = 2,7 \cdot 10^{-8} = T_1 \times T_2 = 1 \cdot 10^{-6} \times T_2$$

$$T_2 = 2,7 \cdot 10^{-2}$$

Aflezend figuur 16: 3,5 cm lood levert $T = 2,7 \cdot 10^{-2}$.

De totale looddikte wordt dan $d = 13 \text{ (cm)} + 3,5 \text{ (cm)} = 16,5 \text{ cm}$, afgerond op gehele cm is dit 17 cm.

Puntentelling

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

Vraagstuk 3 Meting van urinemonsters

Vraag 1

$$A_{inh} = \frac{E_{50}}{e_{50}(inh)} = \frac{0,001(Sv)}{2,0 \cdot 10^{-9}(Sv/Bq)} = 5,0 \cdot 10^5 Bq$$

$$fractie = \frac{5,0 \cdot 10^5 (Bq)}{52 \times 5,0 \cdot 10^9 (Bq)} = 1,9 \cdot 10^{-6}$$

Vraag 2

B_w en A_{max} worden altijd berekend met de $e(50)_{inh}$. Indien er in deze situatie inhalatie optreedt, moet dit zijn als gevolg van organische aerosolen, dus klasse M.

$$A_{max} = \frac{0,02}{e_{50}(inh)} \stackrel{10^{p-q-r}}{=} \frac{0,02}{2,0 \cdot 10^{-9}} \stackrel{10^{-2-3-3}}{=} 1,0 \cdot 10^{11} Bq$$

$$B_w = (1,5 \text{ uur}) / (40 \text{ uur}) \times (5 \text{ GBq}) / (100 \text{ GBq}) = 0,0019$$

Vraag 3

Een verdubbeling van het achtergrondteltempo betekent een signaal ter grootte van het achtergrondteltempo dus 20 cpm. In het 10 ml urine monster vindt men dan:

$$A_{min} = \frac{20 (cpm)}{60 \times 0,7 (cpm/dpm)} = 0,48 Bq$$

Vraag 4

$$E_{50} = 4,8 \cdot 10^6 (Bq) \stackrel{2,0 \cdot 10^{-9} (Sv/Bq)}{=} 9,6 \cdot 10^{-3} Sv$$

Bij een berekening met de fictieve activiteit is het eindantwoord $E_{50} = 15 \text{ mSv}$.

Puntentelling

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

Vraagstuk 4 Besmettingsurvey na de ramp in Fukushima

Vraag 1

aantal telpulsen

$$N = A \times y \times \varepsilon_\gamma \times t$$

activiteit

$$A = N / (y \times \varepsilon_\gamma \times t)$$

teltijd

$$t = 3 \text{ (h)} \times 3600 \text{ (s}\cdot\text{h}^{-1}) = 10\,800 \text{ s}$$

Fotopiek (keV)	N (gegeven)	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$ (zie Handboek)	ε_γ (zie figuur 2)	A (Bq)
569	393	0,154	0,0050	47
605	2435	0,976	0,0045	51
796	1640	0,854	0,0035	51

$$\text{Activiteit } A(^{134}\text{Cs}) = (47 + 51 + 51) / 3 = 50 \text{ Bq.}$$

Merk op: aritmetisch middelen is eigenlijk niet juist – er zou gewogen (over de inhoud van de fotopieken) gemiddeld moeten worden, maar dit behoort niet tot de niveau 3 stof. Zowel het gemiddelde als één van de afzonderlijke resultaten worden goed gerekend.

Vraag 2

De vrijgavegrenzen voor zowel ^{134}Cs als ^{137}Cs zijn $10 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ respectievelijk 10^4 Bq . Voor beide isotopen mag dezelfde activiteit (50 Bq) worden verondersteld.

massa stof in veegproef = 1,2 g

$$\text{gewogen som activiteitsconcentratie} = (50 / 10 + 50 / 10) / 1,2 = 8,3 > 1$$

oppervlak dak / oppervlak veegproef =

$$(2500 \text{ (m}^2) \times 10^4 \text{ (cm}^2\cdot\text{m}^{-2})) / (100 \text{ (cm)} \times 100 \text{ (cm)}) = 2500$$

$$\text{Gewogen som activiteit } 2500 \times (50 / 10^4 + 50 / 10^4) = 25 > 1$$

Beide waarden zijn boven de vrijgavegrens, dus het stof zou aangemerkt moeten worden als radioactief afval

Vraag 3

achtergrond in 3 uur = $1,5 \text{ (tps)} \times 10\,800 \text{ (s)} = 16\,200$ telpulsen in elke fotopiek

$$3 \times \sigma_{\text{achtergrond}} = 3 \times \sqrt{16\,200} = 382 \text{ telpulsen}$$

Voor ^{134}Cs levert de piek met de grootste netto-inhoud de kleinste minimaal detecteerbare activiteit op, het rendement is 2435 telpulsen per 51 Bq

$$A_{\text{min}}(^{134}\text{Cs}) = 382 \times (51 \text{ (Bq)} / 2435) = 8,0 \text{ Bq}$$

Vraag 4

De totale activiteit van zowel ^{134}Cs als ^{137}Cs bedraagt:

$$2500 \times 50 = 0,12 \text{ MBq.}$$

Het omgevingsdosisequivalenttempo voor een bron bestaande uit zowel ^{134}Cs als ^{137}Cs met gelijke activiteit bedraagt

$$0,25 + 0,093 = 0,34 \text{ } \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \text{ per MBq op 1 m.}$$

$$H^*(10) = h \times A / r^2 \rightarrow$$

$$r = \sqrt{(h \times A / H^*(10))} = \sqrt{(0,34 \times 0,12 / 0,1)} = 0,65 \text{ m.}$$

Dit is geen realistische vlieghoogte voor een helikopter. Bovendien is de aanname van een puntbron in een dergelijk geval volstrekt onjuist – de werkelijke hoogte zou nog lager moeten zijn. De besmetting is NIET vast te stellen op de gesuggereerde wijze.

Puntentelling

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