

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

Examendatum: 7 mei 2012

Vraagstuk 1 Opsporen van een vermiste bron

Vraag 1

Verval van de beide bronnen in 8 jaar tijd:

$$\lambda \cdot t = 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ (s}^{-1}\text{)} \times 8 \text{ (j)} \times 365 \text{ (d}\cdot\text{j}^{-1}\text{)} \times 24 \text{ (h}\cdot\text{d}^{-1}\text{)} \times 3600 \text{ (s}\cdot\text{h}^{-1}\text{)} = 1,05$$

$$e^{-\lambda \cdot t} = e^{-1,05} = 0,35$$

bron	7 mei 2004	7 mei 2012
Vermist	125 kBq	$125 \text{ kBq} \times 0,35 = 44 \text{ kBq}$
Aanwezig	350 kBq	$350 \text{ kBq} \times 0,35 = 123 \text{ kBq}$

Vraag 2

123 kBq levert netto 50 cps – 8 cps = 42 cps

Het rendement is dus: $\varepsilon = R/A$

$$\varepsilon = 42 / 1,2 \cdot 10^5 \text{ [cps}\cdot\text{Bq}^{-1}\text{]} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ cps}\cdot\text{Bq}^{-1}$$

Vraag 3

123 kBq levert netto 50 cps – 8 cps = 42 cps

44 kBq levert dan $44/123 \times 42 \text{ cps} = 15 \text{ cps}$, dit is boven de achtergrond.

Een netto telsnelheid van 8 cps is nog net significant, dit is te verwachten op een afstand van:

$$I_x = I_{50} \times (50/x)^2$$

$$8 = 15 \times (50/x)^2$$

$$8/15 = (50/x)^2$$

$$50/x = \sqrt{(8/15)} = 0,73$$

$$x = 50/0,73 = 68 \text{ cm}$$

Alternatieve berekening:

$$R_n = R_b - R_a = 16 \text{ cps} - 8 \text{ cps} = 8 \text{ cps}$$

$$A = \frac{8 \text{ cps}}{3,4 \cdot 10^{-4} \text{ cps}\cdot\text{Bq}^{-1}} = 23 \text{ kBq}$$

Vraag 4

Volgens het vervalschema zendt ^{60}Co fotonen uit van 1333 keV en 1173 keV. Volgens de gegevens van de Gamma Scintillation Probe Type 5.41, is de respons van deze detector bij deze energieën ongeveer 45 cps bij $1 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.

De vermiste bron heeft een activiteit van $44 \text{ kBq} = 0,044 \text{ MBq}$. Het

dosistempo op 68 cm afstand is dan

$$\dot{D} \approx \dot{K} = k \times A / r^2 = 0,31 (\mu\text{Gy/h}) \cdot \text{MBq}^{-1} \text{ op } 1 \text{ m} \times 0,044 \text{ MBq} / (0,68 \text{ m})^2 = 0,029 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Het netto teltempo is dan $45 \text{ cps} \times 0,029 = 1,3 \text{ cps}$.

Bij een achtergrondsignaal van deze tweede probe van 5 cps is een netto teltempo van 1,3 cps niet significant. Deze 5.41-probe is dus niet geschikt.

Puntentelling

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

Vraagstuk 2 Medische kwakzalverij

Vraag 1

$m = 0,200 \text{ (L per fles)} \times 1000 \text{ (g}\cdot\text{L}^{-1}) \times 10\cdot 10^{-9} \text{ (g radium per g water)}$
 $= 2,0\cdot 10^{-6} \text{ g radium per fles.}$

$A = 2,0\cdot 10^{-6} \text{ (g per fles)} \times 3,7\cdot 10^{10} \text{ (Bq}\cdot\text{g}^{-1}) = 7,4\cdot 10^4 \text{ Bq per fles.}$

Vraag 2

Inname = $7,4\cdot 10^4 \text{ Bq.}$

Dosisconversiecoëfficiënt = $2,8\cdot 10^{-7} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ (zie Handboek Radionucliden)

Effectieve volgdosis = $2,8\cdot 10^{-7} \text{ (Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}) \times 7,4\cdot 10^4 \text{ (Bq)} =$

$= 21\cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 21 \text{ mSv}$

Vraag 3

De opbouw van radium in het skelet wordt beschreven door de differentiaalvergelijking:

$$\frac{dM}{dt} = \dot{P} - \lambda M \quad (1)$$

$$M(t) = \frac{\dot{P}}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2)$$

Hierin is M de massa van het radium in het skelet en \dot{P} de dagelijkse opname in het skelet.

$f_1 = 0,2$ (zie Handboek Radionucliden).

De fractie met de langste biologische halveringstijd is $0,03$ (zie tabel 1).

Dus $\dot{P} = \text{inname per dag} \times f_1 \times 0,03 =$
 $= 2 \text{ (}\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}) \times 0,2 \times 0,03 = 0,012 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$

Verder is de fysische halveringstijd zoveel langer dan de biologische halveringstijd van 4000 dagen, dat deze niet meegenomen hoeft te worden in de effectieve λ .

$\lambda = \lambda_{\text{biol}} = 0,693 / 4000 \text{ (d)} = 1,73\cdot 10^{-4} \text{ d}^{-1}$

$t = 5 \text{ (j)} \times 365 \text{ (d}\cdot\text{j}^{-1}) = 1825 \text{ d}$

$\lambda\cdot t = 1,73\cdot 10^{-4} \text{ (d}^{-1}) \times 1825 \text{ (d)} = 0,316$

Invullen in formule (2) geeft:

$M(1825 \text{ d}) = [0,012 \text{ (}\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}) / 1,73\cdot 10^{-4} \text{ d}^{-1}] \times (1 - e^{-0,316}) =$
 $= 69 \text{ (}\mu\text{g)} \times 0,27 = 19 \text{ }\mu\text{g}$

[Vanwege de korte biologische halveringstijd heeft het radium in de beide andere compartimenten van het skelet de verzadigingswaarde \dot{P} / λ bereikt:

$T_{1/2} = 2 \text{ d}$

$\dot{P} / \lambda = [2 \text{ (}\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}) \times 0,2 \times 0,30] \times [2 \text{ (d)} / 0,693] = 0,4 \text{ }\mu\text{g}$

$T_{1/2} = 40 \text{ d}$

$\dot{P} / \lambda = [2 \text{ (}\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}) \times 0,2 \times 0,08] \times [40 \text{ (d)} / 0,693] = 2 \text{ }\mu\text{g}$

De totale hoeveelheid radium in het skelet is dus $19 + 0,4 + 2 = 21 \mu\text{g}$.
 Voor de beoordeling volstaat een correcte berekening van de eerste bijdrage.]

Vraag 4

Voor de referentiemens geldt een botmassa van 5000 g.

Activiteit = $19 \cdot 10^{-6} \text{ (g)} \times 3,7 \cdot 10^{10} \text{ (Bq} \cdot \text{g}^{-1}) = 7,0 \cdot 10^5 \text{ Bq} > 10 \text{ kBq}$

Activiteitsconcentratie = $7,0 \cdot 10^5 \text{ (Bq)} / 5000 \text{ (g)} = 140 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1} > 1 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$

(Voor vrijstellingsgrenzen: zie Handboek Radionucliden.)

Beide grenzen worden overschreden zodat de as niet kan worden vrijgegeven.

Puntentelling

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
1	4
2	3
3	6
4	4
Totaal	17

Vraagstuk 3 Transmissie door loodschort

Vraag 1a

Luchtkermatempo $2,2 \text{ mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ op 1 meter.

Afstand focus – patiënt is $0,50 \text{ m}$; Buisstroom $I = 2 \text{ mA}$.

Luchtkermatempo ter plaatse van patiënt:

$$\dot{K} = 2,2 \text{ mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 2 \text{ mA} \cdot \left(\frac{1 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} \right)^2 = 17,6 \text{ mGy} \cdot \text{min}^{-1} = 1,1 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vraag 1b

Verstrooide fractie met hoek 90° bij 100 kV is volgens Tabel 1 $5 \cdot 10^{-2}\%$ bij een intreeveld van 400 cm^2 op een afstand van 1 meter tot het centrum van het intreeveld.

Afstand patiënt – operatie-assistent is 2 m .

Veldgrootte is 400 cm^2 .

$$\dot{K} = 1,1 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 5 \times 10^{-4} \frac{1^2 \text{ m}^2}{2^2 \text{ m}^2} = 0,14 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vraag 2

Bij 84 kV (maximale energie van de verstrooide straling) is de verzwakking in het loodschort (2 lagen, dus $0,50 \text{ mm}$, lijn a) circa $60 \times$.

$K_{\text{lucht}} \approx D_{\text{weefsel}}$ en $w_R = 1$.

$$\dot{H} = \frac{0,14 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 1 \text{ Gy} \cdot \text{Gy}^{-1}}{60} = 2,3 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vraag 3

Zonder loodschort:

$$\dot{H}^*_{10} = h \cdot \frac{A}{r^2} = 0,066 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \frac{3,7 \cdot 10^3 \text{ MBq}}{2^2} = 61 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Massieke verzwakkingsdoorsnede μ/ρ voor 365 keV fotonen = $0,3 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (geïnterpoleerd tussen $0,3$ en $0,4 \text{ MeV}$).

Transmissie door loodschort: $T = e^{-\mu d} \cdot B = e^{-0,3 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot 11,34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 0,05 \text{ cm}} \cdot 1 = 0,84$

Met loodschort: $\dot{H}^*_{10} = 61 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,84 = 51 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

Vraag 4

De transmissie door het loodschort is zo groot dat het dragen van een loodschort weinig bijdraagt aan dosisverlaging. Het is veel effectiever om

extra afstand te nemen en de blootstellingstijd kort te houden. Een loodschoort verlaagt de bewegingsvrijheid en kan juist averechts werken doordat handelingen langer duren.

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 4 Van lozing tot inwendige besmetting: een ketenmodel

Vraag 1

$$C_{melk} = 106 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}; \text{ consumptie} = 120 \text{ L melk}\cdot\text{jaar}^{-1}$$

$$A = C_{melk} \times \text{consumptie} = 106 [\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}] \times 120 [\text{L}\cdot\text{jaar}^{-1}] = 1,3 \cdot 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{jaar}^{-1}$$

$$e_{50,ing} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}; E_{50} = A \times e_{50}$$

$$E_{50} = 2,2 \cdot 10^{-8} [\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}] \times 1,3 \cdot 10^4 [\text{Bq}\cdot\text{jaar}^{-1}] = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}\cdot\text{jaar}^{-1} = 0,28 \text{ mSv}\cdot\text{jaar}^{-1}$$

Vraag 2

$$C_{melk} = 106 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1};$$

$$F_{melk} = 0,01 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ per } (\text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}), t_w = 3 \text{ dagen}, t_{1/2} = 8 \text{ dagen};$$

$$C_{melk} = F_{melk} A_{koe} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t_w}{t_{1/2}}}$$

$$C_{melk} [\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}] = 0,01 \left[\frac{\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ per } \text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}}{\text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}} \right] A \left[\frac{\text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}}{\text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}} \right] 0,77$$

$$\text{en dus } A_{koe} = 1,4 \cdot 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{dag}^{-1}$$

$$\text{Koe eet } 70 \text{ kg gras per dag: } \frac{1,4 \cdot 10^4 \left[\frac{\text{Bq}\cdot\text{dag}^{-1}}{\text{g}\cdot\text{dag}^{-1}} \right]}{70} = 196,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$$

1 m² grasveld bevat 1,3 kg gras;

$$C_{gras} (\text{gem. opp. besmetting}) = 1,3 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}] \times 196,4 [\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}] = 255 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$$

Vraag 3

Bij een luchtbesmetting van 1,0 Bq·m⁻³ is de oppervlaktebesmetting 1,0 × 10⁴ Bq·m⁻².

Een oppervlaktebesmetting van 255 Bq·m⁻² komt dus overeen met een luchtbesmetting van (255/1,0 × 10⁴) × 1,0 [Bq·m⁻³] = 0,0255 = 2,6 × 10⁻² Bq·m⁻³

$e_{50,inh} = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ (voor I_2), gemiddeld ademvolumetempo van $0,95 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$.

$E_{50} = 0,95 [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \times 2,6 \times 10^{-2} [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \times 7000 [\text{h} \cdot \text{jaar}^{-1}] \times 2,0 \cdot 10^{-8} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] = 346 \cdot 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{jaar}^{-1} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{jaar}^{-1} = 3,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{jaar}^{-1}$ (factor 81 lager dan de ingestiedosis uit vraag 1).

Vraag 4

$$C_{lucht} \cdot r = \alpha \cdot r \cdot \frac{A_{uit}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{U} \quad \text{dus:} \quad \frac{A_{uit}}{\Delta t} = \frac{C_{lucht} \cdot r \cdot U}{\alpha \cdot r}$$

$$C_{lucht} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$U = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\alpha(r) \text{ op 2 km afstand} = 1,37 \cdot 10^{-8} \text{ h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\frac{A_{uit}}{\Delta t} = \frac{0,026 [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \times 2,0 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]}{1,37 \cdot 10^{-8} [\text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]} = 3,8 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{h}^{-1} =$$

$$3,8 \cdot 10^6 [\text{Bq} \cdot \text{h}^{-1}] \times 24 [\text{h} \cdot \text{dag}^{-1}] \times 365 [\text{dag} \cdot \text{jaar}^{-1}] =$$

$$33 \cdot 10^9 \text{ Bq} \cdot \text{jaar}^{-1} = 33 \text{ GBq} \cdot \text{jaar}^{-1}$$

De gemiddelde luchtbesmetting is echter het resultaat van een besmette pluim die maar een 1/3 deel van het jaar over het grasveld trekt, dus de werkelijk geloosde activiteit is een factor 3 groter, ofwel:

$$\frac{A_{uit}}{\Delta t} = 33 [\text{GBq} \cdot \text{jaar}^{-1}] \times 3 = 100 \text{ GBq} \cdot \text{jaar}^{-1}.$$

Puntentelling

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