

## UITWERKINGEN

### Examen Coördinerend Deskundige Stralingsbescherming

---

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: 23 mei 2016

## Vraagstuk 1 Bepaling van een besmetting

### Vraag 1.1

*Wat is het voor dode tijd gecorrigeerde bètatempo van het veegmonster?*

De formule luidt:  $R_{\text{cor}} = R_{\text{gem}} / (1 - \tau \cdot R_{\text{gem}})$ .

$R_{\text{gem}} = 4,20 \cdot 10^3$  tellen per minuut = 70,0 tellen per seconde

Dus  $R_{\text{cor}} = 70,0 \text{ [tps]} / (1 - 200 \times 10^{-6} \text{ [s]} \times 70,0 \text{ [s}^{-1}\text{)}) = 71,0 \text{ tps}$

Dit is  $4,26 \cdot 10^3$  tpm.

N.B. Een antwoord in tps volstaat; er hoeft niet te worden doorgerekend naar tpm.

### Vraag 1.2

*Hoe groot is de totale bèta-activiteit van het veegmonster uitgedrukt in Bq?*

Omdat beide nucliden bètastraling tussen 0,1 en 0,4 MeV uitzenden, geldt voor allebei het rendement van 45% tps / Bq ( $\epsilon = 0,45 \text{ tps} / \text{Bq}$ ).

$A = R_{\text{cor}} / \epsilon = 71,0 \text{ [tps]} / 0,45 \text{ [tps} / \text{Bq]} = 158 \text{ Bq}$

### Vraag 1.3

*Hoe groot is de gemeten  $^{60}\text{Co}$ -activiteit uitgedrukt in Bq?*

De  $^{60}\text{Co}$ -activiteit wordt:

$A = R / \epsilon = (480 \text{ [tpm]} / 60 \text{ [s} \cdot \text{min}^{-1}\text{)}) / 0,32 \text{ [tps} / \text{Bq]} = 25 \text{ Bq}$ .

### Vraag 1.4

*Bereken de gemiddelde oppervlaktebesmetting van het geveegde vloeroppervlak voor zowel  $^{35}\text{S}$  als  $^{60}\text{Co}$  in  $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$ .*

De activiteiten van het veegmonster waren:

25 Bq  $^{60}\text{Co}$  en  $158 \text{ Bq} - 25 \text{ Bq} = 133 \text{ Bq}$   $^{35}\text{S}$ .

De activiteiten op het geveegde stuk vloer waren:

$25 / 0,35 = 71,4 \text{ Bq}$   $^{60}\text{Co}$  en  $133 / 0,35 = 380 \text{ Bq}$   $^{35}\text{S}$ .

De oppervlaktebesmetting is:

$$(71,4 \text{ Bq/ } 120 \text{ cm}^2) = 0,60 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2} \text{ } ^{60}\text{Co}$$

$$(380 \text{ Bq/ } 120 \text{ cm}^2) = 3,17 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2} \text{ } ^{35}\text{S}$$

### Vraag 1.5

*Toon door berekening aan, met genoemde betrouwbaarheidsgrens, dat de totale besmettingsgraad van het geveegde oppervlak de wettelijk toegestane limiet voor een oppervlaktebesmetting niet overschrijdt.*

Het bètasignaal mag gebruikt worden als indicatie voor de totale activiteit. De bèta's zijn namelijk òf afkomstig van  $^{35}\text{S}$  òf van  $^{60}\text{Co}$ .

Teltijd is 2 minuten. Totaal  $4,20 \cdot 10^3 \times 2 = 8,40 \cdot 10^3$  tellen

$$\sigma = \sqrt{N} = \sqrt{8,40 \cdot 10^3} = 91,7 \text{ tellen}$$

$$2\sigma = 183 \text{ tellen}$$

$$183 \text{ tellen} / 8,40 \cdot 10^3 \text{ tellen} = 0,022 = 2,2 \%$$

De totale oppervlaktebesmetting =  $0,60 + 3,17 = 3,77 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

+/- 2,2% betekent +/-  $0,083 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

De gemiddelde oppervlaktebesmetting plus 2 maal de standaarddeviatie  $3,77 + 0,083 = 3,85 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

Ook deze waarde blijft onder de limiet van  $4 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 1</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1.1	4
1.2	2
1.3	2
1.4	3
1.5	4
<b>Totaal</b>	<b>15</b>

## Vraagstuk 2 Noodprocedure brachytherapie

### Vraag 2.1

Laat door berekening zien dat de omhulling van de  $^{192}\text{Ir}$ -bron voldoende dik is om de uitgezonden  $\beta$ -straling volledig te absorberen.

Vuistregels voor gereduceerde dracht van elektronen  $E_{\max,\beta} = 0,672 \text{ MeV}$  in staal met een dichtheid van  $7,8 \text{ g/cm}^3$ :

regel van Feather:

$$\rho R = 0,542 \times E - 0,133 \Rightarrow \text{dracht } R = 0,295 \text{ mm} = 0,30 \text{ mm}$$

regel van Flammersfeld:

$$\rho R = 0,11 \times ((1 + 22,4 \times E^2)^{0,5} - 1) \Rightarrow R = 0,33 \text{ mm}$$

regel uit Bos (3.10):

$$\rho R = 0,412 \times E^{(1,265 - 0,0954 \times \ln(E))} \Rightarrow R = 0,31 \text{ mm}$$

Alleen de simpele vuistregel,  $\rho R = 0,5 \times E \Rightarrow R = 0,43 \text{ mm}$ , is gebaseerd op een te conservatieve schatting.

Kandidaten moeten door de vraagstelling op zoek naar bovenstaande alternatieven.

### Vraag 2.2a

Wat is de effectieve dosis van de arts en de laborant ten gevolge van noodprocedure? Verwaarloos hierbij het effect van het loodschild.

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} = 12 \text{ Ci} \cdot 37 \text{ GBq} \cdot \text{Ci}^{-1} \times e^{\frac{-\ln(2) \cdot 30 \text{ (d)}}{73,83 \text{ (d)}}} = 335 \text{ GBq}$$

Na 30 dagen heeft  $^{192}\text{Ir}$ -bron nog een activiteit van 335 GBq.

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10) &= \frac{h \times A}{r^2} \times \Delta T = \frac{0,14 \text{ (}\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2) \times 335 \cdot 10^3 \text{ (MBq)}}{r^2} \times \frac{30 \text{ (s)}}{3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right)} \\ &= \frac{390,1}{r^2} \text{ (}\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2) \end{aligned}$$

laborant:

$r = 2,0 \text{ m}$ , verzwakking door loodschild wordt buiten beschouwing gelaten.

$$\Rightarrow \dot{H}^*(10) = \frac{390,1}{2,0^2 \text{ (m}^2)} \text{ (}\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2) = 97,7 \text{ }\mu\text{Sv} = 0,098 \text{ mSv}$$

arts:

$$r = 0,20 \text{ m} \Rightarrow \dot{H}^*(10) = \frac{390,1}{0,20^2 \text{ (m}^2\text{)}} (\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2) = 9771 \mu\text{Sv} = 9,8 \text{ mSv}$$

### Vraag 2.2b

*Is bij deze noodprocedure het loodschort wat betreft afscherming van toegevoegde waarde? Hoe moet het advies over het dragen van loodschorten bij deze noodprocedure zijn? Motiveer uw antwoord.*

Bij 0,5 mm lood volgt uit de transmissiecurve (bijlage pagina 5)  $T > 0,9$  (marge is 0,95 tot 0,9). De afscherming door het loodschort is dus nihil en kost alleen extra tijd ( $\Rightarrow$  verlenging van de blootstellingstijd zowel voor medewerker maar vooral voor de patiënt).

U adviseert de medewerkers geen loodschort te pakken.

### Vraag 2.3

*De arts (reguliere dosis 4 mSv per jaar) is op basis van de blootstellingsrisico's bij zijn overige werkzaamheden ingedeeld als blootgestelde werknemer categorie B. Is de indeling in categorie B de juiste categorie indien de waarschijnlijkheid van optreden van bovenstaand scenario als één keer per jaar moet worden beschouwd? Motiveer uw antwoord.*

Omdat de voorziene onbedoelde gebeurtenis een waarschijnlijkheid van één keer per jaar wordt toegerekend, moet deze meegenomen worden in de categorie-indeling. Dus moet de arts als categorie A-medewerker worden ingedeeld.

### Vraag 2.4

*Voldoet de afgesloten noodcontainer - direct na het incident - aan deze grenswaarden van het vervoersbesluit?*

Volgens het vervoersbesluit zijn de grenswaarden voor het vervoer van een collo:

- 1) 2 mSv/h aan oppervlak van het collo, en
- 2) 0,1 mSv/h op een afstand van 1 m van het oppervlak van het collo.

Afstand van  $^{192}\text{Ir}$ -bron tot oppervlak = 12,5 cm,  $T$  (3 cm lood) =  $6,5 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned} \dot{H}^* &= \frac{h \times A}{r^2} \times T = \frac{0,14 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2) \times 335 \cdot 10^3 (\text{MBq})}{r^2} \times 6,5 \cdot 10^{-3} \\ &= \frac{304}{r^2} (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2) \end{aligned}$$

aan het oppervlak ( $r = 12,5 \text{ cm}$ ):

$$\dot{H}^* = \frac{304}{0,125^2 (\text{m}^2)} (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2) = 19511 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}) = 20 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1} : \text{voldoet niet aan het criterium.}$$

of

op 1 m van het oppervlak ( $r = 112,5 \text{ cm}$ ):

$$\dot{H}^* = \frac{304}{1,125^2 (\text{m}^2)} (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2) = 241 (\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}) = 0,24 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1} : \text{voldoet ook niet aan het criterium.}$$

Voor beide criteria geldt: deze container mag niet als transportcontainer gebruikt worden. Berekening van één criterium is voldoende.

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 2</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
2.1	3
2.2a	4
2.2b	3
2.3	2
2.4	5
<b>Totaal</b>	<b>17</b>

### Vraagstuk 3 Effectiviteit van een loodschort

#### Vraag 3.1

*Bepaal de effectieve fotonenergie van de onder  $90^\circ$  in perspex verstrooide fotonen op de plek van de radioloog.*

De transmissie van 0,50 mm  $Pb_{eq}$  bij verstrooide straling van een 80 kV toestel is 0,0052 (waarden tussen 0,005 en 0,006 worden goed gerekend).

$$T = e^{-\mu d}; \mu = (\ln T) / d$$

$$\mu = -(\ln 0,0052) / 0,05 \text{ (cm)} = 105 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\mu/\rho = 105 \text{ (cm}^{-1}\text{)} / 11,34 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 9,3 \text{ (cm}^2\text{/g)}$$

De energie behorend bij 9,3 (cm<sup>2</sup>/g) ligt op ongeveer 0,045 MeV volgens de grafiek met interactiecoëfficiënten voor fotonen (waarden tussen 0,043 MeV en 0,050 MeV worden goed gerekend).

#### Vraag 3.2

*Bepaal uit de gemiddelde badgeuitslag ( $H_p(10)$ ) de gemiddelde effectieve jaardosis van de interventieradioloog. Veronderstel hierbij dat alle organen die bijdragen aan de effectieve dosis zijn afgedekt door loodschort en schildklierkraag.*

De badgeuitslag is 4,7 mSv per jaar.

De verhouding tussen effectieve dosis en persoonsdosisequivalent bij 50 keV is ongeveer 0,58 volgens figuur 6-9.

(Bij gebruik van de tabellen E2 en E3 van Inleiding tot de Stralingshygiëne is  $E/H_p(10)$ , zijn de verhoudingen bij 40 keV: 0,52 en bij 50 keV: 0,62).

De effectieve dosis is dus  $4,7 \times 0,58 = 2,7$  mSv.

Het schort van 0,5 mm  $Pb_{eq}$  geeft een transmissie van ongeveer 0,52% (zie vraag 1)

Effectieve jaardosis is  $0,0052 \times 2,7 \text{ mSv} = 0,014 \text{ mSv}$

#### Vraag 3.3

*Stel dat er geen schildklierkraag wordt gedragen, wat zou dan de effectieve jaardosis zijn? Veronderstel dat in dit geval van alle organen die bijdragen aan de effectieve dosis, alleen de gehele schildklier onbeschermd is.*

In deze situatie ontvangt de schildklier  $4,7 \times 0,58 = 2,7$  mSv per jaar.

De weefselweefactor is 0,05.

De rest van het lichaam heeft dan nog een weefselweefactor van 0,95.

De effectieve dosis wordt nu:

- schildklier:  $2,7 \text{ mSv} \times 0,05 = 0,135 \text{ mSv}$
- rest van het lichaam:  $0,95 \times 0,014 \text{ mSv} = 0,013 \text{ mSv}$

Het totaal is dus  $0,15 \text{ mSv}$

(Als de rest van het lichaam niet wordt meegerekend wordt 1 punt afgetrokken, tenzij het niet meerekenen wordt onderbouwd met een kloppende redenering.)

### Vraag 3.4

*De interventieradioloog draagt geen oogbescherming. Zou u als stralingsdeskundige adviseren om dit wel te gaan doen? Motiveer uw antwoord aan de hand van de huidige wettelijke dosislimiet voor de ooglenzen van  $150 \text{ mSv/jaar}$  en de limiet voor de ooglenzen van  $20 \text{ mSv/jaar}$  uit de nieuwe Europese Basisnormen. De badgeuitslag  $H_p(10)$  mag in dit geval als goede schatter voor de ooglensdosis worden gebruikt.*

De dosis op de ooglenzen zal ongeveer gelijk zijn aan de badgeuitslag:  $4,7 \text{ mSv/jaar}$ . De geldende limiet voor de ooglenzen is  $150 \text{ mSv}$  per jaar. De nieuwe Europese Basisnormen geven een limiet van  $20 \text{ mSv}$  voor de ooglenzen.

Straling kan cataract en opaciteiten veroorzaken. Omdat deze effecten worden beschouwd als deterministische effecten geldt hiervoor een drempeldosis. Deze drempeldosis ligt uiteraard hoger dan de nieuwe limiet van  $20 \text{ mSv}$ . Ook volgens de nieuwe inzichten is het dragen van oogbescherming niet nodig voor deze interventieradioloog. Het dragen van oogbescherming zal geen verhoging van de veiligheid tot gevolg hebben en moet dus niet worden aangeraden.

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 3</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
3.1	4
3.2	4
3.3	4
3.4	2
<b>Totaal</b>	<b>14</b>



## Vraagstuk 4 Blootstelling in een cyclotronhal

### Vraag 4.1

Bepaal de activiteitsconcentratie (in  $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) van  $^{15}\text{O}$ .

aantal bedrijfsuren	$t = 24 \text{ h}\cdot\text{d}^{-1} \times 5 \text{ d}\cdot\text{wk}^{-1} \times 50 \text{ wk}\cdot\text{j}^{-1} = 6000 \text{ h}\cdot\text{j}^{-1}$
debiet	$D = 24.000 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \times 6000 \text{ h}\cdot\text{j}^{-1} = 144\cdot 10^6 \text{ m}^3\cdot\text{j}^{-1}$
activiteitsconcentratie	$C = A / 144\cdot 10^6 \text{ m}^3\cdot\text{j}^{-1}$ (zie onderstaande tabel)
Voor $^{15}\text{O}$	$C = 1600 \text{ GBq}\cdot\text{j}^{-1} / 144\cdot 10^6 \text{ m}^3\cdot\text{j}^{-1} = 11,1 \text{ kBq}/\text{m}^3$

[Bij deze ook de getallen voor de andere nucliden:

nuclide	A ( $\text{GBq}\cdot\text{j}^{-1}$ )	C ( $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ )
$^{11}\text{C}$	180	1,25
$^{15}\text{O}$	1600	11,1
$^{13}\text{N}$	160	1,11
$^{41}\text{Ar}$	50	0,35

De bijdrage van  $^{15}\text{O}$  is verreweg het grootst].

### Vraag 4.2

Bereken de effectieve jaardosis door submersie in lucht met  $^{15}\text{O}$  voor een werknemer die zijn volledige werktijd doorbrengt in de cyclotronhal terwijl het cyclotron in bedrijf is. Ga er vanuit dat alléén fotonenstraling bijdraagt aan de effectieve dosis en dat afscherming van dieper gelegen organen in het lichaam mag worden verwaarloosd (voor  $g_T$  mag dus voor alle organen 1 worden genomen).

Jaarlijkse verblijftijd  $t = 2000 \text{ h}$

Formule geldt voor geabsorbeerde orgaandosis, maar omdat alle organen gelijkelijk worden bestraald ( $\sum w_T = 1$ ) èn  $w_R = 1$ , geldt numeriek  $D = E$ .

$$E = 2,5\cdot 10^{-10} \times g_T \times C \times E_\gamma \times t \times w_R$$

$$= 2,5\cdot 10^{-10} \times 1 \times C \times E_\gamma \times 2000 \text{ h} \times 1 \text{ Sv}\cdot\text{Gy}^{-1}$$

$$= 0,5\cdot 10^{-6} \times C \times E_\gamma \text{ Sv}$$

$$= 0,5\cdot 10^{-6} \times 11,1\cdot 10^3 \times 1,02 = 5,67\cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 5,7 \text{ mSv}$$

Het fictieve antwoord levert 5,1 mSv op.

### Vraag 4.3

Bereken de maximale activiteitsconcentratie  $^{15}\text{O}$  in de lucht binnen de bestralingsruimtes. U mag er hierbij van uitgaan dat het omgevingsdosisequivalent een goede schatter is van de effectieve dosis (door submersie).

De bijdrage van  $^{15}\text{O}$  aan het omgevingsdosisequivalenttempo in de hal is  $5,67 \text{ mSv} / 2000 \text{ h} = 2,84 \text{ } \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

De  $^{15}\text{O}$ -concentratie in de bestralingsruimte is factor  $100 / 2,84 = 35,2$  groter dan in de hal.

De  $^{15}\text{O}$ -concentratie in de bestralingsruimte is  $35,2 \times 11,1 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3} = 3,9\cdot 10^2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### Vraag 4.4

*Toon door berekening aan dat de maximale effectieve volgdosis door inhalatie van  $^{15}\text{O}$  ten gevolge van het voortijdig betreden van de bestralingsruimte verwaarloosbaar is ten opzichte van de effectieve dosis door uitwendige bestraling door dit nuclide.*

Effectieve blootstellingstijd

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = 2 \text{ min} / 0,693 = 2,9 \text{ min} = 0,048 \text{ h}$$

$$\text{Ademhalingstempo} = 1,4 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} / 60 \text{ min}\cdot\text{h}^{-1} = 0,023 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}$$

Opgenomen activiteit

$$\begin{aligned} A &= 0,048 \text{ h} \times 1,4 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \times 20\% \times 3,9\cdot 10^2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3} \\ &= 2,9 \text{ min} \times 0,023 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1} \times 20\% \times 3,9\cdot 10^2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3} = 5,2\cdot 10^3 \text{ Bq} \end{aligned}$$

De in het transfercompartiment opgenomen activiteit wordt beschouwd als geïnjecteerde activiteit.

Effectieve volgdosis

$$E(50) = 9,3\cdot 10^{-13} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1} \times 5,2\cdot 10^3 \text{ Bq} = 4,8\cdot 10^{-9} \text{ Sv} = 4,8 \text{ nSv}$$

Effectieve dosis t.g.v. uitwendige bestraling

$$\begin{aligned} E &= 2,5\cdot 10^{-10} \times g_T \times C \times E_\gamma \times t \times w_R \\ &= 2,5\cdot 10^{-10} \times 1 \times 3,9\cdot 10^5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3} \times 1,02 \text{ MeV} \times (2,9 / 60) \text{ h} \times 1 \text{ Sv}\cdot\text{Gy}^{-1} \\ &= 4,8\cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 4,8 \text{ } \mu\text{Sv} \gg 4,8 \text{ nSv} \end{aligned}$$

Het fictieve antwoord levert op identieke wijze het antwoord 6,2 nSv op.

Opmerking 1:

De  $^{15}\text{O}$  activiteit waarmee voor inhalatie wordt gerekend, daalt net zo snel als de  $^{15}\text{O}$  activiteit in de berekening van de uitwendige dosis. Dit maakt dat er ook andere manieren zijn om de gevraagde vergelijking tussen de beide doses te maken. Kort gemotiveerd, met heldere aannames en goed uitgewerkt, worden andere oplosmethoden ook goed gerekend.

Opmerking 2:

$$e(50)_{\text{injectie}} = 9,3\cdot 10^{-13} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1} \text{ volgens ICRP-80}$$

$e(50)_{\text{injectie}} = 12 \cdot 10^{-13} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$  gemeten voor echte mensen  
 $= 5 \cdot 10^{-13} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$  berekend voor uniforme verdeling in body fluids  
zie: Eur. J. Nucl. Med. 24 (1994) 1126-1129  
20% uptake tijdens inhalatie  $\rightarrow e(50)_{\text{inhalatie}} \approx 0,20 \times e(50)_{\text{injectie}}$

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 4</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
4.1	4
4.2	4
4.3	4
4.4	5
<b>Totaal</b>	<b>17</b>