

## **UITWERKINGEN**

### **Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige**

---

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

---

Examendatum: 8 mei 2023

- De uitwerkingen zijn een richtlijn voor correctoren. De corrector kan hiervan per subvraag beredeneerd afwijken. De examenkandidaat kan aan de voorgestelde puntenonderverdeling geen rechten ontleen

## Uitwerkingen vraagstuk 1: $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ generator [17 punten]

### Vraag 1.1 [6 punten]

Bereken de activiteit van het  $^{224}\text{Ra}$  in de generator op tijdstip  $t = 0$ .

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

$$\text{Transmissie} = T = B \cdot e^{\mu \cdot d} = B \cdot e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \cdot \rho \cdot d}$$

$$\text{Aflezen } (\mu/\rho) \text{ bijlage 1: } 241 \text{ keV} = 0,6 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \quad [1 \text{ punt}]$$

(Range goedkeuren: 0,5 - 0,7)

$$T_{241\text{keV}} = 1,1 \cdot e^{-0,6 \cdot 11,34 \cdot 0,4} = 7,2 \cdot 10^{-2} \quad [2 \text{ punten}]$$

Het dosistempo is gemeten op 40 cm afstand van de container met ribben van 40 cm. De bron zit in het midden van de container, dus:

$$r = 40 \text{ [cm]} + \frac{40 \text{ [cm]}}{2} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m} \quad [1 \text{ punt}]$$

Hieruit volgt:

$$A = \frac{\dot{H}^*(10) \cdot r^2}{h \cdot T} = \frac{0,51 \text{ [\mu Sv} \cdot \text{min}^{-1}] \cdot 60 \text{ [min} \cdot \text{h}^{-1}] \cdot (0,6)^2 \text{ [m}^2\text{]}}{0,003 \text{ [\mu Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}] \cdot 7,2 \cdot 10^{-2}} = 50,8 \cdot 10^3 \text{ MBq}$$

$$A = 51 \text{ GBq} \quad [2 \text{ punten}]$$

### Vraag 1.2 [3 punten]

Bepaal de transportindex op tijdstip  $t = 0$ .

De TI wordt bepaald op 1 meter afstand van de transportcontainer.  
0,51  $\mu\text{Sv}/\text{min}$  op 40 cm afstand van de transportcontainer.

$$0,51 \text{ [\mu Sv} \cdot \text{min}^{-1}] \cdot 60 \text{ [min} \cdot \text{h}^{-1}] \cdot \left(\frac{0,6 \text{ [m]}}{1,2 \text{ [m]}}\right)^2 = 7,65 \cdot \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \quad [2 \text{ punten}]$$

$$TI = \frac{\dot{H}^*(10) [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \text{ op } 1\text{m van verpakking}]}{10} = \frac{7,65}{10} = 0,76 = 0,8 \quad [1 \text{ punt}]$$

Niet naar boven afronden op 1 decimaal. [-0,5 punt]

### Vraag 1.3 [2 punten]

Beredeneer waardoor het dosistempo bij de controle bij aankomst hoger is, dan de transportindex doet vermoeden.

Tijdens het transport vervalt het  $^{224}\text{Ra}$ , waardoor er nucliden ingroeien die gammastraling uitzenden en daarmee het dosistempo en dus de transportindex verhogen. [2 punten]

**Vraag 1.4a [2 punten]**

Beargumenteer waarom we de tussenliggende nucliden kunnen negeren bij het berekenen van de ingroei van  $^{212}\text{Pb}$ .

De tussenliggende nucliden hebben in verhouding tot  $^{224}\text{Ra}$  en  $^{212}\text{Pb}$  zeer korte halveringstijden, waardoor die nagenoeg instantaan vervallen. Daarom kun je er bij de berekening van de ingegroeide activiteit van  $^{212}\text{Pb}$  vanuit gaan dat dit nuclide direct ontstaat uit  $^{224}\text{Ra}$ . [2 punten]

**Vraag 1.4b [4 punten]**

Wat is de activiteit  $^{212}\text{Pb}$  die kan worden geëluëerd op tijdstip  $t = 20$  uur?

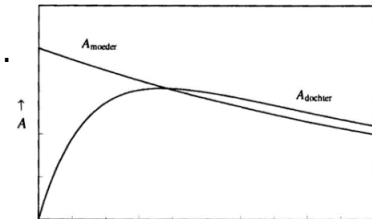
$^{224}\text{Ra}$  vervalt met  $T(1/2) = 3,6319$  dagen, zie figuur 1.1.

$$\rightarrow 3,6319 \cdot 24 [\text{h} \cdot \text{d}^{-1}] = 87,17 \text{ h}$$

$^{212}\text{Pb}$  vervalt sneller dan  $^{224}\text{Ra}$ .

Hieruit volgt een (glijdend) moeder-dochterevenwicht.

$^{212}\text{Pb}$  vervalt met  $T(1/2) = 10,64$  uur, zie figuur 1.1.



$$A_2(t) = \text{yield} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot A_1(0) \cdot (e^{-\lambda_1 \cdot t} - e^{-\lambda_2 \cdot t}) + A_2(0) \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t}$$

$$A_2(t) = 1,0 \cdot \frac{\frac{\ln(2)}{10,64 [\text{h}]}}{\frac{\ln(2)}{10,64 [\text{h}]} - \frac{\ln(2)}{87,17 [\text{h}]}} \cdot 50,8 [\text{GBq}] \cdot \left( e^{-\frac{\ln(2)}{87,17 [\text{h}]} \cdot 20 [\text{h}]} - e^{-\frac{\ln(2)}{10,64 [\text{h}]} \cdot 20 [\text{h}]} \right) + 0$$

$$A_2(t) = 1,14 \cdot 50,8 [\text{GBq}] \cdot (0,85 - 0,27) + 0 = 33,6 \text{ GBq} \quad [3 \text{ punten}]$$

Omdat slechts 90% kan worden onttrokken:

$$0,9 \cdot 33,6 \text{ GBq} = 30,3 \text{ GBq} \quad [1 \text{ punt}]$$

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 1</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1.1	6
1.2	3
1.3	2
1.4a	2
1.4b	4
<b>Totaal</b>	<b>17</b>

## Vraagstuk 2: Angioscan [17 punten]

### Vraag 2.1 [3 punten]

Toon door berekening aan dat de geïnjecteerde  $^{99m}\text{Tc}$ -activiteit aan de hand van het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  ongeveer 440 MBq is.

De activiteit volgt uit de relatie  $A = \dot{H}^*(10) \times r^2 / h$

$$h = 0,023 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2 \quad [1 \text{ punt}]$$

$$r^2 = (1,0^2 + 2,0^2) \text{ m}^2 = 5,0 \text{ m}^2 \quad [1 \text{ punt}]$$

$$\dot{H}^*(10) = 2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} - \text{waarden tot } 2,3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} \text{ worden goed gerekend} \quad [1 \text{ punt}]$$

$$A = 2 [\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}] \times 5,0 [\text{m}^2] / 0,023 [\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2] = 435 \text{ MBq} \\ = 4,4 \cdot 10^2 \text{ MBq}$$

### Vraag 2.2a [2 punten]

Bereken het totaal aantal desintegraties in het lichaam  $U_s$ .

$$U_s = \frac{A}{\lambda} = \frac{435 \cdot 10^6 [\text{Bq}]}{3,21 \cdot 10^{-5} [\text{s}^{-1}]} = 1,36 \cdot 10^{13} \text{ Bq} \cdot \text{s}$$

Methode/formule [1 punt]

Uitwerking [1 punt]

Uiteraard wordt een berekening via  $U_s = \int A_s(t)dt$ , waarbij  $A_s$  de activiteit in het lichaam is, ook goed gerekend.

### Vraag 2.2b [4 punten]

Toon aan dat de specifieke effectieve energie SEE (totale lichaam ← totale lichaam) gelijk is aan  $6,54 \cdot 10^{-7} \text{ MeV}\cdot\text{g}^{-1}$  per desintegratie.

Lineair interpoleren van de gegevens van tabel 1:

$$\text{SAF} = 4,95 \cdot 10^{-6} + (5,41 - 4,95) \cdot 10^{-6} \times (0,200 - 0,141) / (0,200 - 0,100) \\ = 5,22 \cdot 10^{-6} \text{ g}^{-1}$$

Lineair interpoleren [1 punt]

Uitwerking [1 punt]

$$\text{SEE} = \gamma_Y \times E_Y \times \text{SAF} = 0,889 \times 0,141 [\text{MeV}] \times 5,22 \cdot 10^{-6} [\text{g}^{-1}] \\ = 6,54 \cdot 10^{-7} \text{ MeV}\cdot\text{g}^{-1}$$

Methode [1 punt]

Uitwerking [1 punt]

**Vraag 2.2c [4 punten]**

Bereken de effectieve volg dosis  $E_{50}$  (in Sv) uitgaande van de waarden genoemd en berekend in vraag 2.2a en 2.2b.

$$\begin{aligned} E_{50} &= 1,6 \cdot 10^{-10} [\text{J} \cdot \text{MeV}^{-1} \cdot \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}] \times U_S \times w_R \times \text{SEE} \\ &= 1,6 \cdot 10^{-10} [\text{J} \cdot \text{MeV}^{-1} \cdot \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}] \times 1,36 \cdot 10^{13} [\text{Bq} \cdot \text{s}] \times 1 [\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1}] \\ &\quad \times 6,5 \cdot 10^{-7} [\text{MeV} \cdot \text{g}^{-1}] = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 1,4 \text{ mSv} \end{aligned}$$

Methode (formule)

[1 punt]

Uitwerking

[3 punten]

**Vraag 2.3 [2 punten]**

Geef twee redenen waarom de berekende effectieve volg dosis af zou kunnen wijken van de werkelijke waarde.

Mogelijke antwoorden zijn:

1. De berekende waarde van A geldt voor niet afgeschermd activiteit. Er is altijd absorptie, want anders zou de patiënt geen inwendige dosis oplopen.
2. De activiteit verdeelt zich niet homogeen over het hele lichaam. Dit beïnvloedt de  $E_{50}$  omdat organen verschillende weegfactoren  $w_T$  hebben.
3. Niet alle delen van het lichaam hebben dezelfde afstand tot de dosistempomonitor. Hoe dit uitpakt, hangt van de verdeling van de activiteit over het lichaam af.
4. De puntbronbenadering mag niet worden toegepast – het is in tegenspraak met de homogene verdeling over het lichaam.

Elk goed argument

[1 punt]

(maximum 2 punt, fout argument –1 punt)

**Vraag 2.4 [2 punten]**

Bereken de effectieve volg dosis  $E_{50}$  (in mSv) uitgaande van de door de fabrikant gegeven dosisconversiecoëfficiënt van tetrofosmine bij inspanning.

$$\begin{aligned} E_{50} &= e_{\text{injectie}}(50) \times A = 5,8 \cdot 10^{-12} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] \times 435 \cdot 10^6 [\text{Bq}] \\ &= 0,0025 \text{ Sv} = 2,5 \text{ mSv} \end{aligned}$$

Methode

[1 punt]

Uitwerking

[1 punt]

**Puntenwaardering:**

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

### Vraagstuk 3: Beoordeling risico-inventarisatie en – evaluatie dierenartspraktijk met een C-boog [13 punten]

#### Vraag 3.1 [2 punten]

*Beargumenteer op basis van het stappenplan in de bijlage of voor dit toestel en de geplande toepassing een registratie nodig is (zoals de dierenarts zegt) of dat dit een vergunning moet zijn.*

- Op grond van het stappenplan is een registratie enkel voldoende bij een neerwaarts gerichte verticale bundel, terwijl het toestel in de beschreven situatie een opwaarts gerichte bundel heeft.
- De bundelrichting bij een C-boog kan zeer eenvoudig worden veranderd en er is dus geen garantie dat er altijd een verticale bundel gebruikt wordt.
- Bovendien is er bij een C-boog geen sprake van een vaste focus-film afstand.

Eén van deze argumenten samen met de conclusie 'vergunning' [2 punten]

#### Vraag 3.2 [3 punten]

*Controleer **paragraaf 1. Blootstelling en indeling medewerkers in röntgenkamer** van de RI&E van de dierenarts (zie **Bijlage, blz. 10-11**) en som op wat hier mis gaat. Hierbij wordt 1 punt per aangewezen fout toegekend tot een maximum van 3 punten.*

Mogelijke antwoorden zijn:

1. Er is geen afstandscorrectie gedaan en er is niet aangegeven op welke afstand van de hond de werknemers staan. [1 punt]
2. De equivalente dosis voor de huid en de ogen zijn niet berekend en vergeleken met de dosislimieten. [1 punt]
3. In de berekening staat een fout, de jaardosis moet worden berekend door het dosistempo te vermenigvuldigen met de totale doorlichttijd.  
De berekening moet zijn  $1 \text{ mSv/uur} \times (1500/(60 \times 60)) = 0,42 \text{ mSv}$  [1 punt]
4. Er is geen informatie over voorziene onbedoelde gebeurtenissen gegeven. Die zijn daarom niet in te schatten. Dit kan mogelijk invloed hebben op de classificatie. [1 punt]

**Vraag 3.3 [3 punten]**

Controleer en corrigeer de berekening van het loodequivalent van de muur die in **paragraaf 3. Loodequivalent** van de RI&E is uitgevoerd.

$$I_d = I_0 \cdot 0,5^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

$$d_{1/2} = 0,10 \text{ mm.}$$

$$d = d_{1/2} \log_{0,5} \left( \frac{I_d}{I_0} \right) = 0,10 \text{ [mm]} \times \log_{0,5} \left( \frac{30-5 \text{ [cps]}}{4000-5 \text{ [cps]}} \right) = 0,73 \text{ mm Pb-eq} \quad [2 \text{ punten}]$$

Correctie op onterechte verwaarlozing van teltempo achtergrond [1 punt]  
 Wanneer de 5 cps wordt verwaarloosd op basis van argument van vermoedelijke niet-significante invloed op de afleeson nauwkeurigheid monitor kan dit punt wel worden toegekend.

De berekening van de dierenarts ging uit van een lineair verband, terwijl het een exponentieel verband is. Zonder berekening hiervoor 1 punt toekennen.

NB. Op basis van het gegeven loodequivalent kan de halveringsdikte ook als volgt worden uitgerekend:

$$d_{1/2} = \frac{1}{\log_{0,5} \left( \frac{I_d}{I_0} \right)} = \frac{1}{\log_{0,5} \left( \frac{(10-5)[\text{cps}]}{(4000-5)[\text{cps}]} \right)} = 0,1 \text{ mm Pb equivalent}$$

**Vraag 3.4 [3 punten]**

Corrigeer de berekening in **paragraaf 4. Afschermings- en dosisberekening baliemedewerker** uit de RI&E en de daarop gebaseerde conclusie voor de indeling van de baliemedewerker als blootgestelde werknemer. Doe dit door zelf een berekening uit te voeren en (uitsluitend) daarop deze indeling te baseren.

De transmissie kan bepaald worden op basis van de meetgegevens.

$$T = \frac{I(d)}{I(0)} = \frac{30-5}{4000-5} = 6,3 \cdot 10^{-3} \quad [1 \text{ punt}]$$

$$\dot{H}^*(10)_{baliemdw} = 0,42 \text{ [mSv]} \cdot \left( \frac{1 \text{ [m]}}{1,5 \text{ [m]}} \right)^2 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ [mGy]} = 1,2 \text{ }\mu\text{Sv}$$

Afstandscorrectie [1 punt]

Conclusie: de baliemedewerker is een niet-blootgesteld werknemer. [1 punt]



Toelichting

De build-up zit automatisch verwerkt in alle metingen. Het zou goed zijn als de deelnemer hier iets over opmerkt, maar dit levert geen punt of aftrek op.

Indien bovenstaande berekening met 2,38 mSv (i.p.v. 0,42 mSv) wordt uitgevoerd, dan wordt dit voor deze subvraag beoordeeld als doorrekenfout (geen aftrek), omdat het niet opmerken van de fout al is beoordeeld bij vraag 3.2.

Wanneer de eigen berekening correct is uitgevoerd is daarmee automatisch de fout in de berekening van de dierenarts aangetoond. Het noemen van de rekenfout (vergeten kwadraat) in de berekening van de dierenarts levert 1 punt op indien de eigen berekening incorrect is uitgevoerd.

**Vraag 3.5 [2 punten]**

*Schrijf een verzoek (vraag) om aanvullende informatie aan de dierenarts om de berekening van de MID mogelijk te maken.*

Ik verzoek u om een plattegrond op schaal aan te leveren waarop duidelijk de terreingrens is aangegeven en de afstand van de toepassing tot de terreingrens.  
[2 punten]

NB. Alleen vragen naar de afstand is goed voor 2 punten. Bovenstaande zin is in de praktijk gebruikelijker, omdat de plattegrond onderdeel moet zijn van de vergunningsaanvraag.

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 3</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
3.1	2
3.2	3
3.3	3
3.4	3
3.5	2
<b>Totaal</b>	<b>13</b>

## Vraagstuk 4: Detectie van americium-241 met een ionisatiekamer [13 punten]

### Vraag 4.1 [3 punten]

Bereken de hoeveelheid vrijgemaakte negatieve lading (in Coulomb) dat een alfadeeltje van  $^{241}\text{Am}$  veroorzaakt in het detectievolume (hint: bereken eerst het aantal vrijgemaakte ion-elektronparen).

Aflezen tabel Bijlage blz. 13:  $W$  (4,2 MeV alfa's in stikstof) =  $36,4 \text{ eV} \cdot \text{ip}^{-1}$  [1 punt]

Het aantal vrijgemaakte ion-elektronparen (en het aantal elektronen) is dan:

$$\frac{5,5 \cdot 10^6 [\text{eV/alfa}]}{36,4 [\text{eV/ip}]} = 151098 [\text{ip/alfa}] \rightarrow \quad [1 \text{ punt}]$$

$$1,51 \cdot 10^5 [\text{ip/alfa}] \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19} [\text{C/ip}] = 2,42 \cdot 10^{-14} [\text{C/alfa}] \quad [1 \text{ punt}]$$

### Vraag 4.2 [4 punten]

Bereken de activiteit van de bron (in Bq) die nodig is om een ionisatiestroom van  $5 \cdot 10^{-12} \text{ A}$  (= 5 pA) te produceren?

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s} \rightarrow 5 \cdot 10^{-12} \text{ A} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ C/s} \quad [1 \text{ punt}]$$

Indien 1 alfa  $2,42 \cdot 10^{-14} \text{ C}$  produceert, dan moeten er:

$$\frac{5 \cdot 10^{-12} [\text{C/s}]}{2,42 \cdot 10^{-14} [\text{C/alfa}]} = 206,5 [\text{alfa/s}] \text{ gemeten worden.} \quad [1 \text{ punt}]$$

We gaan uit van een geometrisch rendement van 50%, de monitor is geplaatst boven de bron. Er moeten dus:  $206,5 \cdot 2 = 413 \text{ alfa's/s}$  [1 punt]

door de bron worden uitgezonden. De yield is 1 en daarmee wordt de activiteit:

$$\frac{413 \text{ alfa/s}}{1 \text{ alfa per desintegratie}} = 413 \text{ Bq} \quad [1 \text{ punt}]$$

**Vraag 4.3 [4 punten]**

*Bereken het netto teltempo voor deze meting en het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.*

$R_{\text{netto}}$  is:  $885 - 45 = 840$  cps [1 punt]

$s_{R_{\text{netto}}} = \sqrt{\frac{R_{\text{bruto}}}{t_{\text{bruto}}} + \frac{R_{\text{achter}}}{t_{\text{achter}}}} = \sqrt{\frac{885\text{cps}}{300\text{s}} + \frac{45\text{cps}}{600\text{s}}} = 1,74$  cps [1 punt]

2 standaarddeviaties:  $2 \cdot 1,74 = 3,49$  cps [1 punt]

$R_{\text{netto}}$  met 95% BI:  $(840 \pm 3)$  cps [1 punt]

NB:  $(840 \pm 4)$  cps kan hier ook als correct worden beoordeeld op basis van veiligheid.

**Vraag 4.4 [2 punten]**

*Bereken het maximale teltempo dat we met dit systeem kunnen meten.*

Het maximale teltempo bij een niet-paralyseerbaar systeem is  $1/\tau$  (Bos et al. Figuur 10-3) [1 punt]

dus  $1/45 \cdot 10^{-6}$  [s] = 22222 cps =  $2,22 \cdot 10^4$  cps. [1 punt]

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 4</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
4.1	3
4.2	4
4.3	4
4.4	2
<b>Totaal</b>	<b>13</b>