

## **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: 14 december 2020

- 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

## Vraagstuk 1: Niveaumeting

### Vraag 1.1

[4 punten]

Bereken het huidige omgevingsdosisequivalenttempo op één meter afstand (in punt P, figuur 1) van het oppervlak van de bronhouder met daarin de  $^{60}\text{Co}$ -bron. De sluiters is dicht.

$$A(t) = A(0) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 4 \text{ GBq} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{6[\text{jaar}]}{5,3[\text{jaar}]}} = 1,8 \text{ GBq} \quad [1\text{pt}]$$

De transmissie is 0,004 (af te lezen uit bijlage 2) [1pt]

$$\dot{H}^*(10) = \frac{k \times A}{r^2} \cdot T = \frac{0,36 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 1,8 \cdot 10^3 [\text{MBq}]}{1,11 [\text{m}^2]} \times 0,004 = 2,1 \mu\text{Sv/uur}$$

[2pt]

### Vraag 1.2

[5 punten]

Hoeveel cps zal de detector weergeven wanneer het voorraadvat leeg is?

$$\text{geometrisch rendement} = \frac{\text{detector oppervlak}}{4 \pi r^2} = \frac{40 [\text{cm}^2]}{4 \pi \cdot 210 [\text{cm}^2]} = 7,2 \cdot 10^{-5} \quad [2\text{pt}]$$

aantal gemeten cps = A × yield × transmissie ×  $\eta_{\text{geo}}$  × detectorrendement

$$= 1,8 \cdot 10^9 [\text{dps}] \times 2 [\gamma/\text{dps}] \times 0,71 \times 7,2 \cdot 10^{-5} \times 0,01 [\text{c}/\gamma]$$

$$= 1,8 \cdot 10^3 \text{ cps} \quad [3\text{pt}]$$

**Vraag 1.3**

**[6 punten]**

*Er zijn voor- en nadelen te noemen voor het vervangen van de  $^{60}\text{Co}$  bron voor een  $^{137}\text{Cs}$  bron. Noem vier voor- en/of nadelen en geef bij elk voor- of nadeel een argument. U scoort 1,5 punt per juiste combinatie van een voor- of nadeel en het argument. Meer dan vier goede antwoorden leveren geen extra punten op, foute antwoorden leveren puntaftek op.*

[1½ pt per juist antwoord]

**Voordeel:**

Fotonen van  $^{137}\text{Cs}$  hebben een lagere energie dan die van  $^{60}\text{Co}$ , zorgen voor een hoger meetrendement. Het detectorrendement is een factor 3 hoger. Dus een nauwkeuriger meting, afhankelijk van het proces kan zorgen voor snellere procesvoering.

**Voordeel:**

De halveringstijd van  $^{137}\text{Cs}$  is aanzienlijk langer dan die van  $^{60}\text{Co}$ , waardoor de bron minder snel aan vervanging toe is.

**Voordeel:**

$^{137}\text{Cs}$  is veel beter af te schermen dan  $^{60}\text{Co}$ , vanwege de lagere fotonenenergie. Het omgevingsdosistempo van de nieuwe afgeschermd  $^{137}\text{Cs}$ -bron is daarom lager dan dat van de (nieuwe)  $^{60}\text{Co}$ -bron. Dat zorgt ervoor dat de afstand tot de nieuwe bron minder groot hoeft te zijn. Dat kan handig zijn op het bedrijfsterrein.

**Nadeel:**

Onnodig geld uitgeven aan aanschaf nieuwe bron, vorige bron voldeed nog.

**Nadeel:**

Onnodig geld uitgeven aan afvoer oude bron, vorige bron voldeed nog.

**Nadeel:**

Cesium levert ten opzichte van  $^{60}\text{Co}$  langlevend afval op. Dit afval kost meer geld.

**Voordeel:**

Het argument dat  $^{137}\text{Cs}$  makkelijker is af te schermen heeft ook positieve consequenties voor de stralingsbescherming (ALARA wat betreft de stralingsdosis voor omstanders).

**Voordeel:**

Dat de bron langlevend afval oplevert is waar, je hoeft de bron echter ook minder vaak te vervangen met alle (mogelijke risicovolle) handelingen die dat met zich meebrengt (ALARA voor de blootgestelde werknemers).

**Nadeel:**

De oude bron voldoet nog. Indien het doel van de meting slechts is om het verschil te kunnen bepalen tussen vol en leeg is een grotere meetnauwkeurigheid niet noodzakelijk en niet gerechtvaardigd!

**Puntenverdeling vraagstuk 1**

Vraag 1.1	4 punten
Vraag 1.2	5 punten
Vraag 1.3	6 punten
<b>Totaal</b>	<b>15 punten</b>

## Vraagstuk 2: Inwendige besmetting

### Vraag 2.1

[3 punten]

Bereken met behulp van de vloeistofscintillatietellingen de activiteitsconcentratie tritium (in Bq/mL) van het gecondenseerde water.

netto teltempo is  $7355 - 25$  [tpm/mL] = 7330 [tpm/mL] = 122 tps/m [1pt]

activiteitsconcentratie in het water  $122$  [tps/mL] /  $0,31$  = 394 Bq/mL [2pt]

### Vraag 2.2

[4 punten]

Bereken de maximale activiteitsconcentratie (in Bq/mL), uitgaande van een statistische onnauwkeurigheid van 3 sigma in de berekende activiteit.

$$\sigma_A = \sigma_R / \varepsilon$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{R_b}{t_b} + \frac{R_a}{t_a}} = \sqrt{\frac{7355}{10} + \frac{25}{60}} = 27 \text{ tpm} \quad [2\text{pt}]$$

$$\sigma_A = 27 \text{ [tpm]} / (60 \text{ [s/min]} \times 0,31 \text{ [tps/Bq]}) = 1,5 \text{ Bq} \quad [1\text{pt}]$$

Het gemeten volume is 1 mL.

De maximale activiteitsconcentratie is  $394$  [Bq] +  $(3 \times 1,5$  [Bq]) = 398 Bq/mL [1pt]

### Vraag 2.3a

[2 punten]

Zou u als stralingsbeschermingsdeskundige bij de berekening van de blootstelling van de werknemer uitgaan van een evenwichtsactiviteitsconcentratie?

Beargumenteer uw antwoord.

Ja, als we uitgaan van continu vrijkomen van de activiteit en continu verwijderen van de activiteit door ventilatie, dan bereik je uiteindelijk een evenwichtsconcentratie.

**Vraag 2.3b**

**[3 punten]**

Wat is de maximale activiteitsconcentratie **in de lucht** (in Bq/m<sup>3</sup>) van het besmette laboratorium?

$$398 \text{ Bq/mL} = 398 \text{ Bq/g} \quad [1\text{pt}]$$

De lucht bevat 15 g/m<sup>3</sup> water, de activiteitsconcentratie in de lucht is dan

$$398 \text{ [Bq/g]} \times 15 \text{ [g/m}^3\text{]} = 5970 \text{ Bq/m}^3 \quad [2\text{pt}]$$

**Vraag 2.4**

**[4 punten]**

Bereken de effectieve dosis die de werknemer heeft ontvangen via inhalatie, met behulp van de berekende activiteitsconcentratie in de lucht van vraag 2.3b.

$$\text{De ingeademde activiteit: } 5970 \text{ [Bq/m}^3\text{]} \times 1,2 \text{ [m}^3\text{/h]} \times 8 \text{ [uur]} = 57 \text{ kBq} \quad [2\text{pt}]$$

$$\text{De effectieve dosis door inhalatie} = 5,7 \cdot 10^4 \text{ [Bq]} \times 1,8 \cdot 10^{-11} \text{ [Sv/Bq]} = 1,0 \text{ }\mu\text{Sv} \quad [2\text{pt}]$$

**Puntenverdeling vraagstuk 2**

Vraag 2.1	3 punten
Vraag 2.2	4 punten
Vraag 2.3a	2 punten
Vraag 2.3b	3 punten
Vraag 2.4	4 punten
<b>Totaal</b>	<b>16 punten</b>

### Vraagstuk 3: Prikincident

#### Vraag 3.1

[2 punten]

Bereken de activiteit in de schildklier op moment van de meting.

Netto teltempo:  $95 \text{ [cpm]} - 45 \text{ [cpm]} = 50 \text{ cpm}$  [1pt]

Activiteit:  $R/\varepsilon = A$

$50 \text{ [cpm]} / 60 \text{ [cpm/kBq]} = 0,83 \text{ kBq}$  [1pt]

#### Vraag 3.2

[4 punten]

Bereken hoeveel activiteit in het lichaam van de laborant is terechtgekomen tijdens dit incident.

Uit de tabel "Procentuele radioactiviteitsverdeling na toediening van  $^{123}\text{I}$ -IBZM" volgt dat in de periode van 15-95 minuten na toediening 0,6% van de totale activiteit in de schildklier zit. [1pt]

De totale activiteit is op dat moment: [2pt]

$$\frac{0,83 \text{ [kBq]}}{\frac{0,6\%}{100\%}} = 139 \text{ kBq}$$

De geïnjecteerde activiteit was ongeveer 1 uur eerder

$$\frac{139 \text{ [kBq]}}{\frac{1}{2}^{1/13,22}} = 139 \text{ [kBq]} / 0,95 = 146 \text{ kBq}$$

Of noemen: verval mag hier verwaarloosd worden [1pt]

#### Vraag 3.3

[2 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de laborant als gevolg van dit incident.

De effectieve volg dosiscoëfficiënt voor  $^{123}\text{I}$  is 0,034 mSv/MBq. Bij 139 kBq is de effectieve volg dosis dus:

$$0,139 \text{ [MBq]} \times 0,034 \text{ [mSv/MBq]} = 0,0047 \text{ mSv} = (5 \mu\text{Sv})$$
 [2pt]

#### Vraag 3.4

[6 punten]

Bereken het teltempo in cpm per geïnjecteerde kBq van dit urinemonster.

Uit Handboek Radionucliden, A. Keeverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2015), blz. 156, gegevens  $^{123}\text{I}$ , is het totale aantal uitgezonden elektronen af te lezen:

$$0,135 + 0,082 + 0,606 + 0,311 = 1,134 \text{ elektronen per 1 desintegratie.}$$

Per kBq zijn dit 1134 elektronen per seconde. [1pt]

Deze elektronen worden gemeten met een detectierendement van 0,6 counts per uitgezonden elektron.

Uit "Procentuele radioactiviteitsverdeling na toediening van  $^{123}\text{I}$ -IBZM": 3 uur na het incident zit 13,3% van de activiteit in de 300 mL urine. [1pt]

10 mL urine bevat dan  $10/300 \times 13,3\% = 0,443\%$  [1pt]

$0,443\%/100\% \times 1134$  [elektronen/s] = 5,02 elektronen per seconde

Het teltempo is  $5,02$  [elektronen per seconde]  $\times 0,6 = 3,01$  cps, dit is 181 cpm. [2pt]

Sinds het incident is 3 uur verstreken. Het teltempo is dus:

$181$  [cpm]  $\times \frac{1}{2}^{3/13,22} = 181$  [cpm]  $\times 0,854 = 154$  cpm per geïnjecteerde kBq.

[1pt]

**Puntenverdeling vraagstuk 3**

Vraag 3.1	2 punten
Vraag 3.2	4 punten
Vraag 3.3	2 punten
Vraag 3.4	6 punten
<b>Totaal</b>	<b>14 punten</b>



## Vraagstuk 4: Lutetium-177

### Vraag 4.1

[3 punten]

Bereken het aantal atomen  $^{176}\text{Lu}$  in 2 mg lutetiumnitraat.

$$N = \frac{0,85 [f] \times 2 \cdot 10^{-3} [g] \times 6,022 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}]}{(175,85 + 3 \times 62,03) [g \cdot \text{mol}^{-1}]} = 2,83 \cdot 10^{18} \text{ atomen lutetium} \quad [3 \text{ pt}]$$

Onderverdeling punten:

Molecuulgewicht  $\text{Lu}(\text{NO}_3)_3$  is  $175,85 + (3 \times 62,03) = 361,94 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  [1 pt]

Toepassen verrijkingsgraad [1 pt]

Toepassen 2 mg (en uitrekenen N) [1 pt]

### Vraag 4.2

[5 punten]

Bereken wat de bestralingstijd (in uren) moet zijn om aan de vraag van de klant te voldoen.

De activiteit moet bij aankomst 500 GBq zijn, dus er moet:

$$A(5h) = A(0) \cdot e^{-\ln(2) \times t / (T_{1/2})}$$

$$A(0) = 500 [\text{GBq}] / e^{-\ln(2) \times 5 [\text{h}] / (6,71[\text{d}] \times 24[\text{h/dag}])} = 511 \text{ GBq geproduceerd worden.}$$

[1 pt]

Invullen geeft:

$$5,1 \cdot 10^{11} \text{ Bq} = 2,83 \cdot 10^{18} [N] \times 5 \cdot 10^{19} [m^{-2} \cdot s^{-1}] \times 2100 \cdot 10^{-28} [m^2] \times (1 - e^{-1,2 \cdot 10^{-6} [s^{-1}] \times t})$$

Invullen fluentietempo, werkzame doorsnede & vervalconstante [2 pt]

$$1,7 \cdot 10^{-2} = 1 - e^{-1,2 \cdot 10^{-6} [s^{-1}] \times t}$$

$$-e^{-1,2 \cdot 10^{-6} [s^{-1}] \times t} = 1,7 \cdot 10^{-2} - 1$$

$$e^{-1,2 \cdot 10^{-6} [s^{-1}] \times t} = 1 - 1,7 \cdot 10^{-2}$$

$$t = \frac{\ln(1 - 1,7 \cdot 10^{-2})}{-1,2 \cdot 10^{-6} [s^{-1}]} = 1,44 \cdot 10^4 \text{ sec}$$

$$\frac{1,44 \cdot 10^4 [s]}{3600 [s \cdot h^{-1}]} = 4 \text{ uur}$$

[2 pt]

Beargumenteer verval verwaarlozen mag ook.

**Vraag 4.3a**

**[6 punten]**

Bereken het maximale luchtkermatempo ( $\dot{K}$ ) op het oppervlak van het collo. Neem aan dat de  $\beta$ -straling volledig geabsorbeerd wordt door het lood en de gevormde remstraling hierbij verwaarloosbaar is.

Activiteit = 511 GBq (zie vraag 4.2)

De transmissie per fotonenergie worden bepaald.

$$\text{Transmissie} = B \cdot e^{-\mu d} = B \cdot e^{-((\mu/\rho) \cdot \rho) \cdot d}$$

Aflezen ( $\mu/\rho$ ) bijlage, blz 2: 208 keV = 1 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> en 113 keV = 5 cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> [1 pt]

$$T_{208\text{keV}} = 1 \cdot e^{-(1 \cdot 11,34) \cdot 0,7} = 3,57 \cdot 10^{-4} \quad [1 \text{ pt}]$$

$$T_{113\text{keV}} = 1 \cdot e^{-(5 \cdot 11,34) \cdot 0,7} = 5,8 \cdot 10^{-18} \rightarrow \text{dus nihil} \quad [1 \text{ pt}]$$

Toelichting puntenverdeling:

Het aflezen van de massieke verzwakkingsdoorsnede is 1 punt waard.

De transmissie moet sowieso worden uitgerekend en is 1 punt waard.

Beredeneren dat 113 keV foton niet relevant is op basis van lagere yield en energie is gelijkwaardig aan de conclusie  $T_{113\text{keV}} = \text{nihil}$  en is 1 punt waard.

Het kermatempo wordt dus alleen bepaald door 208 keV gammastraling.

$$\dot{K} = \frac{\Gamma \times A}{r^2} \times T$$

$$\Gamma = \frac{1}{8} \times E_{208} \times \text{yield} = \frac{1}{8} \times 0,208 \times 0,11 = 2,86 \cdot 10^{-3} \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \quad [2 \text{ pt}]$$

Ook een andere passende vuistregel wordt goedgekeurd.

$$A = 511 \text{ GBq}$$

$$r = 0,21 \text{ meter}$$

$$T = 3,54 \cdot 10^{-4}$$

$$\dot{K} = \frac{2,86 \cdot 10^{-3} [\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 511 \cdot 10^3 [\text{MBq}]}{0,21 [\text{m}]^2} \cdot 3,57 \cdot 10^{-4} = 11,8 \cdot \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \quad [1 \text{ pt}]$$

**Vraag 4.3b**

**[4 punten]**

Bepaal de transportindex van dit collo.

Aflezen conversiefactor van 208 keV  $\gamma$ -straling = 1,4 (bijlage 3) [1 pt]

$$11,8 [\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}] \cdot 1,4 \cdot \left( \frac{0,21[\text{m}]^2}{1,21[\text{m}]^2} \right) = 0,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \quad [2 \text{ pt}]$$

Zonder tussentijds afronden is  $H^*(10) < 0,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ . De TI = 0,0.

Indien berekening  $H^*(10) \geq 0,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  geeft, dan geldt  $TI = 0,1$ .  
(Juiste TI inclusief afronden naar boven op 1 decimaal).

[1 pt]

**Vraag 4.4**

**[2 punten]**

*Welk etiket moet op het collo geplakt worden? Geef alle gegevens die hierop ingevuld moeten worden.*

Activiteit A ligt onder de A1 en A2 waarde. De activiteit mag daarom vervoerd worden in een type A-collo. Gezien het dosistempo aan het oppervlak  $11,8 \mu\text{Gy} \times 1,4 \text{ Sv/Gy} = 16,5 \mu\text{Sv}$  moet er gekozen voor een type A collo, met etiket II-Geel

Ingevuld contents:  $^{177}\text{Lu}$

Activiteit: 511 GBq

TI: 0,1

**Puntenverdeling vraagstuk 4**

Vraag 4.1	3 punten
Vraag 4.2	5 punten
Vraag 4.3a	6 punten
Vraag 4.3b	4 punten
Vraag 4.4	2 punten
<b>Totaal</b>	<b>20 punten</b>