

UITWERKINGEN

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

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

Examendatum: 13 mei 2019

Vraagstuk 1: Ingestie van uranium in drinkwater

Vraag 1.1a (5 punten)

Bereken de activiteit van ^{238}U in 1 μg natuurlijk uranium.

$$\lambda_{U-238} = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}, U-238}} = \frac{\ln 2}{4,47 \cdot 10^9 [\text{a}] \times 365,25 \left[\frac{\text{d}}{\text{a}} \right] \times 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{d}} \right] \times 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]} = 4,91 \cdot 10^{-18} \text{s}^{-1} \quad [1 \text{ punt}]$$

$$N = \frac{m \times N_A}{M} = \frac{10^{-6} [\text{g}] \times 6,022 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}]}{238,0 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]} \times \frac{99,2742\%}{100\%} = 2,51 \cdot 10^{15} \text{atomen} \quad [3 \text{ punten}]$$

$$A_{U-238} = \lambda \times N = 2,51 \cdot 10^{15} \times 4,91 \cdot 10^{-18} [\text{s}^{-1}] = 0,0123 \text{ Bq} \quad [1 \text{ punt}]$$

Vraag 1.1b (2 punten)

Bereken de totale activiteit van de drie uranium-isotopen in 1 μg natuurlijk uranium.

U-238 levert 49% van de totale activiteit, de totale activiteit is dus:

$$A = \frac{100\%}{49\%} \times 0,0123 [\text{Bq}] = 0,025 \text{ Bq}$$

Vraag 1.2 (3 punten)

Bepaal de effectieve volgdozis ten gevolge van een jaar lang drinken van drinkwater met een gemiddelde uraniumconcentratie van 92,42 $\mu\text{g}/\text{L}$.

$$A_{tot} = 0,025 \left[\frac{\text{Bq}}{\mu\text{g}} \right] \times 92,42 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \right] \times 2,0 \left[\frac{\text{L}}{\text{dag}} \right] \times 365,25 \left[\frac{\text{dag}}{\text{jaar}} \right] = 1,7 \text{ kBq} \quad [2 \text{ punten}^*]$$

$$E(50) = A_{tot} \times e(50) = 1,7 \cdot 10^3 [\text{Bq}] \times 4,4 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \right] = 75 \mu\text{Sv} \quad [1 \text{ punt}]$$

* 365 dagen per jaar ook goed rekenen

Vraag 1.3 (2 punten)

Bereken op basis van de linear no-threshold hypothese (LNT-hypothese) het verwachte aantal doden door kanker ten gevolge van de bij vraag 1.2 berekende effectieve volg dosis.

Indien u geen antwoord heeft kunnen geven op vraag 1.2, gebruik dan $E(50)=100 \mu Sv$.

$$75 \cdot 10^{-6} \left[\frac{Sv}{j} \right] \times \frac{5\% [Sv^{-1}]}{100\%} = 3,8 \cdot 10^{-6} j^{-1}$$

Op 12 miljoen inwoners zou dat $12 \times 3,8 = 45$ doden opleveren [2 punten]

Vraag 1.4 (1 punt)

Is het berekenen van het aantal doden in Bangalore, gebaseerd op de LNT-hypothese, in lijn met de aanbevelingen van de ICRP?

Beargumenteer uw antwoord.

Nee, door biologische en statistische onzekerheden wordt het door ICRP sterk afgeraden het hypothetische aantal personen met kanker of erfelijke ziekten te berekenen op basis van lage dosiswaarden opgelopen door grote aantallen mensen over langere perioden*.

*ICRP 103 pagina 51 lid 66

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1a	5
1.1b	2
1.2	3
1.3	2
1.4	1
Totaal	13

Vraagstuk 2: Controle verrijkingsgraad

Vraag 2.1 (4 punten)

Bereken aan de hand van het meetresultaat van het natuurlijke RbCl het telrendement. Geef het resultaat in tps/Bq.

1 g natuurlijk rubidiumchloride bevat 653 Bq (zie gegevens)

10 mg natuurlijk rubidiumchloride bevat dan 6,53 Bq

$$\varepsilon = \frac{R}{A} = \frac{\left(\frac{7520 - 1670}{1000}\right) [\text{tps}]}{6,53 [\text{Bq}]} = \frac{5,85 [\text{tps}]}{6,53 [\text{Bq}]} = 0,896 \text{ tps/Bq}$$

Vraag 2.2 (4 punten)

Bereken de relatieve standaarddeviatie in het telrendement (berekend bij vraag 2.1).

$$\begin{aligned} \sigma_{N_A - N_{\text{achtergrond}}} &= \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{\text{achtergrond}}^2} = \sqrt{N_A + N_{\text{achtergrond}}} = \sqrt{7520 + 1670} \\ &= 96 \text{ counts} \end{aligned}$$

Dit is $\frac{96}{7520 - 1670} \times 100\% = 1,6\%$ van het netto aantal counts en dus ook 1,6% van het hiermee berekende telrendement.

Vraag 2.3 (4 punten)

Klopt de verrijkingsgraad van het geleverde RbCl met wat er besteld is? Ondersteun uw antwoord met een berekening.

Snelle schatting:

abundantie verrijkt materiaal = $27,83\% \times (12110 - 1670 / 7520 - 1670) = 49,7\%$
 $49,7\% \ll 99\%$

Andere methode:

1 gram natuurlijk RbCl bevat 27,83% actief Rb en is 653 Bq
 $99\% / 27,83\% \times 653 \text{ Bq} = 2323 \text{ Bq} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Bq}$

Op grond hiervan zou de 10 mg 99% verrijkt RbCl 23 Bq moeten bevatten. De aanwezige activiteit in dit telmonster is in werkelijkheid, op grond van de meting in de vloeistofscintillatieteller:

$$R_{\text{netto}} = \frac{12110 - 1670}{1000} = 10,44 \text{ tps}$$

De activiteit van 10 mg 99% verrijkt RbCl is:

$$A = \frac{R}{\varepsilon} = \frac{10,44}{0,896} = 11,7 \text{ Bq}$$

De aanwezige activiteit is ongeveer de helft van de beloofde activiteit. De afwijking tussen de gemeten waarde en de beloofde waarde is veel groter dan de standaarddeviatie in de meting en dus is hiermee vastgesteld dat het geleverde rubidiumchloride minder dan 99% verrijkt is.

Vraag 2.4 (3 punten)

Leg uit waarom in dit geval de vloeistofscintillatiemeting een betere detectiemethode is dan een besmettingsmonitor.

LSC geeft het hoogste telrendement, in combinatie met de lage activiteit zou elke andere methode met een besmettingsmonitor voor erg onnauwkeurige resultaten zorgen.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	4
2.2	4
2.3	4
2.4	3
Totaal	15

Vraagstuk 3: ^{99m}Tc -generatoren

Vraag 3.1 (4 punten)

Toon met een berekening aan dat de dosis op het oppervlak van het collo vrijwel alleen wordt veroorzaakt door de 740 keV en 778 keV fotonen van ^{99}Mo . Bereken hiervoor de transmissie van 181 keV en 740 keV fotonen door de loodafscherming.

181 keV:

$$d = 2,5 \text{ cm lood}$$

$$\mu/\rho = 1,415 \text{ cm}^2/\text{g} \quad [\text{interpolatie of goede schatting op basis van tabel D}]$$

$$\rho \text{ lood} = 11,34 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 1,415 \text{ cm}^2/\text{g} \times 11,34 \text{ g/cm}^3 = 16,05 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu d = 16,05 \text{ cm}^{-1} \times 2,5 \text{ cm} = 40$$

$$B = 2$$

$$T = e^{-\mu d} \times B = e^{-40} \times 2 = 7,5 \cdot 10^{-18} = \text{nihil}$$

740 keV:

$$d = 2,5 \text{ cm lood}$$

$$\mu/\rho = 0,0995 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\rho \text{ lood} = 11,34 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0,0995 \text{ cm}^2/\text{g} \times 11,34 \text{ g/cm}^3 = 1,128 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu d = 1,128 \text{ cm}^{-1} \times 2,5 \text{ cm} = 2,8$$

$$B = 1,7$$

$$T = e^{-\mu d} \times B = e^{-2,8} \times 1,7 = 0,1 \text{ (10\%)}$$

Conclusie: de bijdrage van de 181-keV-fotonen is verwaarloosbaar ten opzichte van de 740-keV-fotonen

Vraag 3.2 (5 punten)

Bereken het omgevingsdosisequivalenttempo (veroorzaakt door de 740 keV en 778 keV fotonen van ^{99}Mo) op het oppervlak van een collo bij het vertrek van het vliegveld.

Bij een radionuclide dat verschillende fotonenergieën uitzendt en waarbij afscherming zorgt voor een vrijwel volledige afscherming van de lagere fotonenergieën zal een $H^*(10)$ berekening met behulp van de omgevingsdosisequivalenttempoconstante (h) een overschatting geven. Nauwkeuriger is hier een $H^*(10)$ berekening alleen op basis van 740 keV en van 778 keV fotonen. Dit is mogelijk met behulp van de vuistregel voor luchtkerma (of bijlage pagina 5) waar per fotonenergie de luchtkerma bepaald kan worden. Tevens kan de transmissie per fotonenergie worden bepaald.

740 keV:

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

$$\Gamma = \frac{1}{8} (E_\gamma \times y) = \frac{1}{8} \times (0,74 \times 0,123) = 0,0113 \mu\text{Gy m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$A = 10\,000 \text{ MBq}$$

$$d = 2,5 \text{ cm}$$

$$r = 0,195 \text{ m}$$

T (740 keV) door 2,5 cm lood = 0,1 (zie vraag 1)

$$\dot{K} = \frac{0,0113 \times 10000 \text{ [MBq]}}{0,195^2} \times 0,1 = 300 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \quad (1 \text{ pt})$$

778 keV:

$$\dot{K} = \frac{\Gamma \times A}{r^2} \times e^{-\mu d} \times B$$

$$\Gamma = \frac{1}{8} (E_\gamma \times y) = \frac{1}{8} \times (0,778 \times 0,043) = 0,0042 \mu\text{Gy m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$A = 10\,000 \text{ MBq}$$

$$d = 2,5 \text{ cm}$$

$$r = 0,195 \text{ m}$$

$$T (778 \text{ keV}) = e^{-\mu d} \times B = e^{-2,6} \times 1,7 = 0,126$$

$$\mu/\rho = 0,0926 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\rho \text{ lood} = 11,34 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 0,0926 \text{ cm}^2/\text{g} \times 11,34 \text{ g/cm}^3 = 1,05 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu d = 1,05 \text{ cm}^{-1} \times 2,5 \text{ cm} = 2,6$$

$$B = 1,7$$

$$\dot{K} = \frac{0,0042 \times 10000 \text{ [MBq]}}{0,195^2} \times 0,123 = 136 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \quad (1 \text{ pt})$$

$$\dot{K}_{(740 \text{ keV})} + \dot{K}_{(778 \text{ keV})} = 300 + 139 = 436 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

In bijlage 3 is de conversiefactor te vinden van kerma naar H*(10):

$$H^*(10)/K_a = 1,18$$

1,15 – 1,2 wordt goed gerekend. Gebruik van vuistregel $H^*(10) = 1/7 \times E$ wordt goed gerekend

$$\dot{H}^*(10) = \dot{K} \times 1,18 = 436 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \times 1,18 = 514 \mu\text{Sv/h} = 0,5 \text{ mSv/h}$$

1 pt voor correcte μ of $d/2$ (T van 778 keV)

2 pt voor bepalen kermaconstante via vuistregel of door aflezen \times yield

1 pt voor omzetten $\Gamma \rightarrow \text{h}$, óf $K [\text{Gy}] \rightarrow H^*(10) [\text{Sv}]$

1 pt voor het juiste eindantwoord

Berekening met omgevingsdosisequivalenttempoconstante en transmissie van 740 keV fotonen zou 0,7 mSv/h opleveren: 2 pt i.p.v. 5 pt

Omdat de energieën 740 en 778 keV dicht bij elkaar liggen kan ook gekozen worden voor het berekenen van de totale kerma van $\frac{1}{8}\Sigma(E_\gamma \times \gamma)$ in combinatie met de transmissie-waarde van 778 keV.

Vraag 3.3 (3 punten)

Bereken de transport index en geef aan welk gevaarsetiket op elk collo moet zitten (zie bijlage 8). Motiveer uw keuze.

Als u het antwoord op vraag 3.2 niet heeft gevonden mag u uitgaan van 600 $\mu\text{Sv/h}$.

1 meter van het oppervlak, dus 1,195 meter van de puntbron:

$$514 \mu\text{Sv/h} \times \left(\frac{0,195}{1,195}\right)^2 = 13,7 \mu\text{Sv/h} \rightarrow \text{T.I.} = 1,4$$

Voor geel-III geldt:

op oppervlak van collo: 500 – 2000 $\mu\text{Sv/h}$

T.I.: 1-10

Deze collo: geel-III.

Juiste transportindex 1 pt

Juiste motivatie en conclusie (dosis op opp , T.I. en stickertype) 2 pt

Vraag 3.4 (4 punten)

Wat is de effectieve dosis die de chauffeur ontving in de eerste vier weken?

Het verval van ^{99}Mo mag bij deze berekening worden verwaarloosd.

$H^*(10)$ voor 1 collo = 68,5 $\mu\text{Sv/h}$ (verval mag worden verwaarloosd)

Per zaterdag:

Eerste drie uur (zes colli), dosis bestuurder tijdens rijden:

$$3 \text{ [h]} \times 6 \times 68,5 \text{ [\mu\text{Sv/h}]} = 1233 \mu\text{Sv}$$

Tweede drie uur (drie colli), dosis bestuurder tijdens rijden:

$$3/6 \text{ colli} \times 1233 = 616,5 \mu\text{Sv}$$

Óf

$$3 \text{ uur} \times 3 \text{ colli} \times 68,5 \mu\text{Sv} = 616,5 \mu\text{Sv}$$

(2 pt voor het goed berekenen van de twee verschillende trajecten)

Blootstelling per zaterdag:

6 colli voor 3 uur (vliegveld naar A) en 3 colli voor 3 uur (A naar B)

$$1233 \mu\text{Sv} + 616,5 \mu\text{Sv} = 1849,5 \mu\text{Sv} \text{ per week.}$$

Blootstelling gehele maand:

$$4 \text{ zaterdagen} \times 1849,5 \mu\text{Sv} = 7,4 \text{ mSv}$$

$$H^*(10) = E \text{ (zie gegevens)}$$

$$E = 7,4 \text{ mSv}$$

(2 pt voor het bij elkaar optellen tot een goed eindantwoord)

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	4
3.2	5
3.3	3
3.4	4
Totaal	16

Vraagstuk 4: De plaatsing van een CT-scanner

Vraag 4.1 (4 punten)

Bereken de effectieve jaardosis achter de loodbevattende wand op positie P ten gevolge van alleen de C-boog. De kerma door strooistraling op 3 meter afstand bedraagt $K_a = 0,6 \mu\text{Gy}$ per $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ (afgelezen uit bijlage, blz 12).

Op 3 meter: $20 [\text{Gy}\cdot\text{cm}^2] \times 0,6 [\mu\text{Gy}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2] \times 800$ onderzoeken per jaar =
9600 $\mu\text{Gy}/\text{jaar}$

Op 4 meter: $9600 [\mu\text{Gy}/\text{jaar}] \times \left(\frac{3}{4}\right)^2 = 5,4 \text{ mGy}/\text{jaar}$.

De conversiefactor $E(\text{AP})/K_a = 1,4 \text{ Sv}/\text{Gy}$, dus

$E(\text{AP}) = 5400 [\mu\text{Gy}/\text{jaar}] \times 1,4 [\text{Sv}/\text{Gy}] = 7560 \mu\text{Sv}/\text{jaar} = 7,6 \text{ mSv}/\text{jaar}$

Afscherming door 1 mm lood:

T aflezen bij 1,0 mm $T = 0,004$

$7,6 [\text{mSv}/\text{jaar}] \times 0,004 = 30 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$

1 pt voor juiste afstandscorrectie

1 pt voor meenemen DOP en aantal onderzoeken

1 pt voor correct gebruik conversiefactor

1 pt voor correctie afscherming

Vraag 4.2 (5 punten)

Bereken de benodigde dikte van het loodglas in gehele mm's, wanneer de totale effectieve dosis in P niet meer dan $50 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$ mag bedragen.

Uit het verstrooiingsdiagram van de CT-scanner: $1 \mu\text{Gy}$ bij 200 mAs op een afstand van ongeveer 2,6 meter.

Per jaar op 2,6 meter: $\frac{51850000}{200} \times 1 [\mu\text{Gy}] = 26 \cdot 10^4 \mu\text{Gy}/\text{jaar}$

K_a op 5 meter afstand (punt P): $26 \cdot 10^4 [\mu\text{Gy}/\text{jaar}] \times \left(\frac{2,6}{5}\right)^2 = 70304 \mu\text{Gy}/\text{jaar}$

De conversiefactor $E(\text{AP})/K_a = 1,4 \text{ Sv}/\text{Gy}$, dus

$E(\text{AP}) = 70304 [\mu\text{Gy}/\text{jaar}] \times 1,4 [\text{Sv}/\text{Gy}] = 98426 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$

Er is al een bijdrage van 30 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ afkomstig van de C-boog. De dosis ten gevolge van de CT-scan en de C-boog samen mag maximaal 50 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ zijn, dus mag de bijdrage van de CT niet meer dan 20 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ bedragen.

$$T = \frac{20 [\mu\text{Sv}/\text{jaar}]}{98426 [\mu\text{Sv}/\text{jaar}]} = 2 \cdot 10^{-4}$$

Dit komt volgens bijlage, blz 9 overeen met 1,9 mm loodequivalent.

De tabel van bijlage, blz 10 geeft bij 90 kV en 1,9 mm loodequivalent een loodglasdikte van 5,7 mm. Dit is afgerond op hele mm = 6 mm loodglas

Vraag 4.3 (4 punten)

Ga na of de bijdrage van de CT-scanner aan de effectieve dosis op de terreingrens lager is dan het secundair niveau.

Uit het verstrooiingsdiagram van de CT-scanner op 2,3 meter aan de achterzijde:
1 μGy per 200 mAs

$$\text{Per jaar is dit } K_a = 1 [\mu\text{Gy}] \times \frac{51850000}{200} = 259250 \mu\text{Gy}/\text{jaar}$$

De conversiefactor $E(\text{AP})/K_a = 1,4 \text{ Sv}/\text{Gy}$, dus onafgeschermd is de effectieve dosis

$$E(\text{AP}) = 259250 [\mu\text{Gy}/\text{jaar}] \times 1,4 [\text{Sv}/\text{Gy}] = 363 \text{ mSv}/\text{jaar}$$

De verhouding van het soortelijk gewicht van een normale verdichte beton t.o.v. gasbeton: $2400/600 = 4$ keer minder soortelijk gewicht. Dit betekent dat 10 cm gasbeton overeenkomt met 2,5 cm normaal beton. Een muurdikte van 20 cm beton en 10 cm gasbeton komt dus overeen met 225 mm normaal beton.

De transmissie uit de transmissiegrafiek van röntgenstraling door beton geeft aan bij 90 kV: $T = \pm 0,00006$ (1 pt voor waarden van 0,00005 tot 0,00007)

$$\text{Dus } E = 363 [\text{mSv}/\text{jaar}] \times 0,00006 = 22 \mu\text{Sv}/\text{jaar}$$

Dit is meer dan 10 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ (het secundair niveau voor externe straling).

Vraag 4.4 (4 punten)

Bereken, met behulp van de iso-kerma kaart van de C-boog (bijlage, blz 12), of de equivalente dosislimiet voor de ooglens van de radioloog wordt overschreden.

Uit bijlage, blz 12 is af te lezen op 100 cm: $\pm 4 \mu\text{Gy}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$

Op 80 cm is dit $(100/80)^2 \times 4 [\mu\text{Gy}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2] = 6,25 \mu\text{Gy}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$

Kerma op 80 cm: $\text{DOP} \times K_A/\text{DOP} =$

$20 [\text{Gy}\cdot\text{cm}^2] \times 6,25 [\mu\text{Gy}/\text{Gy}\cdot\text{cm}^2] = 125 \mu\text{Gy}$ per onderzoek

$K_a = 125 \mu\text{Gy}$ per onderzoek $\times 200$ onderzoeken per jaar = $25 \text{ mGy}/\text{jaar}$

$D_{\text{ooglens}} = K_a \times D_{\text{ooglens}}/K_a = 25 [\text{mGy}/\text{jaar}] \times 1,9 [\text{Gy}/\text{Gy}] = 47,5 \text{ mGy}/\text{jaar}$

$H_{\text{ooglens}} (\text{Sv}) = D_{\text{ooglens}} [\text{Gy}] \times 1 [\text{Sv}/\text{Gy}] = 47,5 \text{ mSv}/\text{jaar}$

Dit is boven de limiet van $20 \text{ mSv}/\text{jaar}$.

2 pt goed aflezen iso-kerma kaart en afstandcorrectie

1 pt voor omrekenen per jaar (vermenigvuldigen met DOP-waarde, 200 onderzoeken per jaar per radioloog)

Omrekenen K_a -D en $D_{\text{ooglens}} - H_{\text{ooglens}}$ (juiste eenheid) samen 1 pt

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	4
4.2	5
4.3	4
4.4	4
Totaal	17