

**Uitwerkingen
Gecoördineerd examen stralingsbescherming
Deskundigheidsniveau 3**

10 december 2007

Vraagstuk 1 Kalibratie van een edelgasmonitor

Vraag 1

Of de bèta's nu wel of niet in het kwarts van de ampul worden geabsorbeerd doet voor de berekening van het kermatempo niet ter zake, omdat de kerma alleen betrekking heeft op indirect ioniserende straling. Eventuele remstraling draagt wel bij.

$$\begin{aligned}
 K &= 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot E_f \cdot (\mu_{tr}/\rho)_{\text{lucht}} \cdot \Phi = \\
 &= 1,6 \cdot 10^{-13} [\text{J/MeV}] \times 1,294 [\text{MeV}] \times 0,027 [\text{cm}^2/\text{g}] \times 10^3 [\text{g/kg}] \times \\
 &\quad 1,50 \cdot 10^6 [\text{s}^{-1}]/(4\pi \cdot 50^2 [\text{cm}^2]) = \\
 &= 2,67 \cdot 10^{-10} \text{ Gy/s} \Rightarrow 2,67 \cdot 10^{-10} \text{ Gy/s} \times 3600 [\text{s/h}] \times 10^6 [\mu\text{Gy/Gy}] = 0,96 \mu\text{Gy/h}.
 \end{aligned}$$

Vraag 2

Na 1 uur is de activiteit: $1,50 \cdot 10^6 \text{ Bq} \exp(-\ln 2 \times 60/110) = 1,03 \cdot 10^6 \text{ Bq}$
 De ^{41}Ar -activiteitsconcentratie in de opstelling is $1,03 \cdot 10^6 \text{ Bq}/0,0068 \text{ m}^3 = 1,51 \cdot 10^8 \text{ Bq/m}^3$.
 De kalibratiefactor wordt dus $13600/1,51 \cdot 10^8 = 9,01 \cdot 10^{-5} \text{ cps per Bq/m}^3$.

Vraag 3

Het netto teltempo is $(87 - 45) \text{ cpm} = 42/60 = 0,70 \text{ cps}$.
 Dus de gemiddelde activiteitsconcentratie, C is:
 $C = 0,70 [\text{s}^{-1}] / 9,01 \cdot 10^{-5} [\text{cps}/(\text{Bq/m}^3)] = 7,8 \cdot 10^3 \text{ Bq/m}^3$.

Vraag 4

De effectieve dosis voor de medewerker per jaar is: (1 d = 24 u)
 $E = 7,8 \cdot 10^3 [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \times 5,3 \cdot 10^{-9} [\text{Sv} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3] \times 200 [\text{d/j}] \times 4 [\text{h}]/24 [\text{h}] \times 10^3 [\text{mSv/Sv}]$
 $= 1,4 \text{ mSv}$.

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 2 I-131-therapie

Vraag 1

Een puntbronbenadering geeft:

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

$$\dot{H}^*(10) = \frac{0,066 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 400 \text{ MBq}}{1 \text{ m}^2}$$

$$\dot{H}^*(10) = 26 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vraag 2

- De opname in de schildklier is niet 100%. Een min of meer verspreide activiteit over het lichaam geeft in een punt op 1 meter afstand een lagere dosis dan wanneer er sprake is van een puntbron.
- Er is ook enige afscherming van omliggend weefsel.
- Eventueel kan er sprake zijn van excretie via urine, wanneer er tijd tussen toediening en meting zit.

Vraag 3a

$$T_{eff} = \frac{T_f \times T_b}{T_f + T_b}$$

$$T_{eff} = \frac{8,02 \times 24 \times 50}{8,02 \times 24 + 50} = 39,69 \text{ uur} = 40 \text{ uur}$$

$$\dot{H}^*(10) = 19 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \text{ op 1 m en om 16.00 uur}$$

$$\dot{H}^*(10, t) = \frac{H^*(10)}{r^2} \times e^{-\lambda_{eff} \cdot t} \times T$$

$$r = 70 \text{ cm}$$

$$\lambda_{eff} = \frac{\ln 2}{T_{eff}} = \frac{\ln 2}{40 \text{ h}} = 0,017 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{H}^*(10, t) = \frac{19 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 1 \text{ m}^2}{0,7 \text{ m}^2} \times e^{-0,017 [\text{h}^{-1}] \cdot 5 [\text{h}]} \times 6 \cdot 10^{-2} = 2,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Vraag 3b

$$H^*(10) = \dot{H}^*(10) \times \left(-\frac{1}{\lambda_{eff}} \left(e^{-\lambda_{eff} \cdot t} - 1 \right) \right) \text{ en } t = 10 \text{ uur}$$

$$H^*(10) = \dot{H}^*(10) \times \left(-\frac{1}{0,017 \text{ h}^{-1}} \left(e^{-0,017 \cdot 10} - 1 \right) \right)$$

$$H^*(10) = 2,1 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \times 9,2 \text{ h} = 19 \mu\text{Sv}$$

Vraag 4

Effectieve-dosislimiet lid bevolking is 0,1 mSv per jaar per bron.

Maximale dosis voor buurjongen, vanaf thuiskomst uit ziekenhuis tot vervallen van de bron:

Bij integratie over gehele vervalperiode reduceert de bepaalde integraal tot de term $1/\lambda$, dit is gelijk aan $T_{1/2} / \ln 2$ ofwel $1,44 \times T_{1/2}$.

$$19 [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times (1 \text{ m}^2 / 0,7 \text{ m}^2) \times 1,44 \times 40 \text{ h} \times 10^{-3} [\text{mSv}/\mu\text{Sv}] = 2,2 \text{ mSv}$$

T van muur mag $0,1 / 2,2 = 0,045$ bedragen.

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 3 Afscherming ^{60}Co -radiografiebron

Vraag 1

De omgevingsdosisequivalenttempoconstante $h(10) = 0,36 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (volgt uit

Bijlage 1)

De transmissie door 10 cm verarmd uranium is af te lezen in **Bijlage 2** en bedraagt:

$$T = 3,3 \cdot 10^{-5}.$$

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10)_{\text{oppervlak}} &= \frac{A \cdot h(10)}{r^2} \cdot T \Rightarrow \\ \dot{H}^*(10)_{\text{oppervlak}} &= \frac{4 \cdot 10^6 [\text{MBq}] \times 0,36 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]}{0,125 [\text{m}]^2} \times 3,3 \cdot 10^{-5} = 3,0 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10)_{\text{op 1 m}} &= \frac{A \cdot h(10)}{r^2} \cdot T \Rightarrow \\ \dot{H}^*(10)_{\text{op 1 m}} &= \frac{4 \cdot 10^6 [\text{MBq}] \times 0,36 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]}{1,0 + 0,125 [\text{m}]^2} \times 3,3 \cdot 10^{-5} = 38 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Vraag 2a

$$\text{De transportindex (TI)} = 100 \times \dot{H}^*(10)_{\text{op 1 m van het oppervlak}} [\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}] = 3,8$$

Vraag 2b

De grenswaarde voor het stralingsniveau aan het oppervlak van een collo (in dit vraagstuk de container) is $2.000 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (dosisequivalenttempo volgens VLG-ADR, rn. 2700).

Het omgevingsdosisequivalenttempo op het oppervlak van de container bedraagt $3,0 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$. Gegeven is verder dat de dosisequivalent en het omgevingsdosisequivalenttempo in dit vraagstuk numeriek aan elkaar gelijk zijn. De container **voldoet** dus **niet** aan de transporteisen voor een regulier transport en mag daarom niet gebruikt worden voor het transport van de nieuwe bron.

Vraag 3

Het omgevingsdosisequivalenttempo op het oppervlak van de transportcontainer moet worden verlaagd van $3,0 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ tot $2,0 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ door toevoegen van verarmd uranium aan de wand (buitenzijde) van de container. Deze verlaging komt overeen met een transmissie T van:

$$T = \frac{2,0 [\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}]}{3,0 [\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}]} = 0,67$$

In de grafiek in **Bijlage 2** kan worden afgelezen dat een transmissie $T = 0,67$ kan worden bereikt met 0,5 cm (afgerond) verarmd uranium.

Er moet dus 0,5 cm verarmd uranium aan de buitenkant van de transportcontainer worden toegevoegd.

Vraag 4a

De transmissie T bij 10,5 cm volgt uit **Bijlage 2** en is: $2,2 \cdot 10^{-5}$.

Het omgevingsdosisequivalenttempo op 1,5 m van het buitenoppervlak van de transportcontainer wordt:

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

$$\dot{H}^*(10)_{op\ 1,5\ m} = \frac{4 \cdot 10^6 \text{ MBq} \times 0,36 \text{ } [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]}{1,5 + 0,125 + 0,005 \text{ m}^2} \times 2,2 \cdot 10^{-5} = 12 \text{ } \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

Per week wordt de effectieve dosis voor een blootgestelde werknemer die met de nieuwe bron rondrijdt:

$$E = 12 \text{ } [\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}] \times 15 \text{ [h]} = 180 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Vraag 4b

De berekende effectieve dosis is (veel) hoger dan de toegestane $50 \text{ } \mu\text{Sv}/\text{week}$. De container (met extra afscherming) voldoet dus wel aan de transporteisen maar is toch niet geschikt.

Suggesties voor optimalisatie van de transportcondities kunnen zijn:

- 1) Meer uraniumafscherming (circa 1,5 cm meer) toevoegen dan de 0,5 cm die was bepaald bij vraag 3. (NB: hierdoor wordt de massa van de transportcontainer wel aanmerkelijk groter!).
- 2) Vergroten van de 1,5 m afstand tussen de transportcontainer en de blootgestelde werknemer.
- 3) Plaatsen van een (loden) afschermingswand tussen de bron en de blootgestelde werknemer.
- 4) Een combinatie van suggestie 2) en 3).

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 4 Inwendige besmetting met ^{210}Po

Vraag 1

Uit de constatering van de SBD dat de ^{210}Po -concentratiewaarde constant blijft kan worden geconcludeerd dat er een evenwichtssituatie is ontstaan tussen de uitscheiding door de planten en de afvoer van de activiteit. In deze evenwichtssituatie geldt:

$$C_{\text{evenwicht}} [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] = \left(\frac{A_{\text{evenwicht}} [\text{Bq}]}{V_{\text{plantenkas}} [\text{m}^3]} \right) = \frac{\dot{P} [(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \cdot \text{h}^{-1}]}{\lambda_{\text{effectief}} [\text{h}^{-1}]}$$

$\lambda_{\text{effectief}} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ daar het fysisch verval verwaarloosbaar is ten opzichte van het ventilatievoud van de plantenkas.

$$A_{\text{evenwicht}} [\text{Bq}] = C_{\text{evenwicht}} [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \cdot V_{\text{plantenkas}} [\text{m}^3] \Rightarrow$$

$$A_{\text{evenwicht}} = 2,8 [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \times 15 [\text{m}^3] = 42 \text{ Bq}$$

$$\begin{aligned} \dot{P} [\text{Bq} \cdot \text{h}^{-1}] &= A_{\text{evenwicht}} [\text{Bq}] \cdot \lambda_{\text{effectief}} [\text{h}^{-1}] \Rightarrow \\ \dot{P} &= 42 [\text{Bq}] \times 0,5 [\text{h}^{-1}] = 21 \text{ Bq} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Vraag 2

$$E_{50} [\text{Sv}] = A_{\text{inname}} [\text{Bq}] \cdot e_{50} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] \text{ en } A_{\text{inname}} [\text{Bq}] = C_{\text{evenwicht}} [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \cdot AVT [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \cdot t [\text{h}]$$

- $AVT = \text{AdemVolumeTempo} = 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (lichte werkzaamheden).
- $t = \text{verblijfstijd in plantenkas} = 25 \text{ min}$.
- $e_{50} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ (inhalatie, onbekende verbinding, meest conservatieve waarde).

$$E_{50} = 2,8 [\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}] \times 1,2 [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \times \left(\frac{25 [\text{min}]}{60 [\text{min} \cdot \text{h}^{-1}]} \right) \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] = 4,5 \mu\text{Sv}$$

$$(A_{\text{inname}} = 1,4 \text{ Bq})$$

Vraag 3

Volgens de bijlage uit het *Handboek Radionucliden* bedraagt de uitscheiding op dag 3 na een eenmalige inname van een S-klasse ^{210}Po -verbinding $2,0 \cdot 10^{-5} (\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1})$ per Bq inname.

$$A_{\text{inname}} = 1,4 \text{ Bq (berekend bij vraag 2)}.$$

De concentratie in het urinemonster is dan:

$$\begin{aligned} C_{\text{urine}} [\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}] &= \frac{A_{\text{inname}} [\text{Bq}] \cdot \text{uitscheidingsfactor} [(\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1})/\text{Bq}]}{\dot{V}_{\text{urine}} [\text{l} \cdot \text{d}^{-1}]} \Rightarrow \\ C_{\text{urine}} &= \frac{1,4 [\text{Bq}] \times 2,0 \cdot 10^{-5} [(\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1})/\text{Bq}]}{1,5 [\text{l} \cdot \text{d}^{-1}]} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \end{aligned}$$

Vraag 4

$$C_{\text{urine}} [\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}] = \frac{A_{\text{indampresidu}} [\text{Bq}]}{V_{\text{urinemonster}} [\text{l}]}$$

$$A_{\text{indampresidu}} [\text{Bq}] = \frac{R_{\text{netto}} [\text{cps}]}{\varepsilon_{\text{meet, Po-210}} \cdot Y_{\alpha}} = \frac{\left(\frac{N_{\text{netto}} [\text{counts}]}{t [\text{s}]} \right)}{\varepsilon_{\text{meet, Po-210}} \cdot Y_{\alpha}} \Rightarrow$$

$$A_{\text{indampresidu}} = \frac{\left(\frac{186 [\text{counts}]}{72 [\text{h}] \times 3600 [\text{s} \cdot \text{h}^{-1}]} \right)}{0,40 \times 1} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

$$C_{\text{urine}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-3} [\text{Bq}]}{1,5 [\text{l}]} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$$

Vraag 5

- **Het type verbinding dat de planten uitscheiden is niet van de S-klasse maar van de F-klasse.** F-klasse verbindingen worden sneller uitgescheiden dan S-klasse verbindingen (zie bijlage uit *Handboek Radionucliden*) en leveren dus een hogere 24-uurs urineconcentratie op dag 3 bij een gelijkblijvende inname.
- **De inname van activiteit is hoger geweest dan geschat in het onderzoek (circa factor 63).** Dit kan veroorzaakt zijn door het feit dat de tomatenplanten al veel eerder zijn begonnen met het uitscheiden van de vluchtige verbinding (en eventueel ook nog in een hoger uitscheidings tempo). De promovendus heeft dan bij eerdere monsternames ook al activiteit ingeademd. Als de verblijfsduur van de promovendus in de plantenkas ook nog eens te laag is geschat, dan zal de inname van activiteit ook aanmerkelijk hoger zijn geweest.

Puntenwaardering:

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