

Uitwerkingen

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

16 mei 2011

Vraagstuk 1 Borstkanker

Vraag 1

Intreeluchtkerma kan afgelezen worden in **Figuur 2**

Bij een buisspanning van 35 kV is af te lezen dat $K = 71 \mu\text{Gy/mAs}$

Buisstroom = 140 mA

Belichtingstijd per foto = 200 ms = 0,2 s

Intreeluchtkerma = $71 \times 140 \times 0,2 = 1988 \mu\text{Gy} = 2,0 \text{ mGy}$ per foto

Gemiddelde geabsorbeerde dosis in klierweefsel = $2,0 \times 0,17 = 0,34 \text{ mGy}$ per foto.

Vraag 2

De equivalente borstklierdosis H_{borst} per foto is $0,34 [\text{mGy}] \times 1 [\text{Sv/Gy}] = 0,34 \text{ mSv}$ per foto.

In een onderzoek worden twee foto's per borst gemaakt dus de equivalente dosis op de borstklier bedraagt $2 \times 0,34 = 0,68 \text{ mSv}$. [Beide borsten vormen één orgaan en de orgaandosis is een gemiddelde over het hele orgaan].

De kans op fatale borstkanker bij bestraling van borstweefsel (zie tabel 1) is $20 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$.

Kans op fatale borstkanker = $20 \cdot 10^{-4} [\text{Sv}^{-1}] \times 6,8 \cdot 10^{-4} [\text{Sv}] = 1,4 \cdot 10^{-6}$ per onderzoek
(= 0,00014%).

Vraag 3

Voor het dosistempo in een geladen deeltjesbundel geldt: $\dot{D} = 1,602 \cdot 10^{-10} \varphi (S/\rho)_{\text{el}}$

$(S/\rho)_{\text{el}}$ volgt uit figuur 3: $\sim 2 \text{ MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}$

$$\text{Fluentietempo: } \varphi [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}] = \frac{N [\text{s}^{-1}]}{O [\text{cm}^2]}$$

N = aantal elektronen per seconde in de bundel (emissietempo)

O = oppervlak (= veldgrootte)

$$\varphi = \frac{3,5 \cdot 10^9 [\text{s}^{-1}]}{12 \times 17 [\text{cm}^2]} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \dot{D} &= 1,602 \cdot 10^{-10} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} / \text{MeV} \cdot \text{g}^{-1}] \times 1,7 \cdot 10^7 [\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \times 2 [\text{MeV cm}^2 \text{ g}^{-1}] = \\ &= 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}. \end{aligned}$$

Per fractie van 6 minuten: $D = 5,5 \cdot 10^{-3} [\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}] \times 360 [\text{s}] = 2,0 \text{ Gy}$.

Totale behandeling: $D = 2 \times 5 \times 7 = 70 \text{ Gy}$ totaal

Dit ligt ver boven de drempeldosis van huiderytheem bij gefractioneerde bestraling. Er zal dus zeker erytheem optreden.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1	5
2	5
3	6
Totaal	<i>16</i>

Vraagstuk 2 Besmettingsincident in een radionuclidenlaboratorium

Vraag 1

Het centrum van de piek in figuur 1 ligt ongeveer in kanaal 160. Volgens de energiekalibratie in figuur 2 correspondeert hiermee een fotonenergie van ongeveer 360 keV. Dit komt goed overeen met de energie (356 keV) van de sterkste lijn in het verval van ^{133}Ba . Voor de andere radionucliden zou er een piek in kanaal 240 (511 keV), kanaal 370 (835 keV) of kanaal 300 (662 keV) moeten zijn, hetgeen overduidelijk niet het geval is.

Vraag 2

In deze opgave hoeft geen rekening met de bijdrage van de achtergrond gehouden te worden. De piek in figuur 1 bestaat uit een kwartet lijnen die elk een eigen emissierendement f_γ en een eigen telrendement ε_γ hebben. Uit tabel 1 en figuur 3 volgt:

E_γ (keV)	f_γ	ε_γ	$f_\gamma \times \varepsilon_\gamma$
276	0,07	0,011	0,00077
303	0,18	0,0095	0,0017
356	0,62	0,0080	0,0050
384	0,09	0,0075	<u>0,00068</u>
			0,00812

Het aantal telpulsen in 10 minuten bedraagt:

$$N = A \times t \times \sum_\gamma f_\gamma \varepsilon_\gamma = A \times (10 \times 60) \times 0,00812 = A \times 4,87 \\ = 18\,750$$

$$A = 18\,750 / 4,87 = 3,9 \times 10^3 \text{ Bq}$$

Vraag 3

De resterende activiteit bedraagt:

$$A_{\text{rest}} = A \times N_{\text{rest}} / N = 3,85 \times 10^3 \text{ (Bq)} \times 1572 / 18\,750 = 323 \text{ Bq}$$

De standaarddeviatie van de activiteit wordt nagenoeg geheel bepaald door de standaarddeviatie van het aantal telpulsen gemeten voor de restactiviteit:

$$\sigma_{N_{\text{rest}}} = \sqrt{N_{\text{rest}}} = \sqrt{1572} = 40$$

Dus:

$$\sigma_{A_{\text{rest}}} = A_{\text{rest}} \times \sigma_{N_{\text{rest}}} / N_{\text{rest}} = 323 \text{ (Bq)} \times 40 / 1572 = 8 \text{ Bq}$$

Vraag 4

De kalibratieconstante op de besmettingmonitor gaat uit van een homogene besmetting over het gehele oppervlak van de monitor, zodat 1 tps overeenkomt met een activiteit van $100 \text{ (cm}^2) \times 0,3 \text{ (Bq cm}^{-2}) = 30 \text{ Bq}$.

Het gemeten netto-teltempo is $35 \text{ (tps)} - 25 \text{ (tps)} = 10 \text{ tps}$.

De restactiviteit bedraagt dus: A

$$A_{\text{rest}} = 30 \text{ (Bq)} \times 10 \text{ (tps)} / 1 \text{ (tps)} = 300 \text{ Bq}$$

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 3 Uraniumlozing

Vraag 1

Activiteit wordt veroorzaakt door de drie isotopen U-234, U-235 en U-238. De bijdrage aan de specifieke activiteit van natuurlijk uranium door U-234 wordt berekend met behulp van de gegevens uit de nuclidenkaart:

$$A_s = f_{\text{atoom}} \cdot \lambda \cdot \frac{N_A}{M}$$

$$= 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\ln(2)}{2,455 \cdot 10^5 [\text{a}] \cdot 365,25 [\text{d} \cdot \text{a}^{-1}] \cdot 24 [\text{h} \cdot \text{d}^{-1}] \cdot 3600 [\text{s} \cdot \text{h}^{-1}]} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}]}{238,02891 [\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}]}$$

$$= 1,22 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$$

De bijdrage is dus bijna de helft van de totale specifieke activiteit van natuurlijk uranium (=25,1 kBq·g⁻¹), ondanks dat dit in aantallen atomen de minst voorkomende isotoop is.

Alternatieve uitwerking:

De activiteit is evenredig met de verhouding van abundantie en halveringstijd:

$$\begin{array}{ll} {}^{234}\text{U} & 0,0054 / 2,455 \cdot 10^5 = 2,20 \cdot 10^{-8} \\ {}^{235}\text{U} & 0,7204 / 7,038 \cdot 10^8 = 0,10 \cdot 10^{-8} \\ {}^{238}\text{U} & 99,2742 / 4,468 \cdot 10^9 = 2,22 \cdot 10^{-8} \\ \text{Totaal} & = 4,52 \cdot 10^{-8} \end{array}$$

Bijdrage van ²³⁴U tot de specifieke activiteit van uranium is dus:
25,1 [Bq·g⁻¹] × 2,20 / 4,52 = 12,2 Bq·g⁻¹

Vraag 2

75 kg uranium met $A_s = 25,1 \text{ kBq} \cdot \text{g}^{-1}$ geeft een totaal geloosde activiteit van 1,88 GBq.

De activiteit van 1 Re = $A_{\text{Re}} = 1 / e(50)_{\text{ing}} = 1 [\text{Sv}] / 4,0 \cdot 10^{-7} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.

De correctiefactor voor lozing in water CR_w voor langlevende nucliden zoals uranium is 100.

De lozing bedroeg $100 \cdot (1,88 \cdot 10^9 [\text{Bq}] / 2,5 \cdot 10^6 [\text{Bq}]) = 7,5 \cdot 10^4$ gewogen Re_{ing} .

Vraag 3

Activiteitsconcentratie: $C = 12 [\text{g} \cdot \text{l}^{-1}] \cdot 2,51 \cdot 10^4 [\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}] = 3,0 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$.

Binnengekregen 0,05 l, dus $1,5 \cdot 10^4 \text{ Bq}$.

$E(50) = e(50)_{\text{ing}} \cdot A_{\text{in}} = 4,0 \cdot 10^{-7} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] \cdot 1,5 \cdot 10^4 [\text{Bq}] = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Sv} = 6 \text{ mSv}$.

Vraag 4

De grond van de moestuin bevatte voor het besproeien $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uranium. Door het besproeien met rivierwater is hier $8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uranium aan toegevoegd zodat de grond in totaal $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uranium bevat.

In Tabel 2 kan worden afgelezen dat de okraplant bij een uraniumconcentratie van $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uranium in de bodem gemiddeld $5,11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uranium zal bevatten.

De tuinier eet 5 kg okra. Hiermee krijgt hij circa 25 mg uranium binnen.

$A_{\text{in}} = 25 \cdot 10^{-3} [\text{g}] \cdot 2,51 \cdot 10^4 [\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}] = 6,3 \cdot 10^2 \text{ Bq}$.

$E(50) = e(50)_{\text{ing}} \cdot A_{\text{in}} = 4,0 \cdot 10^{-7} [\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}] \cdot 6,3 \cdot 10^2 [\text{Bq}] = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} \approx 0,3 \text{ mSv}$.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
1	5
2	4
3	4
4	5
Totaal	<i>18</i>

Vraagstuk 4 Hartkatheterisatiekamer

Vraag 1

Aantal straal-uren per jaar: 4 uur/dag \times 200 dagen/jaar = 800 uur/jaar.

$H^*(10)$ per jaar op 1 meter afstand in richting van pijl 2: $800 \text{ h} \times 3000 \mu\text{Sv h}^{-1} = 2400 \text{ mSv}$.

Op 315 cm afstand (punt 3) zonder afscherming: $2400/(3,15)^2 = 242 \text{ mSv/jr}$.

Transmissie loodscherm: in fig.2 Y-as aflezen bij 1,5 mm Pb en 100 kV: $8 \cdot 10^{-3}$.

100 kV-lijn snijdt Y-as bij 9,6. Transmissie is dus: $8 \cdot 10^{-3} / 9,6 = 8,3 \cdot 10^{-4}$.

$H^*(10)$ per jaar op hoofd medewerker is: $242 \times 8,3 \cdot 10^{-4} = 201 \mu\text{Sv/jr} = \underline{0,2 \text{ mSv/jr}}$

Vraag 2

$H^*(10)$ per jaar op 1 meter afstand in richting van pijl 2: $800 \text{ h} \times 4000 \mu\text{Sv h}^{-1} = 3200 \text{ mSv}$.

De afstand tot punt 4 is 280 cm. De intreedomdosis op punt 4 is: $3200/(2,8)^2 = 408 \text{ mSv/jr}$.

Bijdrage ten gevolge van verstrooiing aan het plafond is op hoofdhoogte (punt 3):

2,1 %: $\rightarrow 408 \times 0,021 = \underline{8,6 \text{ mSv/jr}}$.

Vraag 3

Maximale bijdrage van de strooistraling uit het plafond mag zijn : $1,0 - 0,20 = 0,8 \text{ mSv/jr}$.

De bijdrage zonder afscherming is 8,6 mSv/jr. De transmissie van de extra loodafscherming mag dus maximaal zijn: $0,80 / 8,6 = 9,3 \cdot 10^{-2}$.

Omdat in figuur 2 de 100 kV-lijn de Y-as snijdt op 9,6, moet men voor de transmissie de waarde op de Y-as gebruiken: $9,3 \cdot 10^{-2} \times 9,6 = 8,9 \cdot 10^{-1}$. Aflezen bij de 100 kV-lijn geeft een benodigde looddikte van 0,05 cm Pb, ofwel 0,5 mm Pb.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
1	6
2	4
3	6
Totaal	16