

Uitwerkingen

Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

8 december 2008

Vraagstuk 1 Blootstelling aan ioniserende straling in een bestralingsfaciliteit

Vraag 1

$$\dot{K} = \frac{k \times A}{r^2} = \frac{0,31 \times 246 \cdot 10^6}{4^2} = 4,8 \text{ Gy / h}$$

Vraag 2

Transmissie uit grafiek:

$r = 3 \text{ m water}$; transmissie $T = 3,2 \cdot 10^{-7}$

$$\dot{K}_{4\text{m}} = \dot{K}_{4\text{m}} \times T = 4,8 \times 3,2 \cdot 10^{-7} = 1,5 \mu\text{Sv / h}$$

Vraag 3

$$D_{0,7\text{m}} = \dot{K}_{4\text{m}} \times \frac{r_1^2}{r_2^2} \times \frac{t_2}{t_1} \times \frac{D}{K_a} = 4,8 \times \frac{4^2}{0,7^2} \times \frac{90}{3600} \times 1,04 = 4,0 \text{ Gy}$$

Vraag 4

Dosis is in ordegrootte gelijk aan LD50 bij het ontbreken van medische zorg. Medewerker moet naar een (gespecialiseerd) ziekenhuis overgebracht worden. In het lichaam is een sterke afname van de witte bloedlichaampjes aanwezig, waardoor een eventuele infectie niet goed bestreden kan worden door het lichaam. Door de medewerker in isolering te houden in een ziekenhuis, kan de kans op het krijgen van een infectie verkleind worden.

Hoewel het toedienen van beenmerg niet meer gebeurt, wordt dit antwoord ook goed gerekend.

Puntenwaardering:

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

Vraagstuk 2 PET-scan en zwangerschap

Vraag 1

Voor water is de biologische halveringstijd (10 d) \gg fysische halveringstijd (122 s).

$$U_s = \int_0^{50 \text{ j}} A_0 \exp(-\lambda_{\text{eff}} t) dt = \frac{1 \text{ Bq}}{\lambda_{\text{eff}}} = \frac{1 \times T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{122,24}{0,69315} = 176 \text{ Bq s per Bq}$$

Vraag 2a

De massa van de aanstaande moeder en kind is $m = 60 \text{ kg}$ en volgens figuur 1 is

$$y \times \langle E_\beta \rangle = 7,35 \cdot 10^{-1} \text{ MeV}.$$

Geabsorbeerde dosis per desintegratie:

$$D_\beta = \frac{E}{m} = \frac{1 \times 1,6 \cdot 10^{-13} \times 7,35 \cdot 10^{-1}}{60} = 1,96 \cdot 10^{-15} \text{ Gy per desintegratie}.$$

Vraag 2b

De massa van de aanstaande moeder en kind is $m = 60 \text{ kg}$ en volgens figuur 1 is

$$y \times \langle E_\pm \rangle = 1,02 \text{ MeV}$$

Een gedeelte van de annihilatiefotonen zal niet in het lichaam worden geabsorbeerd. Aannemend dat alle annihilatiefotonen wèl in het lichaam worden geabsorbeerd, geldt:

$$D_\gamma = \frac{E}{m} = \frac{1 \times 1,6 \cdot 10^{-13} \times 1,02}{60} = 2,72 \cdot 10^{-15} \text{ Gy per Bq s}$$

Dit is een bovengrens omdat naar schatting 60% van de annihilatiestraling uit het lichaam ontsnapt.

Vraag 3

In totaal is $A_{\text{tot}} = \sum_i A_i = 4 \times 50 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ toegediend.

$$D_{\text{tot}} = A \times U_s \times \sum_i D_i = 2 \cdot 10^8 \times 176 \times (96 \cdot 10^{-15} + 2,72 \cdot 10^{-15}) = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Gy} = 0,16 \text{ mGy}$$

Vraag 4

De ICRP adviseert in haar ICRP-Publicatie 84 om bij een foetale dosis van minder dan 100 mGy niet over te gaan tot het afbreken van de zwangerschap. De maximale schatting van de effectieve dosis is in dit geval vele malen kleiner. Het advies moet dus luiden: de zwangerschap hoeft niet te worden afgebroken.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
1	4
2a	3
2b	4
3	4
4	2
Totaal	<i>17</i>

Vraagstuk 3 Afscherming van een röntgenkamer

Vraag 1

Om de figuur zo nauwkeurig mogelijk af te lezen wordt een zo groot mogelijk deel van de grafiek gebruikt: 13 cm lood geeft een transmissie van 10^{-6} . Deze transmissie komt overeen met 20 halveringsdiktes.

De halveringsdikte is dus $13/20 = 0,65$ cm.

Alternatieve methode:

$$\frac{I_d}{I_0} = 10^{-6} = \frac{1}{2}^{d/d_{1/2}} \Rightarrow \frac{d}{d_{1/2}} = \frac{\log 10^{-6}}{\log 1/2} = 19,9 \quad d_{1/2} = \frac{13}{19,9} = 0,65 \text{ cm}$$

2,0 mm lood heeft een transmissie van $0,5^{(0,2/0,65)} = 0,81$

Vraag 2

$$R_{\text{deur, netto}} = 5162/30 - 20/60 = 172 \text{ cps}$$

$$R_{\text{lucht, netto}} = 5720/30 - 20/60 = 190 \text{ cps}$$

$$T = 172/190 = 0,91$$

Vraag 3a

Standaarddeviatie in netto meting deur:

$$S_{R, \text{deur, netto}} = \sqrt{S_{\text{deur}}^2 + S_{\text{achtergrond}}^2} = \sqrt{\frac{R_{\text{deur}}}{t_{\text{deur}}} + \frac{R_{\text{achtergrond}}}{t_{\text{achtergrond}}}} = \sqrt{\frac{5162/30}{30} + \frac{20/60}{60}} = 2,4 \text{ cps}$$

Standaarddeviatie in netto meting lucht:

$$S_{R, \text{lucht, netto}} = \sqrt{S_{\text{lucht}}^2 + S_{\text{achtergrond}}^2} = \sqrt{\frac{R_{\text{lucht}}}{t_{\text{lucht}}} + \frac{R_{\text{achtergrond}}}{t_{\text{achtergrond}}}} = \sqrt{\frac{5720/30}{30} + \frac{20/60}{60}} = 2,5 \text{ cps}$$

Standaarddeviatie in transmissie:

$$\frac{S_T}{T} = \sqrt{\left(\frac{S_{R, \text{deur, netto}}}{R_{\text{deur, netto}}}\right)^2 + \left(\frac{S_{R, \text{lucht, netto}}}{R_{\text{lucht, netto}}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2,4}{172}\right)^2 + \left(\frac{2,5}{191}\right)^2} = 0,019 = 1,9\%$$

Vraag 3b

De transmissie mag maximaal 0,81 bedragen, een transmissie van 0,91 is teveel. De deur voldoet niet aan de gestelde eis.

Vraag 4

Uit figuur 2. Brede bundel transmissie (mSv/mA-min) van röntgenstraling door lood:

I_0 140 KVcp bij 0 mm lood = 10 mSv/mA-min

I_d 140 KVcp bij 2 mm lood = 0,0085 mSv/mA-min

Transmissie 140 KVcp bij 2 mm lood = $I_d/I_0 = 0,0085/10 = 0,00085$

Uit figuur 3. Brede bundel transmissie (mSv/mA-min) van röntgenstraling door beton:

I_0 140 KVcp bij 0 mm beton = 10 mSv/mA-min

I_d 140 KVcp bij 5 cm beton = 0,9 mSv/mA-min

Transmissie 140 KVcp bij 2 mm lood = $I_d/I_0 = 0,9/10 = 0,09$

De afscherming van 5 cm beton is minder dan die van 2 mm lood en dus onvoldoende. De muren voldoen dus niet aan de gestelde eis.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
1	4
2	3
3a	4
3b	2
4	4
Totaal	<i>17</i>

Vraagstuk 4 Neutronenradiografie met behulp van ^{252}Cf

Vraag 1

De bron bevat op 8 december 2007 $0,22 \mu\text{g } ^{252}\text{Cf}$.

$$A_{8 \text{ dec } 2007} = \lambda \cdot N_{8 \text{ dec } 2007} \Rightarrow$$

$$A_{8 \text{ dec } 2007} = \left(\frac{\ln 2}{2,645 [\text{jaar}] \times 365,25 [\text{dag} \cdot \text{jaar}^{-1}] \times 24 [\text{h} \cdot \text{dag}^{-1}] \times 3600 [\text{s} \cdot \text{h}^{-1}]} \right) \times \frac{0,22 \cdot 10^{-6} [\text{g}]}{252 [\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}]} \times 6,02 \cdot 10^{23} [\text{mol}^{-1}] =$$

$$= 4,36 \text{ MBq}$$

$$A_{8 \text{ dec } 2008} [\text{MBq}] = A_{8 \text{ dec } 2007} [\text{MBq}] \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{t/T_{1/2}} = 4,36 [\text{MBq}] \times \left(\frac{1}{2} \right)^{1,0 [\text{jaar}]/2,645 [\text{jaar}]} = 3,35 \text{ MBq}$$

Vraag 2

De fluentie $\Phi [\text{cm}^{-2}]$ van de snelle neutronen tijdens het overbrengen kan worden berekend via:

$$\Phi [\text{cm}^{-2}] = \frac{\left(\text{emissietempo snelle neutronen } [s^{-1}]_{8 \text{ dec } 2007} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{t/T_{1/2}} \times t [\text{s}] \right)}{4 \cdot \pi \cdot r^2 [\text{cm}]^2} \Rightarrow$$

$$= \frac{3,7 \cdot 10^5 [s^{-1}] \times \left(\frac{1}{2} \right)^{1,0 [\text{jaar}]/2,645 [\text{jaar}]} \times 60 [\text{s}]}{4 \times \pi \times 25^2 [\text{cm}]^2} = 2,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2}$$

Vraag 3

De effectieve dosis die wordt ontvangen tijdens het overbrengen kan worden berekend aan de hand van de volgende gegeven relatie: $E = C_{\text{AP}}(E) \cdot \Phi$.

De dosisconversiecoëfficiënt $C_{\text{AP}}(E)$ voor de snelle neutronen met een gemiddelde energie van 2 MeV kan worden afgelezen in **Tabel 1** en bedraagt 383 pSv cm^2 .

De snelle neutronenfluentie is berekend bij **Vraag 2** en bedroeg $2,17 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2}$.

$$E = 383 [\text{pSv} \cdot \text{cm}^2] \times 2,17 \cdot 10^3 [\text{cm}^{-2}] = 0,83 \mu\text{Sv}$$

Vraag 4

De effectieve dosis tengevolge van de verstrooide thermische neutronen kan weer worden berekend aan de hand van de volgende gegeven relatie: $E = C_{AP}(E) \cdot \Phi$.

Thermische neutronen hebben een energie E van 0,025 eV ($= 2,5 \cdot 10^{-8}$ MeV).

De dosisconversiecoëfficiënt $C_{AP}(E)$ voor thermische neutronen kan worden afgelezen in **Tabel 1** en bedraagt 7,60 pSv cm^2 .

De fluentie van de verstrooide thermische neutronen bedraagt:

$$\Phi [\text{cm}^{-2}] = \frac{\text{emissietempo snelle neutronen } [\text{s}^{-1}] \times t [\text{s}] \times \text{strooifractie}}{4 \cdot \pi \cdot r^2 [\text{cm}]^2} \Rightarrow$$

$$= \frac{3,7 \cdot 10^5 [\text{s}^{-1}] \times \left(\frac{1}{2}\right)^{1,0 [\text{jaar}] / 2,645 [\text{jaar}]} \times 600 [\text{s}] \times 0,25}{4 \times \pi \times 200^2 [\text{cm}]^2} = 85 \text{ cm}^2$$

$$E = 7,60 [\text{pSv} \cdot \text{cm}^2] \times 85 [\text{cm}^2] = 0,65 \text{ nSv}$$

Puntenwaardering:

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