

## **UITWERKINGEN**

### **Examen Coördinerend Deskundige Stralingsbescherming**

---

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

---

Examendatum: 15 mei 2017

## Vraagstuk 1. De route van een $^{99m}\text{Tc}$ -koe

### Vraag 1.1a

Wanneer (dag en uur) is de generator verstuurd door de producent, volgens de gegevens op het vervoersetiket?

De kalibratiegegevens zijn vrijdag 28 april 6 uur, 25,8 GBq  $^{99}\text{Mo}$ .  
De generator is verstuurd met een activiteit van maximaal 88,25 GBq.  
De isotoop die het vervaltempo in de generator bepaalt, is  $^{99}\text{Mo}$ .

$$A_t = A_0 \times 0,5^{t/T_{1/2}}$$

$$25,8 \text{ [GBq]} = 88,25 \text{ [GBq]} \cdot 0,5^{t \text{ [uur]}/65,94 \text{ [uur]}}$$

$$\log \frac{25,8 \text{ [GBq]}}{88,25 \text{ [GBq]}} = \frac{t \text{ [uur]}}{65,94 \text{ [uur]}} \times \log 0,5$$

$$-0,534 = t/65,94 \times -0,301$$

$$t = 117 \text{ uur} = 4 \text{ dagen en } 21 \text{ uur.}$$

De generator mag vanaf zondag (23 april) 9 uur 's morgens worden verstuurd.

### Vraag 1.1b

Bereken de transmissie die de totale verpakking van de generator, uitgaande van de gegevens door de producent ingevulde etiket.

$$\dot{H}^*(10) = 13 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{0,026 \text{ [}\mu\text{Sv}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2\text{]} \times 88,25 \cdot 10^3 \text{ [MBq]}}{1,195^2 \text{ [m}^2\text{]}} \times T$$

$$T = 8,1 \cdot 10^{-3} (= 0,0081 = 0,81\%)$$

### Vraag 1.2

Maak voor maandag 15 mei een schatting van het hoogste omgevingsdosisequivalenttempo op 1 meter afstand van het oppervlak van de verpakking en bepaal tevens de TI voor maandag 15 mei.

88,25 GBq geeft een transportindex (TI) = 1,3.

Dat betekent een omgevingsdosis-equivalenttempo van circa 13  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  op 1 meter afstand.

Het omgevingsdosis-equivalenttempo is bij dezelfde verpakking 'evenredig' met de activiteit.

$$\dot{H}^*(10) = 13 [\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}] \times \frac{340 [\text{MBq}]}{88,25 \cdot 10^3 [\text{MBq}]} = 0,050 \mu\text{Sv}/\text{uur}$$

Alternatief: Ook kan de berekening van 1.1b worden herhaald met de activiteit op 15 mei en de berekende transmissie.

$$\dot{H}^*(10) = \frac{0,026 [\mu\text{Sv}\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2] \times 340 [\text{MBq}]}{1,195^2 [\text{m}^2]} \times 8,1 \cdot 10^{-3} = 0,050 \mu\text{Sv}/\text{uur}$$

0,050  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  gedeeld door 10 geeft een TI = 0,005

Na afronden op 1 decimaal en naar boven afronden geeft TI = 0

### Vraag 1.3

*Bereken het omgevingsdosis-equivalent ter plekke van de handen voor degene die opruimt, onder de aannames van de voorziene onbedoelde gebeurtenis. Het plasje van 10 ml mag ter vereenvoudiging als een puntbron worden beschouwd.*

$$A_t = A_0 \times 0,5^{t/T_{1/2}}$$

$$A_t = 1500 [\text{MBq}] \cdot 0,5^{3 (\text{uur}) / 6 (\text{uur})} = 1061 \text{ MBq}$$

5% daarvan = 53,0 MBq  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Handen:

$$\dot{H}^*(10) = \frac{0,023 [\mu\text{Sv h}^{-1}\text{MBq}^{-1}\text{m}^2] \times 53,0 [\text{MBq}]}{0,01^2 [\text{m}^2]} \times \frac{1}{60} [\text{h}] = 203 \mu\text{Sv} = 0,20 \text{ mSv}$$

### Vraag 1.4

*Bereken de activiteit van  $^{99}\text{Tc}$  in de grond.*

De toegediende activiteit  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  cumulatief over 40 jaar (zonder verval):

$$(100 \times 1,50 \cdot 10^9 [\text{Bq}] + 100 \times 1,50 \cdot 10^8 [\text{Bq}]) \cdot \text{jaar}^{-1} \times 40 \text{ jaar} = 6,60 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$$

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  en  $^{99}\text{Tc}$  zijn radiochemisch wel moeder-dochter-nucliden, maar er is géén evenwicht. Alle kernen  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  zijn in een relatief korte tijd kernen  $^{99}\text{Tc}$  geworden.  $^{99}\text{Tc}$  heeft een zeer lange halveringstijd, er hoeft geen rekening gehouden te worden met daling van de activiteit  $^{99}\text{Tc}$  in die 40 jaar.

De verbindende link is het aantal kernen N.

Algemeen:  $A = \lambda \times N$

$A_{Tc-99m} = \lambda_{Tc-99m} \times N$  en ook  $A_{Tc-99} = \lambda_{Tc-99} \times N$

$$N = \frac{A_{Tc-99m}}{\lambda_{Tc-99m}} = \frac{A_{Tc-99}}{\lambda_{Tc-99}}$$

$$A_{Tc-99} = A_{Tc-99m} \times \frac{\lambda_{Tc-99}}{\lambda_{Tc-99m}} = 6,60 \cdot 10^{12} \text{ [Bq]} \times \frac{1,03 \cdot 10^{-13} \text{ [s}^{-1}\text{]}}{3,21 \cdot 10^{-5} \text{ [s}^{-1}\text{]}} = 21,2 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

Alternatief: Deze activiteit van de dochter  $^{99}\text{Tc}$  kan ook berekend worden met een formule als 1.15 uit Inleiding tot de Stralingshygiëne, A.J.J. Bos et al, 2<sup>e</sup> druk, 2007. Dit alternatief kost meer tijd.

$^{99}\text{Mo}$  vervalt met een yield van 0,876 naar  $^{99m}\text{Tc}$ . En ook met een yield van 0,124 rechtstreeks naar  $^{99}\text{Tc}$ . Dit  $^{99}\text{Tc}$  komt ook in het eluaat, is ook bij de dieren ingespoten en in de grond terecht gekomen.

De activiteit  $^{99}\text{Tc}$  die in 40 jaar maximaal in de grond bij de dierverblijven terecht gekomen =

$$A_{Tc-99} = 21,2 \cdot 10^3 \text{ [Bq]} \times \frac{1}{0,876} = 24,2 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk</b>		
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>	<b>Afspraken voor het nakijken</b>
1a	3	
1b	3	
2	3	
3	3	
4	5	
<b>Totaal</b>	<b>17</b>	

## Vraagstuk 2. Besmetting bij $^{131}\text{I}$ therapie

### Vraag 2.1

*Verklaar waarom het continu legen van de blaas een aanzienlijke dosisreductie kan geven voor de patiënt. Maak hierbij gebruik van het opnameverloop en het vervalschema.*

Drie mogelijke verklaringen:

1. Volgens de figuur "Verloop van  $^{131}\text{I}$ -opname inclusief verval in twee organen ..." wordt het grootste deel van de toegediende activiteit opgenomen door de blaas.
2. In de blaas zal vooral de beta-straling een hoge geabsorbeerde dosis veroorzaken.
3. Omdat de blaas een stralingsgevoelig orgaan is, geeft het snel afvoeren van de activiteit uit de blaas een aanzienlijke dosisreductie voor de patiënt.

### Vraag 2.2

*Toon aan de hand van het omgevingsdosisequivalenttempo aan dat de activiteit van de resterende urine in het opvangreservoir circa 3 GBq is. U mag bij de berekening uitgaan van een puntbrongeometrie.*

$$\begin{aligned} \dot{H}^*(10) &= h(10) \times A / r^2 \text{ dus: } A = \dot{H}^*(10) \times r^2 / h(10) = \\ &= 22 [\mu\text{Sv/h}] \times 3,0^2 [\text{m}^2] / 0,066 [\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] = 3,0\cdot 10^3 \text{ MBq} = \\ &3,0 \text{ GBq} \end{aligned}$$

### Vraag 2.3

*Schat de activiteit van het  $^{131}\text{I}$  in de schildklier van de besmette medewerker op het moment dat de meting wordt uitgevoerd.*

$$\begin{aligned} A \text{ (Bq)} &= R_n \text{ (counts}\cdot\text{s}^{-1}) / (y \text{ (foton}\cdot\text{desintegratie}^{-1}) \times \varepsilon \text{ (counts}\cdot\text{foton}^{-1})) = \\ &((567 / 60) - (80 / 60)) / (0,812 \times 1,0\cdot 10^{-3}) = 10 \text{ kBq} \end{aligned}$$

### Vraag 2.4

*Geef een schatting van de effectieve volg dosis bij de besmette medewerker. Ga hierbij uit van een inwendige besmetting als gevolg van inhalatie van natriumjodide en maak daarbij gebruik van bijlage 2.*

De inname wordt geschat op basis van de gemeten schildklieropname en de opnamefractie in de schildklier op 24 uur na inname uit de tabel voor schildkliertelling uit de gegevens uit het Handboek Radionucliden in de bijlage.

$$\text{Opnamefractie} = 1,2\cdot 10^{-1} \text{ (klasse F)}$$

Inname is  $10 / 1,2 \cdot 10^{-1} = 83,3 \text{ kBq}$

Effectieve volgdosis  $E_{50} = A \times e_{50, inh} = 83,3 \cdot 10^3 \text{ [Bq]} \times 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ [Sv/Bq]} = 0,92 \text{ mSv}$ .

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 2</b>		
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>	
2.1	4	
2.2	4	
2.3	4	
2.4	4	
<b>Totaal</b>	<b>16</b>	

### Vraagstuk 3. Vrijgave van absoluutfilters

#### Vraag 3.1

Toon aan dat de efficiency van de opstelling voor  $^{57}\text{Co}$ -energie van 136 keV gelijk is aan  $4,5 \cdot 10^{-4}$  counts per foton.

$t = 1/12/2016 - 1/4/2015 = 610$  d (2016 is een schrikkeljaar)

$$A(t) = A(0) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 469 \text{ [kBq]} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{610}{271,84}} = 99 \text{ kBq}$$

$$N_n = N_b - N_a = 59,2 \cdot 10^3 - 50,7 \cdot 10^3 = 8,5 \cdot 10^3 \text{ counts}$$

$$R_n = N_n / t_n = 8,5 \cdot 10^3 \text{ [counts]} / 1800 \text{ [s]} = 4,72 \text{ s}^{-1}$$

$$\varepsilon = \frac{R_n}{A \times y_{136}} = \frac{4,72 \text{ [s}^{-1}\text{]}}{99 \cdot 10^3 \text{ [Bq]} \times 0,106 \text{ [(Bq} \cdot \text{s)}^{-1}\text{]}} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ counts per foton}$$

#### Vraag 3.2

$^{99}\text{Mo}$  en  $^{99m}\text{Tc}$  zenden beide fotonen van 141 keV uit. Verifieer dat de yield van deze gezamenlijke fotonen gelijk is aan 0,828 fotonen per desintegratie van  $^{99}\text{Mo}$ , indien de activiteit van  $^{99m}\text{Tc}$  in evenwicht is met de activiteit van  $^{99}\text{Mo}$ .

$$\text{via verval van } ^{99}\text{Mo}: \quad 0,049 \text{ (Bq} \cdot \text{s)}^{-1}$$

$$\text{via verval van } ^{99m}\text{Tc}: \quad 0,876 \times 0,889 = 0,779 \text{ (Bq} \cdot \text{s)}^{-1}$$

$$\text{totaal dus } y_{141} = 0,049 \text{ (Bq} \cdot \text{s)}^{-1} + 0,779 \text{ (Bq} \cdot \text{s)}^{-1} = 0,828 \text{ (Bq} \cdot \text{s)}^{-1}$$

#### Vraag 3.3

Laat zien dat voor  $^{99}\text{Mo}$  de MDA en de MDC kleiner zijn dan de vrijgavegrenzen.

$$R_{\min} = 3 \times \sqrt{(50,9 \cdot 10^3) / 1800 \text{ [s]}} = 0,38 \text{ s}^{-1}$$

$$MDA = \frac{R_{\min}}{\varepsilon \times y_{141}} = \frac{0,38 \text{ [s}^{-1}\text{]}}{4,5 \cdot 10^{-4} \times 0,828 \text{ [(Bq} \cdot \text{s)}^{-1}\text{]}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

$$MDA = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Bq} < A_v = 10^6 \text{ Bq}$$

$$MDC = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Bq} / 3200 \text{ g} = 0,3 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1} < C_v = 100 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$$

De MDA en MDC zijn beide onder de vrijgavegrenzen.

**Vraag 3.4a**

Bepaal aan de hand van de meting van het absoluutfilter (zie tabel 2) hoeveel activiteit  $^{99}\text{Mo}$  er maximaal aanwezig is in het absoluutfilter, inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval ( $2\sigma$ ) van deze activiteit.

$$N_n = N_b - N_a = 331,3 \cdot 10^3 - 50,9 \cdot 10^3 = 280,4 \cdot 10^3$$

$$R_n = 280,4 \cdot 10^3 / 1800 \text{ [s]} = 156 \text{ s}^{-1}$$

$$A_{\text{Mo-99}} = \frac{R}{\varepsilon \times y_{141}} = \frac{156 \text{ [s}^{-1}\text{]}}{4,5 \cdot 10^{-4} \times 0,828 \text{ [(Bq} \cdot \text{s)}^{-1}\text{]}} = 419 \text{ kBq}$$

$$\sigma_b = \sqrt{(331,3 \cdot 10^3) / 1800 \text{ [s]}} = 0,320 \text{ s}^{-1}$$

$$\sigma_a = \sqrt{(50,9 \cdot 10^3) / 1800 \text{ [s]}} = 0,125 \text{ s}^{-1}$$

$$\sigma_R = \sqrt{(\sigma_b^2 + \sigma_a^2)} = \sqrt{(0,102 + 0,0157)} = 0,343 \text{ s}^{-1}$$

$$\sigma_A = \frac{\sigma_R}{\varepsilon \times y_{141}} = \frac{0,343 \text{ [s}^{-1}\text{]}}{4,5 \cdot 10^{-4} \times 0,828 \text{ [(Bq} \cdot \text{s)}^{-1}\text{]}} = 0,92 \text{ kBq}$$

Maximaal aanwezig  $^{99}\text{Mo}$ :  $A + 2\sigma = 419 \text{ [kBq]} + 2 \times 0,92 \text{ [kBq]} = 421 \text{ kBq}$

**Vraag 3.4b**

Bepaal of het absoluutfilter vrijgegeven kan worden. Houdt hierbij ook rekening met het ontstane  $^{99m}\text{Tc}$ , wat in evenwicht is met de activiteit van  $^{99}\text{Mo}$ . Dit filter bevat enkel de radionucliden  $^{99}\text{Mo}$  en  $^{99m}\text{Tc}$ .

Uit het antwoord van vraag 3.3 kan de maximale activiteit van  $^{99m}\text{Tc}$  worden afgeleid:

$$A(^{99m}\text{Tc}) = A(^{99}\text{Mo}) \times 0,876 = 421 \text{ [kBq]} \times 0,876 = 369 \text{ kBq}$$

Om de vraag netjes te beantwoorden moet een sommatieregel worden gebruikt.

Maar een snelle inschatting werkt in deze situatie ook:

De vrijgavegrens voor  $^{99}\text{Mo}$ -activiteit is  $A_v = 1 \text{ MBq}$ . De totale activiteit in het filter is 421 kBq. Dit is minder dan de helft van de vrijgavegrens.

De vrijgavegrens voor  $^{99m}\text{Tc}$ -activiteit is  $A_v = 10 \text{ MBq}$ . De totale activiteit in het filter is 369 kBq. Ook dit is minder dan de helft van de vrijgavegrens.

Het absoluutfilter kan dus worden vrijgegeven.

N.B.:

De vrijgavegrens voor activiteitsconcentratie wordt overigens wel overschreden:

De vrijgavegrens voor  $^{99}\text{Mo}$ -concentratie is  $C_v = 100 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ .

De activiteitsconcentratie in het filter is  $421 \text{ [kBq]} / 3200 \text{ [g]} = 132 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ . Dit is boven de vrijgavegrens.

De vrijgavegrens voor  $^{99m}\text{Tc}$ -concentratie is ook  $C_v = 100 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ .



De activiteitsconcentratie in het filter is  $369 \text{ [kBq]} / 3200 \text{ [g]} = 115 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ . Dit is eveneens boven de vrijgavegrens.

Vrijgave is niet toegestaan indien beide vrijstellingsgrenzen worden overschreden. Dit is hier niet het geval en dus mag het filter worden vrijgegeven.

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 3</b>		
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>	<b>Afspraken voor nakijken</b>
3.1	4	
3.2	3	
3.3	4	
3.4a	4	
3.4b	2	
<b>Totaal</b>	<b>17</b>	

## Vraagstuk 4. Lecture bottle

### Vraag 4.1

Toon aan dat alle  $\beta$ -deeltjes afkomstig van het verval van  $^{14}\text{C}$  in de wand van de gasfles worden gestopt.

De maximale energie van  $\beta$ -deeltjes afkomstig van het verval van  $^{14}\text{C}$  bedraagt  $E_{\beta,\text{max}} = 156 \text{ keV} = 0,156 \text{ MeV}$ . De gereduceerde dracht van elektronen wordt bij deze energie flink overschat door de standaardbenadering

$$R_{\beta,\text{max}} \text{ (in cm)} \times \rho \text{ (in g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{)} = 0,5 E_{\beta,\text{max}} \text{ (in MeV)}$$

waarbij  $\rho$  de dichtheid van ijzer is. Invullen van de gegeven waarden in deze formule levert  $R_{\beta,\text{max}} = (0,5 \times 0,156) / 7,9 = 0,010 \text{ cm} = 0,1 \text{ mm}$ .

Deze waarde is veel kleiner dan de wanddikte van de gasfles (3 mm). Alle  $\beta$ -deeltjes worden dus in de wand gestopt.

Het gebruik van een betere benadering is niet nodig, maar mag natuurlijk wel. Ter indicatie: de formule van Flammersfeld levert als antwoord 0,034 mm.

### Vraag 4.2

Bereken op basis van de transmissie van ijzer de 'effectieve' waarde van  $\mu/\rho$  van ijzer voor de remstraling van  $^{14}\text{C}$ . Bepaal hieruit de 'effectieve' fotonenergie  $E_{\text{foton}}$  (d.w.z. de energie die correspondeert met de berekende waarde van  $\mu/\rho$ ) van de remstraling.

Aflezend van figuur 3 bij  $d = 3,0 \text{ mm} = 0,30 \text{ cm}$  geeft  $T = 0,02$ ; gegeven:  $B = 1$

$$T = B e^{-\mu d} = e^{-\mu d} = 0,02$$

$$\rightarrow \mu d = -\ln(0,02) = 3,91$$

$$\mu/\rho = 3,91 / (0,30 \text{ [cm]} \times 7,9 \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{)}) = 1,65 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Lineair interpoleren van bijlage blz. 13 geeft  $E_{\text{foton}} = 0,054 \text{ MeV}$ ; een globale schatting tussen 0,05 en 0,06 MeV wordt ook goed gerekend.

(dit is nagenoeg gelijk aan de gemiddelde  $\beta$ -energie  $\langle E_{\beta} \rangle = 49 \text{ keV} = 0,049 \text{ MeV}$ )

### Vraag 4.3a

Bereken de totale per tijdseenheid geproduceerde remstralingsenergie (in  $\text{MeV s}^{-1}$ ). Gebruik hierbij de fractie  $g$  van de per tijdseenheid afgegeven  $\beta$ -energie.

De fractie die wordt omgezet in remstraling is

$$g = 2 \cdot 10^{-4} \times 26 \times 0,156 \text{ [MeV]} = 8,1 \cdot 10^{-4}$$

De totale activiteit is  $A = 480 \text{ MBq}$  en de gemiddelde  $\beta$ -energie is  $49 \text{ keV} = 0,049 \text{ MeV}$ . De totale uitgezonden  $\beta$ -energie per tijdseenheid is dus

$$E_{\beta} = A \times \langle E_{\beta} \rangle = 480 \text{ [MBq]} \times 0,049 \text{ [MeV]} = 23,5 \cdot 10^6 \text{ MeV s}^{-1}$$

De totale per tijdseenheid geproduceerde remstralingsenergie is

$$E_{\text{rem}} = g \times E_{\beta} = 8,1 \cdot 10^{-4} \times 23,5 \cdot 10^6 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}] = 1,90 \cdot 10^4 \text{ MeV s}^{-1}$$

### Vraag 4.3b

Bereken de gemiddelde fluxdichtheid of fluentietempo  $\phi$  (in fotonen  $\cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) die de denkbeeldige lijnvormige fotonenbron veroorzaakt op de buitenzijde van de gasfles (zie figuur 3). U hoeft geen rekening te houden met de uiteinden van de gasfles: u mag er dus van uitgaan dat de fotonen uitsluitend de binnenkant van de zijwand treffen.

De transmissie van de cilinderwand voor remstraling is  $T = 0,02$  (zie Figuur 3).

De afstand van tussen de centrale lijn en de buitenkant van de cilinder is

$$r = 0,5 \times 3,2 [\text{cm}] = 1,6 \text{ cm}$$

Lengte van de cilinder is  $l = 18 \text{ cm}$

Het oppervlak van de cilinder is

$$O = 2\pi \times r \times l = 2\pi \times 1,6 [\text{cm}] \times 18 [\text{cm}] = 181 \text{ cm}^2$$

De fluxdichtheid is

$$\begin{aligned} \phi &= T \times (E_{\text{rem}} / E_{\text{foton}}) / O \\ &= 0,02 \times (1,90 \cdot 10^4 [\text{MeV} \cdot \text{s}^{-1}] / 0,054 [\text{MeV}]) / 181 \text{ cm}^2 \\ &= 39 \text{ fotonen} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

### Vraag 4.4

Bereken, uitgaande van het antwoord bij vraag 3b, het omgevingsdosisequivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  (in  $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ) op de buitenkant van de gasfles. Indien u het antwoord op vraag 3b schuldig bent gebleven kunt u uitgaan van  $40 \text{ fotonen} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Lineair interpoleren van bijlage blz. 13 geeft  $\dot{H}^*(10)/\Phi = 0,53 \text{ pSv} \cdot \text{cm}^2$

$$\begin{aligned} \rightarrow \dot{H}^*(10) &= 0,53 \text{ pSv} \cdot \text{cm}^2 \times 39 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 3600 \text{ s} \cdot \text{h}^{-1} \\ &= 74 \cdot 10^3 \text{ pSv} \cdot \text{h}^{-1} = 0,074 \mu\text{Sv h}^{-1} \end{aligned}$$

Werken met van  $40 \text{ fotonen} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  levert als eindantwoord  $\dot{H}^*(10) = 0,076 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

Puntenwaardering:

<b>Vraagstuk 4</b>		
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>	<b>Afspraken voor nakijken</b>
4.1	3	
4.2	4	
4.3a	3	
4.3b	3	
4.4	4	
<b>Totaal</b>	<b>17</b>	