###### UITWERKINGEN

###### Gecoördineerd examen stralingsbescherming

###### Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and consultancy Group NRG

Technische Universiteit Delft TUD

Boerhaave Nascholing/LUMC BN

Rijksuniversiteit Groningen RUG

Radboud Universiteit/UMC St.Radboud RU/UMC

TU Eindhoven TUE

Examendatum: 9 december 2013

**Vraagstuk 1 Synthese 123I radiofarmacon**

**Vraag 1.1.a**

De relevante e(50) is 2,1·10****10 Sv/Bq vanwege het vrijkomen van I2. De gehanteerde hoeveelheid Reinh is dus 50·109 (Bq) × 2,1·10****10 (Sv/Bq) = 10,5 Sv = 10,5 Reinh.

Het aantal Reinh moet dus kleiner zijn dan Xmax = 0,02·10p+q+r:
10,5 <= 0,02·10p+q+r

10p+q+r >= 10,5/0,02 = 525 met de 10log wordt dit:

p+q+r >= 10log(525),

omdat p bekend is (-3: labeling vluchtig nuclide) en q bekend is (3: B-laboratorium), kan worden berekend wat r minimaal moet zijn:

r >= 2,7 – p – q = 2,7 + 3 – 3 = 2,7; r = 3

Er moet dus worden gewerkt in een gesloten werkkast.

**Vraag 1.1.b**

Formule voor de belastingsfactor Bw = 

Xmax = 0,02·10p+q+r = 0,02·103 = 20 Reinh.

De synthese wordt 4× per week uitgevoerd gedurende 1 uur. De belastingsfactor BW voor deze synthese is dus:

Bw = [4 × 1/40] × 10,5 / 20 = 0,053; BW < 1

**Vraag 1.2**

Bij de val vernevelt een fractie van 0,010 in een wolk van 1 m3 boven de besmetting. Bij verwaarlozing van de ventilatie is de activiteitsconcentratie in de ingeademde lucht voor de laborant:

C = 0,010 × 50·109 (Bq) / 1 (m3) = 5,0·108 (Bq/m3)

Een blootgestelde werker ademt in 1 minuut 1/60 van 1,2 m3, dus 0,02 m3, in uit de wolk boven de besmetting. De effectieve volgdosis voor de laborant volgt uit de dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie van deze licht zure jodide besmetting (overige verbindingen) uit inhalatie klasse F:

E50 = 0,02 (m3) × 5,0·108 (Bq/m3) × 1,1·10-10 (Sv/Bq) = 1,1·10****3 Sv = 1,1 mSv

**Vraag 1.3**

 = [h × A / r2] × ∆t =

= [0,046 (µSv·h****1·MBq****1·m2) × 50·103(MBq) / 0,52 (m2)] × 1 / 60 (h)

 = 153·µSv = 0,15 mSv

**Vraag 1.4**

huid = 1∙10-10 Sv/s per Bq/cm2

Hhuid = huid x (activiteit / oppervlak) x ∆t =

= 1∙10****10 (Sv/s per Bq/cm2) x [2∙10****6∙x 50∙109 (Bq)/2,0 (cm2)] x 1800 (s) =

= 9,0 10****3 Sv = 9,0 mSv

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 1** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1.1.a | 3 |
| 1.1.b | 3 |
| 1.2 | 4 |
| 1.3 | 3 |
| 1.4 | 3 |
| **Totaal** | 16 |

**Vraagstuk 2 Vergiftiging met polonium?**

**Vraag 2.1**

Standaarddeviatie van de achtergrondmeting:



99,7% betrouwbaarheidsinterval komt overeen met *Rbg* ± 3*sbg*.




Alternatief:

“Inleiding tot de stralingshygiëne” biedt invulformule (10.16).

$$A\_{min}=\frac{3}{η}\sqrt{\frac{R\_{a}}{t}}=\frac{3}{0,85}\sqrt{\frac{\left(\frac{0,01}{60}\right)}{\left(1000∙60\right)}=1,86∙10^{-4}=0,19mBq}$$

**Vraag 2.2**

Gecorrigeerd teltempo: 3,06 – 0,34 = 2,72 cpm = 4,53∙10–2 cps.
Standaarddeviatie in dit gecorrigeerde teltempo:



= 0,097·10-2 cps = 0,10·10****2 cps

Antwoord: 4,53∙10–2 cps ± 0,10·10****2 cps

(Het bij elkaar zetten van teltempo en standaarddeviatie, wordt niet van de cursist verwacht)

**Vraag 2.3**

Netto activiteit besmetting ten tijde van monstername:



De halveringstijd van 210Po is 138,38 dagen, de verstreken tijd is 8 jaar (en enkele dagen) = 8 × 365,25 = 2922 dagen.

Activiteit 8 jaar geleden: $A\_{0}=A\_{t} ∙2^{\frac{t}{T1}}=5,33∙10^{-2}\left(Bq\right)∙2^{\frac{2922}{138,38}}= 1,21∙10^{5 }Bq$

**Vraag 2.4a**

Geschatte activiteit in 24-uurs urine:$1400 \left(\frac{mL}{d}\right)∙ \frac{1,21∙ 10^{5} \left(Bq\right)^{}}{3 \left(mL\right)}= 5,6∙10^{7}(Bq/d) $

Deze activiteit is (mogelijk) via besmette voedingsmiddelen binnengekregen 3 dagen voor uitscheiding (aanname), dus gerekend moet worden met uitscheidingsfactor van 3 dagen na ingestie: 4,4∙10–4 [Bq/d per Bq inname].

Activiteit op moment van ingestie: $A\_{in}= \frac{5,6∙10^{7 }(\frac{Bq}{d}) }{4,4∙10^{-4 } (\frac{Bq}{d} per Bq inname) }= 1,3∙10^{11} Bq$

**Vraag 2.4b**

Effectieve volgdosis als gevolg van zo’n grote inname zou zijn:

$$E\left(50\right)=2,4∙10^{-7 }\left(\frac{Sv}{Bq}\right) ∙1,3∙10^{11 }(Bq)=3,05∙10^{4} Sv=31 kSv$$

Ja, deze activiteitsinname kan inderdaad een dood door acute stralingsziekte tot gevolg hebben gehad. Op deze manier geschat komt er een extreem hoge E(50) uit.

[Gezien deze extreem hoge uitkomst, mag deze manier van berekenen via de e(50) eigenlijk niet zo worden gebruikt. De E(50) berekeningen via e(50) zijn bedoeld voor bescherming van de werknemers/burgers, en gelden in het lage, stochastische dosis gebied. Maar deze schatting geeft wel een indicatie].

Nu is de E(50), de effectieve volgdosis, de totale dosis die (theoretisch) gedurende 50 jaar na inname wordt afgegeven. In de gegeven situatie is dit niet het geval geweest: vier dagen na inname (één dag na het ontstaan van de besmetting) is de man al overleden. Gezien het uitscheidingstempo en de relatief korte halveringstijd van 210Po zal echter een aanzienlijk deel van deze volgdosis in de eerste dagen worden afgegeven, genoeg om het overlijden te kunnen hebben veroorzaakt.

*Uitgebreidere uitwerking ter toelichting, wordt niet van cursisten verwacht:*

De effectieve halveringstijd voor de verwijdering van 210Po uit het lichaam bedraagt 37 dagen [T½ eff = (50 x 138 /(50 + 138)]. Na 2 effectieve halveringstijden zou al 75% van de activiteit uit het lichaam verdwenen zijn. Een zeer groot deel van de 29 kSv zou zodoende al in een periode van 75 dagen worden afgegeven, in de eerste dagen komt dat dan neer op enkele honderden Sv/dag, ruimschoots voldoende om een snelle dood

te veroorzaken.

Overigens dient opgemerkt te worden dat bij zulke hoge doses de effectieve (volg)dosis niet een geschikte grootheid is. Het werkelijke verloop van de deterministische effecten en de snelheid van overlijden worden bepaald door de geabsorbeerde dosis in de verschillende organen en weefsels. Zeker de eerste dagen is de verspreiding van het nuclide over de weefsels verre van uniform, wat grote invloed heeft bij een zuivere alfa-emitter. Zodoende is het mogelijk dat zelfs bij zo’n hoge dosis de man nog enkele dagen overleefd heeft.

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 2** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 2.1 | 4 |
| 2.2 | 3 |
| 2.3 | 4 |
| 2.4.a | 4 |
| 2.4.b | 2 |
| **Totaal** | 17 |

**Vraagstuk 3 Industriële radiografie**

**Vraag 3.1**

Gegeven: het omgevingsdosisequivalentdosistempo op 1 meter van de bronhouder bedraagt 12 µSv/h

12 µSv/h = [0,14 (µSv ·m²·MBq****1·h****1) × 185·103 (MBq) / (1,15 (m))²] × T

T = 12 (µSv/h) / 19584 (µSv/h) = 6,1·10****4

Door de dikte lood te zoeken in de grafiek ”Transmissie van brede bundels gammastraling voor verschillende radionucliden door lood” wordt een dikte van 5,1 centimeter lood gevonden.

**Vraag 3.2**

Eis: afzetting bij omgevingsdosisequivalent 10 µSv/h

10 µSv/h = 0,14 (µSv ·m²·MBq****1·h****1) ×185·103 (MBq) / [r (m)]²

[r (m)]² = 0,14 (µSv ·m²·MBq****1·h****1) × 185·103 (MBq / 10 µSv/h) =

= 2,6·103 (m²)

r = 51 meter

De hoogte is 6 meter. Bij 51 meter als schuine zijde, en 6 meter als hoogte, is de afstand op de grond ook 51 meter.

[Het mag ook via Pythagoras:

bereken straal op de grond met: a² + b² = c²

6² + b² = 51²

b² = 51² **** 6² = 2,6·103

b = 51 meter]

**Vraag 3.3**

Dosistempo op 6 meter afstand:

0,14 (µSv·m²·MBq****1·h****1) × 185·103 (MBq) / (6 (m))² = 720 µSv/h = 0,72 mSv/h

Dosistempo op het oppervlak van de bronhouder:

12 (µSv/h) × (115/15)² = 705 µSv/h = 0,71 mSv/h

Het verwachte dosistempo op de bronhouder is vrijwel gelijk aan het dosistempo met de bron op 6 meter afstand. Hierdoor is het begrijpelijk dat de verkeerde conclusie werd getrokken.

**Vraag 3.4**

Dosis als gevolg van gamma-straling:

Bereken eerst de fluentie, gebruikmakend van de totale fotonenyield

Fotonenyield: 0,828+0,29+0,297+0,478+0,082+0,033+0,032 = 2,04

Fluentietempo: Ay/4πr² = 185·109 (Bq) × 2,04/[4π(3,0 (cm))²] =

= 3,34·109 cm****2s****1

Dosistempo =  E µ/ρ =

1,6·10****10 (J MeV****1 g kg-1) × 3,34·109 (cm****2 s****1)× 0,366 (MeV) × 0,032 (cm2 g****1)= 6,25·10****3 Gy/s

In 1½ uur is dit 3600 (s)× 1,5 × 6,25·10-3 (Gy/s) = 34 Gy

Opmerking

Dracht bèta-straling: R=0,5E/ρ = 0,04 cm staal

De bron heeft een buitenwand van 1,5 mm staal, de bèta-straling levert dus geen bijdrage aan de huiddosis.

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 3** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 3.1 | 4 |
| 3.2 | 4 |
| 3.3 | 4 |
| 3.4 | 5 |
| **Totaal** | 17 |

**Vraagstuk 4 Plutoniumbatterij**

**Vraag 4.1**

**Vraag 4.2**

Vervalenergie “listed α and α recoil radiations” 5,58E 00 MeV = 8,93·10****13 J per desintegratie.

N.B. Indien een cursist de waarde 5,59 E00 MeV gebruikt (listed radiations) wordt dit ook goed gerekend (5,59 E00 MeV = 8,94·10****13 J).

Thermisch vermogen Pth = A × vervalenergie per desintegratie Pth= 2,7·1015 (desintegr.·s-1) × 8,93·10****13 (J·desintegr-1.) = 2,4∙103 W

Elektrisch vermogen Pe = rendement × thermisch vermogen

Pe = 0,050 × 2,4∙103 (W) = 1,2∙102 W

**Vraag 4.3.a**

**Vraag 4.3.b**



[Nb. Eigenlijk is het eindantwoord in 1 cijfer significant].

**Vraag 4.4**

Oppervlaktebesmetting = 2,7·1015 (Bq) / 1·1010 (m2) = 2,7·105 Bq/m2

Ingeademde activiteit = 1,0·10-3 × 2,7·105 (Bq) = 2,7·102 Bq

Effectieve volgdosis E50 = 1,5·10-5 (Sv/Bq) × 2,7·102 (Bq) = 4,1 mSv

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 4** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 4.1 | 4 |
| 4.2 | 4 |
| 4.3.a | 2 |
| 4.3.b | 3 |
| 4.4 | 4 |
| **Totaal** | 17 |