###### UITWERKINGEN

###### Gecoördineerd examen stralingsbescherming

###### Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and Consultancy Group NRG

Technische Universiteit Delft TUD

Boerhaave Nascholing/LUMC LUMC

Rijksuniversiteit Groningen RUG

Radboud Universiteit/UMC St.Radboud RU/UMC

Examendatum: 7 mei 2012

**Vraagstuk 1 Opsporen van een vermiste bron**

**Vraag 1**

Verval van de beide bronnen in 8 jaar tijd:

λ⋅t = 4,17⋅10−9 (s−1) × 8 (j) × 365 (d⋅j−1) × 24 (h⋅d−1) × 3600 (s⋅h−1) = 1,05

e−λ⋅t = e−1,05 = 0,35

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **bron** | **7 mei 2004** | **7 mei 2012** |
| Vermist | 125 kBq | 125 kBq × 0,35 = 44 kBq |
| Aanwezig | 350 kBq | 350 kBq × 0,35 = 123 kBq |

**Vraag 2**

123 kBq levert netto 50 cps – 8 cps = 42 cps

Het rendement is dus: ε = R/A

ε = 42/1,2·105 [cps·Bq–1] = 3,5·10–4 cps·Bq–1

**Vraag 3**

123 kBq levert netto 50 cps – 8 cps = 42 cps

44 kBq levert dan 44/123 × 42 cps = 15 cps, dit is boven de achtergrond.

Een netto telsnelheid van 8 cps is nog net significant, dit is te verwachten op een afstand van:

Ix = I50 × (50/x)2

8 = 15 × (50/x)2

8/15 = (50/x)2

50/x = √(8/15) = 0,73

x = 50/0,73 = 68 cm

Alternatieve berekening:

Rn = Rb – Ra = 16 cps – 8 cps = 8 cps

A = 8 cps / 3,4·10–4 cps·Bq–1 = 23 kBq

**Vraag 4**

Volgens het vervalschema zendt 60Co fotonen uit van 1333 keV en

1173 keV. Volgens de gegevens van de Gamma Scintillation Probe Type 5.41, is de respons van deze detector bij deze energieën ongeveer 45 cps bij 1 µGy·h–1.

De vermiste bron heeft een activiteit van 44 kBq = 0,044 MBq. Het

dosistempo op 68 cm afstand is dan

 = k × A /r2 = 0,31 (µGy/h)· MBq-1 op 1 m × 0,044 MBq / (0,68 m)2 = 0,029 µGy·h–1

Het netto teltempo is dan 45 cps × 0,029 = 1,3 cps.

Bij een achtergrondsignaal van deze tweede probe van 5 cps is een netto teltempo van 1,3 cps niet significant. Deze 5.41-probe is dus niet geschikt.

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 1** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1 | 3 |
| 2 | 3 |
| 3 | 5 |
| 4 | 5 |
| **Totaal** | 16 |

**Vraagstuk 2 Medische kwakzalverij**

**Vraag 1**

m = 0,200 (L per fles) × 1000 (g·L−1) × 10·10−9 (g radium per g water)

= 2,0·10−6 g radium per fles.

A = 2,0·10−6 (g per fles) × 3,7·1010 (Bq·g−1) = 7,4·104 Bq per fles.

**Vraag 2**

Inname = 7,4·104 Bq.

Dosisconversiecoëfficiënt = 2,8·10−7 Sv·Bq−1 (zie Handboek Radionucliden)

Effectieve volgdosis = 2,8·10−7 (Sv·Bq−1) × 7,4·104 (Bq) =

= 21·10−3 Sv = 21 mSv

**Vraag 3**

De opbouw van radium in het skelet wordt beschreven door de differentiaal­vergelijking:



(1)

(2)



Hierin is M de massa van het radium in het skelet en  de dagelijkse opname in het skelet.

f1 = 0,2 (zie Handboek Radionucliden).

De fractie met de langste biologische halveringstijd is 0,03 (zie tabel 1).

Dus  = inname per dag × f1 × 0,03 =

= 2 (µg·d−1) × 0,2 × 0,03 = 0,012 µg·d−1

Verder is de fysische halveringstijd zoveel langer dan de biologische halveringstijd van 4000 dagen, dat deze niet meegenomen hoeft te worden in de effectieve λ.

λ= λbiol = 0,693 / 4000 (d) = 1,73·10−4 d−1

t = 5 (j) × 365 (d·j−1) = 1825 d

λ·t = 1,73·10-4 (d−1) × 1825 (d) = 0,316

Invullen in formule (2) geeft:

M(1825 d) = [0,012 (µg·d−1) / 1,73·10−4 d−1] × (1 − e−0,316) =

= 69 (µg) × 0,27 = 19 µg

[Vanwege de korte biologische halveringstijd heeft het radium in de beide andere compartimenten van het skelet de verzadigingswaarde / λ bereikt:

T½ = 2 d

/ λ = [2 (µg·d−1) × 0,2 × 0,30] × [2 (d) / 0,693] = 0,4 µg

T½ = 40 d

/ λ = [2 (µg·d−1) × 0,2 × 0,08] × [40 (d) / 0,693] = 2 µg

De totale hoeveelheid radium in het skelet is dus 19 + 0,4 + 2 = 21 µg.

Voor de beoordeling volstaat een correcte berekening van de eerste bijdrage.]

**Vraag 4**

Voor de referentiemens geldt een botmassa van 5000 g.

Activiteit = 19·10−6 (g) × 3,7·1010 (Bq·g−1) = 7,0·105 Bq > 10 kBq

Activiteitsconcentratie = 7,0·105 (Bq) / 5000 (g) = 140 Bq·g−1 > 1 Bq·g−1

(Voor vrijstellingsgrenzen: zie Handboek Radionucliden.)

Beide grenzen worden overschreden zodat de as niet kan worden vrijgegeven.

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 2** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1 | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 6 |
| 4 | 4 |
| **Totaal** | 17 |

**Vraagstuk 3 Transmissie door loodschort**

**Vraag 1a**

Luchtkermatempo 2,2 mGy∙mA–1·min–1 op 1 meter.   
Afstand focus – patiënt is 0,50 m; Buisstroom I = 2 mA.  
Luchtkermatempo ter plaatse van patiënt:   


**Vraag 1b**

Verstrooide fractie met hoek 90° bij 100 kV is volgens Tabel 1 5∙10–2% bij een intreeveld van 400 cm2 op een afstand van 1 meter tot het centrum van het intreeveld.   
Afstand patiënt – operatie-assistent is 2 m.  
Veldgrootte is 400 cm2.



**Vraag 2**

Bij 84 kV (maximale energie van de verstrooide straling) is de verzwakking in het loodschort (2 lagen, dus 0,50 mm, lijn a) circa 60×.  
Klucht ≈ Dweefsel en *w*R= 1.



**Vraag 3**

Zonder loodschort:



Massieke verzwakkingsdoorsnede μ/ρ voor 365 keV fotonen = 0,3 cm2∙g–1 (geïnterpoleerd tussen 0,3 en 0,4 MeV).  
Transmissie door loodschort: 

Met loodschort: 

**Vraag 4**

De transmissie door het loodschort is zo groot dat het dragen van een loodschort weinig bijdraagt aan dosisverlaging. Het is veel effectiever om

extra afstand te nemen en de blootstellingstijd kort te houden. Een loodschort verlaagt de bewegingsvrijheid en kan juist averechts werken doordat handelingen langer duren.

Puntenwaardering:

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk** | **3** |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1a | 3 |
| 1b | 4 |
| 2 | 3 |
| 3 | 5 |
| 4 | 2 |
| Totaal | ***17*** |

**Vraagstuk 4 Van lozing tot inwendige besmetting:**

**een ketenmodel**

**Vraag 1**

 = 106 Bq·L–1; consumptie = 120 L melk·jaar–1

A =  × consumptie = 106 [Bq·L–1] × 120 [L·jaar–1] = 1,3·104 Bq·jaar–1

e50,ing= 2,2·10–8 Sv·Bq–1; E50 = A × e50

E50 = 2,2·10–8 [Sv·Bq–1] × 1,3·104 [Bq·jaar–1] = 0,28·10–3 Sv·jaar–1 = 0,28 mSv·jaar–1

**Vraag 2**

= 106 Bq·L–1;

*Fmelk* = 0,01 Bq·L–1 per (Bq·dag–1), *t*w= 3 dagen, *t1/2*= 8 dagen;





en dus=1,4 ⋅104 Bq·dag–1

Koe eet 70 kg gras per dag: = 196,4 Bq·kg–1

1 m2 grasveld bevat 1,3 kg gras;

*Cgras* (gem. opp. besmetting) = 1,3 [kg·m–2]×196,4 [Bq·kg–1] = 255 Bq·m–2

**Vraag 3**

Bij een luchtbesmetting van 1,0 Bq·m–3 is de oppervlaktebesmetting

1,0×104 Bq·m–2.

Een oppervlaktebesmetting van 255 Bq·m–2 komt dus overeen met een luchtbesmetting van (255/1,0×104) × 1,0 [Bq·m–3] = 0,0255 = 2,6×10−2 Bq· m–3

e50,inh = 2,0⋅10–8 Sv·Bq–1 (voor I2), gemiddeld ademvolume­tempo van 0,95 m3·uur–1.

E50 = 0,95[m3·h–1] × 2,6×10–2 [Bq·m–3] × 7000 [h·jaar–1] × 2,0·10–8 ­ [Sv·Bq–1] = 346·10–8 Sv·jaar–1 = 3,5·10–6 Sv·jaar–1 = 3,5 μSv·jaar–1 (factor 81 lager dan de ingestiedosis uit vraag 1).

**Vraag 4**

 dus: 

 = 2,6×10-2 Bq·m–3

*U* = 2,0 m·s–1

*α( r )* op 2 km afstand = 1,37⋅10–8 h·m–2·s–1

= 3,8·106 Bq·h–1=

3,8⋅106 [Bq·h–1]×24 [h·dag–1]×365 [dag·jaar–1] =

33·109 Bq·jaar–1= 33 GBq·jaar–1

De gemiddelde luchtbesmetting is echter het resultaat van een besmette pluim die maar een 1/3 deel van het jaar over het grasveld trekt, dus de werkelijk geloosde activiteit is een factor 3 groter, ofwel:

 33 [GBq·jaar–1]×3 = 100 GBq·jaar–1.

Puntentelling

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 4** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1 | 3 |
| 2 | 4 |
| 3 | 5 |
| 4 | 5 |
| **Totaal** | 17 |