###### 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 99mTc-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 99Mo.

De generator is verstuurd met een activiteit van maximaal 88,25 GBq.

De isotoop die het vervaltempo in de generator bepaalt, is 99Mo.

-0,534 = t/65,94 × -0,301

t = 117 uur = 4 dagen en 21 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.*

T = 8,1·10–3 (= 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 omgevingsdosisequivalenttempo van circa 13 µSv/uur op 1 meter afstand.

Het omgevingsdosisequivalenttempo is bij dezelfde verpakking ‘evenredig’ met de activiteit.

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

0,050 µSv·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 omgevingsdosisequivalent 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.*

5% daarvan = 53,0 MBq 99mTc

Handen:

**Vraag 1.4**

*Bereken de activiteit van 99Tc in de grond.*

De toegediende activiteit 99mTc cumulatief over 40 jaar (zonder verval):

(100 × 1,50·109 [Bq] + 100 × 1,50·108 [Bq])·jaar–1 × 40 jaar = 6,60·1012 Bq

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

De verbindende link is het aantal kernen N.

Algemeen: A = λ × N

ATc-99m = λTc-99m × N en ook ATc-99 = λTc-99 × N

Alternatief: Deze activiteit van de dochter 99Tc kan ook berekend worden met een formule als 1.15 uit Inleiding tot de Stralingshygiëne, A.J.J. Bos et al, 2e druk, 2007. Dit alternatief kost meer tijd.

99Mo vervalt met een yield van 0,876 naar 99mTc. En ook met een yield van 0,124 rechtstreeks naar 99Tc. Dit 99Tc komt ook in het eluaat, is ook bij de dieren ingespoten en in de grond terecht gekomen.

De activiteit 99Tc die in 40 jaar maximaal in de grond bij de dierverblijven terecht gekomen =

Puntenwaardering:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vraagstuk** |  |  |
| **Vraag** | **Punten** | **Afspraken voor het nakijken** |
| 1a | 3 |  |
| 1b | 3 |  |
| 2 | 3 |  |
| 3 | 3 |  |
| 4 | 5 |  |
| **Totaal** | ***17*** |  |

**Vraagstuk 2. Besmetting bij 131I 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 131I-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.*

= h(10) × A / r2 dus: A = × r2 / h(10) =

= 22 [µSv/h] × 3,02 [m2] / 0,066 [µSv·m²·MBq****1·h****1] = 3,0·103 MBq = 3,0 GBq

**Vraag 2.3**

*Schat de activiteit van het 131I in de schildklier van de besmette medewerker op het moment dat de meting wordt uitgevoerd.*

A (Bq) = Rn (counts·s–1) / (*y* (foton·desintegratie–1) × ε (counts·foton–1)) =

((567 / 60) – (80 / 60)) / (0,812 × 1,0·10–3) = 10 kBq

**Vraag 2.4**

*Geef een schatting van de effectieve volgdosis 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.  
Opnamefractie = 1,2·10–1 (klasse F)   
Inname is 10 / 1,2·10–1 = 83,3 kBq

Effectieve volgdosis E50 =A × e50, inh= 83,3·103 [Bq] × 1,1·10–8 [Sv/Bq] = 0,92 mSv.

Puntenwaardering:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vraagstuk 2** |  |  |
| **Vraag** | **Punten** |  |
| 2.1 | 4 |  |
| 2.2 | 4 |  |
| 2.3 | 4 |  |
| 2.4 | 4 |  |
| **Totaal** | ***16*** |  |

**Vraagstuk 3. Vrijgave van absoluutfilters**

**Vraag 3.1**

*Toon aan dat de efficiency van de opstelling voor 57Co-energie van 136 keV gelijk is aan 4,5⋅10−4 counts per foton.*

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



Nn = Nb - Na = 59,2⋅103 - 50,7⋅103 = 8,5⋅103 counts

Rn = Nn / tn = 8,5⋅103 [counts] / 1800 [s] = 4,72 s−1



**Vraag 3.2**

*99Mo en 99mTc zenden beide fotonen van 141 keV uit. Verifieer dat de yield van deze gezamenlijke fotonen gelijk is aan 0,828 fotonen per Bq 99Mo, indien de activiteit van 99mTc in evenwicht is met de activiteit van 99Mo.*

via verval van 99Mo: 0,049 (Bq⋅s)−1

via verval van 99mTc: 0,876 × 0,889 = 0,779 (Bq⋅s)−1

totaal dus y141 = 0,049 (Bq⋅s)−1 + 0,779 (Bq⋅s)−1 = 0,828 (Bq⋅s)−1

**Vraag 3.3**

*Laat zien dat voor 99Mo de MDA en de MDC kleiner zijn dan de vrijgavegrenzen.*

Rmin = 3 × √(50,9⋅103) / 1800 [s] = 0,38 s−1



MDA = 1,0·103 Bq < Av = 106 Bq

MDC = 1,0·103 Bq / 3200 g = 0,3 Bq⋅g−1 < Cv = 100 Bq⋅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 99Mo er maximaal aanwezig is in het absoluutfilter, inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval (2σ) van deze activiteit.*

Nn = Nb − Na = 331,3⋅103 − 50,9⋅103 = 280,4⋅103

Rn = 280,4⋅103 / 1800 [s] = 156 s−1



σb = √(331,3⋅103) / 1800 [s] = 0,320 s–1

σa = √(50,9⋅103) / 1800 [s] = 0,125 s–1

σR = √(σb2+σa2) = √(0,102+0,0157) = 0,343 s–1



Maximaal aanwezig 99Mo: A + 2σ = 419 [kBq] + 2 × 0,92 [kBq] = 421 kBq

**Vraag 3.4b**

*Bepaal of het absoluutfilter vrijgegeven kan worden. Houdt hierbij ook rekening met het ontstane 99mTc, wat in evenwicht is met de activiteit van 99Mo. Dit filter bevat enkel de radionucliden 99Mo en 99mTc.*

Uit het antwoord van vraag 3.3 kan de maximale activiteit van 99mTc worden afgeleid:

A(99mTc) = A(99Mo) × 0,876 = 421 [kBq] × 0,876 = 369 kBq

Om de vraag netjes te beantwoorden moet een sommatieregel worden gebruikt. Maar een snelle inschatting werkt in deze situatie ook:

De vrijgavegrens voor 99Mo-activiteit is Av = 1 MBq. De totale activiteit in het filter is 421 kBq. Dit is minder dan de helft van de vrijgavegrens.

De vrijgavegrens voor 99mTc-activiteit is Av = 10 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 99Mo-concentratie is Cv = 100 Bq⋅g−1.

De activiteitsconcentratie in het filter is 421 [kBq] / 3200 [g] = 132 Bq⋅g−1. Dit is boven de vrijgavegrens.

De vrijgavegrens voor 99mTc-concentratie is ook Cv = 100 Bq⋅g−1.

De activiteitsconcentratie in het filter is 369 [kBq] / 3200 [g] = 115 Bq⋅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:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vraagstuk 3** |  |  |
| **Vraag** | **Punten** | **Afspraken voor nakijken** |
| 3.1 | 4 |  |
| 3.2 | 3 |  |
| 3.3 | 4 |  |
| 3.4a | 4 |  |
| 3.4b | 2 |  |
| Totaal | ***17*** |  |

**Vraagstuk 4. Lecture bottle**

**Vraag 4.1**

*Toon aan dat alle β-deeltjes afkomstig van het verval van 14C in de wand van de gasfles worden gestopt.*

De maximale energie van β-deeltjes afkomstig van het verval van 14C bedraagt Eβ,max = 156 keV = 0,156 MeV. De gereduceerde dracht van elektronen wordt bij deze energie flink overschat door de standaardbenadering

Rβ,max (in cm) × ρ (in g·cm-3) = 0,5 Eβ,max (in MeV)

waarbij ρ de dichtheid van ijzer is. Invullen van de gegeven waarden in deze formule levert Rβ,max = (0,5 x 0,156) / 7,9 = 0,010 cm = 0,1 mm.

Deze waarde is veel kleiner dan de wanddikte van de gasfles (3 mm). Alle β‑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 μ/ρ van ijzer voor de remstraling van 14C. Bepaal hieruit de 'effectieve' fotonenergie Efoton (d.w.z. de energie die correspondeert met de berekende waarde van μ/ρ) van de remstraling.*

Aflezen van figuur 3 bij d = 3,0 mm = 0,30 cm geeft T = 0,02; gegeven: B = 1

T = B e–μd = e–μd = 0,02

→ μd = -ln(0,02) = 3,91

μ/ρ = 3,91 / (0,30 [cm] × 7,9 [g·cm-3]) = 1,65 cm2 g–1

Lineair interpoleren van bijlage 2 geeft Efoton = 0,054 MeV; een globale schatting tussen 0,05 en 0,06 MeV wordt ook goed gerekend.

(dit is nagenoeg gelijk aan de gemiddelde β-energie<Eβ> = 49 keV = 0,049 MeV)

**Vraag 4.3a**

*Bereken de totale per tijdseenheid geproduceerde remstralingsenergie (in*

*MeV s*–*1). Gebruik hierbij de fractie g van de per tijdseenheid afgegeven β‑energie.*

De fractie die wordt omgezet in remstraling is

g = 2·10–4 × 26 × 0,156 [MeV] = 8,1·10–4

De totale activiteit is A = 480 MBq en de gemiddelde β-energie is 49 keV = 0,049 MeV. De totale uitgezonden β-energie per tijdseenheid is dus

Eβ = A × <Eβ> = 480 [MBq] × 0,049 [MeV] = 23,5·106 MeV s–1

De totale per tijdseenheid geproduceerde remstralingsenergie is

Erem = g × Eβ = 8,1·10–4 × 23,5·106 [MeV·s–1] = 1,90·104 MeV s–1

**Vraag 4.3b**

*Bereken de gemiddelde fluxdichtheid of fluentietempo φ (in fotonen·cm*–*2 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 × 3,2 [cm] = 1,6 cm

Lengte van de cilinder is l = 18 cm

Het oppervlak van de cilinder is

O = 2π × r × l = 2π × 1,6 [cm] × 18 [cm] = 181 cm2

De fluxdichtheid is

φ = T × (Erem / Efoton) / O

= 0,02 × (1,90·104 [MeV·s–1] / 0,054 [MeV]) / 181 cm2

= 39 fotonen·cm–2 s–1

**Vraag 4.4**

*Bereken, uitgaande van het antwoord bij vraag 3b, het omgevingsdosisequivalenttempo* *(in μSv*·*h*–*1) op de buitenkant van de gasfles. Indien u het antwoord op vraag 3b schuldig bent gebleven kunt u uitgaan van 40 fotonen·cm*–*2*·*s*–*1.*

Lineair interpoleren van bijlage 3 geeft H\*(10)/Φ = 0,53 pSv·cm2

→  = 0,53 pSv·cm2 × 39 cm–2·s–1 × 3600 s·h–1

= 74·103 pSv·h–1 = 0,074 μSv h–1

Werken met van 40 fotonen·cm–2·s–1 levert als eindantwoord = 0,076 μSv·h–1

Puntenwaardering:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vraagstuk 4** |  |  |
| **Vraag** | **Punten** | **Afspraken voor nakijken** |
| 4.1 | 3 |  |
| 4.2 | 4 |  |
| 4.3a | 3 |  |
| 4.3b | 3 |  |
| 4.4 | 4 |  |
| Totaal | ***17*** |  |