###### 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: 23 mei 2016

**Vraagstuk 1 Bepaling van een besmetting**

**Vraag 1.1**

*Wat is het voor dode tijd gecorrigeerde bètateltempo van het veegmonster?*

De formule luidt: Rcor = Rgem / (1 – τ⋅Rgem).

Rgem = 4,20·103 tellen per minuut = 70,0 tellen per seconde

Dus Rcor = 70,0 [tps]/ (1 - 200 × 10****6 [s] × 70,0[s****1]) = 71,0 tps

Dit is 4,26·103 tpm.

N.B. Een antwoord in tps volstaat; er hoeft niet te worden doorgerekend naar tpm.

**Vraag 1.2**

*Hoe groot is de totale bèta-activiteit van het veegmonster uitgedrukt in Bq?*

Omdat beide nucliden bètastraling tussen 0,1 en 0,4 MeV uitzenden, geldt voor allebei het rendement van 45% tps / Bq (ε = 0,45 tps / Bq).

A = Rcor / ε = 71,0 [tps] / 0,45 [tps / Bq] = 158 Bq

**Vraag 1.3**

*Hoe groot is de gemeten 60Co-activiteit uitgedrukt in Bq?*

De 60Co-activiteit wordt:

A = R / ε = (480 [tpm] / 60 [s⋅min****1]) / 0,32 [tps / Bq] = 25 Bq.

**Vraag 1.4**

*Bereken de gemiddelde oppervlaktebesmetting van het geveegde vloeroppervlak voor zowel 35S als 60Co in Bq⋅cm******2.*

De activiteiten van het veegmonster waren:

25 Bq 60Co en 158 Bq – 25 Bq = 133 Bq 35S.

De activiteiten op het geveegde stuk vloer waren:

25/0,35 = 71,4 Bq 60Co en 133/0,35 = 380 Bq 35S.

De oppervlaktebesmetting is:

(71,4 Bq/ 120 cm2) = 0,60 Bq⋅cm****2 60Co

(380 Bq/ 120 cm2) = 3,17 Bq⋅cm****2 35S

**Vraag 1.5**

*Toon door berekening aan, met genoemde betrouwbaarheidsgrens, dat de totale besmettingsgraad van het geveegde oppervlak de wettelijk toegestane limiet voor een oppervlaktebesmetting niet overschrijdt.*

Het bètasignaal mag gebruikt worden als indicatie voor de totale activiteit. De bèta’s zijn namelijk òf afkomstig van 35S òf van 60Co.

Teltijd is 2 minuten. Totaal 4,20·103 × 2 = 8,40·103 tellen

σ= √N = √8,40·103 = 91,7 tellen

2σ = 183 tellen

183 tellen/8,40·103 tellen = 0,022 = 2,2 %

De totale oppervlaktebesmetting = 0,60 + 3,17 = 3,77 Bq⋅cm****2

+/- 2,2% betekent +/- 0,083 Bq⋅cm****2

De gemiddelde oppervlaktebesmetting plus 2 maal de standaarddeviatie 3,77 + 0,083 = 3,85 Bq⋅cm****2.

Ook deze waarde blijft onder de limiet van 4 Bq⋅cm****2

Puntenwaardering:

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 1** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 1.1 | 4 |
| 1.2 | 2 |
| 1.3 | 2 |
| 1.4 | 3 |
| 1.5 | 4 |
| Totaal | **15** |

**Vraagstuk 2 Noodprocedure brachytherapie**

**Vraag 2.1**

*Laat door berekening zien dat de omhulling van de 192Ir-bron voldoende dik is om de uitgezonden β–‑straling volledig te absorberen.*

Vuistregels voor gereduceerde dracht van elektronen Emax,β = 0,672 MeV in staal met een dichtheid van 7,8 g/cm3:

regel van Feather:

ρR = 0,542 x E – 0,133 => dracht R = 0,295 mm = 0,30 mm

regel van Flammersfeld:

ρR = 0,11 x ((1 + 22,4 × E2)0.5 – 1) => R = 0,33 mm

regel uit Bos (3.10):

ρR = 0,412 x E(1,265 – 0,0954 × ln(E)) => R = 0,31 mm

Alleen de simpele vuistregel, ρR = 0,5 x E => R = 0,43 mm, is gebaseerd op een te conservatieve schatting.

Kandidaten moeten door de vraagstelling op zoek naar bovenstaande alternatieven.

**Vraag 2.2a**

*Wat is de effectieve dosis van de arts en de laborant ten gevolge van noodprocedure? Verwaarloos hierbij het effect van het loodschort.*

Na 30 dagen heeft 192Ir-bron nog een activiteit van 335 GBq.

laborant:

r = 2,0 m, verzwakking door loodschort wordt buiten beschouwing gelaten.

=>

arts:

r = 0,20 m =>

**Vraag 2.2b**

*Is bij deze noodprocedure het loodschort wat betreft afscherming van toegevoegde waarde? Hoe moet het advies over het dragen van loodschorten bij deze noodprocedure zijn? Motiveer uw antwoord.*

Bij 0,5 mm lood volgt uit de transmissiecurve (bijlage pagina 5)

T > 0,9 (marge is 0,95 tot 0,9). De afscherming door het loodschort is dus nihil en kost alleen extra tijd (=> verlenging van de blootstellingtijd zowel voor medewerker maar vooral voor de patiënt).  
U adviseert de medewerkers geen loodschort te pakken.

**Vraag 2.3**

*De arts (reguliere dosis 4 mSv per jaar) is op basis van de blootstellingsrisico’s bij zijn overige werkzaamheden ingedeeld als blootgestelde werknemer categorie B. Is de indeling in categorie B de juiste categorie indien de waarschijnlijkheid van optreden van bovenstaand scenario als één keer per jaar moet worden beschouwd? Motiveer uw antwoord.*

Omdat de voorziene onbedoelde gebeurtenis een waarschijnlijkheid van één keer per jaar wordt toegerekend, moet deze meegenomen worden in de categorie-indeling. Dus moet de arts als categorie A-medewerker worden ingedeeld.

**Vraag 2.4**

*Voldoet de afgesloten noodcontainer - direct na het incident – aan deze grenswaarden van het vervoersbesluit?*

Volgens het vervoersbesluit zijn de grenswaarden voor het vervoer van een collo:

1) 2 mSv/h aan oppervlak van het collo, en

2) 0,1 mSv/h op een afstand van 1 m van het oppervlak van het collo.

Afstand van 192Ir-bron tot oppervlak = 12,5 cm, T (3 cm lood) = 6,5 x 10****3

aan het oppervlak (r = 12,5 cm):

: voldoet niet aan het criterium.

of

op 1 m van het oppervlak (r = 112,5 cm):

: voldoet ook niet aan het criterium.

Voor beide criteria geldt: deze container mag niet als transportcontainer gebruikt worden. Berekening van één criterium is voldoende.

Puntenwaardering:

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 2** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 2.1 | 3 |
| 2.2a | 4 |
| 2.2b | 3 |
| 2.3 | 2 |
| 2.4 | 5 |
| Totaal | **17** |

**Vraagstuk 3 Effectiviteit van een loodschort**

**Vraag 3.1**

*Bepaal de effectieve fotonenergie van de onder 900 in perspex verstrooide fotonen op de plek van de radioloog.*

De transmissie van 0,50 mm Pbeq bij verstrooide straling van een 80 kV toestel is 0,0052 (waarden tussen 0,005 en 0,006 worden goed gerekend).

T = e****µd; µ= (ln T) / d

µ= -(ln 0,0052) / 0,05 (cm) = 105 (cm****1)

µ/ρ = 105 (cm****1) / 11,34 (g/cm³)= 9,3 (cm2/g)

De energie behorend bij 9,3 (cm2/g) ligt op ongeveer 0,045 MeV volgens de grafiek met interactiecoëfficiënten voor fotonen (waarden tussen 0,043 MeV en 0,050 MeV worden goed gerekend).

**Vraag 3.2**

*Bepaal uit de gemiddelde badgeuitslag (Hp(10)) de gemiddelde effectieve jaardosis van de interventieradioloog. Veronderstel hierbij dat alle organen die bijdragen aan de effectieve dosis zijn afgedekt door loodschort en schildklierkraag.*

De badgeuitslag is 4,7 mSv per jaar.

De verhouding tussen effectieve dosis en persoonsdosisequivalent bij 50 keV is ongeveer 0,58 volgens figuur 6-9.

(Bij gebruik van de tabellen E2 en E3 van Inleiding tot de Stralingshygiëne is E/ Hp(10), zijn de verhoudingen bij 40 keV: 0,52 en bij 50 keV: 0,62).

De effectieve dosis is dus 4,7×0,58=2,7 mSv.

Het schort van 0,5 mm Pb-eq geeft een transmissie van ongeveer 0,52% (zie vraag 1)  
Effectieve jaardosis is 0,0052 × 2,7 mSv = 0,014 mSv

**Vraag 3.3**

*Stel dat er geen schildklierkraag wordt gedragen, wat zou dan de effectieve jaardosis zijn? Veronderstel dat in dit geval van alle organen die bijdragen aan de effectieve dosis, alleen de gehele schildklier onbeschermd is.*

In deze situatie ontvangt de schildklier 4,7 × 0,58 = 2,7 mSv per jaar.   
De weefselweegfactor is 0,05.   
De rest van het lichaam heeft dan nog een weefselweegfactor van 0,95.

De effectieve dosis wordt nu:

* schildklier: 2,7 mSv × 0,05 = 0,135 mSv
* rest van het lichaam: 0,95 × 0,014 mSv= 0,013 mSv

Het totaal is dus 0,15 mSv

(Als de rest van het lichaam niet wordt meegerekend wordt 1 punt afgetrokken, tenzij het niet meerekenen wordt onderbouwd met een kloppende redenering.)

**Vraag 3.4**

*De interventieradioloog draagt geen oogbescherming. Zou u als stralingsdeskundige adviseren om dit wel te gaan doen? Motiveer uw antwoord aan de hand van de huidige wettelijke dosislimiet voor de ooglens van 150 mSv/jaar en de limiet voor de ooglens van 20 mSv/jaar uit de nieuwe Europese Basisnormen.De badgeuitslag Hp(10) mag in dit geval als goede schatter voor de ooglensdosis worden gebruikt.*

De dosis op de ooglens zal ongeveer gelijk zijn aan de badgeuitslag: 4,7 mSv/jaar. De geldende limiet voor de ooglens is 150 mSv per jaar.

De nieuwe Europese Basisnormen geven een limiet van 20 mSv voor de ooglens.

Straling kan cataract en opaciteiten veroorzaken. Omdat deze effecten worden beschouwd als deterministische effecten geldt hiervoor een drempeldosis. Deze drempeldosis ligt uiteraard hoger dan de nieuwe limiet van 20 mSv. Ook volgens de nieuwe inzichten is het dragen van oogbescherming niet nodig voor deze interventieradioloog. Het dragen van oogbescherming zal geen verhoging van de veiligheid tot gevolg hebben en moet dus niet worden aangeraden.

Puntenwaardering:

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 3** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 3.1 | 4 |
| 3.2 | 4 |
| 3.3 | 4 |
| 3.4 | 2 |
| Totaal | **14** |

**Vraagstuk 4 Blootstelling in een cyclotronhal**

**Vraag 4.1**

*Bepaal de activiteitsconcentratie (in kBq·m******3) van 15O.*

aantal bedrijfsuren t = 24 h·d****1 × 5 d·wk****1 × 50 wk·j****1 = 6000 h·j****1

debiet D = 24.000 m3·h****1 × 6000 h·j****1 = 144·106 m3·j****1

activiteitsconcentratie C = A / 144·106 m3·j****1 (zie onderstaande tabel)

Voor 15O C = 1600 GBq·j****1 / 144·106 m3·j****1 = 11,1 kBq/m3

[Bij deze ook de getallen voor de andere nucliden:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| nuclide | A (GBq·j****1) | C (kBq·m****3) |
| 11C | 180 | 1,25 |
| 15O | 1600 | 11,1 |
| 13N | 160 | 1,11 |
| 41Ar | 50 | 0,35 |

De bijdrage van 15O is verreweg het grootst].

**Vraag 4.2**

*Bereken de effectieve jaardosis door submersie in lucht met 15O voor een werknemer die zijn volledige werktijd doorbrengt in de cyclotronhal terwijl het cyclotron in bedrijf is. Ga er vanuit dat alléén fotonenstraling bijdraagt aan de effectieve dosis en dat afscherming van dieper gelegen organen in het lichaam mag worden verwaarloosd (voor gT mag dus voor alle organen 1 worden genomen).*

Jaarlijkse verblijftijd t = 2000 h

Formule geldt voor geabsorbeerde orgaandosis, maar omdat alle organen gelijkelijk worden bestraald (∑wT = 1) èn wR = 1, geldt numeriek D = E.

E = 2,5·10****10 × gT × C × Eγ × t × wR

= 2,5·10****10 × 1 × C × Eγ × 2000 h × 1 Sv·Gy****1

= 0,5·10****6 × C × Eγ Sv

= 0,5·10****6 × 11,1·103 × 1,02 = 5,67·10****3 Sv = 5,7 mSv

Het fictieve antwoord levert 5,1 mSv op.

**Vraag 4.3**

*Bereken de maximale activiteitsconcentratie 15O in de lucht binnen de bestralingsruimtes. U mag er hierbij van uitgaan dat het omgevingsdosisequivalent een goede schatter is van de effectieve dosis (door submersie).*

De bijdrage van 15O aan het omgevingsdosisequivalenttempo in de hal is

5,67 mSv / 2000 h = 2,84 µSv·h****1

De 15O-concentratie in de bestralingsruimte is factor 100 / 2,84 = 35,2 groter dan in de hal.

De 15O-concentratie in de bestralingsruimte is 35,2 × 11,1 kBq·m****3 = 3,9·102 kBq·m****3.

**Vraag 4.4**

*Toon door berekening aan dat de maximale effectieve volgdosis door inhalatie van 15O ten gevolge van het voortijdig betreden van de bestralingsruimte verwaarloosbaar is ten opzichte van de effectieve dosis door uitwendige bestraling door dit nuclide.*

Effectieve blootstellingstijd

 = 2 min / 0,693 = 2,9 min = 0,048 h

Ademhalingstempo = 1,4 m3·h-1 / 60 min·h-1 = 0,023 m3·min****1

Opgenomen activiteit

A = 0,048 h × 1,4 m3·h****1 × 20% × 3,9·102 kBq·m****3

= 2,9 min × 0,023 m3·min****1 × 20% × 3,9·102 kBq·m-3 = 5,2·103 Bq

De in het transfercompartiment opgenomen activiteit wordt beschouwd als geïnjecteerde activiteit.

Effectieve volgdosis

E(50) = 9,3·10****13 Sv·Bq****1 × 5,2·103 Bq = 4,8·10****9 Sv = 4,8 nSv

Effectieve dosis t.g.v. uitwendige bestraling

E = 2,5·10****10 × gT × C × Eγ × t × wR

= 2,5·10****10 × 1 × 3,9·105 Bq·m****3 × 1,02 MeV × (2,9 / 60) h × 1 Sv·Gy****1

= 4,8·10****6 Sv = 4,8 µSv >> 4,8 nSv

Het fictieve antwoord levert op identieke wijze het antwoord 6,2 nSv op.

Opmerking 1:

De 15O activiteit waarmee voor inhalatie wordt gerekend, daalt net zo snel als de 15O activiteit in de berekening van de uitwendige dosis. Dit maakt dat er ook andere manieren zijn om de gevraagde vergelijking tussen de beide doses te maken. Kort gemotiveerd, met heldere aannames en goed uitgewerkt, worden andere oplosmethoden ook goed gerekend.

Opmerking 2:

e(50)injectie = 9,3·10****13 Sv·Bq****1 volgens ICRP-80

e(50)injectie = 12·10****13 Sv·Bq****1 gemeten voor echte mensen

= 5·10****13 Sv·Bq-1 berekend voor uniforme verdeling in body fluids

zie: Eur. J. Nucl. Med. 24 (1994) 1126-1129

20% uptake tijdens inhalatie → e(50)inhalatie ≈ 0,20 × e(50)injectie

Puntenwaardering:

|  |  |
| --- | --- |
| **Vraagstuk 4** |  |
| **Vraag** | **Punten** |
| 4.1 | 4 |
| 4.2 | 4 |
| 4.3 | 4 |
| 4.4 | 5 |
| Totaal | **17** |