

## 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	TU/e

---

examendatum: 12 mei 2014  
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

<b>Instructie:</b>
--------------------

- **Dit examen omvat 12 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 11 pagina's. Controleer dit!**
- Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
- Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
- *Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke **berekeningsmethode** en/of volgens welke **beredenering** u tot de oplossing komt.*
- Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
- Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
  - Vraagstuk 1: 18 punten
  - Vraagstuk 2: 16 punten
  - Vraagstuk 3: 17 punten
  - Vraagstuk 4: 16 punten

## Vraagstuk 1 Patiëntentoilet

Op een afdeling Nucleaire Geneeskunde van een ziekenhuis is onlangs één van de toiletten als speciaal patiëntentoilet ingericht. Dit toilet mag alleen worden gebruikt door patiënten die komen voor een botscan. Deze patiënten krijgen een activiteit van 600 MBq  $^{99m}\text{Tc}$ -HDP toegediend via een injectie. HDP is een fosfaatverbinding die specifiek door botten wordt opgenomen.

Drie uur na de injectie, voorafgaand aan de opnamen met de gamma-camera, wordt de patiënt gevraagd naar het toilet te gaan en de blaas zo goed mogelijk te legen. Dit komt ten goede aan de beeldkwaliteit. In de periode tussen toediening en opnamen zijn de patiënten niet eerder naar het toilet geweest.

Bij dit toiletbezoek wordt 40% van de in het lichaam aanwezige radioactiviteit uitgeplast. De overige 60% is inmiddels opgenomen in onder andere het bot.

Dagelijks (5 dagen per week) wordt er elk uur een botonderzoek bij een nieuwe patiënt gedaan. Het eerste toiletbezoek (voorafgaand aan de opnamen met de gammacamera) vindt plaats om 11.00 uur. Om 16.00 uur gaat de zesde en laatste patiënt van die dag naar het toilet.

Om 17.00 uur wordt het toilet schoongemaakt door de schoonmaker. Deze schoonmaker is niet ingedeeld als blootgestelde werknemer, maar wel voldoende geïnstrueerd om de toiletruimte, zonder voorafgaande decontaminatie door een radiologisch werker, schoon te maken. Dezelfde schoonmaker maakt gedurende het gehele jaar (50 werkweken) het besmette toilet schoon en is daar telkens gedurende 10 minuten mee bezig. De schoonmaker bevindt zich gemiddeld op een afstand van 50 centimeter van de besmetting.

### Gegevens

- **Bijlage, blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 124-125:  $^{99m}\text{Tc}$

### Vraag 1.1

Bereken de activiteit van de gemorste urine die de schoonmaker moet opruimen onder de aanname dat bij iedere patiënt 0,1% van de urine op de vloer naast de toiletpot terecht komt. Ga er van uit dat er geen restactiviteit van de vorige dag op de vloer is achtergebleven.

### **Vraag 1.2**

Bepaal of de jaarlijkse uitwendige dosis bij eenzelfde dagelijkse besmetting leidt tot overschrijding van de dosislimiet voor de schoonmaker. Indien u geen antwoord heeft kunnen geven bij vraag 1 gebruik dan een besmetting met een activiteit van 1 MBq.

De stralingsdeskundige van de afdeling wil bovenstaande aanname (iedere patiënt morst 0,1% van de uitgeplaste urine op de vloer) verifiëren en neemt daartoe een monster van 1 ml uit het schoonmaakwater (totaal volume = 5 liter), dat de schoonmaker heeft gebruikt om de toiletvloer te reinigen. Het schoongemaakte oppervlak is 2 m<sup>2</sup> en het 'schoonmaakrendement' is 100% (alle aanwezige activiteit komt in het schoonmaakwater). Men telt in het monster netto 5 tps (tellen per seconde) met een efficiency van 0,20 tellen per foton. Bij de telling zijn alleen de fotonen van 141 keV meegenomen. Het monster is direct na het schoonmaken van het toilet genomen en gemeten, het verval tussen monsternamen en telling mag hier worden verwaarloosd.

### **Vraag 1.3**

Laat door middel van een berekening zien of de aanname van 0,1% morsen reëel is.

Eén van de latex-handschoenen van deze schoonmaker raakt gemiddeld eenmaal per week bij de schoonmaak van de toiletruimte besmet. De besmetting van de handschoen bedraagt dan gemiddeld 10 kBq over een oppervlak van 10 cm<sup>2</sup>. Nadat de handschoen besmet is geraakt wordt deze nog 15 minuten gedragen.

### **Vraag 1.4**

Wat is de jaarlijkse equivalente dosis op de huid onder de besmette handschoen, wanneer deze besmetting op telkens dezelfde plaats van de handschoenen plaatsvindt?

Door onhygiënisch werken krijgt de schoonmaker eens per maand de volledige activiteit van één der besmette handschoenen door ingestie binnen (10 kBq).

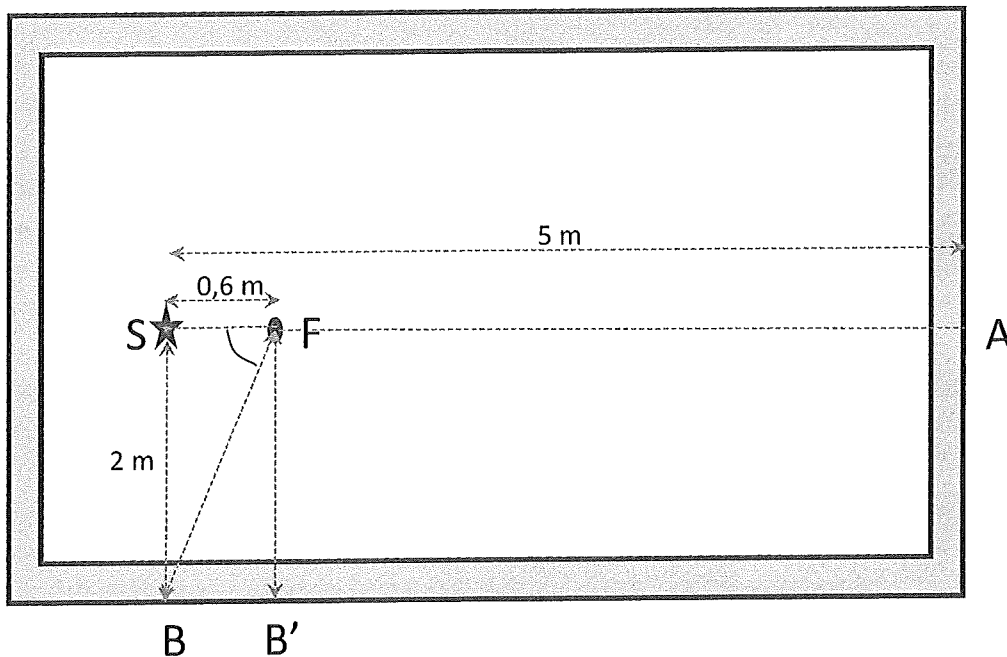
### **Vraag 1.5**

Wat is de effectieve volg dosis op jaarbasis van deze schoonmaker als gevolg van de inwendige besmetting door het onhygiënisch werken?

## Vraagstuk 2 Afscherming $^{60}\text{Co}$ -bron

Men wil in een research-instituut een ruimte inrichten voor bestralingen van fantomen met een  $^{60}\text{Co}$ -bron. U wordt gevraagd de benodigde afscherming van de muren van deze ruimte te berekenen. De positie van de bron in de bestralingsruimte is schematisch weergegeven in onderstaand bovenaanzicht. Tijdens de bestraling bevindt de bron zich in positie S (source) en is de primaire bundel gericht langs lijn SA. De te bestralen weefselequivalente fantomen worden op positie F gepositioneerd.

Op positie B bevindt zich het bedieningspaneel van de bestralingsinstallatie. De punten B en B' zijn zo gekozen dat de lijnen SB en FB' loodrecht staan op de lijn SA. De punten A, B en B' liggen juist aan de buitenzijde van de betonnen wanden van de bestralingsruimte.



Bovenaanzicht van de bestralingsruimte (niet op schaal).

Andere afmetingen:

- De afstand F-B is 2,09 m
- De hoek S-F-B is  $73,3^\circ$

In de bestralingsruimte kan de bron 3 posities hebben:

1. Laag bij de grond, volledig afgeschermd, geen lekstraling.
2. In de bestralingspositie S, in de kop van het toestel 1,5 m boven de grond. Gedurende 15 uur per week met de sluiters dicht.

3. In de bestralingspositie S, in de kop van het toestel 1,5 m boven de grond. Gedurende 5 uur per week met de sluiters open.

**Gegevens:**

- **Bijlage, blz. 5:** Transmissie van brede bundels gammastraling van verschillende radionucliden door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 47);
- **Bijlage, blz. 6:** Verstrooiingspercentages voor beton voor diverse fotonenergieën (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 56). Voor dit vraagstuk mag deze figuur ook worden gebruikt voor verstrooiing aan een weefseequivalent fantoom;
- **Bijlage, blz. 7:** Transmissie voor brede bundels van  $^{60}\text{Co}$  gammastraling verstrooid over verschillende hoeken aan een patiënt-simulerend fantoom door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 60);
- De  $^{60}\text{Co}$  bron geeft onafgeschermd op 1 m afstand een geabsorbeerd dosistempo in weefsel van 100 Gy/h;
- Met de bron in positie S geeft het toestel door lekstraling een geabsorbeerd dosistempo in weefsel van 2,0 mGy/h op 1 meter van S;
- Op jaarbasis is de bron 50 werkweken in gebruik;
- De veldgrootte van de primaire straling bedraagt 20 cm × 20 cm ter plaatse van het intreevlak van het fantoom op positie F;
- Punten A, B en B' bevinden zich op 1,5 m boven de grond;
- Voor het personeel op positie A, B en B' geldt de eis, dat de gemiddelde effectieve weekdosis maximaal 0,020 mSv mag bedragen, dit komt overeen met 1,0 mSv per jaar op basis van 50 werkweken;
- Voor deze personen wordt een verblijfsfactor van 1 aangenomen;
- Voor de berekeningen mag worden aangenomen dat de verhouding (effectieve dosis)/(geabsorbeerde dosis) = 1 Sv/Gy is.

**Vraag 2.1**

Bereken de benodigde dikte van de betonnen muur tussen S en A, rekening houdend met de primaire bundel en de lekstraling. Er hoeft geen rekening te worden gehouden met eventuele afscherming door het fantoom.

**Vraag 2.2**

Toon aan dat de benodigde dikte van de betonnen muur tussen S en B 63 cm is, wanneer alleen rekening wordt gehouden met de lekstraling.

Er moet echter ook rekening worden gehouden met de aan het fantoom verstrooide straling.

**Vraag 2.3**

Bereken het dosistempo door de aan het fantoom verstrooide straling in Gy/week in elk van de punten B en B' als de muur tussen S en B (B') nog niet aanwezig is.

**Vraag 2.4**

Bepaal de benodigde muurdikte om in de punten B en B' te voldoen aan de eisen, wanneer alleen rekening wordt gehouden met de verstrooide straling.

### Vraagstuk 3 Lektest van een $^{207}\text{Bi}$ -bron

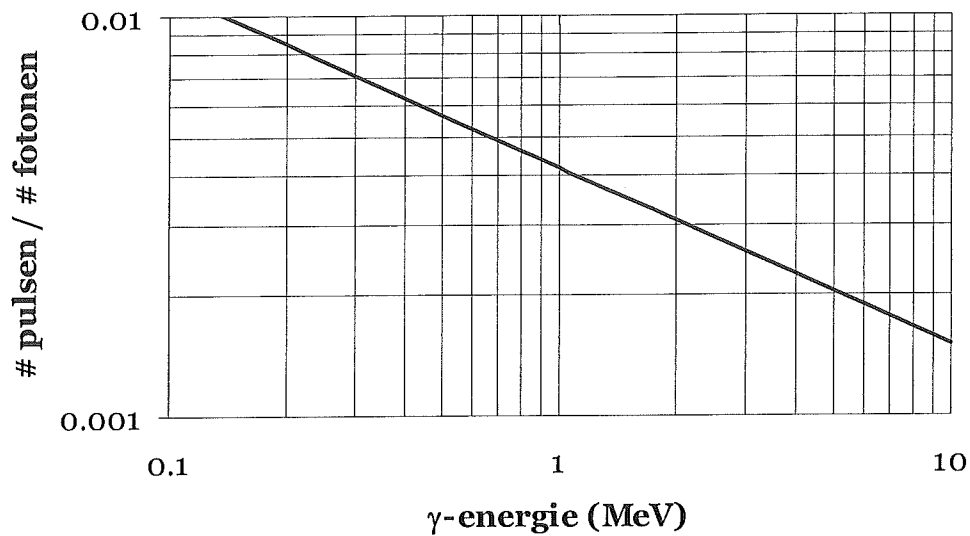
Op de bronhouder van een  $^{207}\text{Bi}$ -bron bevindt zich een etiket met de vermelding " $^{207}\text{Bi}$  100  $\mu\text{Ci}$  12 mei 1966". Tijdens een periodieke lektest op 12 mei 2014 wordt de houder van deze bron geveegd door de toezichthoudend stralingsdeskundige (niveau 3). Bij meting met een Ge-detector blijkt dat er activiteit is afgeveegd. De deskundige vraagt zich af hoe hij nu moet handelen.

#### Gegevens:

- **Bijlage, blz. 8:** MIRD-gegevens van  $^{207}\text{Bi}$  (<http://www.nndc.bnl.gov/mird/>);
- **Bijlage, blz. 9:** Tabel en tekstfragment uit de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen;
- Tabel 1: De netto-inhoud van de belangrijkste fotopieken in het gamma-spectrum dat gemeten werd in 10 000 seconden;
- Figuur 1: Het telrendement voor de gebruikte meetsituatie, gedefinieerd als de verhouding van het aantal geregistreerde telpulsen per uitgezonden foton;
- Voor de omgevingsdosisequivalenttempoconstante van  $^{207}\text{Bi}$  geldt  $h = 0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}$ ;
- Aangenomen mag worden dat alleen fotonen uit de bronhouder komen en dat absorptie van fotonen door de bronhouder verwaarloosbaar is;
- Aangenomen mag worden dat  $H^*(10)$  een goede schatter is voor de effectieve dosis;
- De dosisconversiecoëfficiënt voor ingestie van  $^{207}\text{Bi}$  is  $e_{\text{ing}}(50) = 1,3\cdot 10^{-9} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ .

**Tabel 1.** De netto-inhoud van de belangrijkste fotopieken in het gamma-spectrum dat gemeten werd in 10 000 seconden.

energie fotopiek (in keV)	netto-inhoud fotopiek (telpulsen per $10^4$ s)
570	1778
1064	941
1770	73



**Figuur 1:** Het telrendement voor de gebruikte meetsituatie, gedefinieerd als het aantal geregistreerde telpulsen per uitgezonden foton.

### Vraag 3.1

Ga na of de bron volgens de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen geveegd moet worden. Ga uit van de activiteit van de bron op 12 mei 2014 en veronderstel dat de gegevens op het etiket correct zijn.

### Vraag 3.2a

Bereken de afgeveegde activiteit op basis van de netto-inhoud van de fotopiek die met de kleinste relatieve fout gemeten is. Motiveer uw keuze van de fotopiek.

### Vraag 3.2b

Bereken de standaarddeviatie in de in vraag 2a berekende afgeveegde activiteit. U hoeft bij de berekening alleen rekening te houden met het netto aantal telpulsen. De bijdrage van de standaarddeviatie van de achtergrondmeting kunt u verwaarlozen.

### Vraag 3.3

Beschrijf hoe op grond van de vastgestelde besmetting moet worden gehandeld.

Als u het antwoord op vraag 3.2b schuldig bent gebleven, mag u bij de beantwoording van deze vraag uitgaan van een afgewreven activiteit van 100 Bq.



**Vraag 3.4**

Bereken de effectieve dosis als gevolg van uitwendige bestraling tijdens de uitvoering van de lekttest; ga er hierbij van uit dat de lekttest 1 minuut duurt en dat de gemiddelde afstand tussen bron en lichaam gedurende deze handeling 50 cm bedraagt.

## Vraagstuk 4 Besmette duiven

### **Duiven rond opwerkingsfabriek blijken sterk radioactief besmet.**

Duiven rond de Engelse opwerkingsfabriek Sellafield voor nucleair afval zijn sterk radioactief besmet, zo blijkt uit metingen in opdracht van Greenpeace. Volgens de milieuorganisatie moeten de dieren naar Europese normen worden beschouwd als radioactief afval. In het verenkleed, het vlees en ook in de uitwerpselen van vogels is een aanzienlijke hoeveelheid  $^{137}\text{Cs}$  aangetroffen. Het verendek van sommige vogels is volgens de milieuorganisatie zo besmet, dat 3 promille van dit Cs via huidcontact met een mens al de maximaal toegelaten dosislimiet voor een jaar kan bezorgen.

*Artikel Volkskrant, 12-3-1998.*

Een stralingsdeskundige is op vakantie geweest in de buurt van de opwerkingsfabriek Sellafield en zag vervolgens dit krantenbericht. Hij vroeg zich af of de berichtgeving juist was en besloot daarom enkele berekeningen te doen aan de hand van de gegevens uit het krantenbericht.

### **Gegevens:**

- **Bijlage, blz. 10-11:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007), blz. 172-173:  $^{137}\text{Cs}$ ;
- $^{137}\text{Cs}$  is in evenwicht met haar dochter  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ;
- Bij huidcontact tussen mens en duif, wordt er  $30\text{ cm}^2$  huid besmet, waarbij de genoemde 3 promille van de totale cesiumactiviteit, aanwezig op het verendek, wordt overgedragen;
- Kortstondig contact met een duif resulteert in een besmetting die 1 uur op de huid van de handen aanwezig is;
- De massa van de duif is 800 gram;
- Gemiddelde totale huidoppervlak van de referentiemens is  $17\,000\text{ cm}^2$ .

### **Vraag 4.1**

Bepaal de activiteit op het verendek van de duif op grond van de 1 uur durende huidbesmetting, waarvan wordt aangenomen dat de daarbij opgelopen huiddosis overeenkomt met de maximaal toegestane jaarlijkse equivalente huiddosis voor een lid van de bevolking. Ga er bij dit scenario van uit dat de huiddosis ten gevolge van deze huidbesmetting de enige oorzaak is van de opgelopen huiddosis in dat jaar.

Als u het antwoord op vraag 1 niet hebt kunnen geven, kunt u voor het vervolg van dit vraagstuk aannemen dat de besmetting van het verendek 300 MBq is.

#### Vraag 4.2

Bepaal of deze duiven inderdaad, op basis van de activiteit in het verendek, bij sterfte afgevoerd moeten worden als radioactief afval.

De stralingsdeskundige was behoorlijk geschrokken van de onder vraag 1 berekende activiteit van de duif en vroeg zich af wat deze besmetting betekent als de betrokken persoon zijn handen NIET wast. Hij heeft de effectieve dosis berekend ten gevolge van een eenmalige besmetting op de handen. Hij heeft als worst-case benadering aangenomen dat de handen niet gewassen worden en dat door lineair afslijten de activiteit in 5 dagen verdwijnt.

#### Vraag 4.3

Wat is door de eenmalige besmetting van de huid de bijdrage van de equivalente huiddosis aan de effectieve dosis? Ga uit van bovenstaande worst-case benadering en neem aan dat de equivalente dosis als een stochastische dosis mag worden geïnterpreteerd.

De hierboven geschetste huidbesmetting zal worden opgelopen door bijvoorbeeld de duif vast te houden. Naast huidbesmetting zal het lichaam door de nabijheid van de duif worden blootgesteld aan externe straling ten gevolge van de op de duif aanwezige radioactiviteit.

Het midden van de duif bevindt zich dan op 30 cm van het lichaam. De maximale afmeting van deze duif is 40 cm, waardoor de puntbronbenadering niet meer opgaat.

Volgens DOVIS-B<sup>1</sup> kan de duif worden beschouwd als staaf, indien de breedte van de duif kleiner is dan 8 cm ( $1/5 \times 40$  cm). De stralingsdeskundige neemt aan dat dit het geval is en gebruikt de volgende formule<sup>2</sup>:

$$\dot{H}^*(10, g) = \frac{2A}{L_{max}} \frac{h(10)}{g} \tan^{-1} \left( \frac{L_{max}}{2g} \right)$$

waarin  $L_{max}$  de maximale afmeting van de duif is (in m) en  $g$  de afstand tot het midden van de duif (in m). Verder is  $A$  de activiteit (in MBq),  $\dot{H}^*(10, g)$  het omgevingsdosisequivalenttempo (in  $\mu\text{Sv/h}$ ) op afstand  $g$  en  $h(10)$  de omgevingsdosisequivalenttempoconstante (in  $\mu\text{Sv/h}$  per MBq op 1 m).

1 Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling – DOVIS Deel B: Externe Straling, J.F.A. van Hienen et al. (2002).

2  $\tan(\alpha) = \frac{L_{max}}{2g}$ ;  $\alpha = \arctan\left(\frac{L_{max}}{2g}\right)$  of  $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{L_{max}}{2g}\right)$ ;  $\alpha$  in radialen.

**Vraag 4.4**

Bepaal het omgevingsdosisequivalent ten gevolge van de externe straling, indien de duif 10 seconden wordt vastgepakt. Gebruik hiervoor de staaftbronbenadering en neem aan dat de activiteit van vraag 1 homogeen over de duif verdeeld is.