

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: 12 december 2016

Examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 11 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 14 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 63 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 17 punten
 - Vraagstuk 2: 15 punten
 - Vraagstuk 3: 17 punten
 - Vraagstuk 4: 14 punten
- ❑ U bent voor dit examen geslaagd als u minstens 55% van het totaal aantal punten hebt behaald. Dit komt overeen met een score van ten minste 34,65 punten.

Vraagstuk 1 Afscherming van een PET-scanner

Een ziekenhuis heeft het voornemen om een PET-scanner aan te schaffen, waarmee onderzoeken kunnen worden verricht bij patiënten die het radiofarmacon ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG) krijgen ingespoten. ^{18}F is een positronemitter die fotonen van 511 keV uitzendt.

Na het inspuiten van het radiofarmacon moet de patiënt 60 minuten stil blijven liggen, in een daarvoor bestemde wachtruimte, totdat dit radiofarmacon door de betreffende organen is opgenomen. Hierna moet de patiënt de niet opgenomen radioactiviteit, die zich in de blaas heeft verzameld, uitplassen. Direct daarna wordt gestart met de PET-opnamen. De opnamen duren 30 minuten per patiënt. Op de afdeling wordt gebruikgemaakt van een scannerruimte met aparte bedieningsruimte en twee wachtruimten (zie figuur 1).

Aan u wordt gevraagd de benodigde afscherming van de ruimten te berekenen. Uitgangspunt daarbij is dat op de gang (referentiepunt A, fig.1) de bijdrage aan de effectieve dosis door deze onderzoeken niet hoger wordt dan 1 mSv/j.

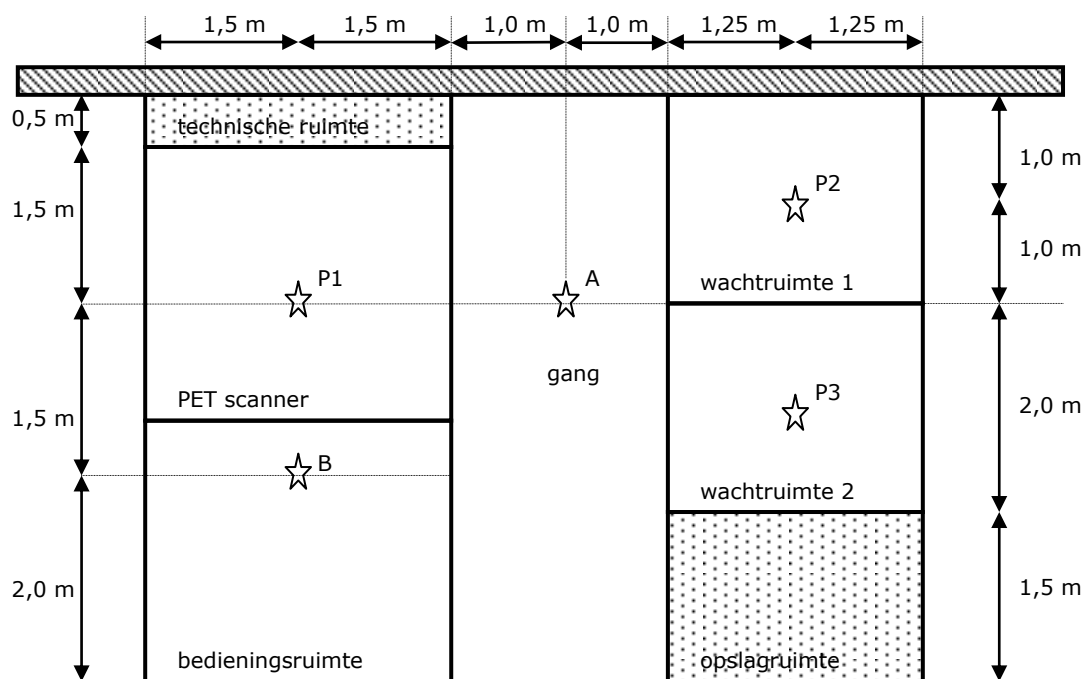
Aannamen

- U mag bij alle berekeningen de patiënt beschouwen als een puntbron.
- Iedere patiënt ('P') bevindt zich in het centrum van één van de wachtruimten. Voor de scannerruimte zijn de afstanden met hulplijnen aangegeven (zie figuur 1).
- U hoeft geen rekening te houden met de extra weglengte die de straling in de wand aflegt als de straling er schuin doorheen gaat.
- Het omgevingsdosisequivalent is een goede benadering voor de effectieve dosis.
- De gemiddelde transmissie ten gevolge van afscherming door de PET-scanner is 10%.

Gegevens

- **Bijlage, blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007), blz. 26-27, gegevens ^{18}F
- Het aantal patiënten per jaar is 1500, gelijk verdeeld over beide wachtruimten.
- De ingespoten activiteit per patiënt is 750 MBq.
- De zelfabsorptie van 511 keV fotonen in het lichaam van de patiënt bedraagt 36% (AAPM Task Group 108 report).
- De uitgeplaste fractie na 60 minuten is gelijk aan 30% van de in de patiënt geïnjecteerde activiteit.

- Voor dosisberekeningen tijdens het verval van ^{18}F mag voor een gemiddelde activiteit over een bepaalde tijd, een waarde gekozen worden gelijk aan de correctiefactor (cf_{verval}) \times de activiteit op $t=0$.
 - gemiddeld over 30 minuten: $cf_{\text{verval}} = 0,911$
 - gemiddeld over 60 minuten: $cf_{\text{verval}} = 0,832$
- Figuur 1: Plattegrond beoogde ruimte
- **Bijlage, blz. 5:** Figuur 2: Halveringsdikte van verschillende afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling (blz 266, Bos e.a)
- **Bijlage, blz. 6:** Tabel 1: Broadbeam transmission factors at 511 keV (AAPM Task Group 108 report)
- **Bijlage, blz. 7:** Tabel 2: Build-up factoren voor een isotrope puntbron
- De bezettingsgraad in punt A (gang) bedraagt 0,2.
- De bezettingsgraad in punt B (bedieningsruimte) bedraagt 1,0.



Figuur 1: Plattegrond beoogde ruimte

Vraag 1.1a

Bepaal de bijdrage aan de effectieve jaardosis, ten gevolge van alle patiënten (P2 en P3) in beide wachruimten, in punt A op de gang. Laat de afschermende werking van de wanden buiten beschouwing.

Vraag 1.1b

Bepaal ook de bijdrage aan de effectieve jaardosis in punt A, ten gevolge van de patiënten die gescand worden met de PET-scanner, onder dezelfde voorwaarden als bij vraag 1.1a.

Vraag 1.1c

Toon aan dat de totale bijdrage aan de effectieve dosis voor een persoon in punt A, bij een bezettingsgraad van 0,2, gelijk is aan 4 mSv/j.

Vraag 1.2

Toon aan dat de hoeveelheid loodafscherming (in hele mm) die nodig is in de muren aan de gangzijde om de bijdrage aan de effectieve jaardosis voor een persoon in punt A beneden 1 mSv te houden ongeveer 10 mm bedraagt.

Houd hierbij rekening met de bezettingsgraad van deze gang. U neemt daarbij als uitgangspunt dat de transmissie vanuit de scannerruimte gelijk is aan die vanuit de wachtruimten.

Gebruik voor de transmissiefactoren tabel 1 (brede bundel).

U gaat niet over één nacht ijs en vraagt zich af of de transmissietabel uit het AAPM-rapport (tabel 1) wel correct is.

Daarom wilt u met behulp van figuur 2 (halveringsdikte smalle bundel) en tabel 2 (build-up factoren) de waarden uit tabel 1 verifiëren.

Vraag 1.3

Bereken met behulp van figuur 2 en tabel 2 de transmissie bij 10 mm loodafscherming en bepaal of deze transmissie meer of minder dan 10% afwijkt van de eerder afgelezen waarde bij vraag 1.2.

Vraag 1.4

Beredeneer dat, wanneer ook de wand tussen de bedieningsruimte en de ruimte met de PET-scanner dezelfde transmissie heeft als de wanden in de gang, de totale bijdrage aan de effectieve jaardosis in punt B in de bedieningsruimte de 1 mSv overschrijdt.

Vraagstuk 2 Dieetzout

Op het busje van een natriumarm dieetzout staan als ingrediënten vermeld: 97,3% kaliumchloride (KCl), 0,2% magnesiumchloride (MgCl₂), 14 verschillende groenten, kruiden en zeewier. De genoemde percentages zijn massaprocenten.

Een jonge stralingsdeskundige van een researchinstelling leest dit en omdat dit zout vrijwel volledig uit kaliumchloride bestaat, vraagt hij zich af of de activiteit van ⁴⁰K in een dergelijk zout te meten is. Hij voert hiertoe een aantal metingen uit met detectoren, zoals die op zijn werkplek gebruikt worden.

Gegevens:

- De massieke activiteit van ⁴⁰K in zuiver KCl is 16,2 Bq per gram KCl. Deze 16,2 Bq mag als vaststaand getal, zonder foutmarge, worden beschouwd.
- **Bijlage, blz.8-9:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2^e druk 2007), blz. 42-43, gegevens ⁴⁰K

De deskundige meet eerst met twee besmettingsmonitoren: één met een Geiger-Müller-buis (GM-buis) en een andere met een natriumjodide-kristal (NaI-kristal). Zie de foto hieronder met van links naar rechts:

Het busje met 125 g dieetzout, de besmettingsmonitor met GM-buis (diameter = 3,8 cm) en de besmettingsmonitor met NaI-kristal (diameter = 4,0 cm). Vooraan op de foto een viltstift als referentie voor de afmetingen.



Als eerste strooit hij een 5 mm dikke laag van het dieetzout in een petrischaaltje. Dit petrischaaltje heeft een diameter van 6,0 cm. Hij meet daarna met beide monitoren in het midden van het schaalte op 0,5 cm boven de laag zout, met als resultaat:

Monitor met:	Achtergrond	Meting aan het dieetzout
GM-buis	0,5 cps	4,0 cps
NaI-kristal	4 à 5 cps	4 à 5 cps

Vraag 2.1

Geef op basis van de belangrijkste uitgezonden stralingssoorten van ^{40}K een mogelijke verklaring, waarom de meting met de GM-buis een duidelijke verhoging laat zien.

Geef tevens een mogelijke verklaring waarom de meting met het NaI-kristal geen verhoging geeft.

De metingen worden opnieuw gedaan maar nu in vaste opstellingen.

GM-meting in vaste opstelling:

Er wordt 535 mg dieetzout in een bakje uitgespreid in een uiterst dun laagje. Dit bakje wordt midden onder het venster van een GM-buis geschoven. Het venster van de GM-buis is hierbij iets groter dan het bakje met zout en het venster van de GM-buis bevindt zich op 1,0 cm boven de laag zout.

Gegevens:

- De dode tijd van de GM-buis in de vaste opstelling is $3,2 \cdot 10^{-4}$ s.

De resultaten voor de meting aan 535 mg dieetzout:

	Counts	Tijd (s)
Meting aan dieetzout	994	999
Achtergrondmeting	499	999

Vraag 2.2

Bereken het meetrendement van deze meting in cps/Bq. Bereken tevens de standaarddeviatie in dit meetrendement.

NaI-meting in vaste opstelling:

Ook de NaI-meting wordt opnieuw gedaan in een vaste opstelling. Er wordt 3,08 gram dieetzout afgewogen in een plastic buis en geteld in een NaI-putkristal met Multi Channel Analyzer, MCA. De fotopiek wordt geselecteerd als Region Of Interest, ROI. Als meettijd wordt 20 uur (= 72.000 s) ingesteld.

De resultaten voor de 20 uurs meting aan 3,08 gram dieetzout:

	Counts in de fotopiek	Tijd (s)
Meting aan dieetzout	121.526	72.000 s
Achtergrondmeting	104.589	72.000 s

Vraag 2.3

Laat aan de hand van een berekening zien dat de NaI-meting aan het dieetzout in de vaste opstelling nu wél significant (met een betrouwbaarheidsinterval van 99,7%) hoger is dan de achtergrondmeting.

Vraag 2.4

Bepaal het rendement van de meting met deze vaste NaI-opstelling in counts per seconde/fotonen per seconde (cps/fps).

Vraagstuk 3 Onvoorzien gevolg van jodiumtherapie

Begin 2005 zette een 46-jarige toerist uit Birmingham ongewild het alarm van een dosistempomonitor in werking op het vliegveld van Orlando. Hij werd onmiddellijk opgepakt door de beveiliging, snuffelhonden werden ingezet en een langdurig verhoor volgde. Het bleek dat de man zes weken daarvoor in Engeland was behandeld wegens hyperthyroïdie en daarbij jodiumtherapie had ondergaan. Naar verluid vinden dergelijke incidenten meer en meer plaats. [British Medical Journal 333 (2006) 293]

U wilt de dosisconsequenties van deze therapie voor de betrokkene en zijn omgeving bepalen en vaststellen wanneer hij de beveiliging op het vliegveld zonder problemen kan passeren.

Gegevens:

- Bij de start van de jodiumtherapie werd $400 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$ oraal toegediend.
- **Bijlage, blz. 10-11:** Handboek Radionucliden, A.S. Keveling Buisman (2e druk 2007), blz. 164-165, gegevens ^{131}I
- **Bijlage, blz. 12:** Tabel: Weefselweegfactoren, ontleend aan ICRP-60
- U mag uitgaan van de veronderstelling dat de gegevens uit het Handboek Radionucliden ook voor deze patiënt mogen worden gebruikt.
- De afstand tussen toerist en detector bedroeg 0,5 meter.
- De drempelwaarde waarop een alarm wordt afgegeven is 5 nSv/h , dit betreft een netto teltempo.
- De bijdrage van de γ -fotonen en conversie-elektronen aan de schildklierdosis mag worden verwaarloosd.
- De massa van de schildklier ($m_{\text{schildklier}}$) is 20 g.
- De omrekeningsfactor $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Vraag 3.1

Hoeveel dagen na toepassing van de jodiumtherapie zal de monitor op het vliegveld nog een alarm genereren? Afscherming door lichaamsweefsel van de man mag worden verwaarloosd.

Vraag 3.2a

Bereken het totaal aantal desintegraties $U_{\text{schildklier}}$ (in $\text{Bq}\cdot\text{s}$) in de schildklier.

Vraag 3.2b

Bereken met het antwoord van vraag 3.2a de door de schildklier geabsorbeerde dosis $D_{\text{schildklier}}$. Indien u het antwoord op vraag 3.2a schuldig bent gebleven kunt u uitgaan van 10^{14} desintegraties.

Vraag 3.3

Bepaal de effectieve volgdosis voor de man. Toon tevens door berekening aan dat de in de schildklier geabsorbeerde dosis het overgrote deel van deze effectieve volgdosis bepaalt (maak hiervoor onder meer gebruik van het antwoord op vraag 3.2b).

De Engelsman en zijn vrouw waren gewend om elke nacht samen te slapen in hun tweepersoonsbed. Ook na de jodiumtherapie blijven zij dit doen, tegen het uitdrukkelijk advies van het ziekenhuis in.

Aanvullend gegeven:

- De Engelsman heeft na de snelle excretiefase het ziekenhuis verlaten – de directe uitscheiding heeft dus in het ziekenhuis plaatsgevonden.

Vraag 3.4

Schat de effectieve dosis die de vrouw gedurende de nachten volgend op de jodiumtherapie oploopt ten gevolge van de ^{131}I -activiteit. Schrijf daarbij de gebruikte aannames op die u nodig heeft voor het maken van deze schatting.

Vraagstuk 4 Dierenartspraktijk

In een dierenartspraktijk worden handelingen uitgevoerd ten behoeve van veterinaire diagnostiek bij gezelschapsdieren en kleine landbouwhuisdieren. Hiervoor heeft men de beschikking over een röntgentoestel met een buisspanning van maximaal 100 kV. Voor het gebruik van dit toestel is conform artikel 10 van het Besluit stralingsbescherming een risicoanalyse uitgevoerd.

De handeling waarvoor de risicoanalyse is uitgevoerd is het maken van een röntgenfoto bij een gezelschapsdier. De reguliere handeling is duidelijk te beschrijven zonder haar op te delen in deelhandelingen. De laborant bedient het röntgentoestel op een afstand van minimaal 0,25 meter van de primaire bundel. De dierenarts houdt het dier vast en staat op een afstand van minimaal 0,20 meter van het verstrooiend oppervlak van de primaire bundel. De röntgenbuis bevindt zich boven de tafel en de detector bevindt zich onder de tafel.

Beide medewerkers dragen een loodschort en een schildklierbeschermer. De dierenarts draagt ook nog loodhandschoenen, omdat hij het dier vasthoudt en bescherming wil dragen voor het geval de handen in de primaire bundel komen.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 13:** Figuur 3: Kermatempo in lucht van röntgenstraling door lood
- **Bijlage, blz. 14:** Figuur 4: Verstrooiingsfractie van kerma in lucht
- Voor zowel de primaire bundel als voor de strooistraling mag er gebruik gemaakt worden van pagina 13 in de bijlage.
- Er wordt vanuit gegaan dat er 1000 röntgenfoto's per jaar gemaakt worden.
- Het toestel wordt gebruikt bij een buisspanning van 75 kV.
- De buisstroom \times tijd instelling is 10 mAs.
- Het intreedosistempo mag worden benaderd door het kermatempo in lucht.
- De puntgrootte geabsorbeerde dosis (D) en de effectieve dosis mogen worden benaderd door de luchtkerma.
- De afstand van het focus van de röntgenbuis tot aan het intreeoppervlak is 60 cm; de handen van de dierenarts bevinden zich op dezelfde afstand.
- De grootte van het intreeveld op het dier is 500 cm^2 .
- De dierenarts staat naast het dier; de verstrooiingshoek mag worden benaderd met 90° .
- De loodschorten, schildklierbeschermers en handschoenen hebben een loodequivalente dikte van 0,5 mm.
- Het komt nooit voor dat een derde persoon zich tijdens opnames in de ruimte bevindt.

- De leverancier van de loodhandschoenen geeft in zijn specificaties een dosisafname van 40% aan voor primaire straling en van 80% voor stroostraling.

Vraag 4.1

Toon aan dat de intreedosis van één opname ter hoogte van het verstrooiend oppervlak gelijk is aan 2,8 mGy.

Vraag 4.2

Bepaal de maximale effectieve dosis per jaar achter het loodschort ter hoogte van de dierenarts.

Als onderdeel van de risicoanalyse straling wordt het volgende als de meest waarschijnlijke voorziene onbedoelde gebeurtenis beschouwd:

De handen komen in contact met de primaire bundel, omdat het gezelschapsdier wordt vastgehouden met twee handen (en niet onder narcose wordt gebracht). In principe zijn de handen naast de primaire bundel geplaatst, maar bij één op de tien opnames doet zich de situatie voor dat beide handen in de bundel komen als het niet-verdoofde dier wegspringt. Aangenomen mag worden dat beide handen dan gedurende de gehele duur van de opname in de primaire bundel zijn.

Vraag 4.3

Bepaal de equivalente jaardosis als gevolg van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis voor de beide handen van de dierenarts bij gebruik van genoemde loodhandschoenen en geef aan of de wettelijke limiet die geldt voor de handen van een blootgestelde werknemer wordt overschreden.

Vraag 4.4

Leg uit waarom de beschermingsfactor van de loodhandschoen bij blootstelling aan de primaire bundel (40%) lager is dan die bij blootstelling aan de stroostraling (80%).