

Examen
Stralingsbeschermingsdeskundige op het
niveau van coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum: 9 december 2019

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 9 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 68 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 16 punten
 - Vraagstuk 2: 19 punten
 - Vraagstuk 3: 17 punten
 - Vraagstuk 4: 16 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 37,4 punten.

Vraagstuk 1: Incident met een bron

Bij groot onderhoud in een fabriekshal werd een hoogactieve bron met een activiteit van 1950 GBq ^{75}Se gebruikt om lasnaden van pijpleidingen te inspecteren. Om het werk zo snel mogelijk uit te voeren werd met ploegendiensten van 8 uur gewerkt. Aan het eind van een ploegendienst werd de bron in één van de pijpen achtergelaten terwijl de radiografische opnames (foto's) werden ontwikkeld.

De radiografiemedewerker van de nieuwe ploeg zag op de foto's dat de laatst gecontroleerde lasnaad ondeugdelijk was. Hij gaf direct opdracht aan de onderhoudsploeg om de lasnaad uit te snijden. De radiografiemedewerker van de nieuwe ploeg had geen controle gedaan op de aanwezigheid van de bron in de broncontainer, waardoor ook de onderhoudsmedewerkers niet konden weten dat de bron nog op de plaats van de lasnaad aanwezig was.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 90 en 91, gegevens ^{75}Se
- Ter vereenvoudiging mag worden aangenomen dat elk foton in het vervalschema een energie van 215 keV heeft.
- De longzuiveringsklasse van het bronmateriaal is niet bekend.
- **Bijlage, blz. 5:** Bos et al., figuur 11-1; Halveringsdikte van enige afschermingsmaterialen voor smalle bundel fotonenstraling
- **Bijlage, blz. 6:** Bos et al., figuur 6-7; Verhouding van de effectieve dosis E en het omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ als functie van de fotonenergie bij vier verschillende bestralingsgeometrieën
- De pijpleidingen hebben een dikte van 7 mm roestvast staal.
- De dichtheid van roestvast staal komt overeen met de dichtheid van ijzer (Fe).
- De dosisopbouwfactor mag gelijk worden gesteld aan $B = 2$.

Vraag 1.1a [5 punten]

Bereken het omgevingsdosisequivalent ten gevolge van externe straling dat de onderhoudsmedewerker heeft opgelopen tijdens het uitsnijden van de lasnaad. Neem hierbij aan dat de afstand van de werknemer tot de bron 0,5 m bedroeg en dat de handeling 45 minuten in beslag nam.

Vraag 1.1b [3 punten]

Maak een schatting van de effectieve dosis ten gevolge van externe straling die de onderhoudsmedewerker heeft opgelopen.

Pas na het uitsnijden realiseerde de radiografiemedewerker zich dat de bron nog in de pijp zat. De bron bleek door de snijwerkzaamheden flink beschadigd, met verspreiding van een groot deel van de activiteit tot gevolg. In de omgeving van de uitgesneden lasnaad werden met besmettingsmetingen talloze hotspots gevonden. Hierop werd de omgeving met een industriële stofzuiger gereinigd, maar omdat deze geen stofzak bevatte werd de activiteit alleen maar verder verspreid. Intussen werd het werk in de hal niet stilgelegd.

Aan het eind van de ploegendienst werd het incident gemeld aan de stralingsbeschermingsdeskundige van het radiografiebedrijf, die vervolgens onmiddellijk alle werkzaamheden stopzette. Inmiddels waren ongeveer 50 onderhoudsmedewerkers voor kortere of langere tijd in de hal werkzaam geweest en bij het merendeel van hen werden uitwendige besmettingen op huid en kleren aangetroffen. De hoogst gemeten waarde bedroeg $30 \text{ kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Vraag 1.2 [3 punten]

Bereken de maximale equivalente huiddosis met de aanname dat de activiteit 8 uur op de huid aanwezig is geweest.

Nadat alle activiteit van de huid was verwijderd, werd bij een aantal onderhoudsmedewerkers een totale-lichaamstelling (TLT) uitgevoerd. Hieruit bleek dat zij ook inwendig besmet zijn. Aangenomen mag worden dat dit geheel door inhalatie is veroorzaakt. De hoogst gemeten lichaamsactiviteit, gemeten 24 uur na de blootstelling, was 15 kBq .

Vraag 1.3 [3 punten]

Bereken op basis van bovenstaande gegevens de maximaal mogelijke effectieve volg dosis ten gevolge van inwendige besmetting.

Vraag 1.4 [2 punten]

Noem twee stralingshygiënische tekortkomingen die naar aanleiding van dit incident zijn te constateren. Let op: elk goed argument levert 1 punt op tot een maximum van 2 punten. Indien meer dan 2 argumenten worden gegeven, levert elk fout argument een punt aftrek op.

Vraagstuk 2: Behandeling van botmetastasen

Het nuclide ^{223}Ra wordt tegenwoordig toegepast in de nucleaire geneeskunde om uitzaaiingen van prostaatkanker in het bot te behandelen. De behandeling is primair gericht op pijnbestrijding en verhoging van de kwaliteit van de nog resterende levensperiode van de patiënt (enkele maanden). De fabrikant verstrekt bij de levering van het radiofarmacon de volgende gegevens.

Gegevens:

- Het radiofarmacon wordt geleverd in ampullen voor éénmalig gebruik met een totale activiteit van 6,0 MBq in 6,0 mL op de referentiedatum. De patiënt krijgt een activiteit van 50 kBq per kg lichaamsgewicht toegediend.
- De halveringstijd van het nuclide ^{223}Ra bedraagt 11,4 dagen.
- De effectieve volg dosis ten gevolge van inhalatie bedraagt voor werknemers: $e(50)_{\text{inh}} = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$ (ICRP-119).
- De effectieve volg dosis ten gevolge van ingestie bedraagt voor werknemers en leden van de bevolking: $e(50)_{\text{ing}} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$ (ICRP-119).
- De α -emitter ^{223}Ra is volgens het botmodel van ICRP-30 een oppervlaktezoeker.
- **Bijlage, blz. 7-9:** Bijlage radionuclidenlaboratoria van de KEW-vergunning van het ziekenhuis
- **Bijlage, blz. 10:** Belangrijkste bijdragen aan de berekende geabsorbeerde orgaandosis bij injectie
- **Bijlage, blz. 10:** Weefselweegfactoren volgens ICRP-60

Op maandagochtend 13 mei 2019 wordt een ampul met referentiedatum vrijdag 10 mei 2019, 13.30 uur, op de afdeling Nucleaire Geneeskunde van een ziekenhuis bezorgd. Het radiofarmacon wordt in een (goedgekeurde) zuurkast in een C-laboratorium opgetrokken in een spuit en om 13.30 uur toegediend aan een patiënt met een lichaamsgewicht van 80 kg.

Vraag 2.1 [4 punten]

Hoeveel mL van het radiofarmacon moet aan de patiënt worden toegediend?

Vraag 2.2 [4 punten]

Concludeer op basis van een berekening of het optrekken van de spuit in de situatie zoals hierboven beschreven uitgevoerd mag worden volgens de 'Bijlage radionuclidenlaboratoria' uit de huidige vergunning.

Vraag 2.3a [4 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de patiënt als gevolg van de injectie, zoals die zou volgen uit de gegevens van de fabrikant. Maak hierbij gebruik van de Bijlage 'Meest relevante dosimetrische bijdragen aan de dosis voor de patiënt na injectie van het radiofarmacon'.

Vraag 2.3b [2 punten]

Beargumenteer of deze effectieve volg dosis relevant is voor de patiënt.

Een patiënt verblijft na toediening nog twee dagen in het ziekenhuis voor observatie. Het ziekenhuis beschikt niet over een vergunning voor lozing van radioactieve stoffen op het riool.

Aanvullende gegevens:

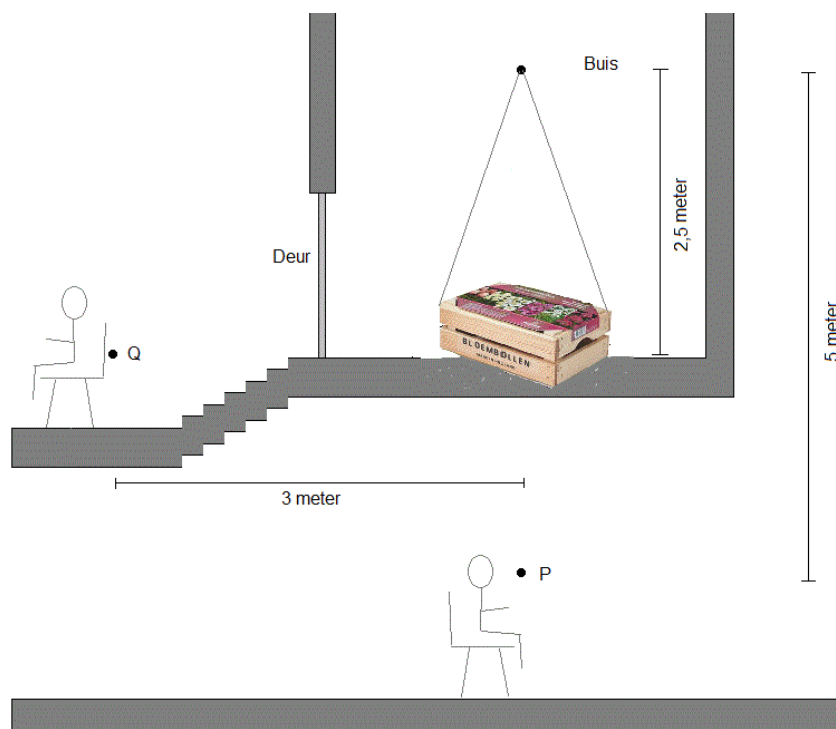
- Het verval van ^{223}Ra in de eerste twee dagen na injectie mag verwaarloosd worden.
- De totale excretie in de eerste 48 uur na toediening bedraagt 15% van de geïnjecteerde activiteit.
- De gemiddelde patiënt weegt 80 kg.
- **Bijlage, blz. 11:** Art.10.3 Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Staatsblad 2017, nr. 404)
- **Bijlage, blz. 11:** Correctiefactoren voor lozing in water
- Het ziekenhuis loost ten gevolge van andere handelingen jaarlijks $4 \text{ Re}_{\text{ing}}$ op het riool.

Vraag 2.4 [5 punten]

Bereken het maximaal aantal patiënten dat het ziekenhuis kan behandelen met ^{223}Ra zonder de vrijstelling voor lozing op het riool te overschrijden.

Vraagstuk 3: Bestraling van bloembollen

In een organisatie wordt een röntgentoestel ingezet om bloembollen te bestralen. Zo worden mutaties geïnduceerd die zorgen voor nieuwe variëteiten van bloemen. In een bestralingsruimte wordt het toestel 30 werkweken per jaar en 3 uur per werkdag gebruikt. De buis is hierbij continu naar de grond gericht. Eén verdieping lager is een kantoor (punt P) gevestigd. Naast de bestralingsruimte is een laboratorium (punt Q) gevestigd. Naast de bestralingsruimte is een laboratorium (punt Q) waarin altijd mensen aanwezig zijn. De deur tussen de bestralingsruimte en de werkruimte is voorzien van een interlock systeem. Het toestel schakelt uit als de deur wordt geopend. De kist met bollen houdt 42% van de straling van de primaire bundel tegen.



Figuur 1. Situatieschets van de opstelling en de aangrenzende ruimten.

Gegevens:

- Buisspanning 250 kV
- Buisstroom 10 mA
- **Bijlage, blz. 12:** ICRP-33 fig. 11, Transmissie van brede bundels röntgenstraling door beton
- **Bijlage, blz. 13:** ICRP-33 fig. 22, Verstrooiingspatronen van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur
- **Bijlage, blz. 14:** Massieke verzwakkings-, energieoverdrachts- en energie-absorptiedoorsneden in lood

- Ga uit van een conversiecoëfficiënt van 1,35 Sv/Gy voor de omrekening van kerma in lucht naar effectieve dosis voor röntgenstraling opgewekt met een buisspanning van 250 kV.
- De dichtheid van lood is 11,34 g/cm³.
- Het vloeroppervlak dat door de primaire bundel wordt getroffen is 0,3 m².
- Vanuit optimaliseringsoverwegingen heeft de organisatie besloten dat op geen enkele werkplek een jaardosis van meer dan 0,3 mSv mag worden opgelopen.

Vraag 3.1 [6 punten]

Bepaal de benodigde afschermingsdikte van de betonnen vloer, zodat de maximale jaardosis in punt P (uit figuur 1) niet overschreden wordt.

Vraag 3.2a [6 punten]

Bereken het jaarlijkse omgevingsdosisequivalent in punt Q (uit figuur 1), indien de deur geen afscherming biedt. Neem omwille van de eenvoud aan dat er in dit geval geen verzwakking en daarmee ook geen verstrooiing plaatsvindt in de kist met bloembollen. Er vindt dus alleen verstrooiing op de vloer plaats.

Om aan de eisen van de organisatie voor de medewerker in punt Q te voldoen, schermt de stralingsbeschermingsdeskundige de deur met het interlocksysteem af met lood. Ga voor de afschermingsberekening uit van verstrooide fotonen met een energie van 150 keV. Verwaarloos de build-up door de met lood afgeschermdde deur. Neem, indien het antwoord op vraag 3.2a niet gevonden is, aan dat het jaarlijkse omgevingsdosisequivalent in punt Q zonder aanvullende maatregelen 0,5 Sv bedraagt.

Vraag 3.2b [3 punten]

Hoe dik is het afschermingsmateriaal dat moet worden aangebracht op de deur? Rond af op hele mm's.

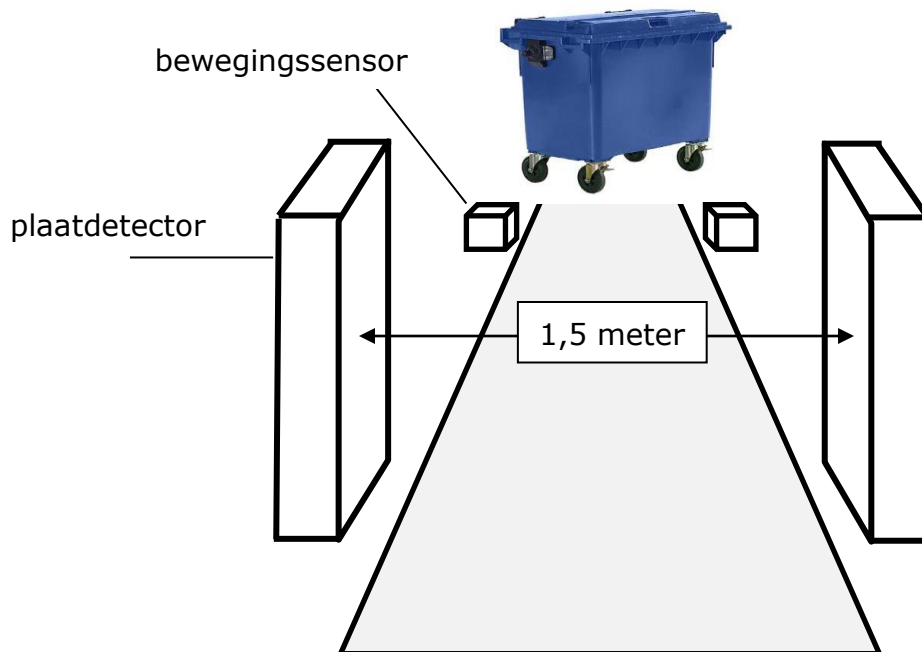
Vraag 3.3 [2 punten]

Waarom mag build-up in de met lood afgeschermdde deur worden verwaarloosd?

Vraagstuk 4: Radioactief ziekenhuisafval

Om te voorkomen dat radioactief materiaal ongemerkt het ziekenhuis verlaat, wordt bij de centrale afvalverzameling van een ziekenhuis een detectorpoort bestaande uit twee plaatdetectoren geplaatst. De stralingsbeschermingsdeskundige van dit ziekenhuis voert berekeningen uit om te beoordelen of de nieuwe plaatdetectoren geschikt zijn voor het meten van Tc-99m-bevattend afval.

De twee plaatdetectoren staan aan weerszijden van een gang. Alle afvalcontainers, met alle mogelijke soorten afval, worden door deze gang vervoerd, zie figuur 4.1. Met een bewegingssensor wordt de snelheid gecontroleerd.



Figuur 4.1: Situatieschets, elke afvalcontainer rijdt tussen beide plaatdetectoren door.

Gegevens:

- De afstand tussen de twee plaatdetectoren is 1,5 meter.
- Elke plaatdetector is 246 mm breed en 484 mm hoog.
- Beschouw het radioactieve afval als een puntbron.
- Verwaarloos de verzwakking door de containerwand en de rest van het afval.
- ^{99m}Tc zendt een gammafoton uit van 141 keV met een emissiewaarschijnlijkheid van 0,889.
- Het door de plaatdetectoren gemeten achtergrondteltempo is 3,55 cps, gemeten met een zeer lange meettijd.

- De totale meettijd per container bedraagt minimaal 0,2 seconden.
- Voor ^{99m}Tc is het rendement van de plaatdetectoren 0,17 counts per opvallend foton.
- De vrijgavegrenzen voor ^{99m}Tc , in matige hoeveelheden (< 1000 kg) bedragen: 100 kBq/kg en 10 MBq.

Vraag 4.1 [4 punten]

Bepaal de totale detectie-efficiëntie in cps/Bq van de plaatdetectoren. Ga er hierbij vanuit dat de bron zich exact in het midden van beide plaatdetectoren bevindt. De plaatdetectoren mogen als deel van een boloppervlak worden gezien.

Vraag 4.2 [3 punten]

Bereken de minimaal detecteerbare activiteit (MDA) als de plaatdetectoren een signaal moeten afgeven bij overschrijding van de achtergrond met 99,9% (3σ) betrouwbaarheid.

Voor een groot aantal onderzoeken op de afdeling Nucleaire Geneeskunde van dit ziekenhuis worden patiënten met ^{99m}Tc geïnjecteerd. Deze patiënten krijgen een pleister in verband met mogelijk nabloeden. Na gebruik komen de radioactief besmet geraakte pleisters regelmatig onbedoeld in reguliere prullenbakken in het ziekenhuis terecht. Een besmet geraakte pleister weegt maximaal 1 gram.

De stralingsbeschermingsdeskundige wil testen of een besmette pleister 1 dag na weggoien gedetecteerd kan worden door de plaatdetectoren. Een Geiger-Müllertelbuis met een totale meetefficiëntie van $2,7 \cdot 10^{-3}$ cps/Bq geeft bij meting van een 1 dag oude pleister 1240 counts in 1 minuut. De achtergrondmeting geeft 532 counts in 5 minuten.

Vraag 4.3 [5 punten]

Concludeer op basis van een berekening of deze pleister te meten is met de nieuwe plaatdetectoren als je rekening houdt met een betrouwbaarheidsinterval van 95% (2σ) op de meting met de GM-buis?

Vraag 4.4 [4 punten]

Doe enkele aannames en beargumenteer of het ziekenhuis mogelijk vrijgavegrenzen overschrijdt wanneer de in dit vraagstuk beschouwde pleisters bij het reguliere afval terecht zouden komen.