

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: 8 juli 2020
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 69 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 17 punten
 - Vraagstuk 2: 17 punten
 - Vraagstuk 3: 18 punten
 - Vraagstuk 4: 17 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 37,95 punten.

Vraagstuk 1: Jodiumcapsule

Aan het toedienen van radionucliden aan patiënten voor een therapeutisch doel zijn wettelijke voorschriften verbonden. In de leidraad '*Aanbevelingen: Het werken met therapeutische doses radionucliden - 2005*', komen de aspecten aan bod die te maken hebben met de stralingsbescherming van werknemers, helpers en overige leden van de bevolking.

Een voorbeeld van een therapeutische behandeling in het ziekenhuis is de schildkliertherapie met radioactief jodium. Bij deze therapie heeft de patiënt een schildklieraandoening waaraan hij wordt behandeld door middel van het inslikken van een ^{131}I -capsule.

Als stralingsbeschermingsdeskundige wordt u gevraagd om met berekeningen de twee onderstaande aanbevelingen uit de leidraad te toetsen:

- 1) Indien aan een individuele patiënt niet meer dan 400 MBq wordt toegediend, mag deze patiënt in principe direct na toediening naar huis, **mits** het omgevingsdosisequivalenttempo op 1 meter afstand van enig punt op het lichaam maximaal 20 $\mu\text{Sv/h}$ is.
- 2) Opgemerkt moet worden dat het uit stralingshygiënische overwegingen **niet is toegestaan** om besmette excreta thuis te verzamelen en naar de afdeling Nucleaire Geneeskunde van het ziekenhuis terug te brengen.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 164-165, gegevens ^{131}I .
- De gegevens uit **Bijlage, blz. 3-4**, hebben betrekking op een gezond persoon; de patiënt uit dit vraagstuk heeft echter een verhoogde schildklierfunctie. De jodiumopname in de schildklier van de patiënt uit dit vraagstuk is gelijk aan 1,2 maal de jodiumopname in de schildklier van een gezond persoon.
- **Bijlage, blz. 5:** Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming, artikel 10.3.
- $\int_0^T e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T})$
- Het omgevingsdosisequivalent mag in dit vraagstuk worden gelijkgesteld aan de effectieve dosis: $H^*(10) = E$.

Alle activiteit van de capsule bevindt zich meteen na inname als puntbron in de maag. Na inname van de capsule wordt op 1 meter afstand, door de arts het omgevingsdosisequivalenttempo bepaald ter hoogte van de maag van de patiënt.

Vraag 1.1 [2 punten]

Welke ^{131}I -activiteit in de maag komt overeen met het dosistempo bij naleving van de ontslagregel (aanbeveling 1)?

Vraag 1.2 [2 punten]

Wat is een reden dat de berekende activiteit bij vraag 1.1 niet overeenkomt met de maximale toe te dienen activiteit van 400 MBq?

Vraag 1.3a [4 punten]

Stel dat een patiënt na inname van een ^{131}I -capsule met 400 MBq, thuis toch de eerste 24-uurs-urine opspaat. Wat zal de activiteit in de 24-uurs-urine van deze patiënt zijn, dus 1 dag na inname van de capsule?

Vraag 1.3b [4 punten]

Bereken, uitgaande van uw antwoord op vraag 1.3a, wat de effectieve dosis zou zijn voor een huisgenoot wanneer deze gedurende 2 weken op 1 meter afstand van deze opgespaarde urine zou verblijven.

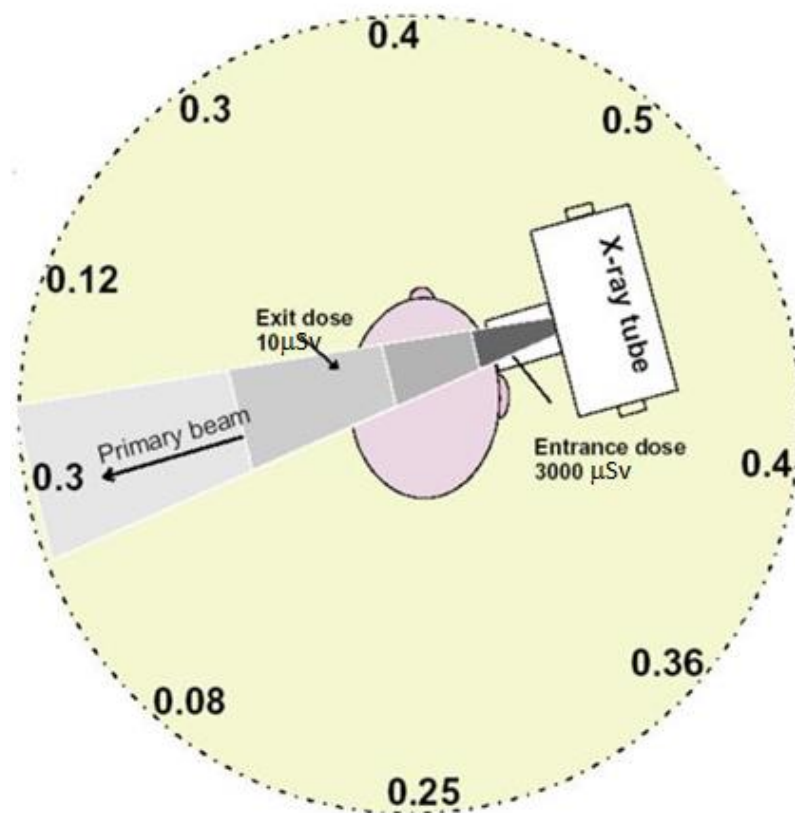
Stel: de patiënt brengt de opgespaarde urine 2 weken later toch terug naar het ziekenhuis. Het ziekenhuis wil de opgespaarde urine echter niet aannemen en stuurt de patiënt met de urine weg. Uit woede gooit de patiënt de urine buiten het ziekenhuis in een sloot.

Vraag 1.4 [5 punten]

Is deze lozing formeel toegestaan? Beargumenteer uw antwoord met een berekening.

Vraagstuk 2: Tandheelkundige röntgenopnames

Een tandarts is gespecialiseerd in het behandelen van angstige patiënten. Tijdens het maken van röntgenopnames blijft deze tandarts altijd bij de patiënt staan. In het kader van een risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) zoekt de stralingsbeschermingsdeskundige naar dosisgegevens. Hij vindt een figuur met daarin het persoonsdosisequivalent ten gevolge van de primaire bundel en strooistraling. In de figuur zijn ook de waarden van het persoonsdosisequivalent van de ingaande en de uitgaande bundel weergegeven.



Figuur 1: Persoonsdosisequivalent in μSv als gevolg van strooistraling en de primaire bundel op 1 meter afstand van het centrum van het hoofd bij een tandheelkundige röntgenopname. Afbeelding uit *Radiation Protection for Dentists and Assistants* (Office of Radiation Safety, Ministry of Health, Nieuw-Zeeland).

Toelichting gegevens Figuur 1:

- Ter wille van de eenvoud mag ervan uit worden gegaan, dat de strooistraling in het centrum van het hoofd wordt geproduceerd.
- $H_p(10)$ op de intree-positie van de bundel (Entrance dose) is 3,0 mSv.
- $H_p(10)$ op de uittree-positie van de bundel (Exit dose) is 10 μ Sv.
- De dosiswaarden in de uittredende bundel ("Primary beam") worden veroorzaakt door zowel de verzwakte primaire bundel als de verstrooide straling.

Met behulp van de gevonden informatie kan de RI&E worden uitgevoerd. De gebruikte buisstroom, kV, belichtingstijd en filtering zijn in alle situaties gelijk aan die geschetst in de situatie in figuur 1. Er is echter een belangrijk verschil in de bundelgeometrie tussen de opstelling gebruikt in de beschouwde tandartspraktijk en de opstelling in figuur 1.

Opstelling tandartspraktijk:

Het toestel heeft een rechthoekige collimator en een lange tubus, waarmee een huidoppervlak van 35 mm \times 45 mm wordt bestraald met een focus-huidafstand van 30 cm.

Opstelling in figuur 1:

Het toestel heeft een ronde collimator en een korte brede tubus, met een bestraald huidoppervlak van 30 cm² en een focus-huidafstand van 20 cm.



Figuur 2: links: een röntgentoestel voor tandheelkundige toepassingen, rechts: verschillende tubusvormen, met lange en korte tubus en ronde en vierkante collimatoren. Een tubus zorgt voor het begrenzen van de bundelomvang en zorgt voor een vaste focus-huidafstand.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 6:** Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 381, Tabel D; Interactiecoëfficiënten voor fotonen.
- **Bijlage, blz. 7:** Inleiding tot de Stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 268: Tabel 11.1; Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron.
- In dit vraagstuk mag ervan uit worden gegaan dat de effectieve energie van de uitgezonden röntgenfotonen 50 keV is.
- Ga ervan uit dat de geabsorbeerde huiddosis gelijk is aan de kerma in lucht.
- De verhouding tussen persoonsdosisequivalent $H_p(10)$ en geabsorbeerde dosis D in de huid bij 50 keV fotonen is:
 $H_p(10)/D = 1,766 \text{ Sv/Gy}$.
- Per jaar maakt de tandarts met dit toestel 2000 opnamen.

Vraag 2.1 [3 punten]

Welke geabsorbeerde dosis zal het bestraalde huidoppervlak van een patiënt per opname ontvangen, bij *elk van de* hierboven genoemde opstellingen met de gegeven instellingen?

In Nederland zijn nog geen diagnostische referentieniveaus (DRNs – in het Engels: DRL's) vastgesteld voor intra-orale röntgenopnames. Op de website van de IAEA staat in "Radiation doses in dental radiology, FAQs for health professionals" de volgende informatie:

- DRL values for adult exposures from various national surveys are in the following ranges: 0.65 to 3.7 mGy in terms of entrance surface kerma, and 26 to 87 mGy·cm² in terms of kerma-area product for intraoral radiography

Vraag 2.2 [4 punten]

Geef op basis van de bij vraag 2.1 berekende doses voor *elk van de* hierboven genoemde opstellingen aan of de intra-orale röntgenopnames zich qua dosisniveau boven, in, of beneden deze twee gegeven DRN-gebieden bevinden.

De tandarts gaat altijd staan op de plek waar de patiënt het best gerustgesteld kan worden. Ten behoeve van de RI&E gaat de stralingsbeschermingsdeskundige daarom uit van de hoogst gegeven dosiswaarde (op basis van figuur 1), op 50 cm afstand van het centrum van het hoofd van de patiënt.

Vraag 2.3 [5 punten]

Aan welk persoonsdosisequivalent $H_p(10)$ zal de tandarts in zijn praktijk jaarlijks blootstaan, bij gebruik van de rechthoekige collimator en de hierboven genoemde instellingen en gegevens?

In het kader van ALARA wordt er een verrijdbare afscherming aangeschaft. De onderste helft van het scherm is volledig van lood, de bovenste helft bevat een groot raam van loodglas. De (equivalente) looddikte van scherm en loodglas bedraagt 1,5 mm.

Vraag 2.4a [4 punten]

Schat op basis van een berekening de transmissie van het scherm en loodglas voor fotonen met een energie van 50 keV.

Vraag 2.4b [1 punt]

Formuleer op basis van de berekening uit vraag 2.4a uw evaluatie van de RI&E voor deze tandarts.

Vraagstuk 3: Wetenschappelijk experiment met jodium in zuur milieu

Eén van de gouden regels in de radiochemie luidt: gebruik nooit een jodiumverbinding in zuur milieu. Maar zoals altijd zijn er uitzonderingen: het joderen van TTD-PC (een organisch molecuul)¹ kan alleen maar succesvol worden uitgevoerd in een azijnzure oplossing. Om het risico op inwendige besmetting door het vrijkomen van jodium in dampvorm tot een minimum te beperken, is er een speciale werkwijze ontwikkeld waarbij alle chemische reacties plaatsvinden in een gesloten ampul.

Gegevens:

- TTD-PC wordt geïodeerd met 110 MBq ¹²⁵I.
- Het experiment wordt slechts één keer uitgevoerd.
- **Bijlage, blz. 8-9:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 160 en 161, gegevens ¹²⁵I.
- **Bijlage, blz. 10-12:** Vergunningsbijlage 'Bijlage radionucliden-laboratorium', blz. 10, 11 en 12.

Vraag 3.1 [4 punten]

Ga door berekening na of en zo ja, onder welke condities de hierboven beschreven jodering volgens de 'Bijlage radionucliden-laboratorium' is toegestaan. Ga hierbij uit van de meest ongunstige longzuiveringsklasse.

In het kader van de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) wordt het breken van de ampul tijdens het experiment als belangrijkste voorziene onbedoelde gebeurtenis meegenomen. Vanwege dit scenario is op voorhand besloten het experiment in een DIN-gekeurde zuurkast uit te voeren.

Vraag 3.2a [3 punten]

Bereken de maximaal mogelijke effectieve volgdoos voor de onderzoeker als de ampul tijdens het experiment breekt. Ga ervan uit dat de zuurkast goed functioneert (d.w.z. zoals bedoeld in de Vergunningsbijlage, blz.12).

De onderzoeker voert geen andere handelingen met radioactieve stoffen uit.

Vraag 3.2b [2 punten]

Geef aan of de onderzoeker uitsluitend op grond van uw antwoord op vraag 3.2a als blootgestelde werknemer moet worden aangemerkt en zo ja, in welke categorie hij moet worden ingedeeld. Benoem tevens één

¹ TTD-PC = 1-O-hexadecanoyl-2-O-[9-[[[2-(tributylstannyl)-4-(trifluoro-methyl-3Hdiazirin-3-yl)benzyl]oxy]carbonyl]nonanyl]-sn-glycero-3-phosphocholine, ofwel een zogenaamde foto-actieve fosfolipide.

stralingsbeschermingsmaatregel die u voor dit specifieke experiment kunt nemen.

Tijdens het experiment doet de onbedoelde gebeurtenis zich helaas daadwerkelijk voor. Eén dag na afloop van het experiment wordt de activiteit in de schildklier van de onderzoeker gemeten met behulp van een besmettingsmonitor. Deze monitor beschikt over een met xenon gevulde proportionele telbuis met een effectief detectoroppervlak van 100 cm^2 . De meettijd van de monitor (in feite de integratietijd) bedraagt 2 seconden. De monitor geeft een bruto teltempo van 15 cps aan. Een meting van de achtergrondstraling levert een teltempo van 7 cps.

Aanvullende gegevens:

- De fabrikant geeft de volgende specificaties voor de monitor, geijkt met een homogeen besmet oppervlak van 100 cm^2 :

Radionuclide	Netto teltempo (cps) per $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$
^{14}C	0,2
^{60}Co	0,07
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0,3
^{125}I	0,3
^{131}I	0,04
^{241}Am	0,3

- U mag uitgaan van de veronderstelling dat de specificaties van de fabrikant zonder correcties kunnen worden gebruikt voor het vaststellen van de activiteit in de schildklier.

Vraag 3.3 [5 punten]

Bereken de ^{125}I -activiteit in de schildklier van de onderzoeker en de standaarddeviatie van deze activiteit.

Om een conservatieve inschatting te maken van de effectieve volg dosis, hanteert u als stralingsbeschermingsdeskundige de bovengrens van de activiteit, bepaald met het 2σ -onzekerheidsinterval, waarbij de eenzijdige overschrijdingskans 2,3% bedraagt.

Vraag 3.4 [4 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de onderzoeker uitgaande van deze conservatieve inschatting. Als u geen antwoord op vraag 3.3 heeft, moet u zelf plausibele aannames maken.

Vraagstuk 4: Historische stenencollectie

Een Nederlands museum bezit een collectie stenen en mineralen van diverse oorsprong en met interessante chemische samenstellingen. In deze collectie bevindt zich onder andere een aantal mooie uraninietstenen ofwel 'pekblende'. Dit mineraal bestaat voornamelijk uit uraniumdioxide (UO_2) en is dus radioactief.

Het museum heeft deze stenen al meer dan 100 jaar in bezit en vraagt zich af hoe het zit met de eventuele risico's van blootstelling aan ioniserende straling voor bezoekers, wanneer de stenen geëxposeerd worden.

Om die reden wordt u, als stralingsbeschermingsdeskundige, om hulp gevraagd bij het inschatten van mogelijke risico's.

Gegevens:

- De gemiddelde massa van een uraninietsteen bedraagt 780 gram.
- Het museum beschikt over 20 uraninietstenen.
- De uraninietstenen bestaan voor 95% (massa) uit UO_2 .
- De uraninietstenen bevatten een natuurlijke verhouding $^{238}\text{U} / ^{235}\text{U}$.
- ^{235}U en haar dochters mogen in dit vraagstuk worden verwaarloosd.
- ^{238}U is in evenwicht met al haar dochters tot en met ^{226}Ra .
- De atoommassa van zuurstof (O) bedraagt 16 u.
- **Bijlage, blz. 13:** Radiological Health Handbook (Public Health Service Publ. No. 2016, 1970), p. 112 - Uitsnede uit de Uraniumreeks.
- **Bijlage, blz. 14:** Uitsnede uit de Karlsruher Nuklidkarte.
- Het volume van de expositieruimte is 150 m^3 .
- Het debiet van de ventilatie in de expositieruimte bedraagt $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
- Voor de bepaling van de effectieve volg dosis mag in deze opgave een $e(50)_{\text{inh}}$ van $1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ voor ^{222}Rn worden gehanteerd.
- Het ademvolumetempo van bezoekers bedraagt $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vraag 4.1 [6 punten]

Bereken de totale activiteit van alle nucliden tot en met ^{226}Ra in een gemiddelde steen.

In de verval keten van ^{238}U (zie bijlage) gaat het bij de gevormde dochternucliden tot en met ^{226}Ra om vaste stoffen. De dochter van ^{226}Ra is het gasvormige ^{222}Rn . Dit neemt per mol een groter volume in dan een vaste stof, en kan zich via gasdiffusie door kleine poriën in de steen verplaatsen. Op deze manier komt een deel van het ^{222}Rn in de lucht terecht.

Vraag 4.2 [3 punten]

Met welk tempo (in $\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$) wordt ^{222}Rn -activiteit gevormd?

Neem als conservatieve aanname aan dat 1% van het gevormde ^{222}Rn in staat is de steen en de vitrine te verlaten waarna het in de lucht van de expositieruimte terechtkomt en zich door diffusie homogeen verspreidt.

Vraag 4.3 [4 punten]

Wat is de evenwicht-activiteitsconcentratie (in $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) van het ^{222}Rn in de expositieruimte ten gevolge van een gemiddelde steen?

Vraag 4.4a [3 punten]

Bereken de effectieve volgdosis voor een bezoeker die de expositieruimte eenmalig bezoekt. Bedenk daarbij zelf een reële blootstellingsduur.

Vraag 4.4b [1 punt]

Geef een maatregel waarmee de blootstelling van bezoekers (en werknemers) verminderd kan worden.