

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum: 9 mei 2022
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 12 genummerde pagina's, een bijlage van 15 pagina's en een losse bijlage om in te vullen. Controleer dit!**
- ❑ Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Maak voor elk vraagstuk gebruik van een apart, bij dat vraagstuk horend uitwerkblad. Lever ook alle niet gebruikte uitwerkbladen in.
- ❑ 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.
- ❑ Geef aan via welke **berekeningsmethode** en/of volgens welke **beredening** 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.
- ❑ Besteed aandacht aan het vermelden en juist toepassen van grootheden én eenheden.
- ❑ De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 17 punten
 - Vraagstuk 2: 13 punten
 - Vraagstuk 3: 15 punten
 - Vraagstuk 4: 16 punten
- ❑ U bent voor dit examen geslaagd als u minstens 55% van het totaal aantal punten (61) hebt behaald. Dit komt overeen met een score van ten minste 33,55 punten.

Vraagstuk 1: Vervoer van lutetium-177 [17 punten]

Tegenwoordig staat ^{177}Lu sterk in de belangstelling voor diverse therapeutische toepassingen bij nucleaire geneeskunde. Een bedrijf wil hiervoor kant-en-klare injectiespuiten met gelabelde ^{177}Lu -verbindingen gaan leveren aan ziekenhuizen.

Voor de bereiding van de spuiten heeft het bedrijf de beschikking over een B-laboratorium met een gesloten werkkast (klasse-III kabinet). De bereiding bestaat uit een aantal eenvoudige chemische bewerkingen, gevolgd door een labeling met een niet-vluchtig nuclide (inhalatie-klasse M).

U krijgt als stralingsbeschermingsdeskundige de vraag om een aantal zaken op het gebied van wet- en regelgeving hiervoor uit te zoeken.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 204-205, gegevens ^{177}Lu .
- **Bijlage, blz. 5:** Parameters p, q en r uit de Bijlage radionucliden-laboratorium
- **Bijlage, blz. 6:** Dichtheid en verzwakkingscoëfficiënten voor lood
- **Bijlage, blz. 7:** Build-up-factoren voor lood
- **Bijlage, blz. 8:** Etikettering klasse 7
- **Losse bijlage: Invulblad met etiketten klasse 7**

Vraag 1.1 [4 punten]

Bereken de maximale activiteit die per keer mag worden bereid in deze gesloten werkkast.

Om de injectiespuiten te mogen vervoeren moet er voldaan worden aan maximale dosiswaarden gemeten op het oppervlak van het collo als gemeten op 1 meter afstand van het oppervlak van het collo.

U wilt een injectiespuit van 7,4 GBq ^{177}Lu vervoeren. Omdat deze activiteit onder de A1-waarde ligt kiest u hiervoor een type A-verpakking, bestaande uit een kartonnen doos met buitenafmetingen van 24 cm bij 24 cm bij 24 cm. De activiteit zit in het midden van de doos. Verwaarloos de verzwakking van fotonen door de injectiespuit, het karton en het aanwezige vulmateriaal.

Vraag 1.2 [4 punten]

Bereken het dosistempo op het oppervlakte van het collo als u de spuit onafgeschermd zou vervoeren.

Vraag 1.3 [6 punten]

Bereken hoeveel lood nodig is om deze injectiespuit te mogen vervoeren in de gekozen verpakking. Houd rekening met beide dosisvoorwaarden. Geef het antwoord in hele millimeters. U mag beargumenteerde vereenvoudigingen toepassen.

Vraag 1.4 [3 punten]

Kies het juiste etiket op de **losse bijlage** en vul hierop de benodigde gegevens in.

Puntenwaardering:

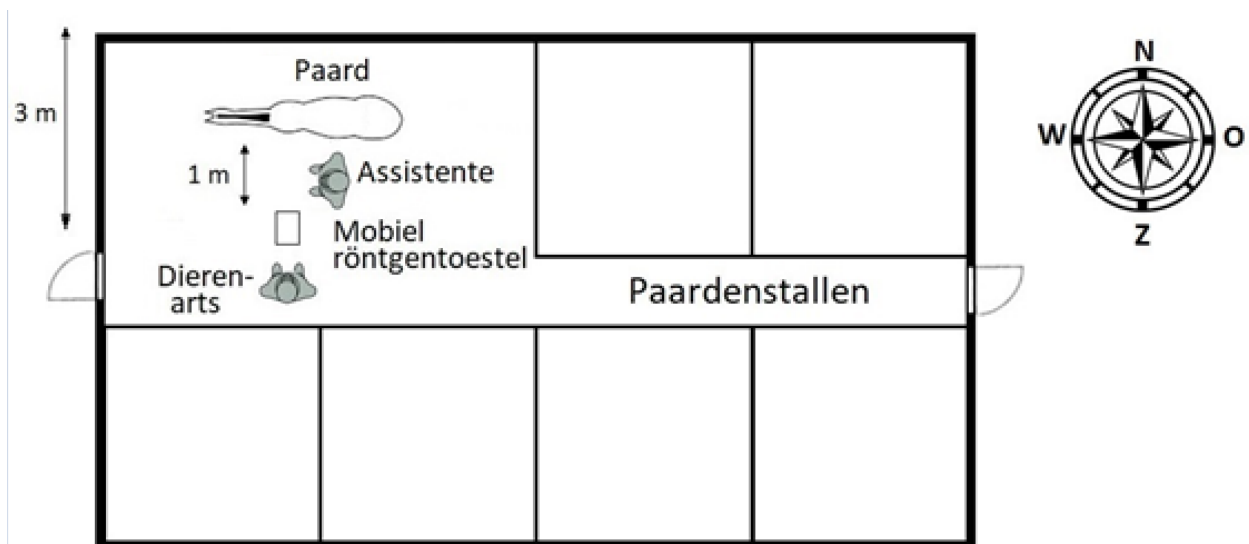
Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	4
1.2	4
1.3	6
1.4	3
Totaal	17

Vraagstuk 2: Mobiel röntgentoestel [13 punten]

Een paardenkliniek wordt voor een spoedgeval gebeld omdat een paard is gevallen en niet meer op zijn linker voorbeen wil staan. De dierenarts is nog aanwezig in de kliniek, pakt het mobiele röntgenapparaat en rijdt samen met een assistente richting de plaats waar het ongeval heeft plaatsgevonden.

De kliniek heeft een vergunning voor het verrichten van handelingen ten behoeve van veterinaire diagnostiek met ioniserende straling uitzendende toestellen op steeds wisselende locaties binnen Nederland.

De paardeneigenaar heeft het paard gepositioneerd naast de paardenstallen, zodat de dierenarts genoeg ruimte heeft (zie **Figuur 2.1**). De kortste afstand van het röntgentoestel tot de terreingrens is 3 meter. De stalmuur op de grens is gemaakt van hout, met een dikte van 2 cm.



Figuur 2.1 Situatieschets

Gegevens:

- De belichtingsparameters bij deze foto's zijn:
 - een hoogspanning van 73 kV
 - een filter van 3 mm aluminium
 - de buisstroom \times belichtingstijd is 12,5 mA \cdot s
- De afstand van de röntgenbuis tot het intreevlak is 1 meter
- De transmissie van röntgenstraling door 2 cm hout bedraagt 84,3% (berekend met Archer parameters op basis van NCRP-147)
- De conversiecoëfficiënt van luchtkerma naar persoonsdosisequivalent voor fotonen bedraagt 1,5 Sv/Gy (voor zowel de primaire als stroostralingfotonen)

- **Bijlage, blz. 9:** Output luchtkermatempo van röntgentoestellen met variërende filters en buisspanningen
- De luchtkerma in lucht ter plaatse van het intreevlak (op het paardenbeen) bedraagt 0,69 mGy per foto.

Vraag 2.1 [3 punten]

Toon met een berekening aan dat de luchtkerma in lucht ter plaatse van het intreevlak (op het paardenbeen) inderdaad 0,69 mGy per foto bedraagt.

Lees voor de volgende twee subvragen de stukjes tekst uit de vergunning van de dierenarts door, zie hiervoor **Bijlage, blz. 10**. De wooncorrectiefactor is 0,25. Aangenomen mag worden dat de dierenarts op deze werklocatie maximaal één keer per jaar een röntgenfoto maakt.

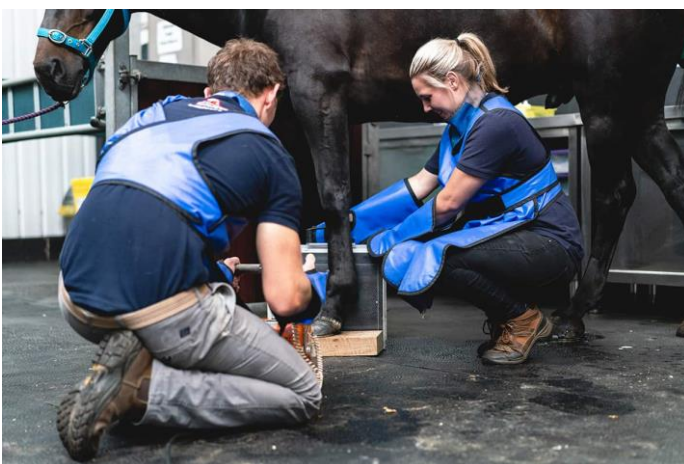
Vraag 2.2 [4 punten]

Bereken de MID (multifunctionele individuele dosis).

Vraag 2.3 [2 punten]

Noem één overtreding op de vergunning en geef daarvoor één oplossing.

Om de röntgenfoto's te maken, houdt de assistente een cassette vast achter het paardenbeen. Zij draagt hierbij de volgende persoonlijke beschermingsmiddelen: loodhandschoenen, een loodschort en schildklierbescherming (zie **Figuur 2.2** voor een voorbeeld). Na verzwakking en verstrooiing van de primaire bundel door een voorwerp (in dit geval het paardenbeen) ontstaat er strooistraling waaraan de assistente wordt blootgesteld.



Figuur 2.2 De assistente houdt de cassette vast achter het paardenbeen en draagt hierbij persoonlijke beschermingsmiddelen (Bron: X-Ray - Field Equine Vets).

Extra gegevens:

- **Bijlage, blz. 11:** Verstrooiingshoek en dosis(kerma)tempo van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur. Voor deze opgave mogen deze gegevens gebruikt worden voor strooiing bij een paardenbeen.
- Aangenomen mag worden dat de verstrooiingshoek 90° bedraagt.
- De afstand tussen de assistente en het paardenbeen is 50 cm.
- De grootte van het intreevlak (op het paardenbeen) bedraagt $10 \times 20 \text{ cm}^2$.

Vraag 2.4 [4 punten]

Bereken het persoonsdosisequivalent $H_p(10)$ ter plaatse van de assistente als gevolg van één röntgenfoto.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	3
2.2	4
2.3	2
2.4	4
Totaal	13

Vraagstuk 3: Het rendement van de MiniTRACE monitor [15 punten]

Een stralingsdeskundige gebruikt in zijn praktijk veelvuldig een MiniTRACE, type S5 en heeft daarvoor het intrinsieke detectorrendement voor fotonen uitgezonden door ^{137}Cs , bepaald. Recentelijk heeft hij op internet uitgebreidere gegevens aangetroffen voor het rendement van een nieuwer model, de MiniTRACE, type CSDF, dan hij heeft voor zijn eigen monitor. Hij veronderstelt dat de feitelijke detector van beide monitoren dezelfde is. Hij wil verifiëren dat het resultaat van zijn berekeningen met het gegeven rendement voor de MiniTRACE CSDF overeenstemt.

De detector van beide MiniTRACE monitoren bevindt zich aan de achterkant van de monitor en is voorzien van een beschermend rooster en een klepje dat het detectorvenster kan afdekken (zie **Figuur 3.1**).



Figuur 3.1 De boven- en onderzijde van de MiniTRACE CSDF monitor.

Gegevens:

- De respons van de MiniTRACE, type S5 en CSDF, voor gammafotonen uitgezonden door ^{137}Cs bedraagt 4,3 tps per $\mu\text{Sv/h}$, bij een afstand van 1 meter tussen bron en detector
- **Bijlage, blz. 12:** Rendement (in tps/Bq) van de MiniTRACE, type CSDF
- **Bijlage, blz. 13:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015), blz. 172, gegevens ^{137}Cs
- De MiniTRACE heeft een effectief detectoroppervlak van $15,55 \text{ cm}^2$. Dit geldt voor zowel type CSDF als type S5.

- Met klepje dicht is de monitor volgens de leverancier alleen gevoelig voor γ -straling. Met klepje open is de monitor gevoelig voor α -, β - en γ -straling
- Het klepje is gemaakt van aluminium (dichtheid $2,7 \text{ g/cm}^3$) en heeft een dikte van 1 mm

Vraag 3.1 [2 punten]

Bereken de activiteit van een ^{137}Cs -bron die op een afstand van 1 meter aanleiding geeft tot een omgevingsdosisequivalenttempo $H^*(10)$ van $1 \text{ } \mu\text{Sv/h}$.

Ga er bij de volgende vraag van uit dat de detector op een afstand van 1 meter van de bron staat en dat er geen absorptie van gammafotonen plaatsvindt in het materiaal tussen bron en telgas. Indien er geen antwoord is gevonden op vraag 3.1, mag gerekend worden met een activiteit van 10 MBq .

Vraag 3.2 [5 punten]

Bereken het aantal γ -fotonen afkomstig uit de bij vraag 3.1 bedoelde bron dat het telgas van de detector per seconde bereikt.

Als u het antwoord op vraag 3.2 niet heeft gevonden mag u verder rekenen met 10^3 fotonen per seconde.

Vraag 3.3a [2 punten]

Bereken uit voorgaande gegevens (detectoropstelling en de respons van de MiniTRACE S5 voor gammafotonen uitgezonden door ^{137}Cs) het rendement van de MiniTRACE S5 (in pulsen per opvallend foton).

Vraag 3.3b [4 punten]

Ga na of het rendement van de MiniTRACE S5 overeenkomt met het rendement voor de MiniTRACE CSDF, zoals gegeven in **Bijlage, blz. 12**. Beargumenteer uw antwoord.

Vraag 3.4 [2 punten]

Met het klepje dicht is de monitor volgens de leverancier alleen gevoelig voor γ -straling. Verwacht u dat dit klopt voor de bèta's van ^{137}Cs ?

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	2
3.2	5
3.3a	2
3.3b	4
3.4	2
Totaal	15

Vraagstuk 4: Toediening met koolstof-11 [16 punten]

Een patiënt heeft mogelijk de ziekte van Alzheimer. Om deze diagnose te kunnen vaststellen, wordt een PET-scan van de hersenen gemaakt. Voor dit nucleair geneeskundig onderzoek wordt gebruik gemaakt van ^{11}C -methionine. De toediening van dit radiofarmacon gebeurt door middel van een injectie in een ader in de binnenzijde van de elleboog.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 14-15:** Handboek Radionucliden, A.S. Keveling Buisman (3e druk 2015) blz. 22-23, gegevens ^{11}C .
- Bolvormig volume geïnjecteerd spierweefsel = 5 cm^3
- Spierweefsel heeft een dichtheid van $1,05\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.
- De geïnjecteerde activiteit bevindt zich in de spier dicht tegen de huid
- Het geïnjecteerde spierweefsel is zowel bronorgaan als doelorgaan
- De β^+ -deeltjes worden volledig in het spierweefsel geabsorbeerd.
- $1\text{ MeV} = 1,602\cdot 10^{-13}\text{ J}$

Om de toediening van de ^{11}C -methionine te monitoren wordt gebruik gemaakt van een scintillatiedetector. Deze detector registreert het teltempo (in tps) tijdens een meting van 15 seconden. Voorafgaand aan de toediening wordt eerst een achtergrondmeting van 15 seconden gestart rondom de plek waar de activiteit geïnjecteerd zal worden. Deze achtergrondmeting laat een teltempo zien van 45 tps. De meting direct na toediening van de ^{11}C -methionine levert 33500 tps op.

Helaas gaat de toediening bij deze patiënt niet goed, want direct na het leegdrukken van de spuit verschijnt er een oppervlakkige bult in de elleboogholte. Het bloedvat blijkt niet goed te zijn aangeprikt en men vraagt zich af of de activiteit volledig in het direct omliggende spierweefsel is terechtgekomen.

Het netto telrendement voor de meting in de gebruikte meetopstelling heeft als waarde $9,0\cdot 10^{-5}\text{ tps/Bq}$. Voor het gemak mag ervan uitgegaan worden dat dit netto telrendement een foutloze waarde is.

Vraag 4.1 [4 punten]

Bereken de toegediende ^{11}C -activiteit samen met het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.

De bult is een aantal uur blijven zitten en de patiënt geeft aan dat hij pijn voelt op de plek waar de activiteit is geïnjecteerd.

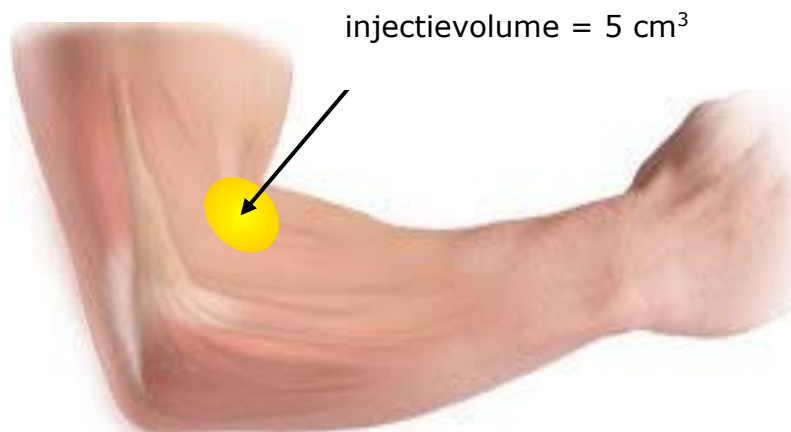
De pijn zou kunnen komen vanwege het oprekken van de spier door het geïnjecteerde volume, maar zou ook deels veroorzaakt kunnen worden door de lokale geabsorbeerde dosis. Een beginnend stralingsdeskundige wordt gevraagd hoe hij deze dosis zou uitrekenen. In de volgende vragen volgen we zijn rekenstappen.

Indien u het antwoord van vraag 4.1 niet heeft kunnen vinden, kunt u vanaf dit moment uitgaan van een toegediende ^{11}C -activiteit van 350 MBq.

Vraag 4.2 [3 punten]

Bereken het totaal aantal desintegraties U_s van het ^{11}C dat is geïnjecteerd in het spierweefsel

Zie **Figuur 4.1** voor een schematisch overzicht van de elleboog met de injectieplaats.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van een elleboog met geïnjecteerd ^{11}C -methionine.

Vraag 4.3a [3 punten]

Bijlage, blz. 14-15 toont een overzicht van de belangrijkste uitgezonden straling. Leg op basis van deze gegevens uit door welke soort straling de afgegeven dosis in het spierweefsel vooral gedomineerd wordt.

Vraag 4.3b [4 punten]

Bereken de gemiddelde geabsorbeerde dosis in het injectievolume (5 cm^3) als gevolg van de stralingssoort zoals beredeneerd in vraag 4.3a.

Tot slot is de stralingsdeskundige geïnteresseerd in wat de effectieve volgdozis als gevolg van de behandeling zou zijn geweest bij een succesvolle toediening

Vraag 4.4 [2 punten]

Bereken de effectieve volgdozis E(50) wanneer de injectie wel direct in de ader was toegediend.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	4
4.2	3
4.3a	3
4.3b	4
4.4	2
Totaal	16