

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

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

examendatum: 13 december 2021

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 11 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 8 pagina's. 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 **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.
- ❑ Besteed aandacht aan het vermelden en juist toepassen van grootheden én eenheden.
- ❑ In totaal kunt u 65 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 19 punten Vraagstuk 2: 15 punten
 - Vraagstuk 3: 18 punten Vraagstuk 4: 13 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 35,75 punten.

Vraagstuk 1: Risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) dierenkliniek [19 punten]

In een dierenkliniek worden röntgenfoto's van gezelschapsdieren gemaakt. U maakt een risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) voor de dierenarts.



Afbeelding 1.1: De dierenarts houdt het gezelschapsdier vast tijdens het maken van een röntgenfoto.

De dierenarts heeft altijd een loodschort aan en houdt het dier met loodhandschoenen vast, zie afbeelding 1.1. De loodhandschoenen zijn bedoeld om de handen te beschermen tegen strooistraling en hebben een verwaarloosbaar effect op de effectieve dosis. Het is niet de bedoeling dat de loodhandschoenen in de primaire bundel komen.

Gegevens:

- Maximaal ingestelde buisspanning volgens de protocollen: 75 kV
- Gemiddelde buislading (mAs-waarde) per foto: 8,0 mAs
- Per jaar worden er maximaal 1000 röntgenfoto's gemaakt
- Het gemiddelde bestraalde oppervlak bedraagt 600 cm² op een afstand van 1,1 meter van het focus
- De gemiddelde afstand van de dierenarts tot het dier bedraagt 0,5 m
- De luchtkerma vrij in lucht (K_a) door strooistraling bedraagt 16,0 $\mu\text{Gy}/(\text{Gy}\cdot\text{cm}^2)$ op 0,5 meter afstand van het verstrooiend object
- Conversiecoëfficiënt voor de primaire bundel: $H_{\text{huid}}/K_a = 1,0 \text{ Sv/Gy}$
- Conversiecoëfficiënt voor de strooistraling: $E/K_a = 0,8 \text{ Sv/Gy}$
- De dikte van het loodschort bedraagt 0,25 mm
- De dikte van de loodhandschoen bedraagt 0,5 mm
- **Bijlage blz. 3:** Output van een röntgenbuis en transmissie van een brede bundel röntgenstraling door lood
- **Bijlage blz. 4:** Het beschermingsrendement van loodschorten

Bij radiologische toepassingen is het gebruikelijk om te rekenen met het dosisoppervlakteproduct (de DOP-waarde). Dit is de dosis van de primaire bundel vermenigvuldigd met de oppervlakte van de röntgenbundel.

Vraag 1.1 [5 punten]

Bereken het dosisoppervlakteproduct per foto [in Gy·cm²].

Bekijk **Bijlage blz. 4**.

Vraag 1.2a [2 punten]

Beargumenteer waarom alle curves bij toenemende looddikte naderen tot een waarde die aanzienlijk lager is dan 100%.

Indien u geen antwoord op vraag 1.1 heeft kunnen vinden, kunt u verder rekenen met 0,4 Gy·cm² per foto.

Vraag 1.2b [4 punten]

Bereken de effectieve jaardosis voor de dierenarts.

De dierenarts geeft aan dat het wel eens voorkomt dat hij met zijn handen (in loodhandschoen) in de primaire bundel komt. Hij schat in dat dit voorkomt bij 1 op de 50 foto's die hij maakt.

De foto's worden met een belichtingsautomaat gemaakt. Wanneer de loodhandschoen de primaire bundel verzwakt en de detector van de belichtingsautomaat (deels) afschermt, zal de automaat de belichtingstijd verlengen bij gelijke buisstroom. Ga er vanuit dat de belichtingstijd met een factor 1,25 wordt verlengd.

Vraag 1.3 [4 punten]

Bereken de equivalente huiddosis van de hand, gemiddeld over enig cm² bestraald huidoppervlak, als gevolg van de beschreven voorziene onbedoelde gebeurtenis.

De indeling van werknemers in een blootstellingscategorie moet altijd worden gedaan op basis van een berekening van de som van de reguliere en potentiële dosis, zonder toepassing van de afschermdende werking van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Aanvullende gegevens

- Voor de onafgeschermdde equivalente huiddosis bij de beschreven voorziene onbedoelde gebeurtenis mag 0,7 mSv worden aangenomen
- Er hoeft in de rest van dit vraagstuk geen rekening met de equivalente ooglensdosis te worden gehouden

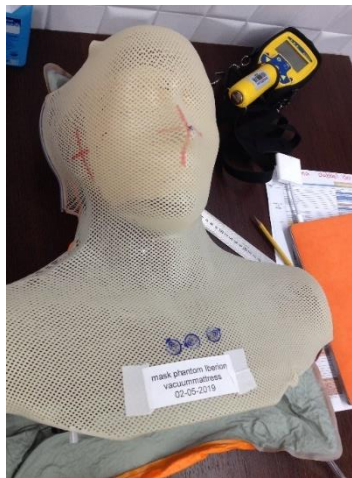
Vraag 1.4 [4 punten]

Concludeer op basis van voorgaande berekeningen, gegevens en relevante dosiscriteria in welke blootstellingscategorie de dierenarts moet worden ingedeeld.

Vraagstuk 2: Activering fixatiemaskers bij protonetherapie [15 punten]

In een centrum voor protonetherapie worden patiënten met tumoren in het hoofd-halsgebied bestraald met protonen. In dit vraagstuk wordt ervan uitgegaan dat de energie van deze protonen 150 MeV bedraagt.

Patiënten worden tijdens de bestraling gefixeerd met behulp van een gelaatsmasker. Door de bestraling met protonen wordt dit fixatiemasker enigszins geactiveerd. Het masker mag daarom pas na enige tijd de bestralingsruimte verlaten. U wordt gevraagd deze 'afkoeltijd' te berekenen.



Afbeelding 2.1: fixatiemasker (gelaatsmasker)

Gegevens:

- Het relevante isotoop in het materiaal waarvan het fixatiemasker is gemaakt is ^{12}C , het relevante activeringsproduct is ^{11}C
- De massadichtheid van ^{12}C in het materiaal bedraagt $1,0 \text{ g per cm}^3$
- De dikte van het masker is $1,0 \text{ mm}$
- De halveringstijd van ^{11}C bedraagt $20,39 \text{ min}$
- Het getal van Avogadro is $N_{\text{Avogadro}} = 6,022 \cdot 10^{23}$ per mol
- De kans dat een interactie van een proton met het fixatiemasker plaatsvindt is $1 - e^{-\sigma nd}$, waarbij σ de werkzame doorsnede, n het aantal atoomkernen per bestraalde volume-eenheid en d de dikte van het te passeren materiaal is
- Het totaal aantal geproduceerde protonen bij een bestraling bedraagt $1,8 \cdot 10^{13}$
- Van de geproduceerde protonen bereikt $0,50\%$ het fixatiemasker
- U mag er in dit vraagstuk van uitgaan dat alle protonen loodrecht op het fixatiemasker invallen

- Tabel 2.1: werkzame doorsnedes voor de productie van ^{11}C bij enkele energieën (ontleend aan F. Horst et al, Phys. Med. Biol. 64 (2019) 205012)

Protonenergie (MeV)	σ (mbarn)
122	50
153	46
184	42

Tabel 2.1: Werkzame doorsnedes voor de productie van ^{11}C

Vraag 2.1 [2 punten]

Geef een mogelijke kernreactie die optreedt bij het ontstaan van ^{11}C tijdens de bestraling van het masker met protonen.

Vraag 2.2 [4 punten]

Toon met een berekening aan dat de kans dat een interactie van een proton met het fixatiemasker plaatsvindt (en waarbij een ^{11}C -kern ontstaat), gelijk is aan $2,3 \cdot 10^{-4}$.

Voor de volgende vraag mag het verval van ^{11}C tijdens de bestraling worden verwaarloosd.

Vraag 2.3 [3 punten]

Bereken de door een bestraling geïnduceerde ^{11}C -activiteit in het masker.

Aanvullende gegevens:

- De relevante vrijgavegrens voor de activiteitsconcentratie ^{11}C in vast materiaal bedraagt 1 Bq/g (Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)
- Het gewicht van het gelaatsmasker bedraagt 40 g
- Indien u het antwoord op vraag 2.3 schuldig bent gebleven mag u voor vraag 2.4 uitgaan van 10 kBq

Vraag 2.4 [3 punten]

Bereken het aantal uren dat nodig is om het masker te mogen vrijgeven.

Na afloop van de bestraling wordt door meting vastgesteld of het masker kan worden vrijgegeven. Het therapiecentrum hanteert hiervoor een operationeel criterium: "Wanneer het bruto teltempo kleiner is dan of gelijk is aan tweemaal het achtergrondteltempo dan volgt vrijgave".

Aanvullende gegevens:

- Het achtergrondteltempo van het meetinstrument bedraagt 10 telpulsen per seconde (tps)
- Het totale detectierendement van het gebruikte meetinstrument bedraagt 0,3 telpulsen per ^{11}C -desintegratie

Vraag 2.5 [3 punten]

Verifieer dat het door het therapiecentrum gehanteerde operationele criterium voldoet aan de wettelijke vrijgavegrens.

Vraagstuk 3. Inwendige besmetting met I-125 [18 punten]

In een radionuclidenlaboratorium wordt wekelijks 50 MBq ^{125}I gebruikt voor het labellen van eiwitten. Gedurende een fase van het experiment is het jodium vluchtig. Ongeveer 1% van het gebruikte jodium ontsnapt tijdens deze fase in de vorm van I_2 .

De labelling wordt uitgevoerd in een zuurkast met een actief koolfilter, dat vrijwel al het vrijgekomen jodium absorbeert. Dit filter wordt jaarlijks vervangen door geïnstrueerd personeel.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 5-6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 160-161, gegevens ^{125}I
- Voor de 'Absorbed fraction (AF)' voor fotonen van ^{125}I in de schildklier – AF (Schildklier ← Schildklier) – mag voor alle fotonen een gemiddelde waarde van 0,18 worden gebruikt
- Totaal uitgezonden fotonenenergie per desintegratie: 41 keV
- Totaal uitgezonden elektronenenergie per desintegratie: 16,5 keV
- Met totaal uitgezonden energie wordt bedoeld: $\sum_i y_i \cdot E_i$ waarbij y_i de emissiewaarschijnlijkheid van de uitgezonden fotonen respectievelijk elektronen is en E_i de energie, waarbij gesommeerd wordt over alle fotonen/elektronen i
- Massa van de schildklier: 20 gram
- Weefselweegfactor schildklier: 0,05 (ICRP-60)

Vraag 3.1 [4 punten]

Bereken de activiteit van het in het filter geabsorbeerde jodium op het moment dat het filter wordt vervangen.

Een laborant voert de wekelijkse labelling op vrijdag uit. Maandagochtend bleek dat de afzuiging op de voorgaande vrijdag was uitgeschakeld, omdat de jaarlijkse filterwisseling werd uitgevoerd. Omdat de laborant hierdoor een inwendige besmetting met ^{125}I kan hebben opgelopen wordt op maandagochtend, dus 3 dagen na de labelling, met een geschikte detector een schildkliermeting uitgevoerd. Hierbij wordt een activiteit van 5,7 kBq in de schildklier gemeten. Het verval van het jodium in het tussenliggende weekend mag u in deze opgave verwaarlozen.

Veronderstel voor vraag 3.2a dat de inwendige besmetting door inhalatie van jodiumdamp heeft plaatsgevonden.

Vraag 3.2a [3 punten]

Bereken de effectieve volgdosis, veroorzaakt door deze inwendige besmetting.

Vraag 3.2b [2 punten]

Beargumenteer aan de hand van de gegevens uit het Handboek Radionucliden (zie bijlage) dat het in dit specifieke geval voor de effectieve volgdosis nauwelijks uitmaakt in welke chemische vorm de besmetting heeft plaatsgevonden.

Vraag 3.3a [4 punten]

Bereken het aantal desintegraties in de schildklier ($U_{\text{schildklier}}$) gedurende de 50 jaar na het optreden van de inwendige besmetting.

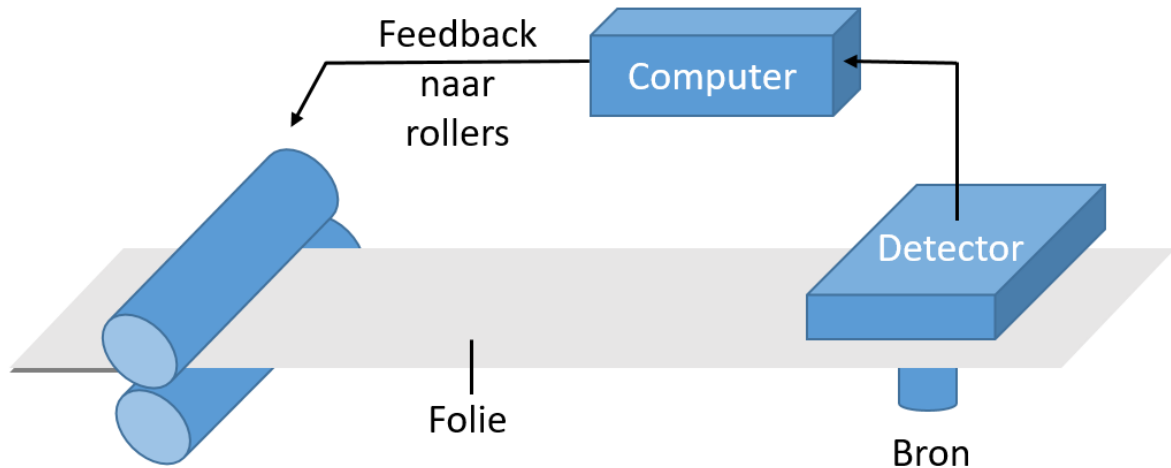
Indien u het antwoord op vraag 3.3a schuldig bent gebleven, mag u in het vervolg van dit vraagstuk uitgaan van $U_{\text{schildklier}} = 2 \cdot 10^{10}$.

Vraag 3.3b [5 punten]

Bereken welk percentage van de bij vraag 3.2a berekende effectieve volgdosis wordt veroorzaakt door de opname van ^{125}I in de schildklier.

Vraagstuk 4: Meting laagdikte met ^{85}Kr [13 punten]

In een fabriek wil men tijdens een productieproces laagdiktemetingen van een folie uitvoeren met behulp van de transmissie van bètastraling, omdat dit het beste past in het snelle proces. In de meetopstelling wordt gebruik gemaakt van een gasvormige ^{85}Kr bron met een activiteit van 3,7 GBq.



Afbeelding 4.1: schematische weergave diktemeting plaatmateriaal.

Gegevens:

- De afstand tussen de isotrope puntbron en het midden van het detectoroppervlak is 20 mm
- De vensters van de bron en de detector hebben samen een massieke dikte van 10 mg/cm^2
- Elk bètadeeltje dat het venster van de detector passeert, wordt geregistreerd
- De gewenste relatieve standaarddeviatie in het aantal gemeten pulsen is 0,1%
- **Bijlage blz. 7:** Absorptiepercentage bètadeeltjes in materie
- **Bijlage blz. 8:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 92, gegevens ^{85}Kr

Vraag 4.1 [5 punten]

Bereken het meetrendement in cps/Bq van de gebruikte meetopstelling wanneer een laagdikte van 50 mg/cm^2 wordt gemeten. Geef aan welke aanname(s) u doet met betrekking tot parameters die invloed hebben op het rendement.

Vraag 4.2 [4 punten]

Bereken de minimale meettijd (in ms) bij een telling van een foliedikte van 50 mg/cm^2 om aan de gewenste relatieve standaarddeviatie te voldoen.

Vraag 4.3 [2 punten]

Beredeneer of bereken hoeveel jaar de bron gebruikt kan worden totdat de meettijd is verdubbeld.

De stralingsbeschermingsdeskundige geeft leden van de bedrijfsbrandweer een rondleiding door de productiehal.

Vraag 4.4 [2 punten]

Beschrijf welke informatie met betrekking tot de stralingsveiligheid van dit soort bronnen van belang is voor de bedrijfsbrandweer tijdens een brand. Betrek hierin in elk geval informatie over het risico op uitwendige bestraling en het risico op inwendige besmetting.