

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

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

examendatum: 12 december 2022

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. 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 hoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- ❑ Besteed aandacht aan het vermelden en juist toepassen van grootheden én eenheden.
- ❑ In totaal kunt u 62 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 16 punten Vraagstuk 2: 17 punten
 - Vraagstuk 3: 13 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 34,1 punten.

Vraagstuk 1: Inwendige besmetting bepalen met LSC [16 punten]

Bij een chemische bewerking met H^{36}Cl op vrijdagmiddag (dag 0) in een radionuclidenlaboratorium ontstaat ten gevolge van een exotherme reactie plotseling veel warmte. Hierdoor verdampt een deel van de vloeistof, die mogelijk wordt ingeademd door de laborant. Bij de analyse van de resultaten op de dinsdag na het experiment blijkt dat inderdaad een deel van het ^{36}Cl weg is, waarop er besloten wordt een urinemeting uit te voeren. De laborant moet op woensdag alle urine van die dag verzamelen en inleveren voor analyse met een vloeistofscintillatieteller (LSC). De analyse wordt op vrijdag (zeven dagen na de vermoedelijke besmetting) uitgevoerd.

Van het totale volume urine wordt een monster genomen dat wordt gemeten in een telcocktail. U mag aannemen dat de ^{36}Cl -concentratie in de urine waaruit het monster genomen wordt, homogeen verdeeld is.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 3-4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keveling Buisman (3^e druk 2015), blz. 38 en 39, gegevens ^{36}Cl
- Uitscheidingstempo urine referentiemens: 1,4 L per dag
- Volume urinemonster: 6 mL
- Volume telcocktail: 10 mL
- Teltempo monster: $R_b = 7571$ cpm, gemeten in 2 minuten
- Teltempo achtergrond: $R_a = 45$ cpm, gemeten in 10 minuten
- Telrendement LSC voor ^{36}Cl : $\epsilon = 42$ cpm/Bq

Vraag 1.1 [5 punten]

Bereken de binnengekregen activiteit ^{36}Cl .

Vraag 1.2 [5 punten]

Bereken op basis van de gemeten teltempi het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de binnengekregen activiteit.

Wanneer u het antwoord op vragen 1.1 en 1.2 schuldig bent gebleven, mag u uitgaan van een binnengekregen activiteit van $A_{in} = 2,00 \pm 0,02$ MBq.

Vraag 1.3 [3 punten]

Bereken de effectieve volgdosis voor de laborant, inclusief het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Vraag 1.4 [3 punten]

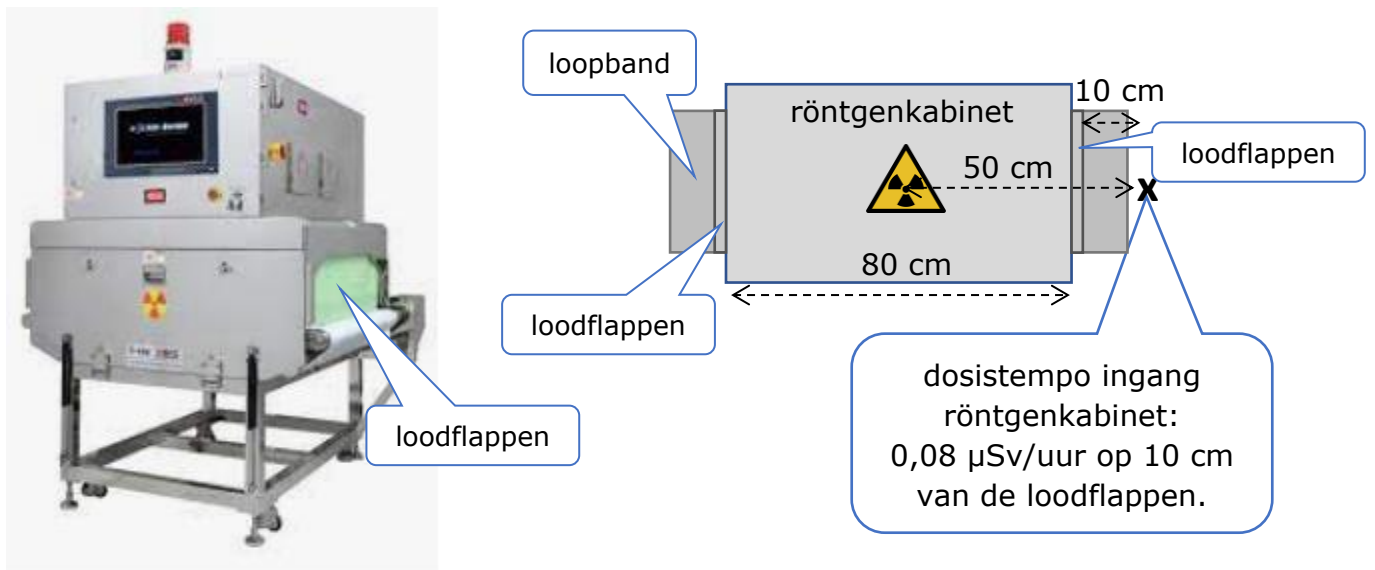
Noem drie relevante acties die de stralingsbeschermingsdeskundige na dit incident moet of zal ondernemen.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	5
1.2	5
1.3	3
1.4	3
Totaal	16

Vraagstuk 2: Röntgentoestel bij een toetjesfabriek [17 punten]

In een toetjesfabriek wordt een röntgentoestel gebruikt om te controleren of er ongewenste materialen in gevulde yoghurtbakjes zitten. Als dit het geval is worden vervuilde yoghurtbakjes automatisch uit het productieproces verwijderd. Afbeelding 2.1 en 2.2 geven respectievelijk een overzicht van het röntgenkabinet en een bovenaanzicht van de meetsituatie.



Afbeelding 2.1 – röntgenkabinet

Afbeelding 2.2 –
schematisch bovenaanzicht

Het maximale omgevingsdosisequivalenttempo bij meetpunt **X**, op 10 cm afstand van de ingang van het röntgenkabinet, ter hoogte van de volledig gesloten loodflappen, bedraagt volgens de specificaties 0,08 µSv/uur (zie Afbeelding 2.2).

Gegevens:

- Een werknemer is 200 dagen per jaar aanwezig
- Tijdens een werkdag staat een werknemer gemiddeld 1 uur op 1 meter afstand van de hiervoor bedoelde loodflappen in het verlengde van het meetpunt
- Het verstrooiende yoghurtbakje mag voor dit vraagstuk als een puntbron worden verondersteld
- De afstand van de verstrooide röntgenbundel tot het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo op 10 cm van de loodflappen bedraagt 50 cm

- Verondersteld mag worden dat het omgevingsdosisequivalenttempo bij de ingang van het röntgenkabinet volledig wordt bepaald door verstrooide röntgenstraling
- Het omgevingsdosisequivalent mag in deze opgave als een conservatieve schatter voor de effectieve dosis worden gebruikt

Vraag 2.1 [3 punten]

Bereken de effectieve jaardosis voor een werknemer onder deze condities.

Voor het opstellen van de RI&E beschouwt de stralingsbeschermingsdeskundige de volgende voorziene onbedoelde gebeurtenis:

'Een werknemer steekt zijn arm in de afvoertunnel om een omgevallen product weg te nemen. Hierbij komt de hand eenmalig in de primaire bundel en is de blootstellingstijd van de extremiteiten 5 seconden.'

Aanvullende gegevens:

- Buisspanning: 75 kV
- Vermogen: 600 W
- Filter: 0,5 mm Al
- **Bijlage blz. 5:** ICRP 33 appendix figuur 2, Output röntgenbuis op 1 meter afstand voor diverse buisspanningen en filtraties. De gegevens in deze figuur mogen in dit vraagstuk voor de geabsorbeerde dosis in zowel lucht als weefsel worden gebruikt

Vraag 2.2a [4 punten]

Bereken het geabsorbeerde dosistempo (Gy/h) in de primaire bundel op 1 meter afstand van het focus.

Wanneer u geen antwoord heeft gevonden op vraag 2.2a mag u uitgaan van 7,5 Gy/h op 1 meter afstand.

Vraag 2.2b [3 punten]

Bereken de equivalente extremiteitendosis voor de werknemer als gevolg van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis wanneer zijn hand zich in de primaire bundel op 30 cm van het focus bevindt.

Veel vaker komt de vergelijkbare voorziene onbedoelde gebeurtenis voor, waarbij de hand van de werknemer *niet* in de primaire bundel komt, maar ter hoogte van de geopende loodflappen wordt blootgesteld aan verstrooide röntgenstraling. De stralingsbeschermingsdeskundige wil dan ook graag het dosistempo door *verstrooide* straling op de handen bepalen ter hoogte van

deze geopende loodflappen. Hiervoor heeft zij de beschikking over zowel een dosistempomonitor als een besmettingsmonitor. Enkele eigenschappen van deze monitoren zijn vermeld in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 – overzicht eigenschappen beschikbare detectoren

Type	dosistempomonitor	besmettingsmonitor (pancake)
Type straling	gamma	alfa, bèta, gamma
meeteenheid	R and R/h	cps
Energiebereik	70 keV – 1,3 MeV	alfa: vanaf 3,5 MeV bèta: vanaf 1 keV gamma: 20 keV – 2 MeV

Vraag 2.3 [2 punten]

Leg aan de hand van bovenstaande tabel van de meetapparatuur uit waarom de stralingsbeschermingsdeskundige de meting verricht met de besmettingsmonitor.

Wanneer de loodflappen geopend zijn, met de gevulde yoghurtbakjes aanwezig, is het gemeten bruto teltempo ter hoogte van de ingang 134 cps. Een achtergrondmeting geeft 5 cps.



Afbeelding 2.3 – overzicht meetsituatie bij de geopende loodflappen

Aanvullende gegevens:

- De effectieve energie van de stroostraling bedraagt 30 keV; met deze waarde mag verder gerekend worden
- **Bijlage blz. 6:** Energieresponscurve voor de gebruikte pancake, gekalibreerd op ¹³⁷Cs

- Conversiecoëfficiënt voor het omrekenen van cps naar equivalente extremiteitendosis voor ^{137}Cs : 100 $\mu\text{Sv/h}$ per cps
- Blootstellingsduur: 5 seconden per keer
- De gebeurtenis doet zich 50 keer per jaar voor

Vraag 2.4 [5 punten]

Bereken de jaarlijkse equivalente extremiteitendosis als gevolg van deze voorziene onbedoelde gebeurtenis.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	3
2.2a	4
2.2b	3
2.3	2
2.4	5
Totaal	17

Vraagstuk 3: Besmette schoen [13 punten]

Een medewerkster van een radionuclidenlaboratorium controleert zichzelf aan het eind van de ochtend met een hand-voet-kleding-monitor bij het verlaten van het lab. Hierbij gaat het alarm af, waarbij op het beeldscherm wordt aangegeven dat bij de linkervoet een besmetting aanwezig is. Om de locatie van de besmetting preciezer vast te stellen wordt met de afneembare besmettingsdetector gemeten. Deze besmettingsdetector geeft één besmetting aan van 11500 dps op de bovenkant van de linkerschoen.



De medewerkster trekt haar schoen uit en doet deze in een plastic zak. De aanwezige stralingsbeschermingsdeskundige onderzoekt de schoen met behulp van gammaspectrometrie en ontdekt dat de besmetting bestaat uit ^{131}I .

Besmettingscontrole van de vloer van het radionuclidenlaboratorium en de gangen toont verder geen besmettingen aan.

De stralingsbeschermingsdeskundige ontdekt echter dat de hand-voet-kledingmonitor staat ingesteld op ^{32}P . De eerder genoteerde meetwaarden zijn daardoor dus geen correcte waarden voor ^{131}I .

Gegevens:

- De grootte van het besmette oppervlak wordt geschat op 10 cm^2
- De geschatte draagtijd van de besmette schoen is 5 uur
- **Bijlage blz. 7:** Detectierendement afneembare besmettingsdetector
- **Bijlage blz. 8:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 164, gegevens ^{131}I
- Gemiddeld huidoppervlak volwassen vrouw: $1,66 \text{ m}^2$
- De weefselweegfactor van de huid: $w_{\text{huid}} = 0,01$

Vraag 3.1 [3 punten]

Bereken de ^{131}I -activiteit (in Bq) van de besmetting.

Om een snelle inschatting van het risico te maken gaat de stralingsbeschermingsdeskundige er in eerste instantie van uit dat de besmetting als een huidbesmetting mag worden opgevat en dat de afscherming door de schoen dus kan worden verwaarloosd.

Vraag 3.2 [3 punten]

Bereken de equivalente huiddosis ter plaatse van de bestraalde huid onder deze aanname.

In werkelijkheid wordt de straling gedeeltelijk geabsorbeerd door de schoen. Om een betere schatting van de transmissie door de schoen te maken kan gebruik gemaakt worden van een "Diepte-dosis-curve voor I-131", die voor een specifieke situatie aangeeft hoe de dosisafgifte varieert als functie van de diepte in weefsel.

Aanvullende gegevens:

- Verondersteld mag worden dat het materiaal van de schoen eenzelfde mate van absorptie geeft als weefsel
- **Bijlage blz. 9:** Diepte-dosis-curve voor I-131
- De dikte van het materiaal van de schoen is 1 mm
- De besmetting bevindt zich op het oppervlak van de schoen

Vraag 3.3 [3 punten]

Bepaal de equivalente huiddosis ter plaatse van de bestraalde huid, rekening houdend met de afschermdende werking van de schoen.

Als u geen antwoord bij vraag 3.3 heeft gevonden mag u uitgaan van een equivalente huiddosis van 1,0 mSv.

Vraag 3.4 [4 punten]

Beargumenteer op basis van een berekening expliciet of u het risico op kansgebonden effecten ten gevolge van deze equivalente huiddosis verwaarloosbaar vindt of niet.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	3
3.2	3
3.3	3
3.4	4
Totaal	13

Vraagstuk 4: Transport van een ^{147}Nd -oplossing [16 punten]

In een radionuclidenlaboratorium wordt een oplossing van Neodymiumchloride (^{147}Nd -chloride) chemisch bewerkt om dit radionuclide geschikt te maken voor natuurkundig onderzoek. Na deze bewerkingen moet het flesje met de ^{147}Nd -oplossing gereed worden gemaakt voor transport naar een universiteit.

Gegevens:

- De activiteit van de oplossing bedraagt 100 GBq
- De oplossing is niet vluchtig
- **Bijlage blz. 10-11:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 188 en 189, gegevens van ^{147}Nd
- **Bijlage blz. 12:** Halveringsdikte van diverse afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling (uit de Karlsruher Nuklidkarte, 1998)
- Het getal van Avogadro: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Vraag 4.1 [3 punten]

Verifieer door middel van een berekening dat de specifieke activiteit van zuiver ^{147}Nd gelijk is aan $2,99 \cdot 10^{18} \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Het flesje met ^{147}Nd -chloride wordt in een loodpot geplaatst in het midden van een transportverpakking van het type A, bestaande uit een kubusvormige kartonnen doos.

Aanvullende gegevens:

- **Bijlage blz. 13:** Voorgeschreven etikettering ADR klasse 7
- De buitenafmetingen van de doos bedragen $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$
- Op de buitenkant van de doos bevindt zich een etiket III-geel
- De verzwakking van fotonen door het glazen flesje, het karton en het aanwezige vulmateriaal mag worden verwaarloosd
- Het vervoer vindt niet als 'verzending onder exclusief gebruik' plaats
- Het vervoer vindt binnen één dag na productie plaats
- Voor de opbouwfactor (build-up factor) B van de loodpot mag een waarde van $B = 2,0$ worden verondersteld
- U mag bij de beantwoording van vraag 4.2 uitgaan van de omgevingsdosisequivalenttempoconstante uit de bijlage

Vraag 4.2 [6 punten]

Bereken de minimaal benodigde wanddikte van de loodpot (afgerond op een halve cm) zodat voldaan wordt aan de twee transporteisen die gesteld worden aan het omgevingsdosisequivalenttempo rond het collo. Kies daarbij een fotonenenergie van ^{147}Nd voor bepaling van $d_{1/2}$ die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming aan de veilige kant is.

Vraag 4.3 [2 punten]

Beargumenteer waarom het gebruik van de omgevingsdosisequivalenttempoconstante uit het Handboek bij de beantwoording van vraag 4.2 niet juist is, maar wel aan de stralingshygiënisch veilige kant zit.

^{147}Nd vervalst naar ^{147}Pm (Promethium), dat zelf radioactief is, en gebruikt kan worden in lichtgevende verf.

Aanvullende gegevens

- **Bijlage blz. 14:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 190, gegevens van ^{147}Pm

Vraag 4.4 [2 punten]

Geef ten minste één reden waarom bij de berekening van de wanddikte van de loodpot in vraag 4.3 geen rekening hoeft te worden gehouden met het aanwezige ^{147}Pm .

Vraag 4.5 [3 punten]

Toon met behulp van een berekening aan dat de maximale activiteit ^{147}Pm die op enig moment in de oplossing aanwezig is, ongeveer 1 GBq is.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	3
4.2	6
4.3	2
4.4	2
4.5	3
Totaal	16