

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

NRG PALLAS
Technische Universiteit Delft
Rijksuniversiteit Groningen
Radboudumc

NRG PALLAS
TUD
RUG
RUMC

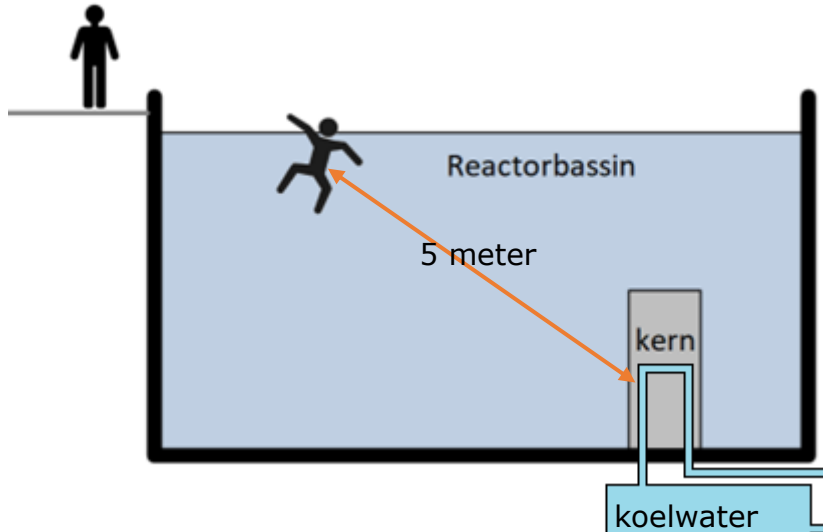
examendatum: 12 mei 2025
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 13 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 12 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: 18 punten Vraagstuk 2: 16 punten
 - Vraagstuk 3: 16 punten Vraagstuk 4: 15 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 – Vallen in het reactorbassin [18 punten]

Reactoroperators voeren werkzaamheden uit aan de rand van het open reactorbassin. Stel dat een operator uitglijdt, in het bassinwater valt en na 2 minuten door een collega uit het water wordt geholpen (zie **Figuur 1.1**). In dit vraagstuk rekent u aan de blootstelling van deze operator aan fotonen van stikstof-16 (^{16}N) en aan inwendige besmetting met tritium (^3H).



Figuur 1.1 – Vereenvoudigde weergave van een operator die in het bassin is gevallen.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 3:** Massieke verzwakkingscoëfficiënten voor fotonen in water ($\rho = 997 \text{ kg/m}^3$) en lucht ($\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$)
- **Bijlage blz. 4:** Experimenteel bepaalde opbouwfactoren in water (aangegeven met cirkels) en gegevens van ANSI/ANS-6.4.3 (doorgetrokken lijnen) voor verschillende waarden van μd (=mfp)
- **Bijlage blz. 5 en 6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), gegevens ^3H
- Mfp = mean free path = μd
- De belangrijkste fotonen die een bijdrage geven aan de omgevingsdosis zijn die van ^{16}N , met een energie van 6,1 MeV, voor dit vraagstuk mag uitgegaan worden van een energie van 6,0 MeV
- Het omgevingsdosisequivalenttempo als gevolg van fotonen op 1 m afstand van de onafgeschermd reactor kern: $\dot{H}^*(10) = 1 \text{ Sv/h}$
- Beschouw de kern als een puntbron
- De afstand van de reactor kern tot de operator is 5 meter
- Concentratie ^3H in het bassinwater: $1,5 \text{ GBq/m}^3$

De reactor wordt gekoeld met water en in water (H₂O) zit zuurstof-16. Als gevolg van een kernreactie waarbij snelle neutronen worden ingevangen door zuurstof-16 ontstaat er (veel) ¹⁶N. De halveringstijd van dit nuclide is met ongeveer 7 seconden kort, maar de fotonen die worden uitgezonden hebben een hoge energie en zijn goed meetbaar.

Het dosistempo veroorzaakt door ¹⁶N is een zeer betrouwbare graadmeter voor het vermogen van een reactor. De meeste ¹⁶N ontstaat in het primaire koelwater in de reactorkern en dit koelwater wordt weggeleid naar een vertragingstank beneden de reactorkern. Door deze vertraging krijgt het ¹⁶N tijd om te vervallen.

Vraag 1.1 [2 punten]

Geef de reactievergelijking waaruit ¹⁶N ontstaat.

Vraag 1.2 [6 punten]

Bereken het omgevingsdosisequivalent waaraan de operator wordt blootgesteld.

Nadat de operator in het bassinwater is gevallen, heeft hij zowel een inwendige als uitwendige tritiumbesmetting opgelopen. De inwendige besmetting wordt veroorzaakt door zowel het binnenkrijgen van een slok bassinwater (15 mL) als door tritiumopname via de huid. Ga er voor deze opgave vanuit dat de opname via de huid van tritium in water gelijk is aan de opname via de huid bij submersie in waterdamp: 0,6 Bq/h per Bq/m³.

Vraag 1.3 [5 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de operator.

Eén dag later wordt een urineanalyse gedaan. Als u geen antwoord heeft bij vraag 1.3, ga dan uit van een totale binnengekregen activiteit van 30 MBq.

Vraag 1.4 [3 punten]

Bereken de tritiumconcentratie (in Bq/mL) die u verwacht te meten in de urine.

Vraag 1.5 [2 punten]

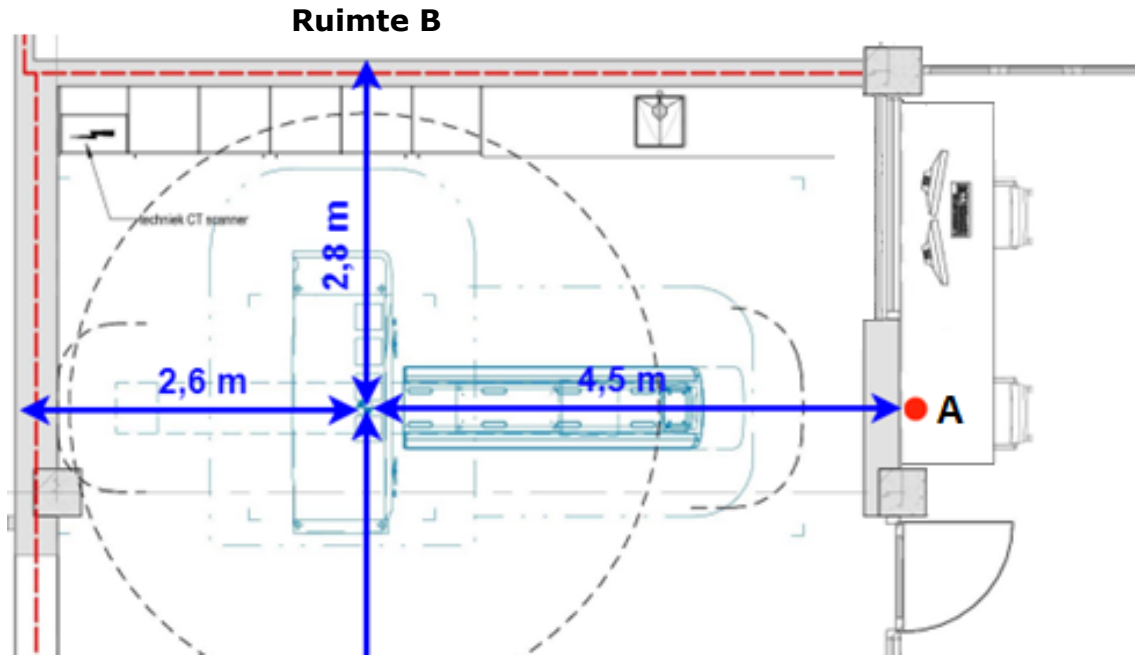
Beschrijf twee stappen die moeten worden uitgevoerd om de uitwendige tritiumbesmetting zo goed mogelijk te verwijderen.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	2
1.2	6
1.3	5
1.4	3
1.5	2
Totaal	18

Vraagstuk 2 - Afscherming CT-ruimte [16 punten]

Bij een afdeling Radiotherapie is een CT aangeschaft, waarmee de planning van de bestraling zal worden gedaan. Voordat deze CT wordt geplaatst, moet berekend worden of de aanwezige afscherming voldoende is.



Figuur 2.1 - Plattegrond van de CT-ruimte en de aangrenzende ruimtes.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 7:** Luchtkerma vrij-in-lucht in $\mu\text{Gy}/(\text{mA}\cdot\text{s})$ door strooi straling bij CT-scans met 140 kVp op verschillende afstanden van het isocentrum
- **Bijlage blz. 8:** Effectieve dosis per eenheid van luchtkerma
- **Bijlage blz. 9:** Transmissie van strooi straling van CT-scans door lood
- Workload:
 - 4000 scans per jaar
 - 2700 mA·s per scan
 - Bestralingsduur 5 s per scan
- Buisspanning: 140 kVp
- Gebruik voor de conversie van luchtkerma vrij in lucht naar effectieve dosis een fotonenergie van strooi straling van 100 keV
- Gebruik een verzwakkingscoëfficiënt μ in lood voor de strooi straling in deze situatie van 63 cm^{-1}

- In de vergunning staat: "De bediening van toestellen mag alleen geschieden op een plaats waar de effectieve dosis voor personen niet meer kan bedragen dan 1 millisievert per jaar."

Vraag 2.1 [6 punten]

Bereken de verwachte effectieve jaardosis voor iemand die werkt aan het bureau in punt A, zonder rekening te houden met de afschermdende werking van de muur.

Als u geen antwoord heeft op vraag 2.1; ga dan uit van 100 mSv per jaar.

Vraag 2.2 [2 punten]

Bereken het benodigde loodequivalent, afgerond in halve millimeters, om in punt A in de bedieningsruimte te voldoen aan de eis in de vergunning.

De berekende waarde van het loodequivalent wekt verbazing bij de afdeling Radiotherapie op, omdat standaard 2 mm loodequivalent wordt toegepast in de muren van een ruimte van een CT. Daarom krijgt u de vraag of er wel rekening is gehouden met de build-up.

Vraag 2.3 [3 punten]

Beargumenteer op basis van een berekening of in de curve van bijlage blz. 9 rekening is gehouden met de build-up.

Om na oplevering de afschermdende werking van de wand tussen de CT-ruimte en de bedieningsruimte (punt A) te controleren wil men metingen verrichten aan het omgevingsdosisequivalenttempo op de wand in de bedieningsruimte.

Ga uit van de bij vraag 2.2 bepaalde looddikte. Stel het omgevingsdosisequivalent gelijk aan de effectieve dosis.

Vraag 2.4 [3 punten]

Bereken het verwachte omgevingsdosisequivalenttempo tijdens een scan in punt A.

De muur naar ruimte B bevat al 2 mm loodequivalent. Om te laten zien dat de effectieve dosis achter deze muur onder 1 mSv/jaar blijft heeft de afdeling de volgende e-mail gestuurd:

Geachte stralingsbeschermingsdeskundige,

Naar onze mening is de aanwezige afscherming tussen de CT-ruimte en ruimte B voldoende voor de te plaatsen CT en het geplande aantal scans. We baseren dit op de volgende berekeningen, waarin we zijn uitgegaan van de kortste afstand tussen ruimte B en de CT-scanner:

- De luchtkerma vrij-in-lucht op 1,5 meter is 0,001 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$
- De transmissie van 2 mm lood is $1,2 \times 10^{-3}$
- Op 2,8 meter is de luchtkerma vrij-in-lucht:

$$2700 [\text{mAs}/\text{scan}] \times 0,001 [\mu\text{Gy}/\text{mAs}] \times \left(\frac{2,8 [\text{m}]}{1,5 [\text{m}]}\right)^2 \times 1,2 \times 10^{-3} = 0,006 \mu\text{Gy}/\text{scan}$$

- Aangenomen mag worden dat $K_{\text{lucht}} \cong D_{\text{weefsel}} \cong E$ dus $E = 0,006 \mu\text{Sv}/\text{scan}$

- Het maximaal toegestane aantal scans is dan:

$$\frac{1 \left[\frac{\text{mSv}}{\text{jaar}}\right]}{0,011 \times 10^{-3} \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{scan}}\right]} = 165 \times 10^3 \text{ scans}/\text{jaar}$$

De huidige muur levert dus ruimschoots voldoende afscherming voor het geplande aantal scans per jaar.

Vraag 2.5 [2 punten]

Noem twee onjuistheden in de e-mail en geef aan waarom die onjuist zijn.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	6
2.2	2
2.3	3
2.4	3
2.5	2
Totaal	16

Vraagstuk 3 - Besmetting met ^{225}Ac [16 punten]

In een isotopenlaboratorium op de afdeling Nucleaire Geneeskunde van een ziekenhuis vindt een labeling plaats met 2,8 MBq ^{225}Ac (actinium)-dotataat. De labeling begint om 12.15 uur en duurt drie kwartier. De onderzoekster neemt het gelabelde product in een loodpot mee naar een ander laboratorium en plaatst de loodpot daar in een omkleedsluis. Ze verzuimt een besmettingscontrole op haar handen uit te voeren. Zij gaat vervolgens lunchen en keert na de lunch terug om een kwaliteitscontrole uit te voeren met de gelabelde verbinding. Om 14.10 uur rondt zij haar werkzaamheden af. Bij het verlaten van het laboratorium controleert zij haar handen op de hand-voet-monitor, waarbij een besmetting van de rechterhand wordt geconstateerd. Na het wassen van de hand is deze niet meer besmet.

Als stralingsbeschermingsdeskundige onderzoekt u de mogelijke gevolgen van deze besmetting.

Gegevens:

- De $e(50)_{\text{inh,werkers}}$ van ^{225}Ac -dotataat bedraagt $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sv Bq}^{-1}$
- De $e(50)_{\text{ing,werkers}}$ van ^{225}Ac -dotataat bedraagt $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1}$
- ^{225}Ac -dotataat is een niet-vluchtige verbinding die alfastraling uitzendt
- Voor het bepalen van de huiddosis speelt alfastraling geen rol
- **Bijlage blz. 10:** p-, q- en r-waarden uit de bijlage radionuclidenlaboratoria
- **Bijlage blz. 11:** Vereenvoudigd overzicht van de halveringstijden, energie E (in MeV) en emissiewaarschijnlijkheid (yield) van de meest relevante β - en γ -overgangen in het verval van ^{225}Ac en haar dochters

Vraag 3.1a [4 punten]

Bepaal de waarden van de laboratorium- en ventilatieparameters q en r, waaraan het laboratorium ten minste moet voldoen om de labeling toe te staan.

Vraag 3.1b [2 punten]

Bereken de bijdrage van de labeling aan de belastingsfactor van dit laboratorium.

Aanvullende gegevens:

- De hand-voet-monitor liet een netto teltempo van 48 telpulsen per seconde (tps) zien
- Voor de beantwoording van vraag 3.2 mag worden verondersteld dat ^{225}Ac in evenwicht is met haar dochters én dat tussen het moment van besmetting en meting geen activiteit van de handen is verdwenen
- Het telrendement van de hand-voet-monitor: 0,19 tps per Bq ^{225}Ac , dat in evenwicht is met haar dochters
- Vuistregel voor de berekening van het geabsorbeerde huiddosistempo ter plaatse van besmette huid voor een zuivere β -emitter ($\gamma = 1$):
 $\dot{D}_{\text{huid}} = 2 \text{ mGy h}^{-1} \text{ kBq}^{-1} \text{ cm}^2$

Vraag 3.2 [5 punten]

Maak aannames van de omvang van de besmetting van de huid (in cm^2) en de duur van de besmetting en bereken met behulp van de vuistregel de te verwachten geabsorbeerde huiddosis ter plaatse van de besmette huid.

Als onderdeel van het onderzoek naar de toedracht van de besmetting beschouwt u het volgende ongunstige scenario: de gemeten besmetting is het restant van een grotere besmetting, die de betrokken medewerker grotendeels door ingestie tijdens de lunch heeft binnengekregen.

Aanvullende gegevens:

- U veronderstelt dat 90% van de besmetting tijdens de lunch via ingestie is binnengekomen
- Wanneer u geen besmetting heeft kunnen uitrekenen, mag u uitgaan van een huidbesmetting van 250 Bq
- Als u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven mag u uitgaan van 0,2 mGy

Vraag 3.3 [3 punten]

Bereken voor het bovenstaande ongunstige scenario de effectieve volg dosis voor de betrokken werknemer ten gevolge van ingestie van ^{225}Ac .

Vraag 3.4 [2 punten]

Geef op basis van uw antwoord bij vraag 3.2 een schatting van de te verwachten geabsorbeerde huiddosis ter plaatse van de besmette huid in dit ongunstige scenario.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1a	4
3.1b	2
3.2	5
3.3	3
3.4	2
Totaal	16

Vraagstuk 4 - Fytoremediatie door zonnebloemen in Fukushima [15 punten]

Tijdens de kernramp in Fukushima in 2011 zijn radioactieve stoffen vrijgekomen. Een groot deel van de radionucliden is terechtgekomen in de grond rondom de kernreactoren. Om de langlevende radionucliden uit de grond te halen bestond het idee om fytoremediatie toe te passen.



Fytoremediatie omvat een reeks technieken die gebruik maakt van planten en bijbehorende micro-organismen om verontreiniging in bodem, (grond)water en sediment te verwijderen. Hierbij zou in Fukushima gebruik gemaakt kunnen worden van zonnebloemen.

In dit vraagstuk zal de focus worden gelegd op het onttrekken van strontium-90 (^{90}Sr) uit de grond bij Fukushima door zonnebloemen.

Kort na de kernramp zijn bodemmonsters afgenomen van een veld dicht bij de kernreactoren.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 12:** Handboek Radionucliden A.S. Keverling Buisman, derde druk, gegevens ^{90}Sr
- Het getal van Avogadro: $N_{\text{Avogadro}} = 6,02 \cdot 10^{23}$ per mol
- De monsters zijn representatief voor het gehele veld tot een diepte van 2 m. Op grotere diepte dan 2 meter bevindt zich geen ^{90}Sr
- De bodem van dit veld heeft een dichtheid van $1,8 \text{ g/cm}^3$
- In de bodem is het ^{90}Sr homogeen verspreid tot een diepte van 2 m met een activiteitsconcentratie van $10,1 \text{ Bq/kg}$
- Verwaarloos de activiteitsafname door radioactief verval van ^{90}Sr tussen het moment van neerdalen en monstermeting

Vraag 4.1 [4 punten]

Bereken hoeveel gram ^{90}Sr per vierkante meter is neergedaald op het veld.

De Japan Atomic Energy Agency heeft kort na de kernramp zonnebloemen geplant. Deze zonnebloemen onttrekken ^{90}Sr uit de grond (fytoremediatie).

Om een indruk te krijgen van het rendement van de fytoremediatie wordt een meting uitgevoerd op de reeds geoogste zonnebloemen. Tijdens de meting wordt 500 gram pulp van de geoogste zonnebloemen gemeten (zie tabel 4.1). Dit monster is representatief voor de gehele oogst.

Aanvullende gegevens:

- De massa van een gemiddelde zonnebloem is 1,1 kg
- De gemeten monsters bevatten elk 500 gram pulp zonnebloem
- Per vierkante meter staan er gemiddeld 36 zonnebloemen
- Het totale telrendement van de meting van ^{90}Sr is 0,02 cps/Bq
- Als u vraag 4.1 niet beantwoord hebt mag u uitgaan van 40 kBq/m²

	Zonnebloemmeting (500 gram)	Achtergrondmeting
Teltempo (cpm)	137 cpm	28 cpm
Tijdsduur meting (min)	1,5 min	15 min

Tabel 4.1 – Meetwaarden van een geoogste zonnebloem.

Vraag 4.2 [6 punten]

Bereken de activiteit ^{90}Sr per zonnebloem en het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval.

Vraag 4.3 [2 punten]

Bereken het percentage van de activiteit die aan de grond wordt onttrokken.

Aanvullende gegevens:

- De geoogste bloemen worden in polyvinylchloride (PVC) bakken opgeslagen.
- Wanddikte PVC transportbak: 9 mm
- De dichtheid van PVC is 1,4 g/cm³

Vraag 4.4 [3 punten]

Toon aan dat de wanddikte van de PVC-bak voldoende is om alle uitgezonden bètadeeltjes tegen te houden.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	4
4.2	6
4.3	2
4.4	3
Totaal	15