

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

NRG PALLAS
Technische Universiteit Delft
Rijksuniversiteit Groningen
Radboudumc

NRG PALLAS
TUD
RUG
RUMC

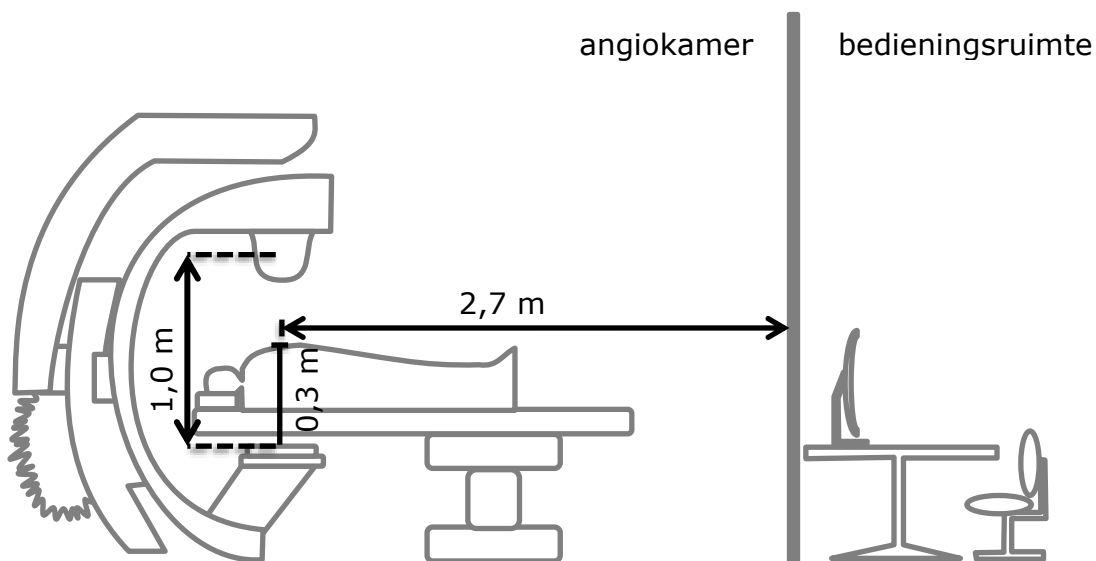
examendatum: 11 mei 2026
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 14 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 9 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 62 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 15 punten Vraagstuk 2: 16 punten
 - Vraagstuk 3: 15 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 34,10 punten.

Vraagstuk 1 - Oplevering angiokamer [15 punten]

In een ziekenhuis wordt een nieuwe röntgenkamer (voor angiografie) opgeleverd. Een stralingsbeschermingsdeskundige berekent de benodigde looddikte voor de wanden en controleert na oplevering of de kamer voldoet aan de afschermingseisen en in gebruik genomen mag worden.



Figuur 1.1. Schematisch zijaanzicht van de angiokamer en de bedieningsruimte. Let op, hierbij is de verstrooiingshoek niet weergegeven.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 3:** Kermatempoconstante in lucht van röntgenstraling met afscherming door lood (uit ICRP-33). Deze bijlage mag in deze opgave ook van toepassing worden geacht op strooistraling
- **Bijlage blz. 4:** Verstrooiingsfracties bij verschillende verstrooiingshoeken, buisspanning en veldgrootte, op 1 meter afstand van het intreevlak van de patiënt
- De buisspanning van het gebruikte röntgentoestel bedraagt bij alle patiëntonderzoeken 75 kV
- Bij een buisspanning van 75 kV mag voor de ratio van de persoonsdosisequivalent $H_p(0,07)$ en luchtkerma vrij in lucht een waarde van $H_p(0,07)/K_{\text{lucht}} = 1,1 \text{ Sv/Gy}$ gebruikt worden

- Bij een buisspanning van 75 kV mag voor de ratio van de omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ en luchtkerma vrij in lucht een waarde van $H^*(10)/K_{\text{lucht}} = 1,4 \text{ Sv/Gy}$ gebruikt worden
- Lekstraling vanuit het toestel wordt in deze opgave verwaarloosd
- Neem aan dat er geen absorptie van de verstrooide straling in de patiënt zelf plaatsvindt
- De Workload (W) bedraagt gemiddeld per patiënt: 64 mA·min
- Er worden 1400 patiënten per jaar onderzocht
- De gemiddelde focus-detectorafstand bedraagt 1 meter
- De gemiddelde afstand van het intreevlak van de patiënt tot de detector bedraagt 0,3 m (gemiddelde dikte patiënt plus dikte tafel)
- De gemiddelde veldgrootte is 25 cm x 25 cm
- De afstand intreevlak (patiënt) – bedieningsruimte: 2,7 meter
- Ga uit van een verstrooiingshoek van 120 graden
- De afscherming naar de bedieningsruimte bedraagt 1 mm lood
- De door het ziekenhuis zelf gehanteerde beperking voor het omgevingsdosisequivalent $H^*(10)$ in de bedieningsruimte bedraagt 0,3 mSv/jaar

Vraag 1.1 [4 punten]

Laat zien dat het persoonsdosisequivalent $H_p(0,07)$ van een patiënt ter plaatse van het intreevlak bij een gemiddelde procedure ongeveer gelijk is aan 0,9 Sv.

Vraag 1.2 [2 punten]

Beargumenteer of het waarschijnlijk is dat er patiënten zijn waarbij roodheid/erytheem van de huid ontstaat als gevolg van dit onderzoek.

Vraag 1.3 [6 punten]

Toon met een berekening aan dat een afscherming van 1 mm lood in de richting van de bedieningsruimte voldoende is om te voldoen aan de interne dosisbeperking van het ziekenhuis.

Voordat de kamer in gebruik wordt genomen controleert de stralings- beschermingsdeskundige of de afscherming van de muur voldoet en er geen stralingslek is. Hiervoor straalt hij met een daarvoor geschikt röntgentoestel direct op de muur van de bedieningsruimte en meet hij het omgevingsdosisequivalenttempo achter de muur. In het kader van de risico- inventarisatie beschouwt hij een voorziene onbedoelde gebeurtenis waarbij hij deze handeling staande tegen de muur in de bedieningsruimte uitvoert, en de muur helemaal geen afschermende werking blijkt te hebben.

Vraag 1.4 [3 punten]

Noem drie maatregelen die je kunt nemen om de stralingsveiligheid te waarborgen tijdens deze controle.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	4
1.2	2
1.3	6
1.4	3
Totaal	15

Vraagstuk 2 - RIVM waarschuwt voor quantumhanger [16 punten]

Verkopers van producten met 'negatieve ionen' beweren dat quantumhangers en armbanden de gezondheid verbeteren en bescherming bieden tegen schadelijke elektromagnetische velden (EMV) en 5G. Uit onderzoek blijkt bovendien dat sommige van deze producten radioactieve stoffen bevatten, waardoor de drager wordt blootgesteld aan ioniserende straling. Het RIVM heeft hierover een artikel geschreven om consumenten voor de risico's te waarschuwen¹.

Een bekende van u heeft het bericht van het RIVM gelezen en wil graag weten of de quantumhanger gevaarlijk is. U heeft een gammaspectrum gemeten van de hanger. Bij deze meting werden verschillende nucliden uit de thoriumvervalreeks geïdentificeerd, waaronder ²²⁸Ac (actinium-228). U wilt de resultaten van de meting vergelijken met een ²³²Th (thorium-232) referentiebron van gelijke geometrie om een risicoschatting te maken.

Gegevens:

- Het gewicht van de quantumhanger is 19,06 gram
- De ²³²Th referentiebron (uit 1989) bestaat uit: 0,8183 gram thoriumpentahydraat (²³²Th(NO₃)₄•5H₂O)
- De molmassa van thoriumpentahydraat is 570 gram•mol⁻¹
- Het getal van Avogadro is 6,022 10²³ mol⁻¹
- Het thorium (²³²Th) in zowel de referentiebron als de quantumhanger is met alle dochters in seculair evenwicht
- **Bijlage blz. 5-6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), p. 232 & 233, gegevens ²³²Th
- **Tabel 2.1** – meetresultaten referentiebron thoriumpentahydraat
- **Tabel 2.2** – meetresultaten quantumhanger
- Het fotopiekrendement is hier gedefinieerd als het aantal counts in de fotopiek gedeeld door het aantal fotonen van de betreffende energie dat gedurende de meettijd door de bron wordt uitgezonden

¹ P.N. Brandhoff, Radioactiviteitsmetingen aan 'negatieve-ionen'-consumentenproducten, RIVM-rapport 2021-0239 (2021)

thorumpentahydraat nuclide ^{228}Ac		meetgegevens	
fotonenergie [keV]	yield [foton/desintegratie]	achtergrond counts in fotopiek teltijd: 1 uur	bruto counts in fotopiek teltijd: 1 uur
338	0,113	320	43669
463	0,044	238	11102
911	0,258	175	38589
969	0,158	68	22149

Tabel 2.1 – meetresultaten fotopieken referentiebron thorumpentahydraat

quantumhanger nuclide ^{228}Ac		meetgegevens
fotonenergie [keV]	yield [foton/desintegratie]	bruto counts in fotopiek teltijd: 1 uur
338	0,113	2318
463	0,044	770
911	0,258	1878
969	0,158	1095

Tabel 2.2 – meetresultaten fotopieken quantumhanger

Vraag 2.1 [4 punten]

Bereken de ^{232}Th activiteit van de gebruikte referentiebron.

Als u het antwoord op vraag 2.1 schuldig bent gebleven, mag u uitgaan van 2 kBq.

Vraag 2.2 [4 punten]

Kies één geschikte fotonenergie uit Tabel 2.1 en bereken hiermee het fotopiekrendement van de gebruikte meetopstelling voor ^{228}Ac in counts per uitgezonden foton. Beargumenteer kort uw keuze voor deze fotonenergie.

Aanvullende gegevens:

- In het vervolg van dit vraagstuk mag de fout in het fotopiekrendement verwaarloosd worden
- **Bijlage blz. 7:** Onderdelen uit bijlage 3 van de Regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

Vraag 2.3 [5 punten]

Bereken de ^{232}Th activiteit van de quantumhanger en de onzekerheid hierin voor het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Ga er bij de volgende opgave gemakshalve van uit dat er een gerechtvaardigde toepassing bestaat voor het gebruik van de quantumhanger, en dat hiervoor de vrijstellingswaarden uit Bijlage blz. 7 gebruikt mogen worden.

Vraag 2.4 [3 punten]

Is het voorhanden hebben en gebruiken van de quantumhanger in dat geval vrijgesteld of valt deze onder het controlestelsel van het Bbs?

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	4
2.2	4
2.3	5
2.4	3
Totaal	16

Vraagstuk 3 - Radonkur**[15 punten]**

"Bad Kreuznach – Of het nu patiënten met Bechterew zijn, met astma of met psoriasis: alleen al in Duitsland onderwerpen zich jaarlijks duizenden aan een radonkuur. Bijvoorbeeld in Bad Kreuznach..."



Bovenstaande tekst werd in januari 2013 in 'ÄrzteZeitung' gepubliceerd ter gelegenheid van het honderdjarig bestaan van radonkuren in Bad Kreuznach. Personen die een radonkuur ondergaan, verblijven daarbij in een oude mijngang met een hoge radonconcentratie. U wilt onderzoek doen naar de stralingshygiënische consequenties van dergelijke radonkuren.

De stralingsbelasting ten gevolge van radon wordt veroorzaakt doordat een fractie van de dochters van radon zich aan aerosolen hecht die vervolgens na inademing in de longen achterblijft. Deze fractie is sterk afhankelijk van de ventilatie en dus van de locatie (binnenshuis of buitenshuis). Hierdoor is de dosisconversiecoëfficiënt van radon (in $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{m}^3$) afhankelijk van die locatie.

Gegevens

- **Tabel 3.1:** Gemiddelde luchtconcentratie en dosisconversiecoëfficiënten van radonisotopen voor locaties binnenshuis en buitenshuis in Nederland²
- Relevante onderdelen uit het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs)
 - Artikel 7.38 lid 1: *Het referentieniveau voor het jaargemiddelde van radonconcentratie in de lucht op werkplekken bedraagt 100 becquerel/m³*
 - Definitie radon (volgens bijlage 1 van het Bbs): *het isotoop Rn-222 en de dochternucliden van radon, waar passend*

Nuclide	Locatie	Gemiddelde luchtconcentratie (Bq·m ⁻³)	DCC (nSv·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹ ·m ³)
²²⁰ Rn	binnenshuis	0,64	40
	buitenshuis	0	-
²²² Rn	binnenshuis	15,6	3,6
	buitenshuis	3	6,3

Tabel 3.1: Gemiddelde luchtconcentratie en dosisconversiecoëfficiënten (DCC) voor de inhalatie van radonisotopen ²²⁰Rn (thoron) en ²²²Rn (radon) voor locaties binnenshuis en buitenshuis in Nederland. De DCC-waarden bevatten de bijdrages van alle relevante dochternucliden die worden ingeademd.

Vraag 3.1 [2 punten]

Wordt op de gemiddelde werkplek (binnenshuis) in Nederland het referentieniveau voor de radonconcentratie uit het Bbs overschreden? Beargumenteer uw antwoord.

Vraag 3.2 [3 punten]

Bereken de procentuele bijdrage van ²²⁰Rn aan de totale effectieve volg dosis per jaar door inhalatie van radonisotopen (inclusief dochters) binnenshuis in Nederland.

² Gebaseerd op Smetsers & Bekhuis, Blootstelling aan natuurlijke bronnen van ioniserende straling in Nederland, RIVM-rapport 2021-0032 (2021)

Aanvullende gegevens

- Neem aan dat de DCC-waarden voor locaties binnenshuis uit Tabel 1 op alle werk- en woonlocaties in Bad Kreuznach (D) kunnen worden toegepast
- Personen die een radonkuur ondergaan worden in Duitsland als patiënten beschouwd en mogen dit alleen doen met een verwijzing van een 'badarts'
- De radonconcentratie (^{222}Rn) in de mijngang bedraagt $37 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$
- Een kuur bestaat uit twaalf sessies van elk één uur
- Personeel dat in de instelling werkt, verblijft ten hoogste $100 \text{ h}\cdot\text{j}^{-1}$ in de mijngang waar de radonkuur plaatsvindt

Vraag 3.3 [3 punten]

Bereken de effectieve volg dosis door inhalatie van ^{222}Rn (inclusief dochters) in de mijngang voor zowel patiënten die een radonkuur ondergaan als voor personeel dat in de instelling werkt gedurende het jaar.

U beschouwt de blootstelling van patiënten en personeel als een 'geplande blootstellingssituatie' en veronderstelt dat de bijdrage van ^{220}Rn (inclusief dochters) aan de effectieve volg dosis ten gevolge van de inhalatie van radonisotopen in de mijngang maximaal 30% is. De relevante dosislimieten in Duitsland zijn identiek aan die in Nederland.

Vraag 3.4 [3 punten]

Geef voor zowel patiënten als personeel aan of een limiet voor de effectieve jaardosis wordt overschreden.

U veronderstelt dat de radonconcentratie in de mijngang een evenwichtssituatie is, waarbij er net zoveel ^{222}Rn uit de wanden van de mijngang vrijkomt als er door radioactief verval verdwijnt – er is dus geen ventilatie. U overweegt ventilatie in de mijngang aan te brengen om – als dat nodig is – de evenwichtsconcentratie op of onder het in Nederland geldende referentieniveau te brengen.

Aanvullende gegevens

- In een evenwichtssituatie geldt in de mijngang $C_{evenwicht} = \frac{\dot{P}}{\lambda_{eff}}$,
 waarbij:
 $C_{evenwicht}$ de concentratie ^{222}Rn ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) in evenwicht is
 \dot{P} het productietempo van ^{222}Rn ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$)
 λ_{eff} de effectieve verwijderingsconstante (s^{-1})
- De vervalconstante van ^{222}Rn is $\lambda = 2,10 \cdot 10^{-6}$ (s^{-1})
- De radonconcentratie in de buitenlucht mag verwaarloosd worden

Vraag 3.5 [4 punten]

Hoe groot moet het ventilatievoud $\lambda_{ventilatie}$ (in h^{-1}) ten minste zijn om ervoor te zorgen dat de radonconcentratie aan het referentieniveau kan voldoen?

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	2
3.2	3
3.3	3
3.4	3
3.5	4
Totaal	15

Vraagstuk 4 – Radiografie-incident met ^{192}Ir [16 punten]

Radioactieve bronnen worden veelvuldig gebruikt om lasnaden van pijpleidingen te controleren. Hierbij wordt een röntgenfilm tegen een lasnaad geplaatst, waarna alle aanwezigen op ruime afstand en bij voorkeur achter een muur gaan staan. Vervolgens wordt een radioactieve bron via een geleideslang aan de andere kant van de lasnaad gebracht om de röntgenfilm te belichten. Na de belichting wordt de bron teruggetrokken in de bronhouder.



Figuur 4.1 De gebruikte bronhouder met geleideslang

Drie werknemers waren op 11 januari 2012 lasnaden aan het controleren met een iridium-192 (^{192}Ir) bron en maakten gedurende 2,5 uur in het totaal 97 opnames. Nadat deze klus klaar was constateerde een van de werknemers tijdens een visuele inspectie dat de bron na de laatste opname niet in de afscherming was teruggekeerd, maar was blijven steken in de geleideslang. Na ongeveer 3 uur begonnen de drie werknemers symptomen van stralingsziekte te vertonen, waaronder duizeligheid, vermoeidheid en braken.

De werknemer die de röntgenfilms aanbracht was ongeveer 2 uur vlakbij de geleideslang. De afstand tussen hem en de bron varieerde hierbij van 20 cm tot 1 meter. Hij was de enige werknemer die een filmbadge droeg. Deze gaf na het incident 7 Gy aan. Op grond van de symptomen en de analyse van bloed- en weefselmonsters werd de geabsorbeerde totale lichaamsdosis geschat op 4 Gy. De andere twee werknemers werden naar schatting blootgesteld aan een geabsorbeerde dosis van 1 Gy.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 8:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 214, gegevens ¹⁹²Ir (iridium-192)
- De bron had op de kalibratiedatum, 23 december 2011, een activiteit van 4366 GBq
- Het iridium is ingekapseld in een roestvrijstalen omhulling
- De resulterende bronconstante (h) van het ingekapselde iridium (inclusief omhulling) is 0,067 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ per MBq op 1 meter
- Ga ervan uit dat de geabsorbeerde dosis overal in het lichaam gelijk is

Vraag 4.1a (2 punten)

Bepaal de transmissie door de roestvrijstalen omhulling van de bron.

Vraag 4.1b (2 punten)

Bereken de activiteit van de bron op het moment van het incident.

U veronderstelt gemakshalve dat de afstand tussen de bron en het lichaam van de werknemer gedurende de werkzaamheden gelijk bleef.

Vraag 4.2 (4 punten)

Bereken de afstand die in dat geval in 2 uur geleid kan hebben tot een geabsorbeerde dosis van 4 Gy ter plaatse van het lichaam.

Vraag 4.3 (2 punten)

Geef een mogelijke reden waarom de door de persoonsdosismeter geregistreerde waarde groter is dan de geschatte geabsorbeerde dosis van 4 Gy.

De bronhouder fungeert tevens als een type-A transportcollo en is voorzien van een etiket GEEL-II. De afmetingen van de bronhouder zijn 36 cm × 14 cm × 14 cm. De puntbron bevindt zich exact in het midden van de bronhouder. Intern bevat de bronhouder een afscherming van verarmd uranium. Het totaalgewicht is 24 kg.

Aanvullende gegevens:

- **Bijlage blz. 9:** Afschermingsgegevens voor verarmd uranium
- Voor de beantwoording van de volgende vraag mag gebruik gemaakt worden van de gegevens voor een fotonen-energie van 0,5 MeV uit deze bijlage
- Voor transportcolli voorzien van een etiket type GEEL-II gelden de volgende eisen voor het dosistempo:
 - < 0,5 mSv/h op oppervlak
 - < 0,01 mSv/h op 1 meter van oppervlak.

Vraag 4.4 (6 punten)

Bereken de benodigde uraniumdikte (in hele mm's) voor de zijde met de kortste afstand tot de bron om op de kalibratiedatum te voldoen aan de transporteisen. Aanwijzing: start in uw berekening met een geschatte Build-upfactor van 2, en verifieer of deze waarde een goede schatting is.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1a	2
4.1b	2
4.2	4
4.3	2
4.4	6
Totaal	16