

## 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 december 2024

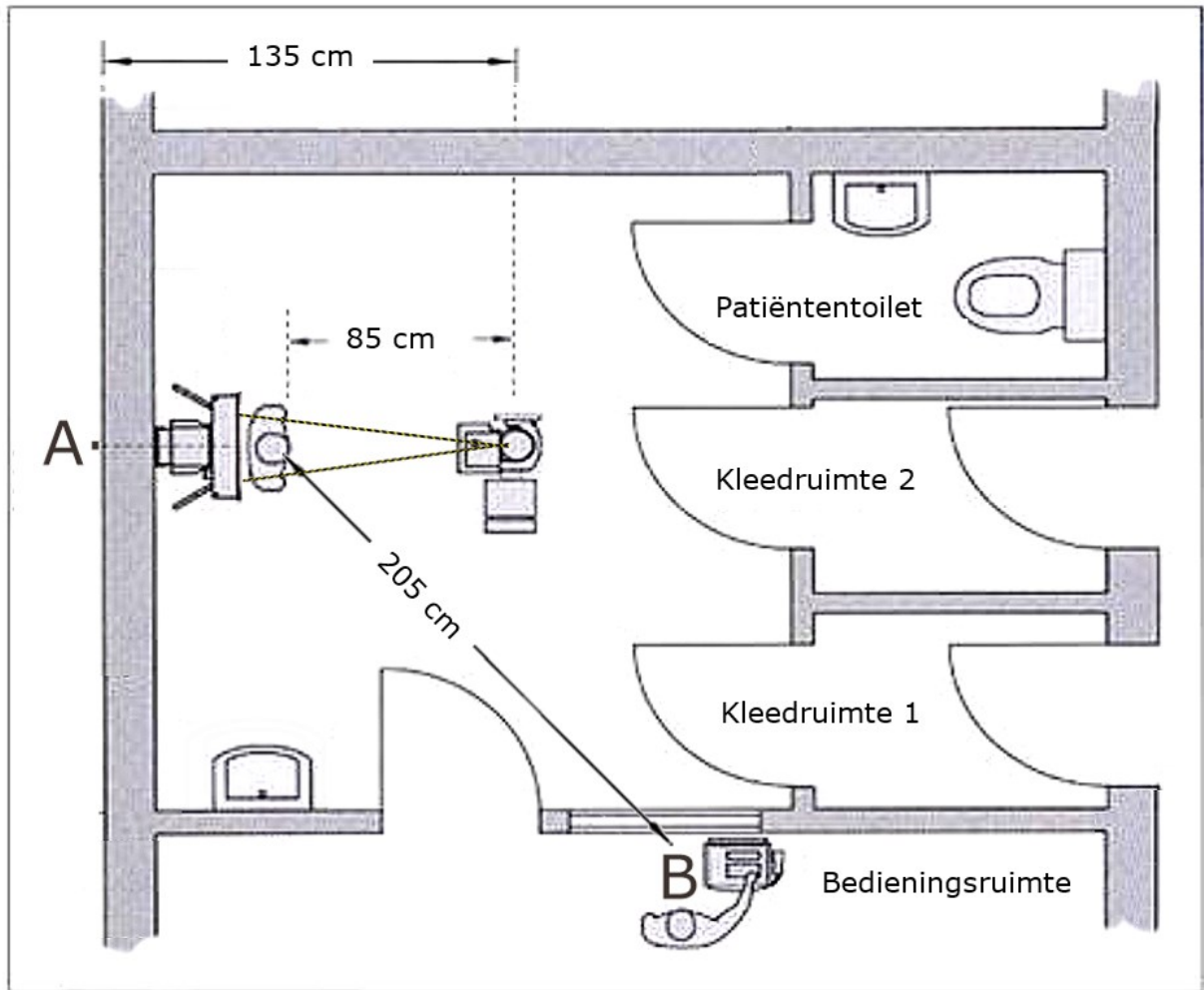
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

<b>Instructie:</b>
--------------------

- ❑ **Dit examen omvat 12 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 **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.
- ❑ In totaal kunt u 66 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
  - Vraagstuk 1: 15 punten    Vraagstuk 2: 18 punten
  - Vraagstuk 3: 18 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 36,5 punten.

## Vraagstuk 1: Afscherming van een röntgentoestel [15 punten]

In een onderzoekskamer van een afdeling radiologie in een ziekenhuis wordt een röntgensysteem geïnstalleerd. Het systeem gaat gebruikt worden voor het maken van thoraxopnamen (röntgenfoto van de borstkas). Het toestel wordt bediend vanuit de bedieningsruimte (punt B) achter het raam.



**Figuur 1:** Plattegrond van de röntgenkamer

In de ANVS-Verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming staat, vrij vertaald:

- De effectieve dosis voor personen buiten de ruimte ten gevolge van handelingen met toestellen mag niet meer bedragen dan 1 millisievert per jaar.
- De bediening van toestellen mag alleen geschieden op een plaats waar de effectieve dosis voor personen op de plaats van bediening niet meer kan bedragen dan 1 millisievert per jaar.

**Gegevens:**

- **Bijlage blz. 3:** Transmissie van röntgenstraling door lood als functie van de looddikte
- Er worden 100 opnamen per week gemaakt
- Gebruikte buisspanning: 125 kVp
- Luchtkerma vrij-in-lucht op 85 cm afstand van het focus: 0,2 mGy per opname
- Oppervlak van de bestraalde huid:  $30 \times 40 \text{ cm}^2$
- Totale transmissie door lucht, patiënt, detector en wand richting punt A voor 125-kVp-röntgenstraling: 0,5%
- Conversiefactor  $E/K_{\text{lucht}}$  voor 125-kVp-röntgenstraling: 1,3 Sv/Gy

**Vraag 1.1 [4 punten]**

Bereken de luchtkerma vrij-in-lucht in punt A in mGy per jaar.

**Vraag 1.2 [3 punten]**

Welke dikte aan lood (in halve mm) moet worden geplaatst om in punt A te voldoen aan de ANVS-verordening?

Om de noodzaak voor extra afscherming in de richting van punt B te bepalen voert u eerst een berekening uit waarbij u ervan uitgaat dat de afschermdende werking van het raam bij punt B verwaarloosbaar is.

**Aanvullende gegevens:**

- **Bijlage blz. 4:** Verstrooiingspercentages van loodrecht op beton invallende röntgen- en gammastraling. Deze figuur mag ook gebruikt worden voor verstrooiing aan de patiënt
- Neem aan dat de eigenschappen van de verstrooide straling vergelijkbaar zijn met die van 100-kVp-röntgenstraling
- Conversiefactor  $E/K_{\text{lucht}}$  voor de verstrooide röntgenstraling: 1,4 Sv/Gy
- De verstrooiingshoek naar punt B bedraagt  $135^\circ$

**Vraag 1.3 [6 punten]**

Bereken de effectieve jaardosis in punt B en geef aan of aanvullende afschermdende maatregelen nodig zijn.

**Vraag 1.4 [2 punten]**

Beargumenteer of het nodig is om de deur van het patiëntentoilet met lood te bekleden.

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 1</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
1.1	4
1.2	3
1.3	6
1.4	2
<b><i>Totaal</i></b>	<b><i>15</i></b>

## Vraagstuk 2: Biomedisch onderzoek met $^{14}\text{C}$ [18 punten]

Een biomedisch onderzoeksinstituut treft voorbereidingen voor een onderzoek waarbij gezonde proefpersonen eenmalig een met koolstof-14 ( $^{14}\text{C}$ ) gelabeld geneesmiddel oraal toegediend krijgen. Ten behoeve van de beoordeling door een medisch ethische toetsingscommissie is het nodig een schatting van de effectieve volg dosis voor deze proefpersonen te maken.

### Gegevens:

- Een proefpersoon krijgt 2,0 MBq  $^{14}\text{C}$  toegediend
- **Bijlage blz. 5-6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2015), blz. 24 en 25:  $^{14}\text{C}$

### Vraag 2.1 [2 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de proefpersoon met behulp van bovenstaande gegevens.

Uit proefdieronderzoek zijn enkele gegevens bekend over het metabole gedrag van het medicijn. De biologische halveringstijd van het medicijn in alle organen van het lichaam bedraagt 40 uur. Dit wijkt sterk af van de biologische halveringstijd van  $^{14}\text{C}$  uit het metabole model van ICRP-30 dat ten grondslag ligt aan de gegevens in het Handboek Radionucliden.

### Vraag 2.2 [2 punten]

Beargumenteer dat de effectieve volg dosis op basis van deze afwijkende biologische halveringstijd in dit geval geschat kan worden met de verhouding van de biologische halveringstijden.

### Aanvullende gegevens:

- 100% van de activiteit wordt na ingestie direct in het bloed opgenomen en zonder vertraging verdeeld over de lever (10%) en over de rest van het lichaam (90%)
- De massa van de lever van de referentiemens bedraagt 1800 g
- De weefselweegfactor voor de lever is  $w_T = 0,04$

### Vraag 2.3a [3 punten]

Bereken het aantal desintegraties  $U_S$  in de lever.

**Vraag 2.3b [3 punten]**

Toon aan dat de specifieke effectieve energie SEE(liever ← lever) in dit geval gelijk is aan  $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1}$  per desintegratie.

Als u het aantal desintegraties in vraag 2.3a niet heeft kunnen berekenen mag u uitgaan van  $5 \cdot 10^{10}$  desintegraties in de lever.

**Vraag 2.3c [4 punten]**

Bereken de bijdrage van de equivalente orgaandosis van de lever aan de effectieve volgdosis  $E_{50}$ .

Uit het proefdieronderzoek is ook naar voren gekomen dat uiteindelijk 70% van de ingenomen activiteit via de fecaliën wordt uitgescheiden. Dat betekent dat dit deel van de activiteit – ondanks het feit dat alle activiteit in het bloed wordt opgenomen – uiteindelijk toch het maag-darmkanaal passeert. De hierdoor veroorzaakte blootstelling van het maag-darmkanaal levert een bijdrage aan de effectieve volgdosis.

**Aanvullende gegevens:**

- Als vuistregel voor de effectieve volgdosis ten gevolge van de bestraling van de compartimenten van het maag-darmkanaal door  $^{14}\text{C}$  aanwezig in de inhoud van het maag-darmkanaal mag worden gebruikt  $E_{50} = 0,2 \text{ mSv per MBq die het maag-darmkanaal passeert}^1$
- Bovenstaande vuistregel is gebaseerd op ICRP-30, waarin voor de Specific Absorbed Fraction (SAF) voor  $\beta$ -deeltjes geldt:  
 $\text{SAF (wand} \leftarrow \text{inhoud)} = 0,5 \times \text{AF(inhoud} \leftarrow \text{inhoud)} / m_{\text{inhoud}}$
- In het recentere maag-darmmodel volgens ICRP-100 geldt voor  $\beta$ -deeltjes dat  $\text{SAF (wand} \leftarrow \text{inhoud)} \approx 0$  als  $E_{\beta} < 0,1 \text{ MeV}$

**Vraag 2.4 [4 punten]**

Schat de bijdrage aan de effectieve volgdosis  $E_{50}$  (in mSv) ten gevolge van de blootstelling van het maag-darmkanaal op grond van ICRP-30 én beschrijf kwalitatief de gevolgen van de overgang naar ICRP-100 voor deze bijdrage.

---

<sup>1</sup> A.S. Keverling Buisman 'Dose to the gastrointestinal tract after ingestion of  $^{14}\text{C}$  by volunteers' (2015, niet gepubliceerd)

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 2</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
2.1	2
2.2	2
2.3a	3
2.3b	3
2.3c	4
2.4	4
<b>Totaal</b>	<b>18</b>

### Vraagstuk 3: Handbesmetting bij een cyclotron [18 punten]

Tijdens een productiecyclus met een cyclotron wordt rubidium-81 ( $^{81}\text{Rb}$ ) geproduceerd door een target met daarin het edelgas krypton-80 ( $^{80}\text{Kr}$ ) te beschieten met protonen. Nadat er voldoende  $^{81}\text{Rb}$  is geproduceerd, wordt het product uit het cyclotron gehaald. Tijdens dit proces gaat er iets mis en loopt de operator een handbesmetting op. Gedurende twee dagen worden verschillende metingen verricht met een Hand-Voet-Kleding monitor (HVK-monitor).

#### Gegevens:

- $T_{1/2,\text{huid}} = 72 \text{ h}$  (de biologische halveringstijd als gevolg van slijtage en verversing van de huid)
- Oppervlakte huidbesmetting =  $10 \text{ cm}^2$
- **Bijlage blz. 7-8:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2015), blz. 94-95, gegevens  $^{81}\text{Rb}$
- **Bijlage blz. 9:** Netto meetwaarden HVK-monitor op diverse tijdstippen
- Het relevante targetisotoop is  $^{80}\text{Kr}$
- De handbesmetting zit uitsluitend op de palm van de rechterhand (HPR)
- Overige meetpunten: handpalm links (HPL), handrug links (HRL) en handrug rechts (HRR)
- De efficiëntie voor het meten van rubidium-81 van de detectoren in de HVK-monitor bedraagt  $0,10 \text{ cps/Bq}$

#### Vraag 3.1 [2 punten]

Geef een activeringsreactie met een cyclotron die  $^{81}\text{Rb}$  oplevert.

#### Vraag 3.2 [3 punten]

Noem drie stralingshygiënische stappen die je moet nemen wanneer de HVK-monitor in alarm gaat? Let hierbij – indien relevant – op de volgorde.

#### Vraag 3.3 [2 punten]

Beargumenteer waarom de waarden van kolom HPR wèl geschikt zijn om de grootte van de huidbesmetting (in Bq) te bepalen en die van kolom HRR niet.

**Vraag 3.4 [4 punten]**

Toon door middel van een berekening aan dat de gemeten waarde op de HVK van 1 december overeenkomt met het verwachte teltempo op grond van de effectieve halveringstijd.

**Vraag 3.5a [5 punten]**

Bereken de equivalente huiddosis voor de restbesmetting, uitgaande van 868 cps direct na het handen wassen.

**Vraag 3.5b [2 punten]**

Beargumenteer of u op grond van het antwoord bij vraag 3.5a kunt concluderen of de limiet van de huiddosis van deze blootgestelde werknemer is overschreden.

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 3</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
3.1	2
3.2	3
3.3	2
3.4	4
3.5a	5
3.5b	2
<b>Totaal</b>	<b>18</b>

## Vraagstuk 4: Detectierendement voor Ir-192 [15 punten]

Om vast te stellen of een ingekapselde iridiumbron (Ir-192) lekt, moet gemeten worden of de van de bronhouder afgewreven activiteit (per veegtest) niet meer bedraagt dan 18,5 Bq. Hiervoor wordt een veegpapiertje over de bronhouder gewreven en vervolgens wordt gemeten of activiteit op het veegpapiertje aanwezig is. Er wordt gebruik gemaakt van een Automess stralingsmonitor met daarop aangesloten een losse AD-17 besmettingsdetector. Deze detector is een GM-buis met dun venster, waarmee het teltempo (in cps) bij besmettingen van alfa-, bèta en gammastralers kan worden vastgesteld. In de productgegevens van deze monitor staat helaas niet het detectierendement voor Ir-192 en u wordt als stralingsbeschermingsdeskundige gevraagd om dit detectierendement (in cps/Bq) te berekenen en om vast te stellen of een besmetting van 18,5 Bq is aan te tonen.



6150AD-17

For small objects  
(sensitive area  
6.2 cm<sup>2</sup>)  
or wipe tests

### Gegevens:

- Het detectoroppervlak bedraagt 6,2 cm<sup>2</sup>
- **Bijlage blz. 10:** Besmettingsgraad per door de AD-17 geregistreeerde count per seconde voor diverse radionucliden, Handreiking Stralingsincidenten veiligheidsregio's van het IFV
- **Bijlage blz. 11:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2015), blz. 214, gegevens <sup>192</sup>Ir.

Voor de benadering van het detectierendement van Ir-192 kunnen gegevens van chloor-36 (Cl-36) worden gebruikt.

### Vraag 4.1 [2 punten]

Bereken het detectierendement, uitgedrukt in cps/Bq, van de AD-17 voor een besmetting van **Cl-36** die homogeen verspreid is over een oppervlak van 6,2 cm<sup>2</sup>.

Op grond van de gegevens in de tabel uit de bijlage is het verband tussen de maximale bètaenergie en het detectierendement (in counts per uitgezonden bètadeeltje) berekend:

$$\epsilon_{AD-17} = 0,23E_{\beta,max} + 0,034$$

waarin  $E_{\beta,max}$  = maximale bètaenergie in MeV

**Vraag 4.2a [2 punten]**

Beargumenteer op basis van de tabel in de bijlage welke nucliden gebruikt kunnen worden voor het vaststellen van het verband tussen de maximale bètaenergie en het detectierendement (in counts per uitgezonden bètadeeltje)?

**Vraag 4.2b [4 punten]**

Bereken het detectierendement (cps/Bq) van de AD-17 voor de bètastraling van Ir-192.

**Aanvullende gegevens:**

- Uit gegevens van Cs-137/Ba-137m is bepaald dat het detectierendement voor fotonen met een energie van 662 keV gelijk is aan 0,01 counts/foton
- **Bijlage blz. 12:** relatieve respons van de AD-17 als functie van fotonenergie

**Vraag 4.3a [2 punten]**

Maak aannemelijk dat dit detectierendement in goede benadering ook geldt voor de fotonenstraling van Ir-192.

**Vraag 4.3b [3 punten]**

Bereken het *totale* detectierendement (in cps/Bq) van de AD-17 voor Ir-192.

In de documentatie voor de AD-17 staat dat het achtergrondteltempo onder normale omstandigheden 0,07 cps is.

**Vraag 4.4 [2 punten]**

Geef aan of een activiteit van 18,5 Bq Ir-192 aan te tonen is met behulp van deze detector. Geef expliciet aan welk criterium u hierbij hanteert.

**Puntenwaardering:**

<b>Vraagstuk 4</b>	
<b>Vraag</b>	<b>Punten</b>
4.1	2
4.2a	2
4.2b	4
4.3	2
4.3b	3
4.4	2
<b>Totaal</b>	<b>15</b>