

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

| | |
|--|---------|
| Nuclear Research and consultancy Group | NRG |
| Technische Universiteit Delft | TUD |
| Boerhaave Nascholing/LUMC | BN/LUMC |
| Rijksuniversiteit Groningen | RUG |
| Radboudumc | RUMC |
| TU Eindhoven | TU/e |

examendatum: 14 mei 2018
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

| |
|--------------------|
| Instructie: |
|--------------------|

- ❑ **Dit examen omvat 10 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 10 pagina's. Controleer dit!**
- ❑ Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
- ❑ 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.
- ❑ Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven 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.
- ❑ In totaal kunt u 58 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 16 punten
 - Vraagstuk 2: 14 punten
 - Vraagstuk 3: 15 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 31,9 punten.

Vraagstuk 1: Afscherming ^{166}Ho

Voor therapeutische toepassingen wordt steeds gezocht naar nieuwe radionucliden, één van deze isotopen is ^{166}Ho .

Aan u, als producent, wordt gevraagd om een container en transportverpakking (collo) uit te zoeken waarin het radionuclide, met een activiteit van 14 GBq per collo, naar ziekenhuizen vervoerd kan worden. Het betreft een transport van een radioactieve stof boven de vrijstellingsgrens.

De activiteit wordt na aankomst in het ziekenhuis in een toediensysteem geplaatst. U plaatst de te transporteren bron in een perspexcontainer om te voorkomen dat de eindgebruiker bij het overbrengen van de bron vanuit de transportcontainer naar het toediensysteem een dosis ontvangt ten gevolge van de bètastraling.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 3:** Vervalschema ^{166}Ho
- Perspex: $Z_{\text{eff}} = 6,56$; $\rho = 1,19 \text{ g/cm}^3$
- **Bijlage, blz. 4:** Massieke verzwakkings- en energieabsorptiedoorsneden in lood
- Gebruik voor het omzetten van luchtkermatempo naar omgevingsdosisequivalenttempo de omrekenfactor 1,2
- Transportlimietwaarden voor het vervoer van ^{166}Ho :
 $A_1 = 0,4 \text{ TBq}$, $A_2 = 0,4 \text{ TBq}$
- **Bijlage, blz. 5:** Categorie-indeling van transportverpakkingen

Vraag 1.1 (3 punten)

Hoe dik dient de wand van de perspexcontainer minimaal te zijn om alle bètastraling af te schermen?

Ga er bij de volgende vragen van uit dat de verzwakking van de gammastraling door het perspex en de eventueel in de perspexwand ontstane remstraling verwaarloosd mag worden.

Voor de volgende vragen is een vereenvoudiging van het vervalschema van ^{166}Ho gegeven. Hierin zijn voor u al drie clusters van relevante fotonencomponenten bepaald, zie Tabel 1.1.

| Cluster | Fotonenstraling | E_{gem} (MeV) | $\Sigma\gamma\cdot E$ (MeV·(Bq·s) ⁻¹) | $(\mu_{\text{tr}}/\rho)_{\text{lucht}}$ (m ² /kg) |
|---------|---|---------------------------|--|---|
| 1 | $K_{\text{alpha1}} + K_{\text{alpha2}}$ | 0,050 | $4,2\cdot 10^{-3}$ | 0,00406 |
| 2 | Gamma 1 | 0,081 | $5,4\cdot 10^{-3}$ | 0,00243 |
| 3 | Gamma 8 + 12 + 13 | 1,5 | $18\cdot 10^{-3}$ | 0,00256 |

Tabel 1.1. Clusters van relevante fotonencomponenten.

Vraag 1.2 (5 punten)

Bereken het omgevingsdosisequivalenttempo voor een 14 GBq ¹⁶⁶Ho-bron in de perspexcontainer op 15 centimeter afstand. Omdat er geen bronconstanten beschikbaar zijn, dient u eerst de luchtkermatempoconstante voor ¹⁶⁶Ho uit te rekenen.

In eerste instantie overweegt u de bron met alleen de perspexcontainer in het collo te vervoeren. Voor transport wordt de perspexcontainer met daarin de bron van 14 GBq in een kubusvormige collo met een ribbe van 30 cm geplaatst. De bron bevindt zich precies in het centrum van het collo.

Vraag 1.3 (3 punten)

Verifieer dat het transport van de ¹⁶⁶Ho-bron van 14 GBq in een type A collo mag plaatsvinden. Bepaal vervolgens met behulp van de categorie-indeling van transportverpakkingen of, en zo ja in welke categorie, de bron met alleen de perspexcontainer in het collo mag worden getransporteerd.

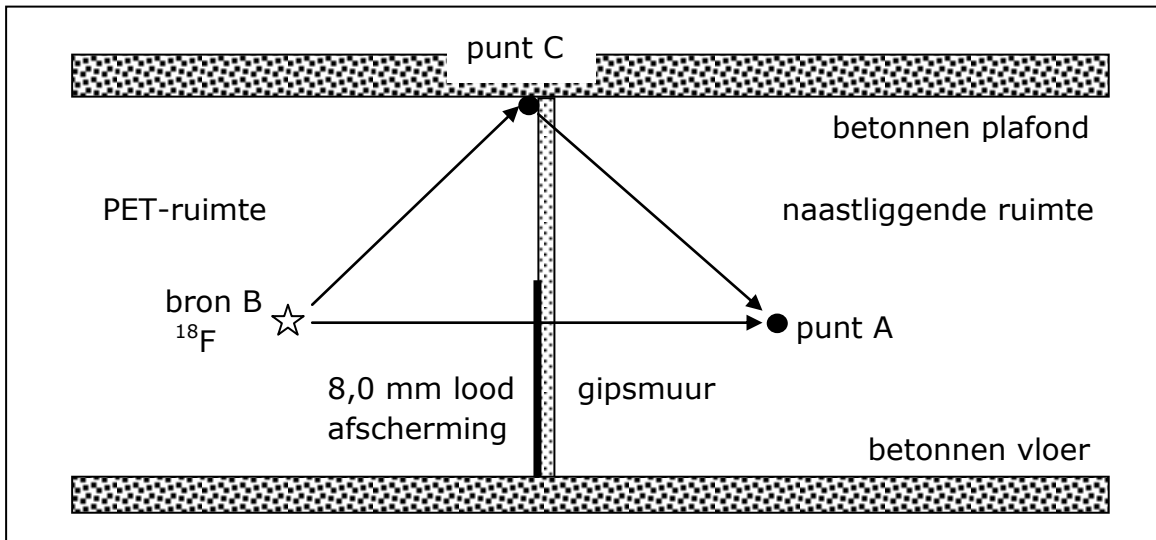
Om invulling te geven aan het optimalisatieprincipe (ALARA), wordt de perspexcontainer omhuld met lood. De build-up factor voor de uitgezonden fotonenstraling in lood is 1,6.

Vraag 1.4 (5 punten)

Wat is de minimaal benodigde dikte (in hele mm's) van de loodomhulling indien u het transport in categorie II-GEEL wil laten plaatsvinden? En wat wordt in dat geval de transportindex?

Vraagstuk 2: Stroostraling via het plafond

Bij afdelingen nucleaire geneeskunde wordt regelmatig gewerkt met PET-nucliden. Om de dosis te beperken in de naastliggende ruimten is afscherming nodig. Om kosten te besparen worden de muren vaak niet voor de volledige hoogte van afscherming voorzien. Hierdoor kan straling die in het plafond wordt verstrooid, door de onafgeschermd bovenrand van de muur in de naastliggende ruimte terechtkomen.



Figuur 2.1. Situatieschets van de PET-ruimte. De afstand tussen B en A is 4,0 meter, de afstand tussen B en C en tussen C en A is 2,8 meter.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keveling-Buisman (3^e druk 2015), blz. 26, gegevens van ^{18}F
- **Bijlage, blz. 7:** Broad beam transmission factors at 511 keV in lead, concrete, iron, Madsen et al.: AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding
- **Bijlage, blz. 8:** Verstrooiingsfractie van kerma
- Bron B bevat 200 MBq ^{18}F
- De ruimtes hebben een plafondhoogte van 3,6 meter
- Het lood in de gipsmuur is aangebracht tot een hoogte van 1,8 meter
- De afscherming door de gipsmuur mag worden verwaarloosd
- Voor het bepalen van de verstrooiingsfractie bij 511-keV-fotonen mag de lijn van 100–300 kV gebruikt worden uit de figuur "Verstrooiingsfractie van kerma"
- Ga bij de verstrooiing door het plafond uit van een verstrooiingshoek van 90 graden
- Ga uit van een bestraald plafondoppervlak van 10 m²
- Voor toepassing van de kwadratenwet mag het plafondoppervlak beschouwd worden als een "punt", gesitueerd in punt C

Vraag 2.1 (3 punten)

Bereken het kermatempo in punt A als gevolg van de directe 511-keV-fotonen uit bron B.

Vraag 2.2 (4 punten)

Bereken het kermatempo in punt A als gevolg van de door het plafond verstrooide straling.

In een recente publicatie¹ staat de volgende vuistregel voor het inschatten van de dosisbijdrage door stroostraling uit het plafond bij een niet volledig tot het plafond afgeschermd muur:

Wanneer, bij 511-keV-fotonen van PET-nucliden, de muur 8 mm lood bevat, veroorzaakt de stroostraling minder dan 15% van de totale dosis in de naastgelegen ruimte.

Vraag 2.3 (3 punten)

Ga met een berekening na of deze vuistregel bruikbaar is voor deze situatie en beargumenteer of dit een onder- of overschatting van het risico geeft.

Om de dosis verder te reduceren moet worden gekozen uit twee opties waarbij de toegepaste hoeveelheid lood wordt verdubbeld:

1. de afscherming 2× zo dik maken;
2. de afscherming 2× zo hoog maken

Vraag 2.4 (4 punten)

Beredeneer welk van de twee opties de grootste reductie geeft van het kermatempo in de naastliggende ruimte.

¹ Monte Carlo simulations of ceiling scatter in nuclear medicine: ^{99m}Tc, ¹³¹I and ¹⁸F. (Roald S. Scherr e.a., Med. Phys. 44, maart 2017)

Vraagstuk 3: Jodiumprofylaxe

In een rapport van het RIVM 'Jodiumprofylaxe bij kernongevallen', staat over de dosering van de jodiumtabletten het volgende: een eenmalige dosering van 170 mg kaliumjodaat, wat overeenkomt met 100 mg jodium, biedt voldoende bescherming tegen de eventuele opname van radioactief jodium bij blootstelling door inhalatie tijdens het overtrekken van de radioactieve wolk.

Een stralingsdeskundige vraagt zich af hoeveel (activiteit) ^{131}I er geïnhaleerd moet worden om het interventieniveau van een equivalente volgdoos van 100 mSv op de schildklier te overschrijden.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 9-10:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 164-165, gegevens ^{131}I
- Het getal van Avogadro is $6,02 \cdot 10^{23}$ moleculen/mol
- De molmassa van ^{131}I is 130,9 gram/mol
- Als er een radioactieve wolk overtrekt is het daarin aanwezige jodium aanwezig in de vorm van jodiumdamp (I_2)
- Voor het bepalen van de schildklierdosis mag de bijdrage van fotonenstraling worden verwaarloosd
- De massa van de schildklier bedraagt 20 gram voor volwassenen (ICRP-123)
- De weefselweegfactor voor de schildklier is 0,05 (ICRP-60)

Vraag 3.1 (2 punten)

Bepaal de effectieve halveringstijd voor ^{131}I in de schildklier.

Vraag 3.2 (6 punten)

Bepaal de activiteit in de schildklier die leidt tot het interventieniveau van een equivalente volgdoos van 100 mSv voor de schildklier. Er dient hierbij gebruik gemaakt te worden van de SEE en het aantal benodigde desintegraties U_s .

Vraag 3.3 (3 punten)

Bepaal de geïnhaleerde activiteit die leidt tot het interventieniveau van een equivalente volgdoos van 100 mSv voor de schildklier en bereken de effectieve volgdoos ten gevolge van deze inhalatie. Indien u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven, ga dan uit van 100 kBq in de schildklier.

Vraag 3.4 (4 punten)

Laat zien dat een jodium tablet voldoende jodium bevat om de schildklier te verzadigen door de verhouding uit te rekenen tussen de massa van de berekende activiteit bij vraag 3.2 en de massa van het jodium die wordt ingenomen als jodiumprofylaxe. Indien u het antwoord op vraag 3.2 schuldig bent gebleven, ga dan uit van 100 kBq in de schildklier.

Vraagstuk 4: Watermonster

In een laboratorium wordt een watermonster gemeten. Het is bekend welke radionucliden aanwezig kunnen zijn in het water. Van een mengsel met de relevante radionucliden is van tevoren een kalibratiemeting uitgevoerd (tabel 4.1).

Om te weten welke radionucliden er in het watermonster zitten en wat hun activiteiten zijn, wordt het γ -spectrum gemeten (figuur 4.3).

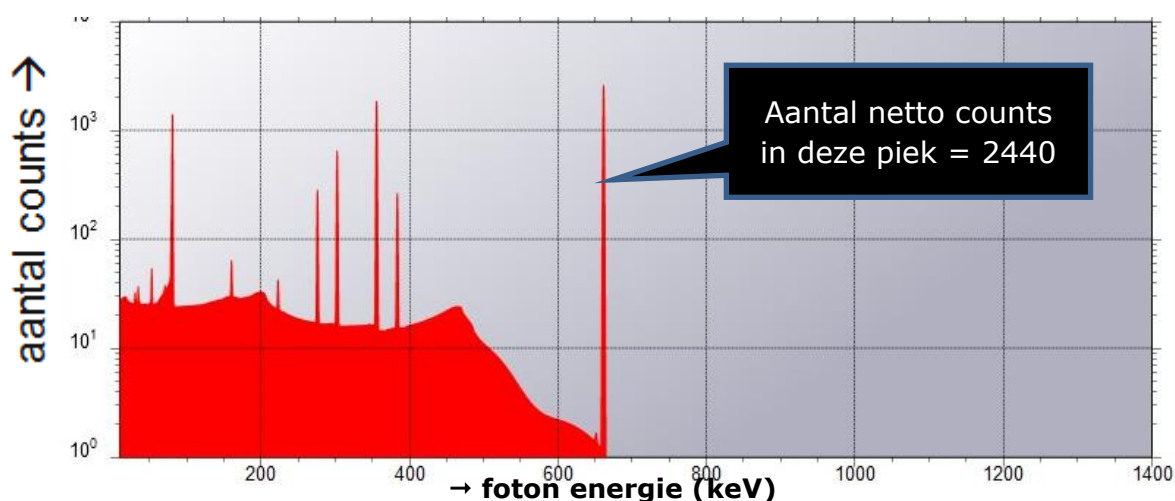
Vanwege de lage activiteit van het water wordt het watermonster naar een Marinellibeker overgebracht en vervolgens gedurende 24 uur met een Ge-detector gemeten. Zie figuur 4.1 en figuur 4.2.



Figuur 4.1. Doorsnede Marinellibeker **Figuur 4.2.** Marinellibeker wordt geplaatst op de Ge-detector in loodkasteel

Tabel 4.1. Resultaat van de kalibratiemeting (met een oplossing van de radionucliden die mogelijk aanwezig zijn in het watermonster).

| Nuclide | gamma energie (keV) | activiteit (Bq) | uitgezonden gamma/s | achtergrond (counts) | netto meting (counts) | netto teltempo (cps) | rendement (counts/gamma) |
|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| ¹³³ Ba | 80,98 | 399,738 | 131,1143 | 65506 | 127812 | 1,479 | 0,011280 |
| | 276,39 | 399,738 | 29,14095 | 23920 | 27593 | 0,319 | 0,010947 |
| | 302,92 | 399,738 | 74,35141 | 32934 | 66324 | 0,768 | 0,010329 |
| | 356,01 | 399,738 | 249,0372 | 33538 | 185221 | 2,144 | 0,008609 |
| | 383,91 | 399,738 | 35,3369 | 18305 | 25919 | 0,300 | 0,008490 |
| ¹³⁴ Cs | 604,72 | 68,893 | 67,24008 | 11310 | 24544 | 0,284 | 0,004224 |
| | 795,86 | 68,893 | 58,83507 | 6257 | 15961 | 0,185 | 0,003144 |
| ¹³⁷ Cs | 661,58 | 541,589 | 460,8927 | 10985 | 195215 | 2,259 | 0,004901 |
| ⁶⁰ Co | 1173.18 | 242,139 | 242,1392 | 4945 | 53259 | 0,616 | 0,002544 |
| | 1332.5 | 242,139 | 242,1392 | 938 | 47297 | 0,547 | 0,002259 |



Figuur 4.3. Resultaat van de netto meting aan het onbekende watermonster.

Gegevens:

- Meettijd van zowel de kalibratiemeting als van de achtergrond in de kalibratiemeting= 86400 s
- In tabel 4.1: de achtergrond bevat ook eventuele comptonfotonen van de andere aanwezige radionucliden
- Volume watermonster in Marinellibeker = 500 mL
- Meettijd van zowel de meting aan het watermonster als de achtergrond hierin = 86400 s
- Meetwaarde van de achtergrond in de 662 keV piek van het onbekende monster = 3200 counts

Vraag 4.1 (2 punten)

Welke radionucliden zijn zichtbaar in het gammaspectrum? Motiveer uw antwoord.

Vraag 4.2 (4 punten)

Wat is de activiteitsconcentratie (Bq/mL) in het monster van het radionuclide dat de rechterpiek veroorzaakt? Het netto aantal counts in deze fotopiek is 2440.

Vraag 4.3 (4 punten)

Wat is de activiteit (in Bq) en de standaarddeviatie hierin van het watermonster voor het nuclide uit vraag 4.2?

In dit vraagstuk wordt met MDA (minimaal detecteerbare activiteit) bij een meettijd t , die activiteit bedoeld die aanleiding geeft tot een teltempo dat gelijk is aan driemaal de standaarddeviatie in het achtergrondteltempo.

Vraag 4.4 (3 punten)

Bereken de MDA van het nuclide uit vraag 4.2 bij een meettijd van 86400 s.