

Examen Coördinerend Deskundige Stralingsbescherming

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

examendatum: 10 december 2018

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 10 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. 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.
- ❑ De vraagstukken betreffen fictieve situaties waaraan geen rechten kunnen worden ontleend. Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- ❑ In totaal kunt u 62 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 13 punten
 - Vraagstuk 2: 16 punten
 - Vraagstuk 3: 17 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 Richtlijnen bij optreden van de brandweer en de vervoersgrenswaarden A1 en A2

Voor de hulpdiensten in Nederland bestaan richtlijnen hoe te handelen in geval van ongevallen met gevaarlijke stoffen. Daaronder vallen ook de richtlijnen voor situaties waarbij radioactieve stoffen aanwezig zijn.

Toelichting bij de werkwijze van de brandweer:

Bij een ongeval met een radioactieve stof plaatst de brandweer bovenwinds een afzetting. Zij plaatsen deze afzetting waar zij een dosistempo van 25 $\mu\text{Sv/uur}$ meten. Vanaf die afzetting beoordelen zij de situatie.

De tabel hieronder is overgenomen uit één van de 'Aandachtskaarten RA Algemeen' uit de Operationele handreiking van de publicatie Stralingsincidenten veiligheidsregio's van het Instituut Fysieke Veiligheid.

Tabel 2.2 Berekende maximale inzettijd op een bepaalde afstand tot de bron met kwadratenwet

afstand tot bron bij meten 25 $\mu\text{Sv/u}$	inzettijd tot dosis 2 mSv bij een inzet op afstand tot de bron van:		
	1 meter	5 meter	10 meter
10 meter	48 min	20 uur	80 uur
20 meter	12 min	5 uur	20 uur
30 meter	5 min	132 min	9 uur
40 meter	3 min	75 min	5 uur

Dus gemeten dosistempo = 25 $\mu\text{Sv/u}$ op 20 meter vanaf de bron \Rightarrow max. inzettijd 12 minuten op 1 meter vanaf de bron.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 3:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz 13: Inleiding
- **Bijlage blz. 4-5:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz 164-165: ¹³¹I

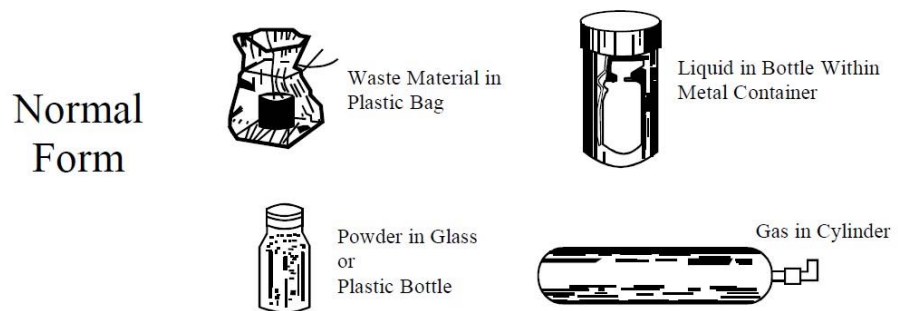
Vraag 1.1 (2 punten)

Laat aan de hand van een berekening zien dat de te verwachten dosis 2 mSv bedraagt bij een inzettijd van 3 minuten op 1 meter afstand van de bron, wanneer de afzetting op een afstand van 40 meter staat. U mag uitgaan van de veronderstelling dat met 'bron' een puntbron bedoeld wordt.

In het kader van de veiligheid voor hulpverleners bij transportongevallen, zijn voor het vervoer van radioactieve stoffen de A_1 - en A_2 -waarden ingevoerd. Om meer inzicht te krijgen in de onderbouwing van de A_1 - en A_2 -waarden voert een stralingsdeskundige een aantal berekeningen met deze waarden uit. Hij gaat rekenen met het nuclide ^{131}I omdat dit nuclide dagelijks in grote hoeveelheden over de weg getransporteerd wordt.

Vraag 1.2 (3 punten)

Toon met een berekening aan dat, in het geval van ^{131}I , de vervoersgrenswaarde A_1 van 3 TBq bij benadering klopt, onder de aanname die gebruikt wordt in de Inleiding van het Handboek Radionucliden.



Figuur 1.1. Voorbeelden van verpakkingen, waarvoor de A_2 -waarde relevant is; de stof kan verspreid worden bij een ongeval (figuur uit www.nrc.gov)

Vraag 1.3 (4 punten)

Concludeer op basis van een berekening of de getalwaarde A_2 van 0,7 TBq voor ^{131}I wel of niet overeenkomt met de aanname uit de Inleiding van het Handboek Radionucliden.

Nader zoeken in de literatuur leert dat bij de vaststelling van de getalwaarde A_2 meer en andere uitgangspunten gehanteerd worden en ook meer oorzaken meespelen dan alleen het inhalatierisico. In Appendix I van de Safety Guide TS-G-1.1 (IAEA 2002) licht de IAEA de wijze van vaststellen van de A_1 - en A_2 -waarden toe. Voor het bepalen van de A_2 wordt onder andere gekeken naar mogelijke huidbesmetting.

Vrij overgenomen uit de Safety Guide TS-G-1.1

Aannames wat betreft het huidbesmettingsrisico in de bepaling van de limiterende activiteit A_2 zijn:

- *De equivalente huiddosis voor een hulpverlener mag maximaal 500 mSv zijn;*
- *Er ligt maximaal 1% van de vervoerde activiteit homogeen verspreid over een oppervlakte van 1 m²;*
- *Hiervan komt door direct contact maximaal 10% op de handen;*
- *Er worden geen handschoenen gedragen en na maximaal 5 uur worden de handen gewassen.*

Toelichting op de aanname van de 10% overdracht op de handen: de besmettingsgraad (de activiteit per oppervlakte-eenheid) van de handen is maximaal 10% van die van het besmette oppervlak. Bijvoorbeeld: als de homogene oppervlaktebesmetting 2000 Bq/m² is, is de huidbesmetting maximaal 200 Bq/m².

Vraag 1.4 (4 punten)

Toon door een berekening aan dat de vervoersgrenswaarde A_2 van 0,7 TBq voor ^{131}I overeenkomt met het scenario voor huidbesmetting uit de Safety Guide TS-G-1.1.

Vraagstuk 2 Besmettingscontrole

Op een radionuclidenlaboratorium wordt gewerkt met ^3H en ^{14}C . Om te controleren op besmettingen wordt gebruik gemaakt van een besmettingsmonitor en er worden veegproeven uitgevoerd, die worden geteld in een vloeistofscintillatieteller. In de regelgeving staat het volgende:

ANVS-verordening basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

Artikel 1.1 (begripsomschrijvingen)

In deze verordening wordt verstaan onder

radioactieve besmetting: een afwrijfbaar alfa besmetting van 0,4 becquerel of meer per cm^2 , of een afwrijfbaar bèta/gamma besmetting van 4 becquerel of meer per cm^2 .

Artikel 4.21 (voorschrift besmettingscontrole)

Bij een besmettingscontrole als bedoeld in artikel 4.11, eerste lid, wordt het volgende in acht genomen:

- a) het oppervlak dat wordt afgewreven bedraagt circa 5 cm^2 , en
- b) de detectielimiet van de meting bedraagt voor alle nucliden maximaal 2 becquerel.

De metingen in de vloeistofscintillatieteller worden met een vaste instelling uitgevoerd. Van deze metingen zijn de volgende gegevens bekend:

- De meettijd voor veegmonsters is 1 minuut
- Het meetrendement van de veegmonsters wordt verondersteld gelijk te zijn aan het meetrendement van twee ijkstandaarden:
 - meting van $10.000 \text{ dpm } ^3\text{H}$ levert 6.053 counts in 1 minuut
 - meting van $10.000 \text{ dpm } ^{14}\text{C}$ levert 9.420 counts in 1 minuut
- Een langdurige meting van een blanco monster gedurende 1 uur levert 908 counts

Vraag 2.1 (4 punten)

Bereken het meetrendement voor meting van ^3H in cpm/dpm en de standaarddeviatie in dit meetrendement.

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 2.2 (4 punten)

Verifieer aan de hand van de minimaal detecteerbare activiteit van de vloeistofscintillatieteller dat voor beide nucliden aan de detectielimiet uit art. 4.21 wordt voldaan bij de voor de veegmonsters gebruikte meettijd.

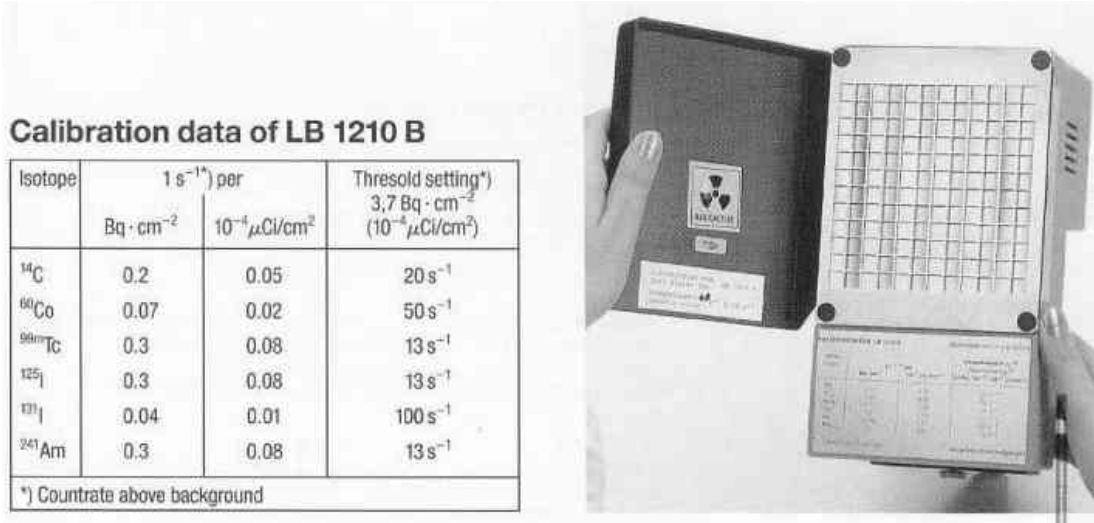
Bij een besmettingscontrole (conform het voorschrift) wordt in een van de veegproeven bruto 753 counts gemeten. Uit verdere analyse blijkt dat het gaat om een besmetting met enkel ^{14}C .

Vraag 2.3 (4 punten)

Bereken de afgewreven activiteit ^{14}C in Bq/cm^2 van deze besmetting.

De aanwezige besmettingsmonitor wordt niet gebruikt voor het bepalen van de afwrijfbaar activiteit, maar voor het bepalen van de aanwezige activiteit bij een oppervlaktebesmetting. Uitgaande van de veronderstelling dat 50% van de aanwezige activiteit afwrijfbaar is, zou een activiteit van $8 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ op een besmet oppervlak van 5 cm^2 meetbaar moeten zijn.

De besmettingsmonitor meet onder normale omstandigheden een achtergrondteltempo van 5 cps met een fluctuatie van 2 cps. De beschikbare informatie over de gevoeligheid van deze monitor staat in figuur 2.1. De afmeting van de detector is $11 \times 11 \text{ cm}^2$. Een oppervlak wordt door u als besmet aangemerkt als het bruto teltempo 10 cps of meer is.



Figuur 2.1: Gevoeligheid van de besmettingsmonitor.

Vraag 2.4 (4 punten)

Zou een besmetting van $8 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ op 5 cm^2 als besmet worden aangemerkt wanneer de besmettingsmonitor wordt gebruikt? U mag er hierbij van uitgaan dat het oppervlak buiten de besmette 5 cm^2 in het geheel niet besmet is.

Vraagstuk 3 Afscherming bij sterilisatie

Bij een bedrijf wordt medische apparatuur gesteriliseerd met gebruik van gammastraling uit een ingekapselde bron kobalt-60. Deze bron heeft een activiteit van 185.000 TBq. In stralingspositie wordt de bron omhoog gebracht tot een vrij stralende positie net boven het water. Volgens intern protocol mag het omgevingsdosisequivalenttempo in de werkruimte boven de bestralingsruimte niet hoger zijn dan $1,0 \mu\text{Sv/h}$. De bestralingsruimte is 10 meter hoog en de vloer tussen de bestralingsruimte en de werkruimte bestaat uit 2 meter beton (figuur 3.1).

Eenmaal per dag is een medewerker gedurende 2,5 minuut in de bestralingsruimte om de materialen te positioneren op de bestralingstafel. De bestralingstafel bevindt zich op 1 meter boven het water. Het positioneren gebeurt wanneer de bron onder water is. De bron bevindt zich dan onder een waterlaag van 3,5 meter. De betrokken medewerker wordt verder beroepshalve niet blootgesteld aan ioniserende straling.



Figuur 3.1

Gegevens:

- De omgevingsdosisequivalenttempoconstante van ^{60}Co bedraagt $h = 0,36 \mu\text{Sv/h}$ per MBq/m^2
- Bij het verval van ^{60}Co worden twee fotonen uitgezonden met een energie van respectievelijk 1.173 en 1.333 keV (met $\gamma = 1 (\text{Bq}\cdot\text{s})^{-1}$ voor beide fotonen); andere uitgezonden straling speelt in dit vraagstuk geen rol van betekenis
- **Bijlage blz 6: Figuur 3.2.** Brede-bundeltransmissie van gammastraling van verschillende radionucliden door beton, dichtheid $2,350 \text{ g/cm}^3$
- **Bijlage blz 7: Tabel 1.** Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron. In deze opgave mag voor het bepalen van de opbouwfactor gebruik worden gemaakt van de tabelkolom waarvan de waarde van μd het dichtst bij een berekende waarde ligt
- **Bijlage blz 8: Figuur 3.3.** Massieke halveringsdikte van smalle bundel gammastraling in verschillende materialen
- Absorptie in lucht mag verwaarloosd worden
- Een werkweek bestaat uit 5 dagen. Er zijn 40 werkweken in een kalenderjaar
- De effectieve dosis mag gelijk gesteld worden aan het omgevingsdosisequivalent
- De bron mag als puntbron worden benaderd

Vraag 3.1 (4 punten)

Laat met behulp van figuur 3.2 zien dat de transmissie van fotonen uitgezonden door ^{60}Co door 2 meter beton in de orde van 10^{-10} is.

Vraag 3.2 (3 punten)

Ga na of het omgevingsdosisequivalenttempo in de werkruimte boven de bestralingsruimte aan het interne protocol voldoet, wanneer de bron zich in de stralende positie bevindt.

Vraag 3.3 (6 punten)

Bepaal de transmissie door 3,5 meter water met behulp van tabel 1 en figuur 3.3.

Als u geen antwoord heeft gevonden op vraag 3.3 mag u bij het vervolg van deze opgave uitgaan van een transmissie door water van $2 \cdot 10^{-8}$.

Vraag 3.4 (4 punten)

Bereken de effectieve jaardosis en bepaal de categorie-indeling van de genoemde medewerker aan de hand van een berekende effectieve jaardosis. Voorzien onbedoelde gebeurtenissen mogen hierbij buiten beschouwing worden gelaten.

Vraagstuk 4. Incident met ^{177}Lu

Het nuclide ^{177}Lu wordt tegenwoordig veel toegepast in de radionuclidentherapie. Minder bekend is dat dit nuclide al ruim 50 jaar wordt gebruikt in de toegepaste kernfysica voor onderzoek aan diverse eigenschappen van vaste stoffen. In 1974 werd voor dit doel een capsule met 370 MBq ^{177}Lu gemaakt door 10 mg ^{176}Lu -verrijkt, poedervormig Lu_2O_3 te bestralen met thermische neutronen.

Gegevens:

- **Bijlage blz 9-10:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 204-205: ^{177}Lu
- **Bijlage blz 11-13:** Vergunningsbijlage Bijlage radionucliden-laboratoria, blz. 10, 11, 12
- De werkzame doorsnede voor thermische neutronen $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$ bedraagt $\sigma_{\text{th}} = 2.000$ barn
- De verrijkingsgraad van het isotoop ^{176}Lu was 72% (atoompercentage)
- De fluxdichtheid van de thermische neutronen ter plekke van het bestraalde preparaat bedraagt $3,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Het atoomgewicht van zuurstof is 16 g mol^{-1}
- Het atoomgewicht van ^{176}Lu -verrijkt lutetium mag gesteld worden op 176 g mol^{-1}
- De constante van Avogadro is $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- U mag gemakshalve gebruik maken van de volgende formule voor activering:

$$A = \sigma_{\text{th}} \cdot n \cdot \varphi_{\text{th}} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \approx \sigma_{\text{th}} \cdot n \cdot \varphi_{\text{th}} \cdot \lambda \cdot t$$

waarin

A	=	geproduceerde activiteit (in Bq)
σ_{th}	=	werkzame doorsnede voor thermische neutronen (in m^2)
n	=	aantal bestraalde atomen
φ_{th}	=	fluxdichtheid van de thermische neutronen (in $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
λ	=	vervalconstante van het reactieproduct (in s^{-1})
t	=	bestralingstijd (in s)

Vraag 4.1 (5 punten)

Gedurende hoeveel minuten moet het preparaat worden bestraald om de gewenste activiteit te verkrijgen?

Bij de verwerking van de ^{177}Lu -capsule ging er iets grondig mis. De bestraalde capsule werd door een radiochemicus op een laboratoriumtafel (!) in het B-laboratorium geopend. Juist toen hij het

poeder op een balans had gedeponereerd om te wegen, ging de telefoon in de aangrenzende zitkamer. Terwijl hij de telefoon beantwoordde kwam een stafmedewerker het laboratorium binnen. Deze ontdekte het poeder op de weegschaal en gooide het achteloos in de prullenbak, waarbij een aanzienlijke besmetting optrad. Vervolgens voerde de stafmedewerker zelf werkzaamheden aan de betreffende laboratoriumtafel uit. Bij terugkomst zag de radiochemicus wat er gebeurd was en nam onmiddellijk een aantal maatregelen.

Vraag 4.2 (3 punten)

Zou de radiochemicus de genoemde handelingen met 370 MBq $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ -poeder hebben mogen verrichten volgens de Bijlage radionucliden-laboratoria in de huidige vergunningen?

Tijdens het weggooien is een deel van de totale activiteit verstoven en mogelijk ingeademd door de stafmedewerker. De radiochemicus vraagt de stafmedewerker krachtig zijn neus te snuiten in een tissue om vast te kunnen stellen of er sprake is van een inwendige besmetting en zo ja, om de grootte van de besmetting te kunnen bepalen. Een meting aan de tissue met een besmettingsmonitor levert een netto teltempo van 120 cps.

Aanvullende gegevens:

- De besmettingsmonitor heeft een gevoelig oppervlak van 218 cm²
- **Bijlage blz 14:** Figuur 4.1. Telrendement (in cps per Bq cm⁻²) van de besmettingsmonitor (Berthold LB 122A) als functie van de gemiddelde β -energie (in keV), uitgaande van een yield van 1
- De besmettingsmonitor is ongevoelig voor γ -straling
- **Bijlage blz 14:** Inleiding tot de stralingshygiëne, A.J.J. Bos et al., Tabel 9-6
- Ga ervan uit dat de helft van de activiteit die in de neus is terechtgekomen, wordt uitgesnoten
- De uitgesnoten activiteit in de tissue valt geheel binnen het oppervlak van de besmettingsmonitor.

Vraag 4.3 (4 punten)

Toon door berekening aan dat het telrendement van de besmettingsmonitor voor ^{177}Lu ongeveer 0,23 cps per Bq is.

Vraag 4.4 (4 punten)

Bepaal de geïnhalerde activiteit en aan de hand hiervan de effectieve volgdoos die de stafmedewerker heeft opgelopen.