

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum: 8 mei 2023
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

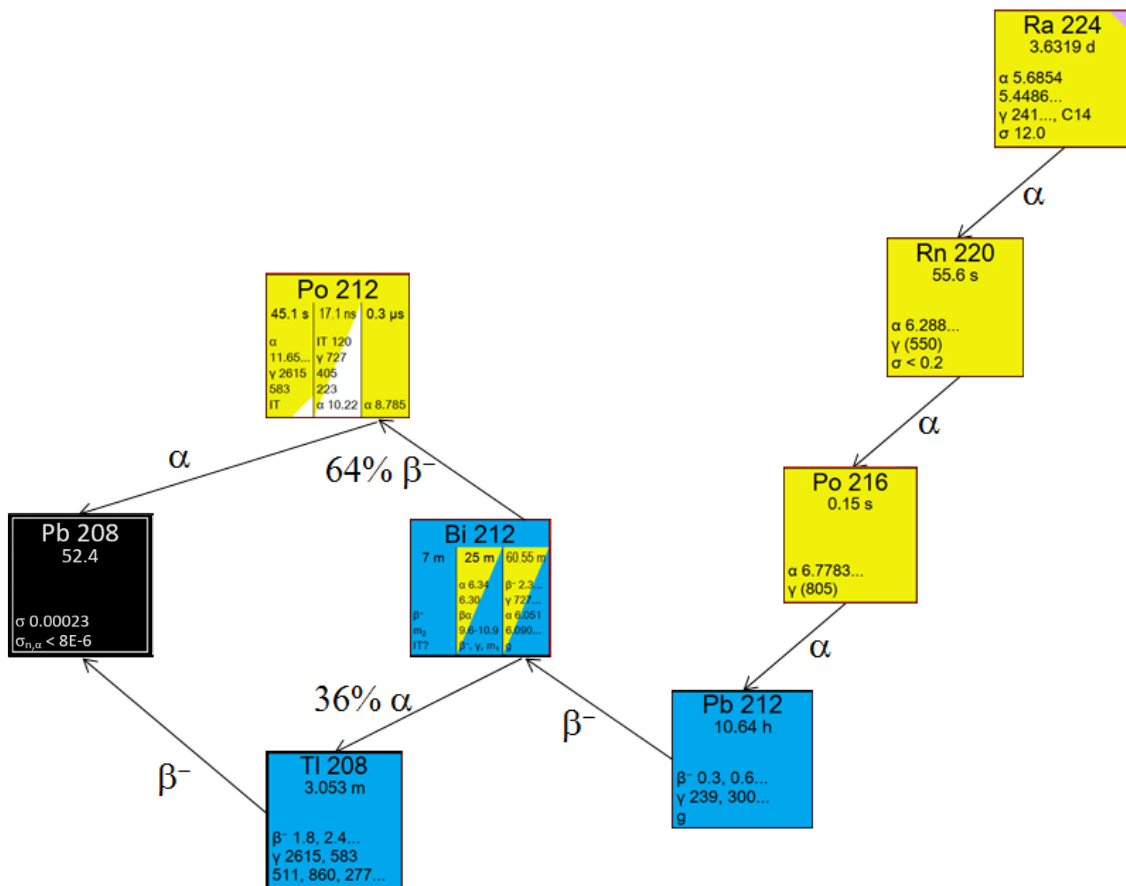
Instructie:

- ❑ **Dit examen omvat 11 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 13 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 60 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 17 punten Vraagstuk 2: 17 punten
 - Vraagstuk 3: 13 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 33 punten.

Vraagstuk 1: $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ generator [17 punten]

In de afgelopen paar jaar is er een sterke toename opgetreden in doelgerichte alfatherapie voor de behandeling van kanker. Eén van de isotopen waar onderzoek aan gedaan wordt is ^{212}Pb . Het ^{212}Pb vervalt o.a. naar ^{212}Bi en ^{212}Po (figuur 1) die beide alfastraling uitzenden die gebruikt kan worden voor de bestraling van tumoren.

Een bedrijf werkt aan de ontwikkeling van een $^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ -generator. Het ^{212}Pb kan uit het ^{224}Ra worden onttrokken (elueren) door met de juiste vloeistof de ^{224}Ra -kolom te spoelen.



Figuur 1.1: Vervalschema ^{224}Ra met de belangrijkste soorten uitgezonden straling en de halveringstijden per nuclide. De bij dit vervalschema behorende legenda nuclidenkaart is opgenomen in de bijlage op blz. 4.

Gegevens:

- **Figuur 1.1:** vervalschema met de belangrijkste soorten uitgezonden straling en de halveringstijden per nuclide
- De activiteit zit in het midden van de transportcontainer (puntbron)
- De transportcontainer is kubusvormig en heeft ribben van 40 cm
- De activiteit wordt afgeschermd door 4 mm dik lood
- ^{224}Ra zendt fotonen uit met een energie van 241 keV (yield = 4%)
- De omgevingsdosisequivalenttempoconstante van ^{224}Ra :
 $h = 0,003 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
- De Build-up van ^{224}Ra in lood mag gelijk gesteld worden aan $B = 1,1$
- **Bijlage, blz. 3:** massieke verzwakkingscoëfficiënten voor lood
- **Bijlage, blz. 4:** legenda nuclidekaart
- De dichtheid van lood is: $11,34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Op $t = 0$ is het omgevingsdosisequivalenttempo bepaald met een meting: $\dot{H}^*(10) = 0,51 \mu\text{Sv}/\text{min}$ op 40 cm afstand van het midden van een van de zijden van de kubusvormige container
- Op $t = 0$ zijn nog geen dochters ingegroeid
- Radon dat is ingegroeid ontsnapt niet uit de generator

Vraag 1.1 [6 punten]

Bereken de activiteit van het ^{224}Ra in de generator op tijdstip $t = 0$.

Vraag 1.2 [3 punten]

Bepaal de transportindex op tijdstip $t = 0$.

De transportindex is bij vraag 1.2 bepaald op basis van een gemeten waarde op tijdstip $t = 0$. Bij een controlemeting bij aankomst in het ziekenhuis blijkt dat het gemeten dosistempo hoger is dan de transportindex doet vermoeden.

Vraag 1.3 [2 punten]

Beredeneer waardoor het dosistempo bij de controle bij aankomst hoger is, dan de transportindex doet vermoeden.

De generatoren worden verstuurd naar een ziekenhuis waar een klinische studie loopt. In het ziekenhuis wordt de generator geëluëerd en het eluaat verwerkt tot een radiofarmacon.

Gegevens:

- Bij elutie wordt 90% van de ingegroeide ^{212}Pb -activiteit geëluëerd
- Het ^{212}Pb wordt op tijdstip $t = 20$ h van de generator geëluëerd
- Indien u geen antwoord op vraag 1.1 heeft, kunt u uitgaan van 30 GBq ^{224}Ra op $t = 0$
- Formule voor het berekenen van de ingegroeide dochteractiviteit:

$$A_2(t) = \text{yield} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot A_1(0) \cdot (e^{-\lambda_1 \cdot t} - e^{-\lambda_2 \cdot t}) + A_2(0) \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t}$$

Vraag 1.4a [2 punten]

Beargumenteer waarom we de tussenliggende nucliden kunnen negeren bij het berekenen van de ingroei van ^{212}Pb .

Vraag 1.4b [4 punten]

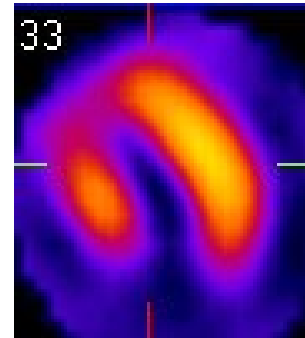
Wat is de activiteit ^{212}Pb die kan worden geëluëerd op tijdstip $t = 20$ uur?

Puntenwaardering:

Vraagstuk 1	
Vraag	Punten
1.1	6
1.2	3
1.3	2
1.4a	2
1.4b	4
Totaal	17

Vraagstuk 2: Angioscan [17 punten]

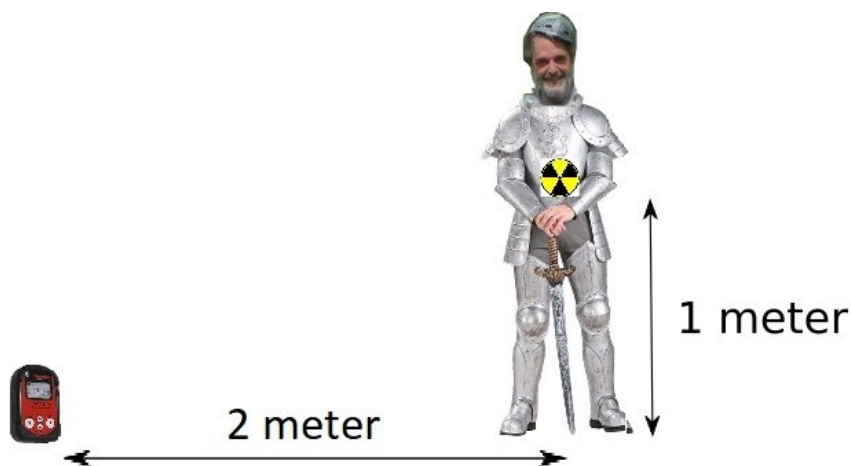
Een hartpatiënt wordt door het ziekenhuis opgeroepen voor het maken van een zogenaamde angioscan. Hierbij wordt met ^{99m}Tc gelabeld tetrofosmine ingespoten, waarna de patiënt aan een inspanningstest wordt onderworpen. Tijdens deze test hecht het radiofarmacon tetrofosmine zich aan hartspiercellen, maar uiteraard niet op plekken die slecht doorbloed zijn.



De hartpatiënt, een geridderd stralingsfysicus, is in het bezit van een dosistempomonitor. Vanuit interesse meet hij op een aantal tijdstippen na afloop van de inspanningstest het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$. Hierbij staat hij steeds op een vaste afstand van de dosistempomonitor.

Gegevens:

- Bij de metingen lag de dosistempomonitor op de grond en stond de patiënt rechtop, op een afstand van 2,0 meter vanaf de monitor
- Ga ervan uit dat alle ^{99m}Tc -activiteit zich op een hoogte van 1,0 meter in het centrum van de torso van de patiënt bevindt en beschouw dit als puntbron
- Veronderstel dat de transmissie T tussen patiënt en dosistempomonitor gelijk mag worden gesteld aan 1
- **Bijlage, blz. 5:** De netto meetwaarde van $\dot{H}^*(10)$ (in $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) als functie van de tijd (in h)



Vraag 2.1 [3 punten]

Toon door berekening aan dat de geïnjecteerde ^{99m}Tc -activiteit aan de hand van het gemeten omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ ongeveer 440 MBq is.

De stralingsfysicus wil vervolgens nagaan of het mogelijk is om de effectieve volg dosis te bepalen aan de hand van de in vraag 1 berekende activiteit. Hij weet echter dat hij geen gebruik mag maken van de dosisconversiecoëfficiënten uit het Handboek Radionucliden omdat hij een patiënt is en geen werknemer. Om het probleem te vereenvoudigen gaat hij ervan uit dat al het tetrofosmine zich homogeen over het lichaam verdeelt¹.

Aanvullende gegevens:

- **Bijlage, blz. 5:** De nettowaarde van het omgevingsdosisequivalenttempo $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) als functie van de tijd (h) na injectie
- Uit de meetgegevens (**Bijlage, blz. 5**) blijkt dat er geen excretie van ^{99m}Tc plaatsvindt
- De massa van de referentieman bedraagt 70 kg
- **Bijlage, blz. 6-7:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 124-125: ^{99m}Tc
- **Bijlage, blz. 8:** Specifiek geabsorbeerde fractie $\text{SAF}(T \leftarrow S)$ (g^{-1}) doelorgaan = bronorgaan = "totale lichaam" voor verschillende foton-energieën (in MeV); uit publicatie ICRP-23, blz. 462

Vraag 2.2a [2 punten]

Bereken het totaal aantal desintegraties in het lichaam U_s .

Vraag 2.2b [4 punten]

Toon aan dat de specifieke effectieve energie $\text{SEE}(\text{totale lichaam} \leftarrow \text{totale lichaam})$ gelijk is aan $6,54 \cdot 10^{-7} \text{ MeV}\cdot\text{g}^{-1}$ per desintegratie.

Als u het aantal desintegraties in vraag 2.2a niet heeft kunnen berekenen mag u uitgaan van $1 \cdot 10^{13}$ desintegraties.

Vraag 2.2c [4 punten]

Bereken de effectieve volg dosis E_{50} (in Sv) uitgaande van de waarden genoemd en berekend in vraag 2.2a en 2.2b.

Vraag 2.3 [2 punten]

Geef twee redenen waarom de berekende effectieve volg dosis af zou kunnen wijken van de werkelijke waarde.

¹ Zie details in publicatie ICRP-128, blz. 223-226.

De stralingsfysicus zoekt op internet naar bevestiging van zijn berekening en treft daar de bijsluiters van het gebruikte radiofarmaca aan.

Aanvullende gegevens:

- Volgens de bijsluiters² is de dosisconversiecoëfficiënt van met ^{99m}Tc gelabeld tetrofosmine bij inspanning $e_{\text{injectie}}(50) = 5,8 \cdot 10^{-12} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$

Vraag 2.4 [2 punten]

Bereken de effectieve volg dosis E_{50} (in mSv) uitgaande van de door de fabrikant gegeven dosisconversiecoëfficiënt van tetrofosmine bij inspanning.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 2	
Vraag	Punten
2.1	3
2.2a	2
2.2b	4
2.2c	4
2.3	2
2.4	2
Totaal	17

² http://www.rotop-pharmaka.de/fileadmin/user_upload/GFIs/Tetrofosmin/SmPC-Tetrofosmin-BE-nie-01.pdf

Vraagstuk 3: Beoordeling risico-inventarisatie en –evaluatie dierenartspraktijk met een C-boog [13 punten]

Een dierenarts wil een tweedehands C-boog aanschaffen voor het uitvoeren van veterinaire verrichtingen onder doorlichting.



Zij vraagt aan u als stralingsbeschermingsdeskundige om hiervoor de registratie te regelen.

Het is uw taak om te beoordelen of de door haar toegestuurde informatie volledig en correct is, alvorens de aanvraag te doen.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 9:** brief van de dierenarts
- **Bijlage, blz. 10-11:** RI&E van de dierenarts
- **Bijlage, blz. 12:** Stappenplan wanneer vraagt u een registratie of vergunning aan? www.autoriteitnvs.nl

Vraag 3.1 [2 punten]

Beargumenteer op basis van het stappenplan in de bijlage of voor dit toestel en de geplande toepassing een registratie nodig is (zoals de dierenarts zegt) of dat dit een vergunning moet zijn.

Vraag 3.2 [3 punten]

Controleer **paragraaf 1. Blootstelling en indeling medewerkers in röntgenkamer** van de RI&E van de dierenarts (zie **Bijlage, blz. 10-11**) en som op wat hier mis gaat. Hierbij wordt 1 punt per aangewezen fout toegekend tot een maximum van 3 punten.

In dit vraagstuk mag u uitgaan van de veronderstelling dat de eerste, tweede en volgende halveringsdiktes gelijk aan elkaar zijn. Ga ervan uit dat de halveringsdikte van lood bij deze röntgenstraling gelijk is aan 0,10 mm.

Vraag 3.3 [3 punten]

Controleer en corrigeer de berekening van het loodequivalent van de muur die in **paragraaf 3. Loodequivalent** van de RI&E is uitgevoerd.

Vraag 3.4 [3 punten]

Corrigeer de berekening in **paragraaf 4. Afschermings- en dosisberekening baliemedewerker** uit de RI&E en de daarop gebaseerde conclusie voor de indeling van de baliemedewerker als blootgestelde werknemer. Doe dit door zelf een berekening uit te voeren en (uitsluitend) daarop deze indeling te baseren.

De stralingsbeschermingsdeskundige wil naast de RI&E ook de multifunctionele individuele dosis (MID) berekenen om toe te voegen aan de aanvraag die aan de ANVS wordt gericht.

Vraag 3.5 [2 punten]

Schrijf een verzoek (vraag) om aanvullende informatie aan de dierenarts om de berekening van de MID mogelijk te maken.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 3	
Vraag	Punten
3.1	2
3.2	3
3.3	3
3.4	3
3.5	2
Totaal	13

Vraagstuk 4: Detectie van americium-241 met een ionisatiekamer [13 punten]

Met een met stikstof (N_2) gevulde detector (een ionisatiekamer) wordt alfastraling gemeten. Een medewerker wil met behulp van ^{241}Am enkele eigenschappen van de detector bestuderen en rekent daarvoor wat karakteristieken van de detector door.

Gegevens:

- De energie van de uitgezonden alfadeeltjes (yield = 1) is 5,5 MeV
- **Bijlage, blz. 13:** De ionisatie-energie W voor elektronen, protonen en alfadeeltjes in verschillende gassen
- 1 elektron heeft een elektrische lading van $1,6022 \cdot 10^{-19}$ Coulomb

Vraag 4.1 [3 punten]

Bereken de hoeveelheid vrijgemaakte negatieve lading (in Coulomb) dat een alfadeeltje van ^{241}Am veroorzaakt in het detectievolume (hint: bereken eerst het aantal vrijgemaakte ion-elektronparen).

De detector is direct boven de americiumbron geplaatst. Neem aan dat alle alfadeeltjes die de detector bereiken gemeten worden.

Indien u bij onderdeel 1 het antwoord schuldig bent gebleven, mag u aannemen dat een alfadeeltje $2,4 \cdot 10^{-14}$ C aan negatieve lading vrijmaakt.

Vraag 4.2 [4 punten]

Bereken de activiteit van de bron (in Bq) die nodig is om een ionisatiestroom van $5 \cdot 10^{-12}$ A (= 5 pA) te produceren?

Een meting aan een americiumbron, met een activiteit van 4 kBq, geeft een bruto teltempo van 885 cps, gemiddeld over een meettijd van 5 minuten. Het achtergrondteltempo bedraagt 45 cps, gemiddeld over een meettijd van 10 minuten.

Vraag 4.3 [4 punten]

Bereken het netto teltempo voor deze meting en het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Aanvullende gegevens:

- De dode tijd van bovengenoemd systeem waarmee ^{241}Am wordt gemeten is $45 \mu\text{s}$
- Het systeem is niet-paralyseerbaar, hetgeen betekent dat het systeem na een eerste interactie, gedurende de dode tijd niet beïnvloedbaar is door volgende interacties

Vraag 4.4 [2 punten]

Bereken het maximale teltempo dat we met dit systeem kunnen meten.

Puntenwaardering:

Vraagstuk 4	
Vraag	Punten
4.1	3
4.2	4
4.3	4
4.4	2
Totaal	13