



/ rijksuniversiteit
groningen

/ arbo, milieu en
duurzaamheid

/ garp

Proefexamen

ToeziChthouder Stralingsbescherming VRS-C

examenduur: 10:00 - 13:00 uur

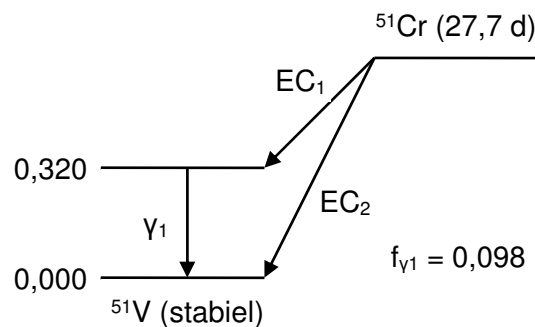
- **Dit examen omvat 8 genummerde pagina's. Controleer dit!**
- Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
- Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- Het is geoorloofd 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.
- Niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is:
 - Vraagstuk 1: 17 punten
 - Vraagstuk 2: 16 punten
 - Vraagstuk 3: 17 punten
 - Vraagstuk 4: 17 punten
- U bent voor dit examenonderdeel geslaagd als u tenminste 55% van het totaal aantal punten hebt behaald.

Vraagstuk 1: Bepaling van ^{51}Cr -activiteit

Een bron bestaat uit een dunne laag radioactief ^{51}Cr . Om de activiteit van de laag te bepalen, wordt het γ -spectrum gemeten met behulp van een cilindervormige NaI-scintillatiedetector. Na een meettijd van 100 seconden bevat de fotopiek 1346 telpulsen. De achtergrond, gemeten in dezelfde tijd, bedraagt 47 telpulsen.

Gegevens

- Het vervalschema van het radionuclide ^{51}Cr (zie figuur 1).
- De diameter van het NaI-kristal is 38 mm.
- De bron is geplaatst op de as van de detector.
- De afstand tussen bron en voorvlak van de detector is 10 cm.
- Het geometrisch rendement $f_{\text{geometrie}}$ is gedefinieerd als het aantal γ -fotonen dat het voorvlak van de detector treft gedeeld door het aantal γ -fotonen dat in dezelfde tijd door de bron wordt uitgezonden.
- Het fotopiekerendement f_{fotopiek} is gedefinieerd als het aantal pulsen dat in de fotopiek wordt geteld gedeeld door het aantal γ -fotonen dat het voorvlak van de detector treft.
- Het fotopiekerendement bij een γ -energie van 320 keV is $f_{\text{fotopiek}} = 0,40$.
- De bron mag als een puntbron worden beschouwd.
- Verwaarloos absorptie in bron, lucht en omhulling van de detector.



Figuur 1. Vervalschema van het radionuclide ^{51}Cr . Energieën zijn gegeven in MeV.

Vraag 1 [5 punten]

Bereken het geometrisch rendement voor de gebruikte detectoropstelling.

Vraag 2 [4 punten]

Bereken het aantal telpulsen in de fotopiek voor 1 Bq ^{51}Cr bij een meettijd van 100 seconden.

Vraag 3 [3 punten]

Bereken het gemeten netto teltempo (in tps) en de standaarddeviatie hiervan.

Vraag 4 [5 punten]

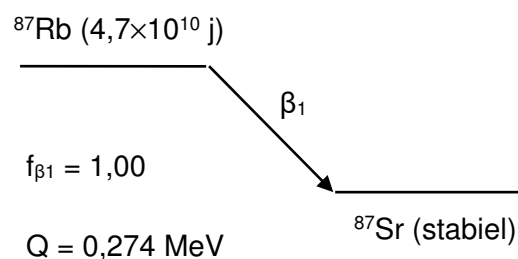
Bereken de activiteit van de ^{51}Cr -bron en de standaarddeviatie hiervan.

Vraagstuk 2: Bepaling van telrendement

De toezichthouder wil het telrendement bepalen van een meetopstelling die bestaat uit een GM-telbuis met een dun eindvenster. Daartoe wordt 1,0 mg rubidiumchloride (RbCl) onder de telbuis geplaatst. Met RbCl meet men 1108 telpulsen in 30 minuten en zonder RbCl meet men 22 080 telpulsen, bij een teltijd van 16 uur.

Gegevens

- Het vervalschema van het radionuclide ^{87}Rb (zie figuur 2)
- Het atoomgewicht van rubidium is 85,5.
- Het atoomgewicht van chloor is 35,5.
- Natuurlijk rubidium bestaat voor 27,85 atoom% uit het radionuclide ^{87}Rb .
- Het getal van Avogadro is $N_{\text{Avogadro}} = 6,02 \times 10^{23}$ per mol.



Figuur 2. Vervalschema van het radionuclide ^{87}Rb . Energieën zijn gegeven in MeV.

Vraag 1 [6 punten]

Bereken de activiteit van 1,0 mg RbCl.

Vraag 2a [3 punten]

Bereken het teltempo ten gevolge van het nuleffect (dat is het teltempo zonder RbCl). Druk het resultaat uit in telpulsen per seconde (tps).

Vraag 2b [3 punten]

Bereken het bruto teltempo (dat is het teltempo met RbCl). Druk het resultaat uit in tps.

Vraag 2c [2 punten]

Bereken de netto bijdrage van het RbCl tot het teltempo. Druk het resultaat uit in tps.

Vraag 3 [2 punten]

Bereken het telrendement (in tps per Bq). Ga uit van een bronsterkte van 2 Bq als u het antwoord op vraag 1 schuldig bent gebleven.

Vraagstuk 3: TLD-badge zoekgeraakt

Terwijl de toezichthouder een vat met radioactief afval in de opslag plaatst, valt zijn persoonsdosimeter (TLD-badge) ongemerkt op de grond, naast het afvalvat. Ongeveer in het midden van de bodem van het vat ligt afval dat besmet is met het radionuclide ^{124}Sb . De bijdrage van het overige afval tot het omgevingsdosisequivalent mag in dit vraagstuk worden verwaarloosd.

Als de toezichthouder 14 dagen later terugkomt in de opslag ziet hij wat er gebeurd is. Hij meet de diameter van het afvalvat, de afstand tussen badge en buitenkant van het vat, en het omgevingsdosisequivalenttempo ter hoogte van de vloer op de buitenkant van het vat.

Gegevens

- Bronconstante van ^{124}Sb is $h = 0,27 \mu\text{Sv/uur}$ per MBq/m^2 .
- Halveringstijd van ^{124}Sb is $T_{1/2} = 60,20 \text{ d}$.
- Het afvalvat bevat 8 kg vast afval, waarvan 100 g met ^{124}Sb is besmet.
- Diameter van het afvalvat is 60 cm.
- De afstand tussen de TLD-badge en de buitenkant van het vat is 50 cm.
- Het omgevingsdosisequivalenttempo op de buitenkant van het vat is $50 \mu\text{Sv/uur}$.
- De afschermdende werking van vat en inhoud mag worden verwaarloosd.
- Het met ^{124}Sb besmette afval mag als een puntvormige bron worden beschouwd.
- Volgens het Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming zijn de vrijgavegrenzen voor ^{124}Sb in matige hoeveelheden ($< 1000 \text{ kg}$) vast afval:
 1. vrijgavegrens voor de activiteit is $A_v = 1 \times 10^6 \text{ Bq}$;
 2. vrijgavegrens voor de activiteitsconcentratie is $C_v = 10 \text{ Bq/g}$.

Vraag 1a [4 punten]

Tussen welke grenzen ligt de ^{124}Sb -activiteit op de dag dat de TLD-badge werd terug gevonden? Ga er bij de berekening vanuit dat de activiteit maximaal 10 cm uit het midden van de bodem ligt.

Vraag 1b [3 punten]

Tussen welke grenzen lag de ^{124}Sb -activiteit op de dag dat het afvalvat naar de opslag werd gebracht?

Vraag 2 [4 punten]

Bereken de minimaal verwachte dosisuitslag van de TLD-badge.

Vraag 3 [4 punten]

Mag dit afvalvat 6 maanden na plaatsing in de opslag worden vrijgegeven? Motiveer uw antwoord.

Vraag 4 [2 punten]

Moet de toezichthouder dit voorval melden bij de overheid? Motiveer uw antwoord.

Vraagstuk 4: Plutoniumbesmetting

Een werknemer in een plutoniumfabriek ademt bij het breken van een ampul vermoedelijk enige activiteit ^{239}Pu in, waarna hij onmiddellijk de toezichthouder waarschuwt. Om een snelle schatting van de hoeveelheid ingeademde activiteit te kunnen maken, vraagt deze de werknemer om zijn neus grondig te snuiten. In het snuitsel wordt bij meting 17 Bq ^{239}Pu aangetroffen. Vervolgens vraagt hij de werknemer om gedurende de eerstvolgende 24 uur zijn urine te verzamelen en in te leveren. Hierin wordt naderhand een activiteit van 16 mBq ^{239}Pu gemeten.

Gegevens

- Ga uit van een AMAD = 5 μm .
- Ga uit van een neusademer met een ademvolumetempo van 1,2 m³/uur.
- Depositiegegevens volgens het longmodel van ICRP-66 (zie tabel 1).
- Urine-excretie voor eenmalige inname van 1 Bq ^{239}Pu (zie tabel 2).
- Dosisconversiecoëfficiënten voor ^{239}Pu (zie tabel 3).

Vraag 1a [2 punten]

Welke fractie van de ingeademde activiteit blijft achter in de neusholte?

Vraag 1b [3 punten]

Welke ^{239}Pu -activiteit is ingeademd?

Vraag 2a [4 punten]

Welke activiteit verwacht u aan te treffen in de verzamelde urine als de betreffende Pu-verbinding behoort tot type M ?

Vraag 2b [2 punten]

Welke activiteit verwacht u aan te treffen in de verzamelde urine als de betreffende Pu-verbinding behoort tot type S ?

Vraag 3 [3 punten]

Tot welk type behoort de ingeademde Pu-verbinding naar alle waarschijnlijkheid?

Vraag 4 [3 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor deze werknemer.

AMAD (μm)	ET₁	ET₂	BB	bb	AI	totaal
1	0,17	0,21	0,01	0,02	0,11	0,51
2	0,25	0,32	0,02	0,01	0,09	0,70
3	0,30	0,37	0,02	0,01	0,08	0,78
5	0,34	0,40	0,02	0,01	0,05	0,82
7	0,35	0,40	0,01	0,01	0,04	0,81
10	0,35	0,38	0,01	0,00	0,02	0,77

Tabel 1. Fracties aërosolen gedeponeerd in de verschillende compartimenten van het longmodel (neusademmer, ademvolumetempo = 1,2 m³/uur).

tijd (d)	ingestie	inhalatie type M	inhalatie type S
1	$4,3 \times 10^{-8}$	$3,1 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-5}$
2	$3,1 \times 10^{-8}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-5}$
3	$2,3 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-6}$

Tabel 2. Urine-activiteit (in Bq per dag) na eenmalige inname van 1 Bq ²³⁹Pu.

	ingestie	inhalatie type M	inhalatie type S
e(50) (Sv/Bq)	$9,0 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-5}$	$8,3 \times 10^{-6}$

Tabel 3. Dosisconversiecoëfficiënten (in Sv/Bq) voor ingestie en inhalatie van ²³⁹Pu voor AMAD = 5 μm .