

Uitwerkingen Proefexamen Toezichthouder Stralingsbescherming VRS-C

examenduur: 10:00 - 13:00 uur

- vraagstuk 1: zie file OV_980612.WPD (vraagstuk 1)
- vraagstuk 2: zie file OV_980612.WPD (vraagstuk 2)
- vraagstuk 3: examen niveau-3 (08-05-2006, vraagstuk 1)
- vraagstuk 4: nieuw

zie file TStoets-vrsC-ov-1p.docx
eerste versie 28-11-18

Vraagstuk 1: Lekttest van $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ -bron

Vraag 1 [6 punten]

Bepaal de maximale β -energieën en de γ -energieën van alle overgangen die in de bron optreden.

aflezen van figuur 1

$$E_{\max,\beta 0} = 0,039 \text{ MeV}$$

$$E_{\max,\beta 1} = 3,540 - 1,562 = 1,978 \text{ MeV}$$

$$E_{\max,\beta 2} = 3,540 - 1,134 = 2,406 \text{ MeV}$$

$$E_{\max,\beta 3} = 3,540 - 0,512 = 3,028 \text{ MeV}$$

$$E_{\max,\beta 4} = 3,540 \text{ MeV}$$

$$E_{\gamma 1} = 1,562 - 0,512 = 1,050 \text{ MeV}$$

$$E_{\gamma 2} = 1,134 - 0,512 = 0,622 \text{ MeV}$$

$$E_{\gamma 3} = 0,512 \text{ MeV}$$

Vraag 2 [6 punten]

Bepaal het detectierendement voor ^{106}Ru in evenwicht met ^{106}Rh (in tps per Bq).

aflezen van tabel 1

$$E_{\max,\beta 0} < 0,1 \text{ MeV} \quad \varepsilon_{\beta 0} = 0,0$$

$$E_{\max,\beta i} > 0,5 \text{ MeV} \quad \varepsilon_{\beta i} = 0,2 \quad \text{voor } i = 1, 2, 3, 4$$

$$E_{\gamma i} > 0,5 \text{ MeV} \quad \varepsilon_{\gamma i} = 0,06 \quad \text{voor } i = 1, 2, 3$$

$$f_{\beta 1} + f_{\beta 2} + f_{\beta 3} + f_{\beta 4} = 1$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= f_{\beta 0}\varepsilon_{\beta 0} + (f_{\beta 1}\varepsilon_{\beta 1} + f_{\beta 2}\varepsilon_{\beta 2} + f_{\beta 3}\varepsilon_{\beta 3} + f_{\beta 4}\varepsilon_{\beta 4}) + f_{\gamma 1}\varepsilon_{\gamma 1} + f_{\gamma 2}\varepsilon_{\gamma 2} + f_{\gamma 3}\varepsilon_{\gamma 3} \\ &= 1 \times 0,0 + 1 \times 0,2 + (0,017 + 0,097 + 0,198) \times 0,06 = 0,22 \text{ tps/Bq} \end{aligned}$$

Vraag 3 [3 punten]

Bereken de afgewreven ^{106}Ru -activiteit.

$$\text{activiteit is } A = 35 \text{ (tps)} / 0,22 \text{ (tps/Bq)} = 159 \text{ Bq}$$

Vraag 4 [2 punten]

Moet de bron als "lek" worden aangemerkt? Beargumenteer uw conclusie.

niet de bron zelf maar de houder is geveegd, dus het criterium is 18,5 Bq

→ de bron moet als lek worden beschouwd

Vraagstuk 2: Minimaal detecteerbare activiteit

Vraag 1a [3 punten]

Bepaal de maximale dracht van de β -deeltjes en de conversie-elektronen.

aflezen van figuur 2 en figuur 3

$$\begin{array}{ll} E_{\max, \beta 1} = 1,176 - 0,662 = 0,514 \text{ MeV} & R = 170 \text{ mg/cm}^2 \\ E_{\max, \beta 2} = 1,176 \text{ MeV} & R = 450 \text{ mg/cm}^2 \\ E_{ce, \gamma 1} = 0,63 \text{ MeV} & R = 200 \text{ mg/cm}^2 \end{array}$$

Vraag 1b [4 punten]

Maak een schatting van de transmissie van lucht en telbuisvenster voor de β -deeltjes en de conversie-elektronen.

$$f_{\text{abs}} = \text{transmissie} = e^{-0,963 \times d/d^{1/2}}$$

$$\begin{aligned} \text{massieke dikte lucht + venster} &= 30 \times 1,2 \times 10^{-3} + 50 \times 10^{-4} \times 2,70 \\ &= 49,5 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2 = 49,5 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} d_{1/2, \beta 1} = 170 / 7 = 24 \text{ mg/cm}^2 & f_{\text{abs}, \beta 1} = e^{-0,963 \times 49,5/24} = 0,24 \\ d_{1/2, \beta 2} = 450 / 7 = 64 \text{ mg/cm}^2 & f_{\text{abs}, \beta 2} = e^{-0,963 \times 49,5/64} = 0,59 \\ d_{1/2, ce \gamma 1} = 200 / 7 = 29 \text{ mg/cm}^2 & f_{\text{abs}, ce \gamma 1} = e^{-0,963 \times 49,5/29} = 0,31 \end{array}$$

Vraag 2 [3 punten]

Bereken het geometrisch rendement van de meetopstelling.

geometrisch rendement

$$\begin{aligned} f_{\text{geo}} &= \text{oppervlak detector} / \text{oppervlak bol met straal van 30 cm} \\ &= (\pi \times 1,2^2) / (4\pi \times 30^2) = 4 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Vraag 3 [4 punten]

Bereken het detectierendement.

detectierendement

$$\begin{aligned} \epsilon &= \sum f_{em} \times f_{\text{geo}} \times f_{\text{abs}} \times f_{\text{det}} \\ &= \sum (f_{em} \times f_{\text{abs}}) \times f_{\text{geo}} \times f_{\text{det}} \\ &= (0,944 \times 0,24 + 0,056 \times 0,59 + 0,093 \times 0,31) \times 4 \times 10^{-4} \times 1 \\ &= 1,15 \times 10^{-4} \text{ tps/Bq} \end{aligned}$$

Vraag 4 [3 punten]

Bereken de minimaal detecteerbare ^{137}Cs -activiteit A_{\min} .

detectierendement $\times A_{\min} = \text{nuleffect}$

$$1,15 \times 10^{-4} \text{ (tps/Bq)} \times A_{\min} = 45 \text{ (tpm)} / 60 \text{ (s/min)} = 0,75 \text{ tps}$$

$$A_{\min} = 0,75 \text{ (tps)} / 1,15 \times 10^{-4} \text{ (tps/Bq)} = 6,5 \times 10^3 \text{ Bq} = 6,5 \text{ kBq}$$

Vraagstuk 3: Afscherming van ^{177}Lu -oplossing

Vraag 1 [4 punten]

Bepaal welke lokale ventilatievoorziening men tenminste moet gebruiken om met 150 GBq niet vluchtig ^{177}Lu -chloride in een B-laboratorium eenvoudige labeling-experimenten te mogen uitvoeren.

inhalatieklasse M

$$\rightarrow e_{\text{inhalatie}}(50) = 1,0 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$$

$$X = A \times e_{\text{inhalatie}}(50) = 150 \times 10^9 \text{ (Bq)} \times 1,0 \times 10^{-9} \text{ (Sv/Bq)} = 150 \text{ Re}_{\text{inh}}$$

$$X_{\text{max}} = 0,02 \times 10^{p+q+r} = 0,02 \times 10^{-2+3+r} = 0,2 \times 10^r = 200 \text{ Re}_{\text{inh}}$$

$$\rightarrow r = 3 \rightarrow \text{ventilatievoorziening is een gesloten kast, klasse 3}$$

Vraag 2 [4 punten]

Hoeveel bedraagt het omgevingsdosisequivalenttempo op het oppervlak van de doos en op 1 meter van dat oppervlak? Verwaarloos de verzwakking van fotonen door het glazen flesje, het karton en het aanwezige vulmateriaal.

op het oppervlak

$$\dot{H}^* = h \times A / r^2$$

$$= 0,0063 \text{ (}\mu\text{Sv/uur per MBq/m}^2\text{)} \times 150 \times 10^3 \text{ (MBq)} \times (1 \text{ m} / 0,2 \text{ m})^2$$

$$= 2,36 \times 10^4 \mu\text{Sv/uur} = 23,6 \text{ mSv/uur}$$

op 1 m van oppervlak

$$\dot{H}^* = 23,6 \text{ (mSv/uur)} \times (0,2 \text{ m} / 1,2 \text{ m})^2 = 0,66 \text{ mSv/uur}$$

Vraag 3 [4 punten]

Hoeveel moet de wanddikte van een loodpot waarin het glazen flesje wordt geplaatst tenminste bedragen om te voldoen aan de transporteisen? Kies voor de bepaling van $d_{1/2}$ zelf een fotonenergie van ^{177}Lu die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming aan de veilige kant is en neem een dosisopbouwfactor $B = 2$. Het flesje mag als een puntbron worden beschouwd. Rond het berekende resultaat af op een hele mm.

maximale waarden van het omgevingsdosisequivalenttempo van een collo zijn 2 mSv/uur op het oppervlak en 0,1 mSv/uur op 1 meter van het oppervlak
uit de eis voor het oppervlak volgt de transmissie

$$T = 2 / 23,6 = 8,5 \times 10^{-2}$$

uit de eis voor 1 meter vanaf het oppervlak volgt de transmissie

$$T = 0,1 / 0,66 = 0,15$$

de eis voor het oppervlak is dus het meest beperkend

kies $E_\gamma = 208$ keV (grootste energie, dus onderschatting van de afscherming)
aflezen van figuur 5 voor lood bij 208 keV

$$d_{1/2} \rho = 0,9 \text{ g/cm}^2 \rightarrow \mu/\rho = 0,693 / 0,9 \text{ (g/cm}^2\text{)} = 0,77 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$B = 2$ (gegeven)

transmissie $T = B e^{-(\mu/\rho) \times (d \rho)}$, dus

$$(\mu/\rho) \times (d \rho) = -\ln(T / B) = -\ln(0,085 / 2) = 3,16$$

$$d \rho = 3,16 / (\mu/\rho) = 3,16 / 0,77 = 4,1 \text{ g/cm}^2$$

$$d = 4,1 \text{ (g/cm}^2\text{)} / \rho = 4,1 \text{ (g/cm}^2\text{)} / 11,34 \text{ (g/cm}^3\text{)} = 0,36 \text{ cm} = 3,6 \text{ mm}$$

naar boven afronden op hele mm $\rightarrow d = 4$ mm

Vraag 4 [5 punten]

Men heeft alleen een loodpot met een wanddikte van 2,5 mm. Neem een dosis-opbouwfactor $B = 1,5$. Hoelang moet men wachten voordat het ^{177}Lu in de hiervoor genoemde verpakking over de openbare weg mag worden vervoerd?

op het oppervlak

$$\dot{H}^* = 23,6 \text{ (mSv/uur)} \times B e^{-(\mu/\rho) \times (d \rho)}$$

$$= 23,6 \text{ (mSv/uur)} \times 1,5 \times e^{-0,77 \times 0,25 \times 11,34} = 4,0 \text{ mSv/uur}$$

$$e^{-0,693 \times t / 6,71} = 2 / 4,0 = 0,5$$

$$t = \ln(0,5) \times 6,71 \text{ (d)} / 0,693 = 6,7 \text{ d}$$

Vraagstuk 4: Stralingsbelasting door ^{14}C

Vraag 1 [4 punten]

Bereken het aantal desintegraties per jaar ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam.

aantal desintegraties

$$U_s = A \times t = 3500 \text{ (Bq)} \times 365 \text{ (d/j)} \times 24 \text{ (uur/d)} \times 3600 \text{ (s/uur)} \\ = 1,1 \times 10^{11} \text{ Bq s per jaar}$$

Vraag 2 [4 punten]

Bereken de energie die jaarlijks in het lichaam wordt gedeponeed als gevolg van het verval van ^{14}C . Druk het resultaat uit in joule.

gemiddelde β -energie	$\langle E_\beta \rangle = 0,156 \text{ (MeV)} / 3 = 0,052 \text{ MeV}$
energie per Bq s	$\langle E_\beta \rangle = 0,052 \text{ (MeV)} \times 10^6 \text{ (eV/MeV)} \times 1,6022 \times 10^{-19} \text{ (J/eV)} \\ = 8,3 \times 10^{-15} \text{ J per Bq s}$
gedeponeerde energie	$U_s \times \langle E_\beta \rangle = 1,1 \times 10^{11} \text{ (Bq s/j)} \times 8,3 \times 10^{-15} \text{ (J/Bq s)} \\ = 9,1 \times 10^{-4} \text{ J per jaar}$

Vraag 3 [4 punten]

Bereken de effectieve jaardosis ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam.

geabsorbeerde dosis	$D = 9,1 \times 10^{-4} \text{ (J/j)} / 70 \text{ (kg)} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ Gy/j} = 13 \text{ } \mu\text{Gy/j}$
stralingsweegfactor	$w_R = 1 \text{ Sv/Gy}$
weefselweegfactor	$w_T = w_{\text{lichaam}} = 1$
effectieve dosis	$E = D (13 \text{ } \mu\text{Gy/j}) \times w_R \times w_T \\ = 13 \text{ (} \mu\text{Gy/j)} \times 1 \text{ (Sv/Gy)} \times 1 = 13 \text{ } \mu\text{Sv/j}$

Vraag 4 [4 punten]

Bereken nogmaals de effectieve jaardosis ten gevolge van de ^{14}C -activiteit in het lichaam, maar dit maal met gebruikmaking van bovenstaand gegeven.

effectieve dosis	$E = e \times A$
dosisconversiefactor	$e = 3,5 \times 10^{-9} \text{ Sv/j per Bq in lichaam}$
effectieve dosis	$E = 3,5 \times 10^{-9} \text{ (Sv/j per Bq)} \times 3500 \text{ (Bq)} \\ = 1,2 \times 10^{-5} \text{ Sv/j} = 12 \text{ } \mu\text{Sv/j}$