# STRALINGSHYGIËNE OEFENINGEN

**voor toezichthoudend medewerkers stralingsbescherming**

**meet- en regeltoepassingen**
- **ingekapselde radioactieve bronnen**

**Frits Pleiter**
**Hielke Freerk Boersma**

**editie 2025**

Deze verzameling oefeningen is bedoeld om de cursist in de gelegenheid te stellen zijn eigen vaardigheden te toetsen. De opgaven zijn eenvoudig van aard en omvatten de stof die de cursist geacht wordt 'in de vingers te hebben' tijdens het examen.

De hoofdstuknummers in dit boek met oefeningen verwijzen naar de hoofdstukken uit het boek 'STRALINGSHYGIËNE voor toezichthoudend medewerkers stralingsbescherming - meet- en regeltoepassingen - ingekapselde radioactieve bronnen' van Frits Pleiter en Hielke Freerk Boersma (GARP, Groningen, 2024).

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze.

# INHOUD


| | | |
|---|---|---|
| 1 | Het atoom en de oorsprong van röntgenstraling | 5 |
| 2 | De atoomkern en de oorsprong van alfa-, beta- en gammastraling | 6 |
| 3 | Logaritme | 11 |
| 4 | Wisselwerking van ioniserende straling met materie | 12 |
| 5 | Afscherming van ioniserende straling | 15 |
| 6 | Toepassingen van ingekapselde bronnen | 17 |
| 7 | Grootheden en eenheden in de stralingsbescherming | 18 |
| 8 | Meten van ioniserende straling | 21 |
| 9 | Biologische effecten van ioniserende straling | 24 |
| 10 | Algemene wet- en regelgeving | 28 |
| 11 | Specifieke regelgeving voor ingekapselde bronnen | 32 |
| 12 | Praktische stralingsbescherming bij ingekapselde bronnen | 33 |
| 13 | Risicoanalyse voor ingekapselde bronnen | 34 |

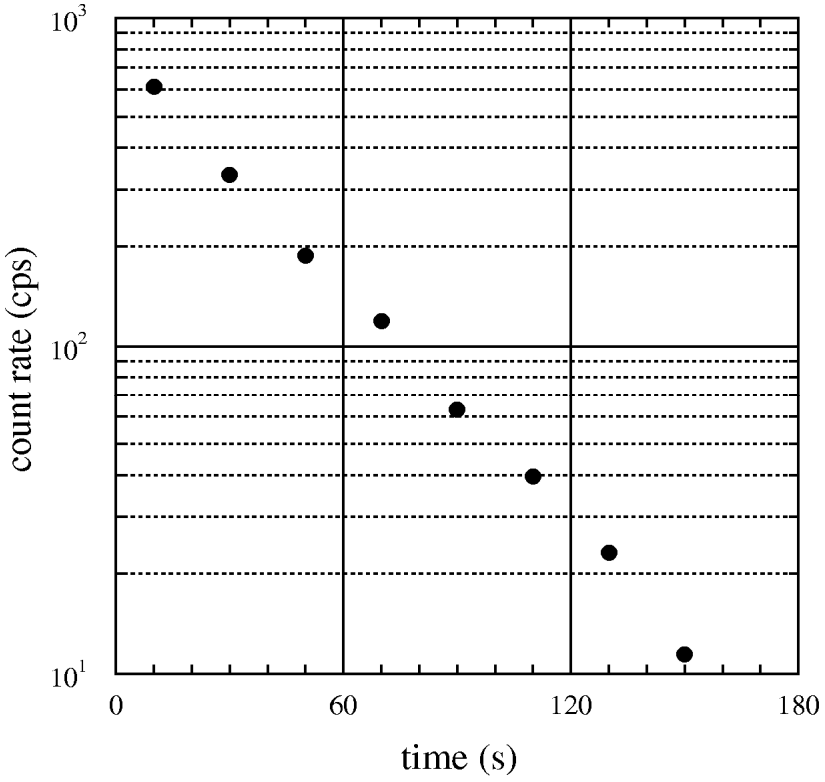
# 4 STRALINGSHYGIËNE

# 1 Het atoom en de oorsprong van röntgenstraling

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Een koperatoom bevat 29 protonen. Uit hoeveel elektronen bestaat de elektronenwolk van het neutrale koperatoom? | *29* |
| 2 | Uit welke deeltjes is de atoomkern opgebouwd? | *protonen en neutronen* |
| 3 | Wat wordt bedoeld met excitatie? | *elektron naar hogere energietoestand brengen* |
| 4 | Wat wordt bedoeld met ionisatie? | *elektron verwijderen uit atoom* |
| 5 | Wat wordt bedoeld met karakteristieke straling? | *straling die vrijkomt als een elektron naar een toestand met lagere energie gaat, dus een elektronenschil dichter bij de kern van het atoom gelegen* |
| 6 | Wat is het verschil tussen fotonen en elektromagnetische straling? | *er is geen verschil* |
| 7 | Wat is de bewegingsenergie van een elektron dat een potentiaalverschil van 1000 V doorlopen heeft? | *1000 eV = 1 keV* |
| 8 | Is de bindingsenergie in een molecuul enkele meV óf eV óf keV ? | *enkele eV* |
| 9 | Is de energie van röntgenstraling enkele tientallen meV óf eV óf keV ? | *enkele tientallen keV* |
| 10 | Heeft röntgenstraling wel of niet een schadelijke werking op het lichaam? | *wel* |

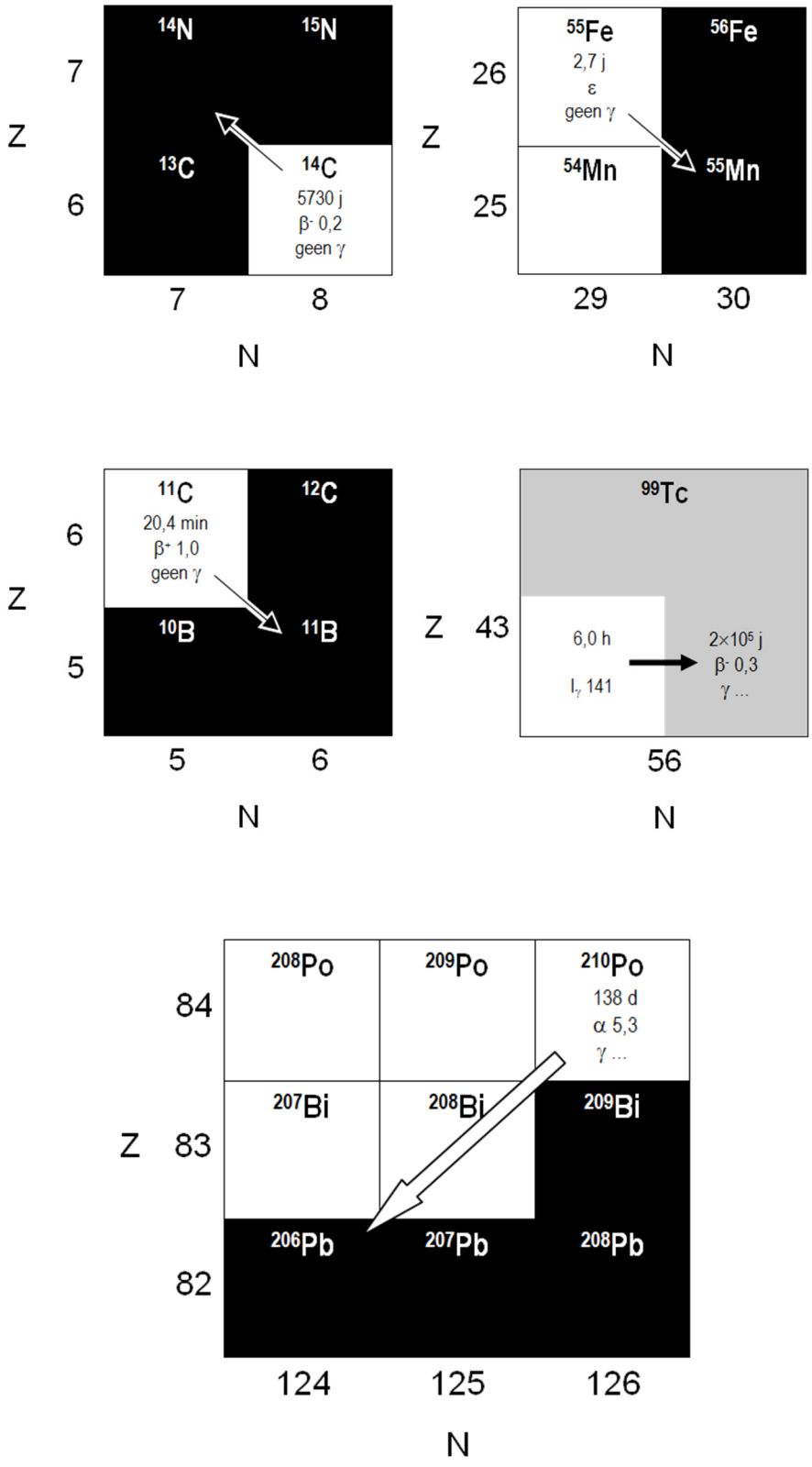
# 2 De atoomkern en de oorsprong van alfa-, beta- en gammastraling

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Wat zijn isotopen? | *atomen met gelijke Z en verschillende N* |
| 2 | Wat zijn isomeren? | *atomen met gelijke Z en gelijke N* |
| 3 | Wat kun je zeggen van het Z-getal van waterstof ($^{1}H$), zwaar waterstof ($^{2}H$) en tritium ($^{3}H$)? | *allen dezelfde Z (Z = 1)* |
| 4 | Wat kun je zeggen van het N-getal van waterstof ($^{1}H$), zwaar waterstof ($^{2}H$) en tritium ($^{3}H$)? | *allen verschillende N (respectievelijk 0, 1 en 2)* |
| 5 | Wat is de eenheid van activiteit?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *bequerel*<br>*Bq* |
| 6 | Hoeveel desintegraties per seconde (dps) is 1 Bq? | *1 dps* |
| 7 | Zou je 1 kBq in het algemeen een sterke of een zwakke bron noemen? | *zwakke bron* |
| 8 | Zou je 1 GBq in het algemeen een sterke of een zwakke bron noemen? | *sterke bron* |
| 9 | De beginactiviteit is 100 MBq. De halveringstijd bedraagt 24 uur. Hoe groot is de activiteit na 1 dag? | *100 / 2 = 50 MBq*<br>*want 1 dag = 24 uur* |
| 10 | En hoe groot is de activiteit na 5 dagen en hoeveel procent van de oorspronkelijke activiteit is dit? | *100 / 32 = 3 MBq*<br>*want $2^5 = 32$*<br>*ongeveer 3%* |
| 11 | Hoe groot is de halveringstijd in het voorbeeld weergegeven in Figuur 2.1? | *25 seconden* |




*Figuur 2.1*

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 12 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij $\beta^-$-verval? | *$\Delta Z = +1, \Delta N = -1, \Delta A = 0$* |
| 13 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij $\beta^+$-verval? | *$\Delta Z = -1, \Delta N = +1, \Delta A = 0$* |
| 14 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij elektronvangst? | *$\Delta Z = -1, \Delta N = +1, \Delta A = 0$* |
| 15 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij $\alpha$-verval? | *$\Delta Z = -2, \Delta N = -2, \Delta A = -4$* |
| 16 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij $\gamma$-verval? | *$\Delta Z = 0, \Delta N = 0, \Delta A = 0$* |
| 17 | Hoe veranderen Z, N en massagetal A bij interne conversie? | *$\Delta Z = 0, \Delta N = 0, \Delta A = 0$* |
| 18 | Welk secundair proces treedt op na elektronvangst? | *emissie van röntgenfotonen* |
| 19 | Welk secundair proces treedt op na interne conversie? | *emissie van röntgenfotonen* |
| 20 | Welk secundair proces treedt op na $\beta^+$-verval? | *emissie van annihilatie-straling ($E_{\pm}$ = 511 keV)* |
| 21 | De desintegratie-energie is 1000 keV. Kan $\beta^+$-verval plaatsvinden? | *nee, daarvoor moet de energie tenminste 2 × 511 keV zijn* |
| 22 | Benoem de vervalprocessen in Figuur 2.2. | *vanaf linksboven: $\beta^-$-verval, elektronvangst, $\beta^+$-verval, $\gamma$-verval en $\alpha$-verval* |
| 23 | Kan een kern zowel $\beta^-$-verval als $\beta^+$-verval vertonen? | *ja, maar niet tegelijkertijd tijdens hetzelfde vervalproces* |
| 24 | Wat is annihilatie? | *$e^+ + e^- \rightarrow$ 2 fotonen van elk 511 keV* |
| 25 | Kan het emissierendement groter dan 100% zijn? | *ja, bijvoorbeeld in geval van röntgen- of annihilatiefotonen* |

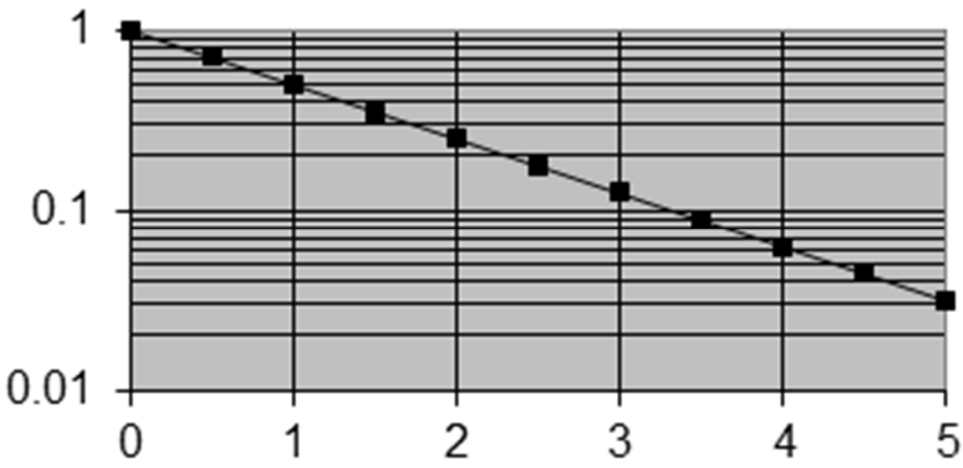

14N
15N
13C
14C
5730 j
β- 0,2
geen γ
7
6
Z
7
8
N
55Fe
2,7 j
ε
geen γ
56Fe
54Mn
55Mn
26
25
Z
29
30
N
11C
20,4 min
β+ 1,0
geen γ
12C
10B
11B
6
5
Z
5
6
N
99Tc
6,0 h
Iγ 141
2×10⁵ j
β- 0,3
γ ...
Z 43
56
N
208Po
209Po
210Po
138 d
α 5,3
γ ...
207Bi
208Bi
209Bi
206Pb
207Pb
208Pb
84
Z 83
82
124
125
126
N

*Figuur 2.2*

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 26 | Het radionuclide $^{210}_{84}$Po vervalt via α-verval. Wat is het massagetal en de Z-waarde van de dochterkern? | *A = 206 en Z = 82 (dus $^{206}_{82}Pb$)* |
| 27 | Het radionuclide $^{214}_{82}$Pb is ontstaan via α-verval. Wat was het massagetal en de Z-waarde van de moederkern? | *A = 218 en Z = 84 (dus $^{218}_{84}Po$)* |
| 28 | Het radionuclide $^{45}_{20}$Ca vervalt via $\beta^-$-verval. Wat is het massagetal en de Z-waarde van de dochterkern? | *A = 45 en Z = 21 (dus $^{45}_{21}Sc$)* |
| 29 | Het radionuclide $^{26}_{12}$Mg is ontstaan via elektronvangst. Wat was het massagetal en de Z-waarde van de moederkern? | *A = 26 en Z = 13 (dus $^{26}_{13}Al$)* |
| 30 | Het radionuclide $^{99m}$Tc vervalt naar $^{99}$Tc. Hoe wordt dit vervalproces gewoonlijk genoemd? | *isomeer verval* |

# 3 Logaritme

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Beschouw de grafiek in Figuur 3.1. Hoe groot is de functiewaarde (vertikale as) als x = 3 (horizontale as)? | *≈ 0,12* |
| 2 | En als x = 5 ? | *≈ 0,03* |
| 3 | Als log(2) = 0,3, hoe groot is dan log(4)? | *0,3 + 0,3 = 0,6*<br>*want log(4) = log(2 × 2)*<br>*= log(2) + log(2)* |
| 4 | Wat betekent het voorvoegsel m ? | *0,001* |
| 5 | Wat betekent het voorvoegsel M ? | *1000 000* |
| 6 | Wat betekent het voorvoegsel μ ? | *0,000 001* |
| 7 | Wat betekent het voorvoegsel k ? | *1000* |
| 8 | Wat betekent het voorvoegsel n ? | *0,000 000 001* |
| 9 | Wat betekent het voorvoegsel G ? | *1000 000 000* |
| 10 | Hoe schrijf je het product 1,0 × 234,56 met alleen maar significante cijfers? | *$2{,}3\times10^{2}$* |




*Figuur 3.1*

# 4 Wisselwerking van ioniserende straling met materie

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Noem enkele voorbeelden van elektromagnetische straling. | *radiogolven, radargolven, licht, röntgenstraling, gamma-straling* |
| 2 | Wat wordt er bedoeld met foto-effect? | *ionisatie t.g.v. absorptie van een foton* |
| 3 | Wat wordt er bedoeld met Compton-effect? | *verstrooiing van een foton aan een elektron* |
| 4 | Wat wordt er bedoeld met verstrooiing van straling? | *er worden nieuwe fotonen uitgezonden onder een steeds wisselende hoek met de oorspronkelijke richting van de straling, waarbij bovendien de fotonenergie afneemt* |
| 5 | Treedt er verstrooiing op bij foto-effect of bij Compton-effect? | *bij Compton-effect* |
| 6 | Als de fotonenergie toeneemt, overheerst dan het foto-effect meer of minder ten opzicht van het Compton-effect? | *minder overheersend* |
| 7 | Overheerst foto-effect meer in weefsel (Z=8) óf in lood (Z=82)? | *in lood* |
| 8 | Overheerst Compton-effect meer in weefsel (Z=8) óf in lood (Z=82)? | *in weefsel* |
| 9 | Wat is de verhouding tussen verstrooide dosis en intreedosis op 1 m vanaf een bestraald oppervlak van 10 cm × 10 cm ? | *ongeveer 0,001* |
| 10 | Hoe verandert de verstrooide stralings-intensiteit als de afmeting van het bestraalde oppervlak toeneemt van 10 cm × 10 cm naar 20 cm × 20 cm ? | *de intensiteit van de strooi-straling wordt 2 × 2 = 4 keer zo groot, want de verstrooiing neemt lineair toe met de grootte van het oppervlak* |

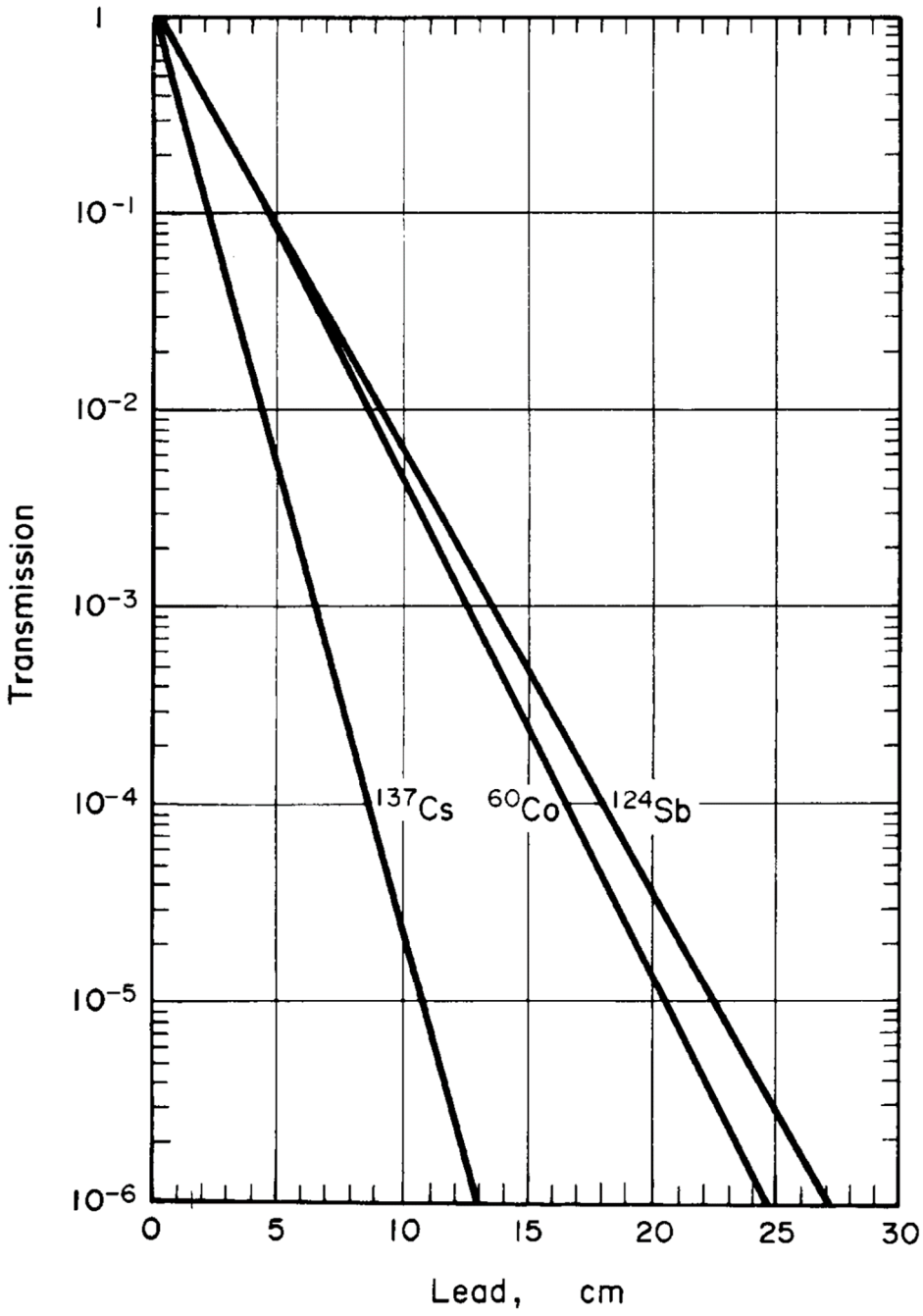
| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 11 | Wat wordt er met halveringsdikte $d_{½}$ bedoeld? | *de materiaaldikte die de stralingsintensiteit halveert* |
| 12 | Hoe groot is de verzwakkingscoëfficiënt μ als de halveringsdikte 3 mm is? | $\mu = \ln(2) / d_{½} \approx 0{,}7 / 3\ mm = 0{,}23\ mm^{-1} = 2{,}3\ cm^{-1}$ |
| 13 | Hoe groot is de transmissie door een afscherming van 5 halveringsdiktes? | $(½)^5 = 1 / 32 \approx 0{,}03$ |
| 14 | Hoe groot is de transmissie door een afscherming van 10 halveringsdiktes? | $(½)^{10} = (½)^5 \times (½)^5 \approx 0{,}03 \times 0{,}03 \approx 0{,}001$ |
| 15 | Hoe groot is de transmissie door een afscherming van ½ halveringsdikte? | $(½)^{½} = 1 / \sqrt{2} \approx 0{,}7$ |
| 16 | Wat is het voornaamste fysische proces waardoor α-deeltjes energie verliezen in materie? | *botsingen met elektronen* |
| 17 | Wat is het voornaamste fysische proces waardoor ß-deeltjes energie verliezen in materie? | *botsingen met elektronen* |
| 18 | Bedraagt de dracht van 5 MeV α-deeltjes in lucht ongeveer 0,3 mm óf 3 mm óf 3 cm óf 3 m? | *ongeveer 3 cm* |
| 19 | Bedraagt de dracht van 1 MeV β-deeltjes in lucht ongeveer 0,4 mm óf 4 mm óf 4 cm óf 4 m? | *ongeveer 4 m* |
| 20 | Bedraagt de dracht van 5 MeV α-deeltjes in weefsel ongeveer 3 μm óf 30 μm óf 0,3 mm óf 3 mm? | *ongeveer 3 cm / 1000 = 30 μm want de dichtheid van weefsel is 1000 keer groter dan die van lucht* |
| 21 | bedraagt de dracht van 1 MeV β-deeltjes in weefsel ongeveer 0,4 mm óf 4 mm óf 4 cm óf 4 m? | *ongeveer 4 m / 1000 = 4 mm want de dichtheid van weefsel is 1000 keer groter dan die van lucht* |
| 22 | De maximale dracht van de β-straling van $^{32}P$ in water bedraagt 0,8 cm. Hoe groot is de maximale dracht in lucht? | *ongeveer 1000 × 0,8 cm = 800 cm = 8 m want de dichtheid van water is 1000 keer groter dan van lucht* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 23 | Produceren elektronen met een energie van 1 MeV meer of minder remstraling in water dan in lood? | *minder* |
| 24 | Produceren elektronen met een energie van 30 keV meer of minder remstraling in koper (Z=29) dan in zilver (Z=47)? | *minder* |
| 25 | Produceren elektronen in wolfraam meer of minder remstraling bij 1 MeV dan bij 3 MeV ? | *minder* |

# 5 Afscherming van ioniserende straling

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | De halveringsdikte (HVD) bedraagt 1 cm. Hoe dik moet de afscherming zijn om het stralingsniveau tot 3% van de oorspronkelijke waarde te reduceren? | *5 HVD × 1 cm/HVD = 5 cm*<br>*transmissie = $(½)^{d/HVD}$*<br>*3% = 0,03 ≈ $(½)^5$* |
| 2 | De lineïeke verzwakkingscoëfficiënt bedraagt 1 $cm^{-1}$. Hoe dik moet de afscherming zijn om het stralingsniveau tot 3% van de oorspronkelijke waarde te reduceren? | *$5 \times \ln(2) / \mu \approx 5 \times (0,7 / 1\ cm^{-1})$*<br>*= 3,5 cm*<br>*$d_{½} = \ln(2) / \mu$*<br>*3% = 0,03 ≈ $(½)^5$* |
| 3 | De soortelijke massa van lood is ongeveer 11,3 $g/cm^3$. Wat is de massieke dikte van een loodblok met een dikte 5 cm? | *$(11,3\ g/cm^3) \times 5\ cm = 57\ g/cm^2$* |
| 4 | Een betonnen muur heeft een massieke dikte van 50 $g/cm^2$. De soortelijke massa van beton is ongeveer 2,4 $g/cm^3$. Hoe dik is die muur in cm ? | *$(50\ g/cm^2) / (2,4\ g/cm^3)$*<br>*= 21 cm* |
| 5 | De wachtkamer bij de tandarts moet worden afgeschermd. Wat is het beste afschermingsmateriaal? | *lood* |
| 6 | Hoe zou je α-straling afschermen? | *geen afscherming nodig (dracht te klein)* |
| 7 | Hoe zou je $\beta^-$-straling afschermen? | *perspex (lage Z om remstraling te voorkomen)* |
| 8 | Hoe zou je $\beta^+$-straling afschermen? | *perspex + lood (vanwege annihilatiestraling van 511 keV)* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 9 | Hoe groot is de halveringsdikte van lood voor γ-straling van $^{137}Cs$ ?<br>zie Figuur 5.1 | *0,6 cm* |
| 10 | Hoe groot is de halveringsdikte van lood voor γ-straling van $^{60}Co$ ?<br>zie<br>Figuur 5.1 | *1,3 cm* |
| 11 | Wat is de transmissie van 10 cm lood voor γ-straling van $^{137}Cs$ ?<br>zie Figuur 5.1 | $2\times10^{-5}$ |
| 12 | Wat is de transmissie van 10 cm lood voor γ-straling van $^{60}Co$ ?<br>zie Figuur 5.1 | $5\times10^{-3}$ |
| 13 | Wat wordt er bedoeld met dosisopbouw-factor? | *met deze factor wordt de bijdrage van verstrooide straling tot de dosis in rekening gebracht* |
| 14 | Kan men neutronen goed afschermen met water óf paraffine óf beton óf alle drie? | *alle drie* |
| 15 | Kan men neutronen goed afschermen met water óf ijzer óf lood óf alle drie? | *water* |




*Figuur 5.1*

# 6 Toepassingen van ingekapselde bronnen

# 7 Grootheden en eenheden in de stralingsbescherming

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Hoe heet de eenheid van exposie?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *röntgen*<br>*R* |
| 2 | Hoe heet de eenheid van geabsorbeerde dosis?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *gray*<br>*Gy* |
| 3 | Hoe heet de eenheid van equivalente dosis?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *sievert*<br>*Sv* |
| 4 | Hoe heet de eenheid van effectieve dosis?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *sievert*<br>*Sv* |
| 5 | Welke grootheid wordt uitgedrukt in röntgen?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *exposie*<br>*X* |
| 6 | Welke grootheid wordt uitgedrukt in gray?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *geabsorbeerde dosis*<br>*D* |
| 7 | Welke grootheid wordt uitgedrukt in sievert?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *equivalente dosis en effectieve dosis*<br>*H respectievelijk E* |
| 8 | Bedraagt de stralingsweegfactor $w_R$ voor röntgenstraling 1 óf 5 óf 20 óf 100 ? | *1* |
| 9 | Bedraagt de stralingsweegfactor $w_R$ voor γ-straling 1 óf 5 óf 20 óf 100 ? | *1* |
| 10 | Wordt het overlijdensrisico bepaald door de geabsorbeerde dosis óf de equivalente dosis óf de effectieve dosis? | *effectieve dosis* |
| 11 | Er wordt 3 joule gedeponeerd in een orgaan met een massa van 30 gram. Hoe hoog is de geabsorbeerde dosis? | *3 joule / 0,03 kg = 100 Gy* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 12 | Wat is de equivalente dosis, als de geabsorbeerde dosis 1 mGy bedraagt en de stralingsweegfactor $w_R = 1$ is? | *H = 1 × 1 = 1 mSv* |
| 13 | De orgaanweegfactor voor de schildklier is $w_{schildklier} = 0{,}04$ en de equivalente dosis op de schildklier is $H_{schildklier} = 5$ Sv. Hoe groot is de effectieve dosis? | *E = 0,04 × 5 = 0,2 Sv* |
| 14 | Zou je 1 Sv een hoge of een lage effectieve dosis noemen? | *zeer grote dosis*<br>*namelijk 50 keer de jaarlimiet* |
| 15 | Zou je 0,1 µSv/uur een hoog of een laag equivalent dosistempo noemen? | *laag equivalent dosistempo*<br>*want achtergrond is 1,6 mSv/j*<br>*= 1600 µSv / ( 365 × 24)*<br>*= 0,2 µSv/uur* |
| 16 | Hoe heet de eenheid van activiteit?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *bequerel*<br>*Bq* |
| 17 | Hoe heet de eenheid van effectieve volgdosis?<br>Wat is het bijbehorende symbool? | *sievert*<br>*Sv* |
| 18 | Bedraagt de stralingsweegfactor $w_R$ voor α-straling 1 óf 5 óf 20 óf 100 ? | *20* |
| 19 | Bedraagt de stralingsweegfactor $w_R$ voor β-straling 1 óf 5 óf 20 óf 100 ? | *1* |
| 20 | Betekent een grote waarde van e(50) een grote of kleine radiotoxiciteit? | *grote radiotoxiciteit* |
| 21 | Hangt de grootte van de effectieve dosiscoëfficiënt wel of niet af van het radionuclide? | *wel* |
| 22 | Hangt de grootte van de effectieve dosiscoëfficiënt wel of niet af van de chemische samenstelling van de radioactieve stof? | *wel* |
| 23 | Hangt de grootte van de effectieve dosiscoëfficiënt wel of niet af van de besmettingsroute? | *wel* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 24 | Hoe groot is Re als e(50) = $1\times10^{-9}$ Sv/Bq ? | *Re = 1 Sv / $1\times10^{-9}$ Sv/Bq = $1\times10^{9}$ Bq = 1 GBq* |
| 25 | Hoe groot is e(50) als Re = 200 kBq ? | *e(50) = 1 Sv / $200\times10^{3}$ Bq = $5\times10^{-6}$ Sv/Bq* |

## Ordes van grootte van de stralingsdosis

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Bedraagt de gemiddelde effectieve jaardosis ten gevolge van natuurlijke straling in Nederland ongeveer 2 µSv óf 2 mSv óf 20 mSv ? | *2 mSv* |
| 2 | Bedraagt de gemiddelde effectieve jaardosis ten gevolge van medische diagnostiek in Nederland ongeveer 1 µSv óf 1 mSv óf 10 Sv ? | *1 mSv* |
| 3 | Is een lethale effectieve dosis 0,01 Gy óf 1 Gy óf 100 Gy ? | *100* Gy |
| 4 | Wat levert de grootste bijdrage tot de natuurlijke straling in Nederland? | *radon* |
| 5 | Wat levert de grootste bijdrage tot de kunstmatige straling in Nederland? | *medische diagnostiek* |

# 8 Meten van ioniserende straling

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Werkt een gasgevulde detector als ionisatiekamer bij relatief lage of juist hoge spanning? | *relatief lage spanning* |
| 2 | Werkt een gasgevulde detector als proportionele telbuis bij relatief lage of juist hoge spanning? | *geen van beide, nl. in het tussengebied* |
| 3 | Werkt een gasgevulde detector als Geiger-Müller-telbuis bij relatief lage of juist hoge spanning? | *relatief hoge spanning* |
| 4 | Is een gasgevulde ionisatiekamer wel of niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten? | *niet geschikt want signaalgrootte is te klein door het ontbreken van gas-versterking* |
| 5 | Is een proportionele telbuis wel of niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten? | *wel geschikt* |
| 6 | Is een Geiger-Müller-telbuis wel of niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten? | *niet geschikt want signalen zijn allemaal even groot* |
| 7 | Is een scintillatiedetector wel of niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten? | *wel geschikt* |
| 8 | Welk detectortype wordt zeer veel gebruikt als dosistempometer? | *Geiger-Müller-telbuis* |
| 9 | Rekent men een TLD tot de scintillatie-detectoren of tot de ionisatiedetectoren? | *scintillatiedetectoren* |
| 10 | Waarvoor wordt een TLD gewoonlijk gebruikt? | *persoonsdosimetrie* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 11 | Bij welk type detector speelt de dode tijd een grote rol? | *Geiger-Müller-telbuis* |
| 12 | Welk type detector is geschikt voor identificatie 20 keV γ-straling? | *proportionele telbuis, Ge-detector of NaI(Tl) (mits met dun venster)* |
| 13 | Welk type detector is geschikt voor identificatie van 2 MeV γ-straling? | *Ge-detector of NaI(Tl)* |
| 14 | Welk type detector is geschikt voor identificatie van 100 keV β-straling? | *vloeistofscintillatieteller, proportionele telbuis, plastic scintillator of Si-detector* |
| 15 | Welk type detector is geschikt voor identificatie van 2 MeV β-straling? | *vloeistofscintillatieteller, proportionele telbuis, plastic scintillator of Si-detector* |
| 16 | Welke detector is geschikt als besmettingsmonitor voor 20 keV γ-straling? | *proportionele telbuis met groot oppervlak of NaI(Tl) (mits met dun venster), eventueel in combinatie met veegproef* |
| 17 | Welke detector is geschikt als besmettingsmonitor voor 2 MeV γ-straling? | *Ge-detector of NaI(Tl), eventueel in combinatie met veegproef* |
| 18 | Welke detector is geschikt als besmettingsmonitor voor 100 keV β-straling? | *Geiger-Müller-telbuis met dun venster (niet voor tritium) of vloeistofscintillatieteller in combinatie met veegproef* |
| 19 | Welke detector is geschikt als besmettingsmonitor voor 2 MeV β-straling? | *Geiger-Müller-telbuis, proportionele telbuis met venster, of vloeistofscintillatie-teller in combinatie met een veegproef* |
| 20 | Met welk detectormateriaal kan men beter γ-straling meten: Si (Z=14) of Ge (Z=32)? Waarom? | *Ge*<br><br>*groter foto-effect* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 21 | Met welk detectormateriaal kan men beter β-straling meten: Si (Z=14) of Ge (Z=32)? | *Si* |
| | Waarom? | *weinig foto-effect, dus minder last van γ-achtergrond* |
| 22 | Met welke detector kan men tritium meten? | *vloeistofscintillatieteller* |
| 23 | Wat is een veelkanaalsanalysator? | *een aparaat waarin de hoogte van de signalen wordt gedigitalisserd en gesorteerd op grootte* |
| | Waarvoor wordt deze gebruikt? | *spectroscopie ten behoeve van identificatie van radionucliden en bepaling van activiteit* |
| 24 | Een bron met een activiteit van 1 kBq geeft aanleiding tot 10 telpulsen per seconde (tps). Wat is het telrendement? | 10 tps / $1\times10^3$ Bq = 0,01 = 1% |
| 25 | Men meet 100 telpulsen. Hoe groot is de statistische onzekerheid in dit getal? | $\pm\sqrt{100} = \pm10$ telpulsen |

# 9 Biologische effecten van ioniserende straling

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Veroorzaakt ioniserende straling vooral schade door directe breuk van moleculen in de cel of door ionisatie van water-moleculen? | *ionisatie van watermoleculen* |
| 2 | Welke cellen zijn in het algemeen het meest stralingsgevoelig? | *cellen die snel delen* |
| 3 | Welke cellen zijn in het algemeen het minst stralingsgevoelig? | *cellen die niet meer delen* |
| 4 | Welk weefsel is het meest stralings-gevoelig: beenmerg óf botweefsel óf rode bloedlichaampjes óf hersenweefsel? | *beenmerg* |
| 5 | Is er bij kansgebonden effecten sprake van een drempeldosis? | *nee* |
| 6 | Hangt de ernst van kansgebonden effecten af van de dosis? | *nee* |
| 7 | Hoe groot is het overlijdensrisico ten gevolge van een kansgebonden effect na blootstelling aan ioniserende straling? | *5% per sievert* |
| 8 | Wat bedoelt men met: Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per sievert? | *bij blootstelling van 1 miljoen mensen aan 1 Sv zullen er ongeveer 0,05 × 1 000 000 = 50 000 mensen overlijden* |
| 9 | Is er bij schadelijke weefselreacties sprake van een drempeldosis? | *ja* |
| 10 | Hangt de ernst van schadelijke weefsel-reacties af van de dosis? | *ja* |
| 11 | Is leukemie een kansgebonden effect of een schadelijke weefselreactie? | kansgebonden effect |
| 12 | Is staar een kansgebonden effect of een schadelijke weefselreactie? | schadelijke weefselreactie |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 13 | Waaraan zal de mens waarschijnlijk overlijden na een bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 1 Gy: beenmergsyndroom óf darmsyndroom óf hersensyndroom? | *beenmergsyndroom* |
| 14 | Waaraan zal de mens waarschijnlijk overlijden na een bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 10 Gy: beenmergsyndroom óf darmsyndroom óf hersensyndroom? | *darmsyndroom of, bij genezing daarvan, beenmergsyndroom* |
| 15 | Waaraan overlijdt de mens na een bestraling van het gehele lichaam met een dosis van meer dan 50 Gy: beenmergsyndroom óf darmsyndroom óf hersensyndroom? | *hersensyndroom* |
| 16 | Wat gebeurt er als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwanger-schap bestraald wordt? | *óf er gebeurt niets óf de vrucht sterft af* |
| 17 | Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwangerschap bestraald wordt? | *nee* |
| 18 | Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht in de tweede maand van de zwangerschap bestraald wordt? | *ja, want dan worden de organen gevormd* |
| 19 | Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap een dosis van 1 mGy ontvangt? | *nee, want deze dosis ligt ver beneden de drempeldosis van 100 mGy* |
| 20 | Wat kan er gebeuren als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap bestraald wordt? | *groeiachterstand en/of daling van IQ* |
| 21 | Brengt regelmatige blootstelling aan de wettelijke limiet van 20 mSv per jaar een relatief hoog of een relatief laag beroepsrisico met zich mee? | *relatief (zeer) hoog beroepsrisico* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 22 | Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per Sv. De natuurlijke stralingsbelasting bedraagt 2 mSv per jaar. De Nederlandse bevolking telt 18 miljoen mensen. Hoeveel mensen zullen er per jaar omkomen als gevolg van straling? | *0,05 × 0,002 × 18 000 000 = 1800*<br>*(per jaar sterven ongeveer 44 000 mensen aan kanker)* |
| 23 | Als men de gezondheidsrisico's van ioniserende straling en van roken vergelijkt, hoeveel sigaretten komen dan overeen met een effectieve dosis van 10 µSv: 1 óf 100 óf 10 000? | *1 sigaret* |
| 24 | Een beetje roker zal zo'n 5000 sigaretten per jaar roken, waardoor deze roker een extra risico loopt te overlijden. Welke effectieve dosis geeft een vergelijkbaar risico: 0,5 mSv óf 5 mSv óf 50 mSv óf 500 mSv ? | *5000 × 10 µSv = 50 000 µSv = 50 mSv*<br>*want 1 sigaret komt overeen met 10 µSv*<br>*(jaarlimiet bevolking = 1 mSv)* |
| 25 | Wat is er mis met het verhaal in Figuur 9.1 en waarom? | *het jongetje is minstens 4 jaar oud en was ten tijde van het ongeval in Tsjernobyl al geboren; de misvormingen moeten dus een andere oorzaak hebben* |

# Wit-Rusland blijft lang radioactief besmet

Wit-Rusland heeft nog steeds te maken met een ernstige besmetting door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986. En de gevolgen zullen de komende twintig jaar nauwelijks minder worden. Dat blijkt uit gegevens van Alexi Okeanog, directeur van het instituut voor medische technologie in Minsk. Hij presenteerde cijfers en kaarten over de besmetting door de gevaarlijk radioactieve stof cesium op de conferentie van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in Genève.



■ Een slachtoffertje van Tsjernobyl een jaar na de kernramp. © GPD

Uit de gegevens blijkt dat de radioactieve besmetting tot 2016 nauwelijks zal afnemen. Drieëntwintig procent van Wit-Rusland zal in de visie van Okeanog een ecologisch rampgebied blijven.

Volgens Ivan Kenik, de Tsjernobyl-minister van Wit-Rusland, geeft dit land veertien procent van zijn begroting uit aan de bestrijding van de gevolgen van de Tsjernobyl-ramp. Daarbij gaat het om de bouw van nieuwe woningen, om gezondheidszorg voor duizenden mensen en om de aankoop van onbesmet voedsel. Kenik schat de kosten over de periode 1986 tot 2015 op 86 miljard dollar, zo'n 140 miljard gulden.

HERMAN DAMVELD

*Figuur 9.1*

# 10 Algemene wet- en regelgeving

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Waarmee moet men bij de uitvoering van radiologische werkzaamheden rekening houden: KEW óf ARBO-wet óf alle twee? | *met alle twee* |
| 2 | Is het Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming een aanbeveling van de ICRP óf een uitvoeringsbesluit van de KEW óf een uitvoeringsbesluit van de ARBO-wet óf geen van deze drie? | *uitvoeringsbesluit van de KEW* |
| 3 | Is de ICRP een onafhankelijke commissie van deskundigen óf een adviesorgaan van de Nederlandse overheid óf een advies-orgaan van de Europese Gemeenschap? | *onafhankelijke commissie van deskundigen* |
| 4 | Waarmee moet men bij de uitvoering van radiologische werkzaamheden rekening houden: wettelijke dosislimieten óf ALARA-principe óf rechtvaardigings-beginsel óf al deze uitgangspunten? | *met al deze uitgangspunten* |
| 5 | Wat wordt er bedoeld met ALARA ? | *streef naar zo laag mogelijke dosis (als redelijkerwijs mogelijk is)* |
| 6 | Bedraagt de wettelijke limiet voor de effectieve jaardosis van een burger 1 µSv óf 10 µSv óf 1 mSv óf 10 mSv ? | *1 mSv* |
| 7 | Bedraagt de wettelijke limiet voor de effectieve jaardosis van een niet-blootgestelde werknemer 1 µSv óf 10 µSv óf 1 mSv óf 10 mSv ? | *1 mSv* |
| 8 | De effectieve jaardosis van een bloot-gestelde werknemer in categorie A mag beroepshalve nooit boven een bepaalde grenswaarde komen. Is die grenswaarde 1 mSv óf 2 mSv óf 6 mSv óf 20 mSv ? | *20 mSv* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 9 | De effectieve jaardosis van een blootgestelde werknemer in categorie B mag beroepshalve nooit boven een bepaalde grenswaarde komen. Is die grenswaarde 1 mSv óf 2 mSv óf 6 Sv óf 20 mSv ? | *6 mSv* |
| 10 | Is de wettelijke jaarlimiet voor de ooglens van een blootgestelde A-werknemer 2 mSv óf 20 mSv óf 150 mSv óf 500 mSv ? | *20 mSv* |
| 11 | Is de wettelijke jaarlimiet voor handen, voeten en huid van een blootgestelde A-werknemer 2 mSv óf 20 mSv óf 150 mSv óf 500 mSv ? | *500 mSv* |
| 12 | Wat is de dosislimiet voor het ongeboren kind? | *1 mSv (vanaf het moment dat de zwangerschap is gemeld bij de werkgever)* |
| 13 | Moet een ruimte waarin de te ontvangen effectieve jaardosis hoger kan zijn dan 6 mSv worden aangemerkt als gecontroleerde zone of bewaakte zone? | *gecontroleerde zone* |
| 14 | Welke effectieve jaardosis kan men maximaal in een bewaakte zone oplopen? | *6 mSv* |
| 15 | Mag een niet-blootgestelde werknemer binnen een bewaakte zone werken? | *ja, mits hij niet meer dan 1 mSv per jaar kan oplopen* |
| 16 | De toezichthouder stralingsbescherming moet erop toezien dat de effectieve jaardosis op de openbare weg niet hoger is dan een zekere grenswaarde. Wat is die grenswaarde in geval van een vergunningplichtige toepassing? | *0,1 mSv = 100 µSv* |
| 17 | De toezichthouder stralingsbescherming moet erop toezien dat de effectieve jaardosis op de openbare weg niet hoger is dan een zekere grenswaarde. Wat is die grenswaarde in geval van een registratieplichtig toestel? | *0,01 mSv = 10 µSv* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 18 | Van hoeveel werkuren per dag gaat men uit in de stralingsbescherming? | *8* |
| 19 | Van hoeveel werkuren per week gaat men uit in de stralingsbescherming? | *40* |
| 20 | Van hoeveel werkuren per jaar gaat men uit in de stralingsbescherming? | *2000* |
| 21 | Is een radioactieve stof vrijgesteld als de activiteit wel, maar de activiteits-concentratie niet onder de vrijstellings-waarde voor matige hoeveelheden ligt? | *ja* |
| 22 | Is een radioactieve stof vrijgesteld als de activiteit niet, maar de activiteits-concentratie wel onder de vrijstellings-waarde voor matige hoeveelheden ligt? | *ja* |
| 23 | Is een radioactieve stof vrijgesteld als de activiteit en de activiteitsconcentratie beide boven de vrijstellingswaardes voor matige hoeveelheden liggen? | *nee* |
| 24 | De vrijstellingswaardes voor tritium zijn 1 GBq respectievelijk 1 MBq/g. Is 3 kBq tritium met een activiteits-concentratie van 10 MBq/g vrijgesteld? | *ja* |
| 25 | De vrijstellingswaardes voor $^{131}$I zijn 1 MBq respectievelijk 100 Bq/g. Is 40 kBq $^{131}$I met een activiteits-concentratie van 40 MBq/g vrijgesteld? | *ja* |
| 26 | Wordt de transportindex berekend aan de hand van het equivalente dosistempo op het oppervlak van de verpakking of op 1 m vanaf het oppervlak van de verpakking | *op 1 m vanaf het oppervlak van de verpakking* |
| 27 | Het equivalente dosistempo op 1 m vanaf het oppervlak van een pakket is 3,5 µSv per uur. Wat is de transportindex? | *TI = 3,5 / 10 = 0,4*<br>*altijd afronden naar boven* |

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 28 | Op het etiket van een pakket staat TI = 2,1. Wat zegt dit over het equivalente dosis-tempo en op welke plek is deze gemeten? | *2,1 × 10 µSv/uur = 21 µSv/uur op 1 m vanaf het opervlak van het pakket* |
| 29 | Aan wie mogen radioactieve stoffen altijd worden overgedragen? | *COVRA* |
| 30 | Mag men radioactief materiaal opslaan totdat de ativiteit is uitgestraald? | *ja, maar alleen als de halveringstijd niet groter is dan 100 dagen, de periode van opslag niet langer dan 2 jaar, en het materiaal voor hergebruik is bestemd* |

# 11 Specifieke regelgeving voor ingekapselde bronnen

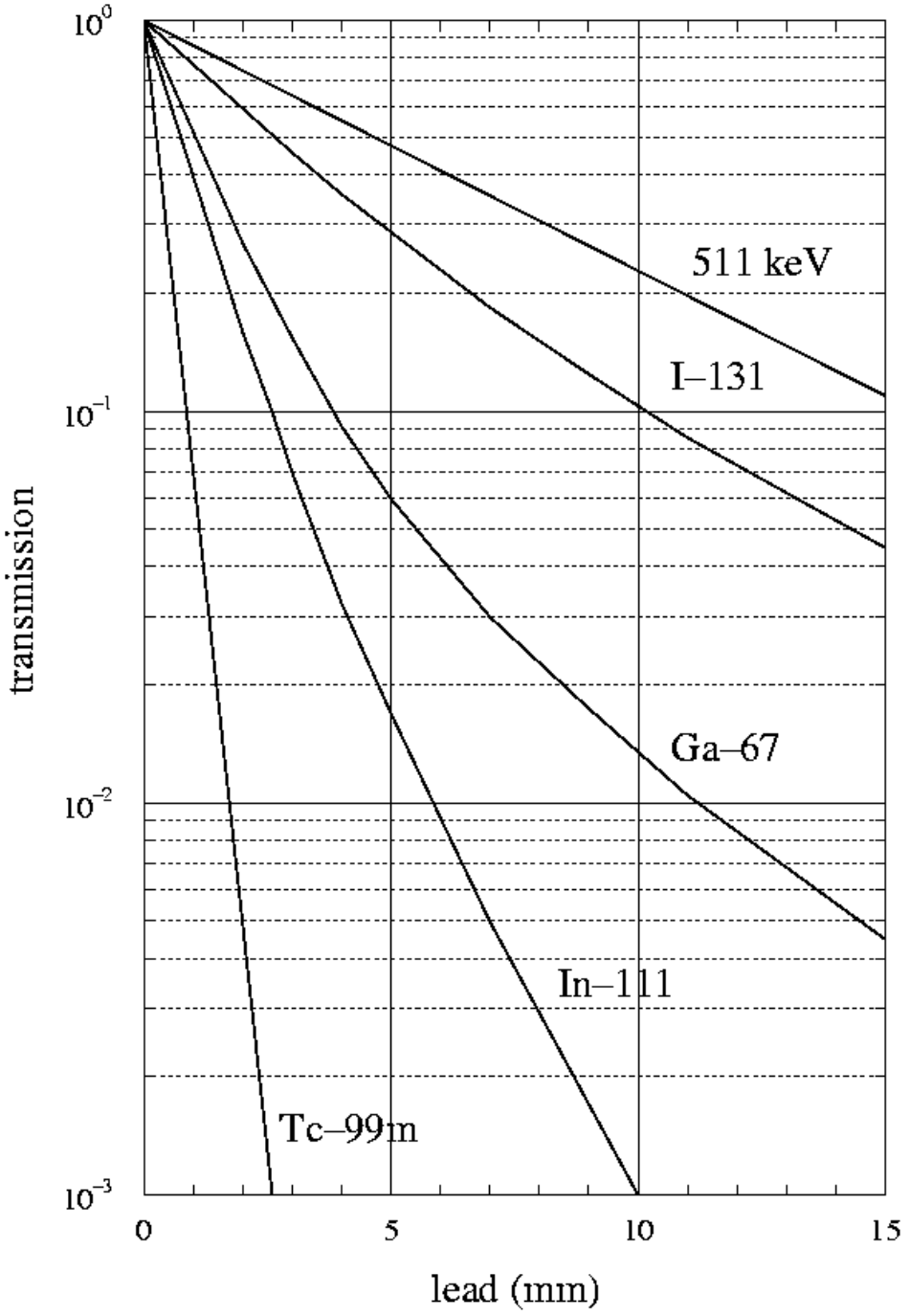
| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Is een ingekaplde bron wel of niet altijd omgeven door een metalen omhulling? | *niet altijd* |
| 2 | Levert een ingekapselde bron wel of geen risico van inwendige besmetting op? | *wel*<br>*want de bron kan lek zijn* |
| 3 | Levert een ingekapselde bron wel of geen risico van uitwendige bestraling op? | *wel* |
| 4 | Is gebruik van een ingekapselde bron wel of niet beperkt tot een radionucliden-laboratorium? | *niet* |
| 5 | Is het nemen van veegproeven aan een ingekapselde bron wel of niet zinloos? | *niet zinloos*<br>*want de bron kan lek zijn* |
| 6 | Moeten resultaten van een lektest wel of niet worden opgenomen in het kern-energiewetdossier? | *wel* |
| 7 | De ISO-classificatiecode bevat 5 cijfers van 1 tot en met 6. Geeft een hoog cijfer aan dat de bron zwaar of licht getest is? | *zwaar getest* |
| 8 | De ISO-classificatiecode bestaat uit 5 cijfers van 1 tot en met 6. Geeft het cijfer 1 aan dat de bron niet of alleen licht getest is? | *niet getest* |
| 9 | Op hoeveel onderdelen is een bron met ISO-classificatiecode C43313 getest? | *4 onderdelen* |
| 10 | Mag een bron met ISO-classificatiecode C11111 wel of niet worden gebruikt? | *wel, maar men moet de bron voorzichtig hanteren* |

# 12 Praktische stralingsbescherming bij ingekapselde bronnen

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Is het wel of niet de taak van de toezicht-houder om te zorgen dat werknemers regelmatig worden bijgeschoold? | *wel* |
| 2 | Is het is wel of niet de taak van de toezichthouder om lektesten uit te voeren? | *wel* |
| 3 | De brongerichte strategie schrijft voor dat persoonlijke beschermingsmiddelen worden gebruikt, activiteit wordt verkleind en afstand wordt vergroot. In welke volgorde wordt dit gedaan? | *1. activiteit verkleinen*<br>*2. afstand vergroten*<br>*3. bescherming gebruiken* |
| 4 | Hoe vaak moet een ingekapselde bron op lek zijn worden getest? | *tenminste eens per jaar* |
| 5 | Wordt een lektest uitgevoerd met een dosistempometer óf een besmettings-monitor óf een veegtest? | *veegtest* |
| 6 | Om de dosis te beperken kan men twee keer zo snel werken of de werkafstand verdubbelen. Wat is de beste keuze? | *werkafstand verdubbelen (kwadratenwet)* |
| 7 | Om de dosis te beperken kan men vier keer zo snel werken of de werkafstand verdubbelen. Wat is de beste keuze? | *werkafstand verdubbelen (haastige spoed is zelden goed)* |
| 8 | Wordt het dosistempo lager als er sneller gewerkt wordt? | *nee* |
| 9 | Wordt het dosistempo lager als de werkafstand groter wordt? | *ja* |
| 10 | Wat is de beste afscherming voor de positron emitter $^{11}C$: 1 cm perspex en daaromheen 1 cm lood of 1 cm lood en daaromheen 1 cm perspex? | *1 cm perspex en daaromheen*<br>*1 cm lood*<br>*om remstraling te voorkomen* |

# 13 Risicoanalyse voor ingekapselde bronnen

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 1 | Het dosistempo op 1 m bedraagt 1 mGy per uur. Wat is het dosistempo op 10 cm afstand? | *$(100\ cm / 10\ cm)^2 \times 1$*<br>*= 100 mGy per uur* |
| 2 | Op 1 m van een radioactieve bron is het equivalente dosistempo 10 µSv per uur. De bronconstante is 0,1 $\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$. Wat is de activiteit van de bron? | *$H = h \times A$*<br>*$A = H / h = 10 / 0{,}1 = 100\ MBq$* |
| 3 | Een bron heeft een activiteit van 50 MBq. De bronconstante is 0,4 $\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$. Wat is het equivalente dosistempo op een afstand van 100 cm? | *$H = h \times A$*<br>*$= 0{,}4 \times 50 = 20\ \mu Sv$ per uur* |
| 4 | Geeft een β-bron een veel hogere of veel lagere huiddosis dan een γ-bron met dezelfde activiteit op dezelfde afstand en in dezelfde tijd? | *veel hogere huiddosis* |
| 5 | Een werknemer raakt door ingestie besmet met 100 kBq $^{241}Am$. De effectieve dosiscoëfficiënt is $2 \times 10^{-7}$ Sv/Bq. Wat is de effectieve volgdosis? | *$E(50) = e(50) \times A$*<br>*$= 2 \times 10^{-7} \times 100 \times 10^3$*<br>*$= 0{,}02\ Sv = 20\ mSv$* |
| 6 | Op de buitenkant van de verpakking van een ingekapselde $^{111}In$-bron is het equivalente dosistempo 50 mSv per uur. Hoe dik moet de loodafscherming rond de bron zijn om deze waarde terug te brengen tot 2 mSv per uur? (zie Figuur 13.1) | *transmissie = 2 mSv / 50 mSv*<br>*$= 4 \times 10^{-2}$*<br>*→ ongeveer 3,5 mm lood* |
| 7 | Een versneller slaat automatisch af als het equivalente dosistempo op 1 m van de buitenwand meer dan 1 µSv per uur bedraagt. Wat is de maximale effectieve dosis van een werknemer in de hal bij een verblijftijd van 2000 uur per jaar? | *$2000 \times 1 = 2000\ \mu Sv = 2\ mSv$* |
| 8 | Is dit meer of minder dan de jaarlimiet voor een blootgestelde B-werknemer? | *minder*<br>*want jaarlimiet = 6 mSv* |


10^0
10^-1
10^-2
10^-3
transmission
511 keV
I–131
Ga–67
In–111
Tc–99m
0
5
10
15
lead (mm)

*Figuur 13.1*

| | *VRAGEN* | *ANTWOORDEN* |
|---|---|---|
| 9 | De chauffeur zit op 1 m van de buitenkant van een pakket met een radioactieve bron. Op het etiket staat de transportindex TI = 2,5. Wat is de maximale effectieve dosis die de chauffeur per uur onvangt? | *TI = 2,5*<br>*→ 2,5 × 10 µSv/uur*<br>*= 25 µSv/uur op 1 m* |
| 10 | Is dit meer of minder dan de jaarlimiet voor een niet-blootgestelde werknemer? | *minder*<br>*want jaarlimiet = 1 mSv* |