

# **Toezichthouder Stralingsbescherming**

**verspreidbare radioactieve stoffen  
niveau D**

## **Oefenvragen**

**25 september 2020**



/ rijksuniversiteit  
groningen

/ arbo- en milieudienst

/ garp



## INHOUD

1	Het atoom en de oorsprong van röntgenstraling .....	3
2	De atoomkern en de oorsprong van $\alpha$ -, $\beta$ - en $\gamma$ -straling .....	4
3	Logaritme .....	9
4	Wisselwerking van ioniserende straling met materie .....	10
5	Afscherming van ioniserende straling .....	13
6	Toepassingen van ingekapselde bronnen .....	15
7	Toepassingen van open bronnen .....	15
8	Grootheden en eenheden in de stralingsbescherming .....	16
9	Metten van ioniserende straling .....	19
10	Biologische effecten van ioniserende straling .....	22
11	Algemene wet- en regelgeving .....	26
12	Specifieke regelgeving voor ingekapselde bronnen.....	30
13	Specifieke regelgeving voor open bronnen.....	31
14	Praktische stralingsbescherming bij ingekapselde bronnen.....	33
15	Praktische stralingsbescherming bij open bronnen .....	34
16	Risico-analyse voor ingekapselde bronnen .....	36
17	Risico-analyse voor open bronnen .....	39

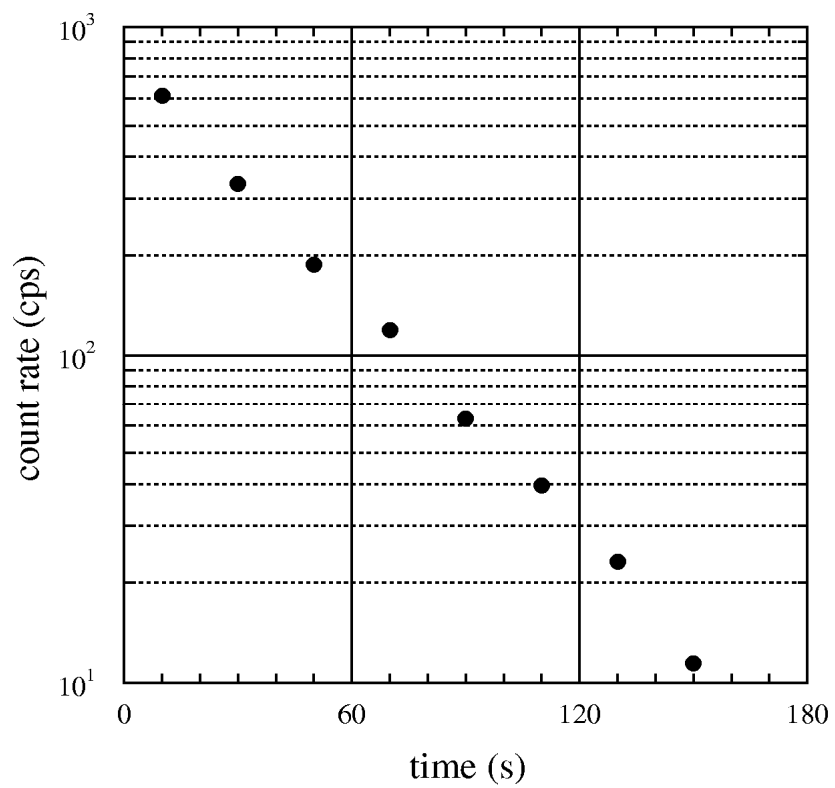


## 1 Het atoom en de oorsprong van röntgenstraling

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
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?	<i>protonen en neutronen</i>
3	Wat wordt bedoeld met excitatie?	<i>elektron naar hogere energietoestand brengen</i>
4	Wat wordt bedoeld met ionisatie?	<i>elektron verwijderen uit atoom</i>
5	Wat wordt bedoeld met karakteristieke straling?	<i>straling die vrijkomt als een elektron naar een toestand met lagere energie gaat</i>
6	Wat is het verschil tussen fotonen en elektromagnetische straling?	<i>er is geen verschil</i>
7	Wat is de bewegingsenergie van een elektron dat een potentiaalverschil van 1000 V doorlopen heeft ?	<i>1000 eV = 1 keV</i>
8	De bindingsenergie in een molecuul is enkele meV òf eV òf keV?	<i>enkele eV</i>
9	De energie van röntgenstraling is enkele tientallen meV òf eV òf keV?	<i>enkele tientallen keV</i>
10	Röntgenstraling heeft wel òf niet een schadelijke werking op het lichaam?	<i>wel</i>

## 2 De atoomkern en de oorsprong van $\alpha$ -, $\beta$ - en $\gamma$ -straling

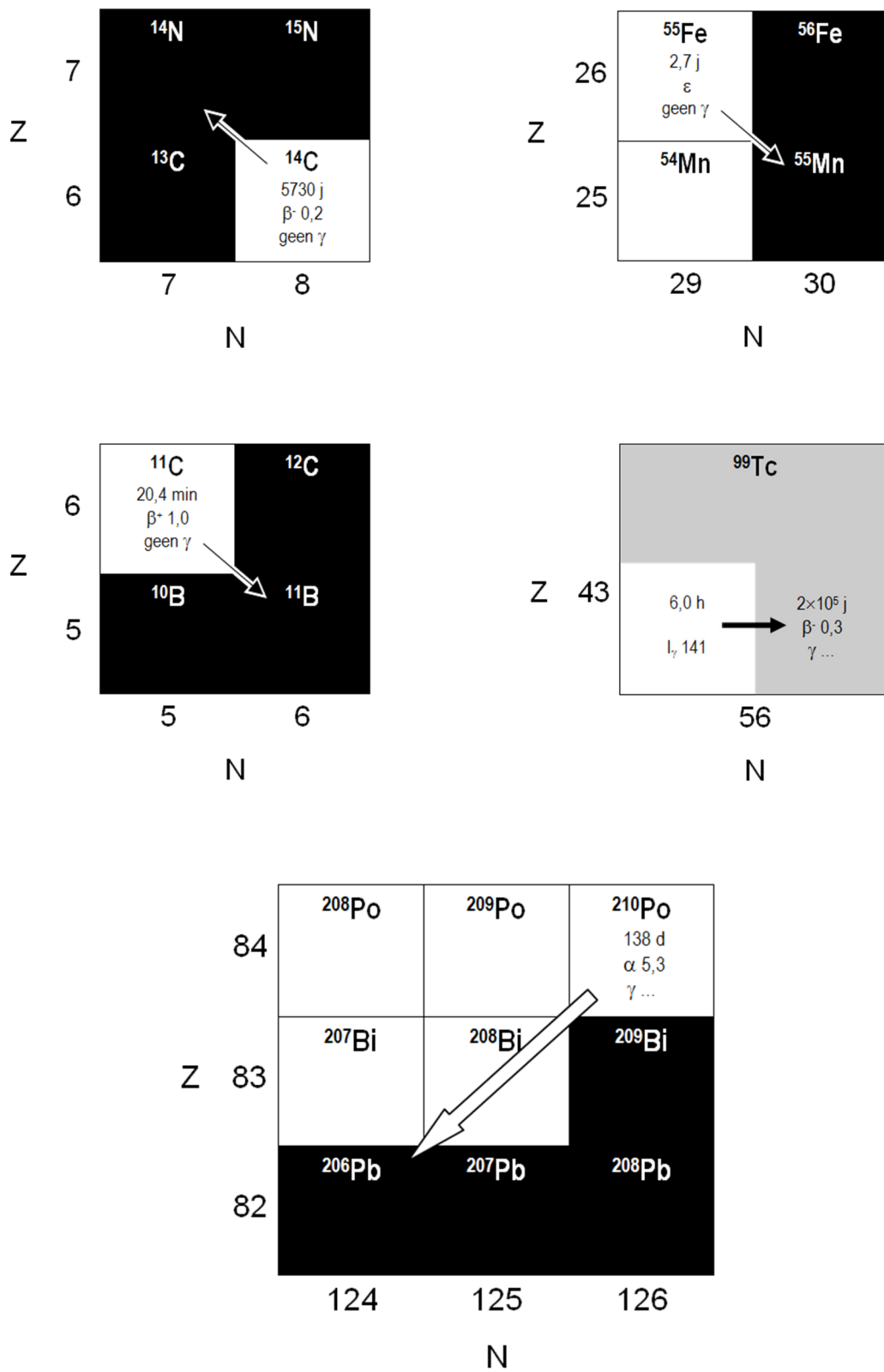
	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Wat zijn isotopen?	<i>atomen met gelijke Z en verschillende N</i>
2	Wat zijn isomeren?	<i>atomen met gelijke Z en gelijke N</i>
3	Wat kun je zeggen van het Z-getal van waterstof ( $^1\text{H}$ ), zwaar waterstof ( $^2\text{H}$ ) en tritium ( $^3\text{H}$ )?	<i>allen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



*Figuur 2.1*

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
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?	<i>emissie van röntgenfotonen</i>
19 Welk secundair proces treedt op na interne conversie?	<i>emissie van röntgenfotonen</i>
20 Welk secundair proces treedt op na $\beta^+$ -verval?	<i>emissie van annihilatiestraling (<math>E_{\pm} = 511 \text{ keV}</math>)</i>
21 De desintegratie-energie is 1000 keV. Kan $\beta^+$ -verval plaatsvinden?	<i>nee, daarvoor moet de energie tenminste <math>2 \times 511 \text{ keV}</math> zijn</i>
22 Benoem de vervalprocessen in Figuur 2.2.	<i>vanaf linksboven: <math>\beta^-</math>-verval, elektronvangst, <math>\beta^+</math>-verval, <math>\gamma</math>-verval en <math>\alpha</math>-verval</i>
23 Kan een kern zowel $\beta^-$ -verval als $\beta^+$ -verval vertonen?	<i>ja, maar niet tegelijkertijd tijdens hetzelfde vervalproces</i>
24 Wat is annihilatie?	<i><math>e^+ + e^- \rightarrow 2</math> fotonen van elk 511 keV</i>
25 Kan het emissierendement groter dan 100% zijn?	<i>ja, bijvoorbeeld in geval van röntgen- of annihilatiefotonen</i>





*Figuur 2.2*

## VRAGEN

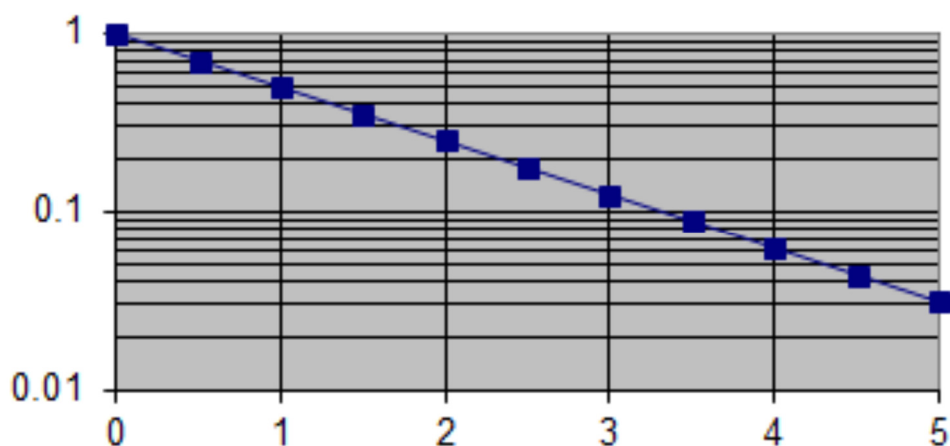
- 26 Het radionuclide  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  vervalt via  $\alpha$ -verval. Wat is het massagetal en de Z-waarde van de dochterkern?
- 27 Het radionuclide  ${}_{82}^{214}\text{Pb}$  is ontstaan via  $\alpha$ -verval. Wat was het massagetal en de Z-waarde van de moederkern?
- 28 Het radionuclide  ${}_{20}^{45}\text{Ca}$  vervalt via  $\beta$ -verval. Wat is het massagetal en de Z-waarde van de dochterkern?
- 29 Het radionuclide  ${}_{12}^{26}\text{Mg}$  is ontstaan via elektronvangst. Wat was het massagetal en de Z-waarde van de moederkern?
- 30 Het radionuclide  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  vervalt naar  ${}^{99}\text{Tc}$ . Hoe wordt dit vervalproces gewoonlijk genoemd?

## ANTWOORDEN

- $A = 206$  en  $Z = 82$   
(dus  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ )
- $A = 218$  en  $Z = 84$   
(dus  ${}_{84}^{210}\text{Po}$ )
- $A = 45$  en  $Z = 21$   
(dus  ${}_{21}^{45}\text{Sc}$ )
- $A = 20$  en  $Z = 13$   
(dus  ${}_{13}^{26}\text{Al}$ )
- isomeer verval*

### 3 Logaritme

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
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 $\log(4)$ ?	$0,3 + 0,3 = 0,6$ (want $4 = 2 \times 2$ )
4 Wat betekent het voorvoegsel m ?	0,001
5 Wat betekent het voorvoegsel M ?	1000 000
6 Wat betekent het voorvoegsel $\mu$ ?	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 $1,0 \times 234,56$ met alleen maar significante cijfers?	$2,3 \times 10^2$



*Figuur 3.1*

## 4 Wisselwerking van ioniserende straling met materie

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Noem enkele voorbeelden van elektromagnetische straling.	<i>radiogolven, radargolven, licht, röntgenstraling, gammastraling</i>
2	Wat wordt er bedoeld met foto-effect?	<i>ionisatie tgv. absorptie van een foton</i>
3	Wat wordt er bedoeld met Compton-effect?	<i>verstrooiing van een foton aan een elektron</i>
4	Wat wordt er bedoeld met verstrooiing van straling?	<i>er worden nieuwe fotonen uitgezonden onder een steeds wisselende hoek met de oorspronkelijke richting van de straling, waarbij bovendien de fotonenergie afneemt</i>
5	Treedt er verstrooiing op bij foto-effect of bij Compton-effect?	<i>bij Compton-effect</i>
6	Als de fotonenergie toeneemt, overheerst dan het foto-effect meer of minder ten opzicht van het Compton-effect?	<i>minder overheersend</i>
7	Overheerst foto-effect meer in weefsel ( $Z=8$ ) òf in lood ( $Z=82$ ) ?	<i>in lood</i>
8	Overheerst Compton-effect meer in weefsel ( $Z=8$ ) òf in lood ( $Z=82$ ) ?	<i>in weefsel</i>
9	Wat is de verhouding tussen verstrooide dosis en intreedosis op 1 m vanaf een bestraald oppervlak van $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ?	<i>ongeveer 0,001</i>
10	Hoe verandert de verstrooide stralingsintensiteit als de afmeting van het bestraalde oppervlak toeneemt van $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ naar $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ ?	<i>de intensiteit van de strooi-straling wordt <math>2 \times 2 = 4</math> keer zo groot</i>
11	Wat wordt er met halveringsdikte $d_{1/2}$ bedoeld?	<i>de materiaaldikte die de stralingsintensiteit halveert</i>

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
12 Hoe groot is de verzwakkingscoëfficiënt $\mu$ als de halveringsdikte 3 mm is?	$0,7 / 3 = 0,23 \text{ mm}^{-1} = 2,3 \text{ cm}^{-1}$
13 Hoe groot is de transmissie door een afscherming van 5 halveringsdiktes?	$1 / 2^5 = 1 / 32 \approx 0,03$
14 Hoe groot is de transmissie door een afscherming van 10 halveringsdiktes?	$1 / 2^{10} \approx 0,03 \times 0,03 \approx 0,001$
15 Hoe groot is de transmissie door een afscherming van $1/2$ halveringsdikte?	$1 / \sqrt{2}$
16 Wat is het voornaamste fysische proces waardoor $\alpha$ -deeltjes energie verliezen in materie?	<i>botsingen met elektronen</i>
17 Wat is het voornaamste fysische proces waardoor $\beta$ -deeltjes energie verliezen in materie?	<i>botsingen met elektronen</i>
18 De dracht van 5 MeV $\alpha$ -deeltjes in lucht bedraagt ongeveer 0,3 mm òf 3 mm òf 3 cm òf 3 m?	<i>ongeveer 3 cm</i>
19 De dracht van 1 MeV $\beta$ -deeltjes in lucht bedraagt ongeveer 0,4 mm òf 4 mm òf 4 cm òf 4 m?	<i>ongeveer 4 m</i>
20 De dracht van 5 MeV $\alpha$ -deeltjes in weefsel bedraagt ongeveer 3 $\mu\text{m}$ òf 30 $\mu\text{m}$ òf 0,3 mm òf 3 mm?	<i>ongeveer 3 cm / 1000 = 30 <math>\mu\text{m}</math> (want de dichtheid van weefsel is 1000 keer groter dan die van lucht)</i>
21 De dracht van 1 MeV $\beta$ -deeltjes in weefsel bedraagt ongeveer 0,4 mm òf 4 mm òf 4 cm òf 4 m?	<i>ongeveer 4 m / 1000 = 4 mm (want de dichtheid van weefsel is 1000 keer groter dan die van lucht)</i>
22 De maximale dracht van de $\beta$ -straling van $^{32}\text{P}$ in water bedraagt 0,8 cm. Hoe groot is de maximale dracht in lucht?	<i>ongeveer 1000 <math>\times</math> 0,8 cm = 800 cm = 8 m (want de dichtheid van lucht is 1000 keer kleiner dan die van water)</i>

*VRAGEN*

*ANTWOORDEN*

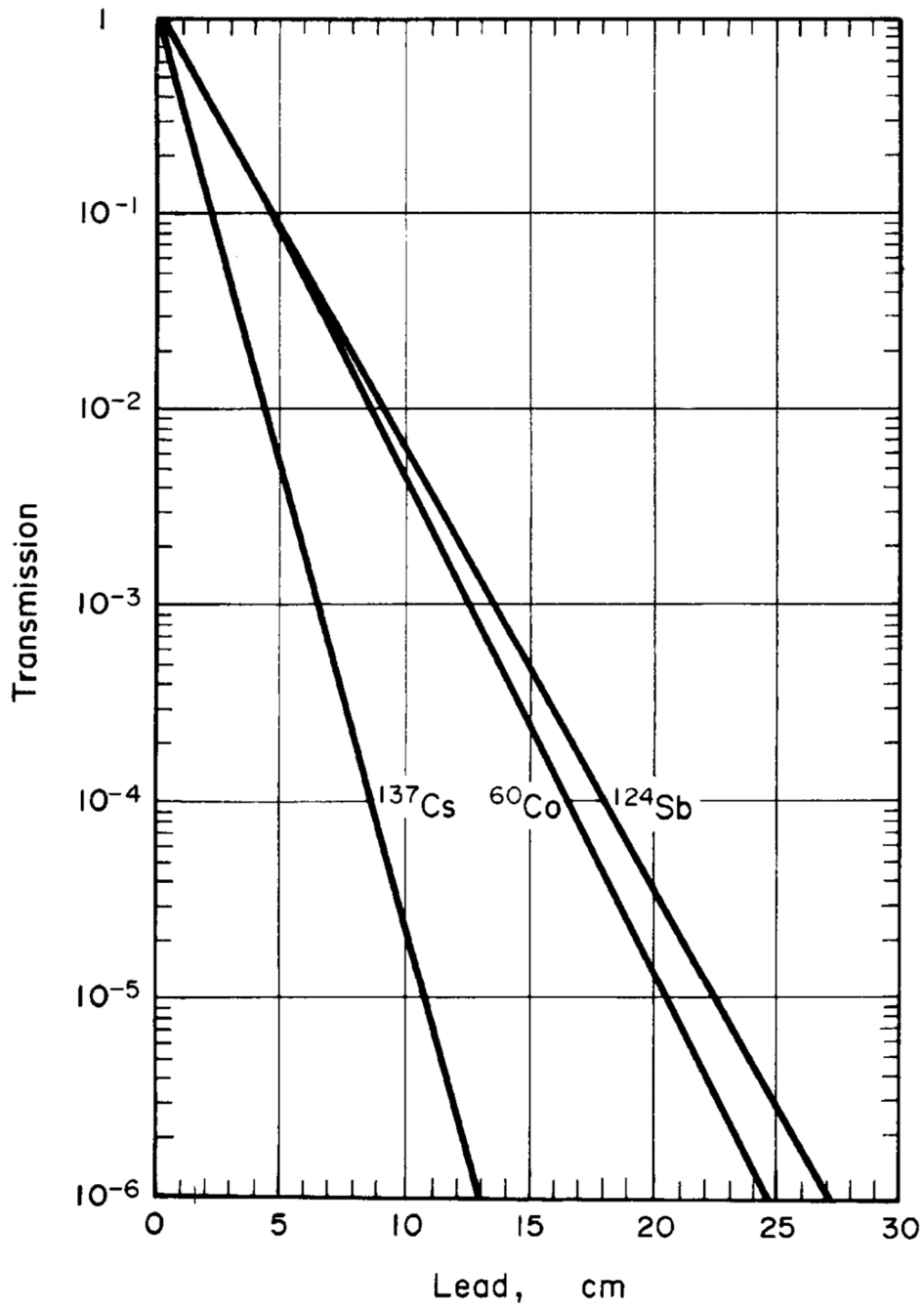
- |    |  |               |
|----|--|---------------|
| 23 | Elektronen met een energie van 1 MeV produceren meer of minder remstraling in water dan in lood?                           | <i>minder</i> |
| 24 | Elektronen met een energie van 30 keV produceren meer of minder remstraling in koper ( $Z=29$ ) dan in zilver ( $Z=47$ ) ? | <i>minder</i> |
| 25 | Elektronen in wolfram produceren meer of minder remstraling bij 1 MeV dan bij 3 MeV ?                                      | <i>minder</i> |

## 5 Afscherming van ioniserende straling

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

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
9	Hoe groot is de halveringsdikte van lood voor $\gamma$ -straling van $^{137}\text{Cs}$ (zie Figuur 5.1) ?	<i>0,6 cm</i>
10	Hoe groot is de halveringsdikte van lood voor $\gamma$ -straling van $^{60}\text{Co}$ (zie Figuur 5.1) ?	<i>1,3 cm</i>
11	Wat is de transmissie van 10 cm lood voor $\gamma$ -straling van $^{137}\text{Cs}$ (zie Figuur 5.1) ?	<i><math>2 \times 10^{-5}</math></i>
12	Wat is de transmissie van 10 cm lood voor $\gamma$ -straling van $^{60}\text{Co}$ (zie Figuur 5.1) ?	<i><math>5 \times 10^{-3}</math></i>
13	Wat wordt er bedoeld met dosisopbouw-factor?	<i>met deze factor wordt de bijdrage van verstrooide straling tot de dosis in rekening gebracht</i>
14	Neutronen kan men goed afschermen met water òf paraffine òf beton òf alle drie?	<i>alle drie</i>
15	Neutronen kan men goed afschermen met water òf ijzer òf lood òf alle drie?	<i>water</i>





*Figuur 5.1*

- 6 Toepassingen van ingekapselde bronnen
- 7 Toepassingen van open bronnen

## 8 Grootheden en eenheden in de stralingsbescherming

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

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
12 Wat is de equivalente dosis, als de geabsorbeerde dosis 1 mGy bedraagt en de stralingsweegfactor $w_R = 1$ is?	$H = 1 \times 1 = 1 \text{ mSv}$
13 De orgaanweegfactor voor de schildklier is $w_{\text{schildklier}} = 0,04$ en de equivalente dosis op de schildklier is $H_{\text{schildklier}} = 5 \text{ Sv}$ . Hoe groot is de effectieve dosis?	$E = 0,04 \times 5 = 0,2 \text{ Sv}$
14 Zou je 1 Sv een grote of een kleine effectieve dosis noemen?	<i>zeer grote dosis (50 keer de jaarlimiet)</i>
15 Zou je $0,1 \mu\text{Sv}/\text{uur}$ een hoog of een laag equivalent dosistempo noemen?	<i>laag equivalent dosistempo (achtergrond is <math>1,6 \text{ mSv}/\text{j} = 1600 \mu\text{Sv} / (365 \times 24)</math> <math>= 0,2 \mu\text{Sv}/\text{uur}</math>)</i>
16 Hoe heet de eenheid van activiteit? Wat is het bijbehorende symbool?	<i>becquerel Bq</i>
17 Hoe heet de eenheid van effectieve volg-dosis? Wat is het bijbehorende symbool?	<i>sievert Sv</i>
18 De stralingsweegfactor $w_R$ voor $\alpha$ -straling bedraagt 1 òf 5 òf 20 òf 100 ?	<i>20</i>
19 De stralingsweegfactor $w_R$ voor $\beta$ -straling bedraagt 1 òf 5 òf 20 òf 100 ?	<i>1</i>
20 Een grote waarde van $e(50)$ betekent een grote òf kleine radiotoxiciteit?	<i>grote radiotoxiciteit</i>
21 De grootte van de effectieve dosis-coëfficiënt hangt wel òf niet af van het radionuclide?	<i>wel</i>
22 De grootte van de effectieve dosis-coëfficiënt hangt wel òf niet af van de chemische samenstelling van de radioactieve stof?	<i>wel</i>
23 De grootte van de effectieve dosis-coëfficiënt hangt wel òf niet af van de besmettingsroute?	<i>wel</i>

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
24	Hoe groot is $R_e$ als $e(50) = 1 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ ?	$R_e = 1 \text{ Sv} / 1 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ $= 1 \times 10^9 \text{ Bq} = 1 \text{ GBq}$
25	Hoe groot is $e(50)$ als $R_e = 200 \text{ kBq}$ ?	$e(50) = 1 \text{ Sv} / 200 \times 10^3 \text{ Bq}$ $= 5 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$

### **Ordes van grootte van de stralingsdosis**

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	De gemiddelde effectieve jaardosis ten gevolge van natuurlijke straling in Nederland bedraagt ongeveer $2 \mu\text{Sv}$ òf $2 \text{ mSv}$ òf $20 \text{ mSv}$ ?	$2 \text{ mSv}$
2	De gemiddelde effectieve jaardosis ten gevolge van medische diagnostiek in Nederland is ongeveer $1 \mu\text{Sv}$ òf $1 \text{ mSv}$ òf $10 \text{ Sv}$ ?	$1 \text{ mSv}$
3	Een lethale dosis is $0,01 \text{ Gy}$ òf $1 \text{ Gy}$ òf $100 \text{ Gy}$ ?	$100 \text{ Gy}$
4	Wat levert de grootste bijdrage tot de natuurlijke straling in Nederland?	<i>radon</i>
5	Wat levert de grootste bijdrage tot de kunstmatige straling in Nederland?	<i>medische diagnostiek</i>

## 9 Meten van ioniserende straling

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Een gasgevulde detector werkt als een ionisatiekamer bij relatief lage òf juist hoge spanning?	<i>relatief lage spanning</i>
2	Een gasgevulde detector werkt als een proportionele telbuis bij relatief lage òf juist hoge spanning?	<i>geen van beide, nl. in het tussengebied</i>
3	Een gasgevulde detector werkt als Geiger-Müller-telbuis bij relatief lage òf juist hoge spanning?	<i>relatief hoge spanning</i>
4	Een gasgevulde ionisatiekamer is wel òf niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten?	<i>niet geschikt (signaalgrootte is te klein door ontbreken van gasversterking)</i>
5	Een proportionele telbuis is wel òf niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten?	<i>wel geschikt</i>
6	Een Geiger-Müller-telbuis is wel òf niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten?	<i>niet geschikt (signalen allemaal even groot)</i>
7	Een scintillatiedetector is wel òf niet geschikt om de energieverdeling van straling te meten?	<i>wel geschikt</i>
8	Welk detectortype wordt zeer veel gebruikt als dosistempometer?	<i>Geiger-Müller-telbuis</i>
9	Rekent men een TLD tot de scintillatiedetectoren òf tot de ionisatiedetectoren?	<i>scintillatiedetectoren</i>
10	Waarvoor wordt een TLD gewoonlijk gebruikt?	<i>persoonsdosimetrie</i>

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

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
22	Met welke detector kan men tritium meten?	<i>vloeistofscintillatieteller</i>
23	Wat is een veelkanaalsanalysator?  Waarvoor wordt deze gebruikt?	<i>een apparaat waarin de hoogte van de signalen wordt gedigitaliseerd en gesorteerd op grootte spectroscopie ten behoeve van identificatie van radionucliden en bepaling van activiteit</i>
24	Een bron met een activiteit van 1 kBq geeft aanleiding tot 10 telpulsen per seconde (tps). Wat is het telrendement?	$10 \text{ tps} / 1 \times 10^3 \text{ Bq} = 0,01 = 1\%$
25	Men meet 100 telpulsen. Hoe groot is de statistische onzekerheid in dit getal?	$\pm\sqrt{100} = \pm 10 \text{ telpulsen}$

## 10 Biologische effecten van ioniserende straling

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1 Ioniserende straling veroorzaakt vooral schade door directe breuk van moleculen in de cel òf door ionisatie van watermoleculen?	<i>ionisatie van watermoleculen</i>
2 Welke cellen zijn in het algemeen het meest stralingsgevoelig?	<i>cellen die snel delen</i>
3 Welke cellen zijn in het algemeen het minst stralingsgevoelig?	<i>cellen die niet meer delen</i>
4 Het meest stralingsgevoelige weefsel is beenmerg òf botweefsel òf rode bloedlichaampjes òf hersenweefsel?	<i>beenmerg</i>
5 Is er bij kansgebonden effecten sprake van een drempeldosis?	<i>nee</i>
6 Hangt de ernst van kansgebonden effecten af van de dosis?	<i>nee</i>
7 Hoe groot is het overlijdensrisico ten gevolge van een kansgebonden effect na blootstelling aan ioniserende straling?	<i>5% per sievert</i>
8 Wat bedoelt men met: Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per sievert?	<i>bij blootstelling van 1 miljoen mensen aan 1 Sv zullen er ongeveer <math>0,05 \times 1\,000\,000 = 50\,000</math> mensen overlijden</i>
9 Is er bij schadelijke weefselreacties sprake van een drempeldosis?	<i>ja</i>
10 Hangt de ernst van schadelijke weefselreacties af van de dosis?	<i>ja</i>
11 Leukemie is een kansgebonden effect òf een schadelijke weefselreactie?	<i>kansgebonden effect</i>
12 Staar is een kansgebonden effect òf een schadelijke weefselreactie?	<i>schadelijke weefselreactie</i>



<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
13 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 1 Gy loopt de mens een grote kans om te overlijden aan het beenmergsyndroom òf het darmsyndroom òf het hersensyndroom?	<i>beenmergsyndroom</i>
14 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 10 Gy loopt de mens een grote kans om te overlijden aan het beenmergsyndroom òf het darmsyndroom òf het hersensyndroom?	<i>darmsyndroom of, bij genezing daarvan, beenmergsyndroom</i>
15 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van meer dan 50 Gy overlijdt de mens aan het beenmergsyndroom òf het darmsyndroom òf het hersensyndroom?	<i>hersensyndroom</i>
16 Wat gebeurt er als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwangerschap bestraald wordt?	<i>òf er gebeurt niets òf de vrucht sterft af</i>
17 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwangerschap bestraald wordt?	<i>nee</i>
18 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht in de tweede maand van de zwangerschap bestraald wordt?	<i>ja, want dan worden de organen gevormd</i>
19 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap bestraald wordt?	<i>nee, want dan is de organogenese voltooid</i>
20 Wat kan er gebeuren als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap bestraald wordt?	<i>groeiachterstand en/of daling van IQ</i>
21 Regelmatige blootstelling aan de wettelijke limiet van 20 mSv per jaar brengt een relatief hoog of een relatief laag beroepsrisico met zich mee?	<i>relatief (zeer) hoog beroepsrisico</i>

*VRAGEN*

- 22 Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per Sv. De natuurlijke stralingsbelasting bedraagt 2 mSv per jaar. De Nederlandse bevolking telt 17 miljoen mensen. Hoeveel mensen zullen er per jaar omkomen als gevolg van straling?
- 23 Het gezondheidsrisico van een effectieve dosis van 10  $\mu$ Sv komt overeen met het risico van het roken van 1 òf 100 òf 10 000 sigaretten?
- 24 Een beetje roker zal zo'n 5000 sigaretten per jaar roken. Deze roker loopt hierdoor een overlijdensrisico dat vergelijkbaar is met het stralingsrisico van 0,5 mSv òf 5 mSv òf 50 mSv òf 500 mSv?
- 25 Wat is er mis met het verhaal in Figuur 10.1 en waarom?

*ANTWOORDEN*

$0,05 \times 0,002 \times 17\,000\,000 = 1700$   
(per jaar sterven 44 000 mensen aan kanker)

*1 sigaret*

$5000 \times 10 \mu\text{Sv} = 50\,000 \mu\text{Sv}$   
 $= 50 \text{ mSv}$   
(jaarlimiet bevolking = 1 mSv)

*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

**W**it-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



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

stof cesium op de conferentie van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in Genève.

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 10.1

## 11 Algemene wet- en regelgeving

### VRAGEN

- 1 Bij de uitvoering van radiologische werkzaamheden dient men rekening te houden met de KEW òf de ARBO-wet òf alle twee?
- 2 Het Besluit Basisveiligheidsnormen Stralingsbescherming is een aanbeveling van de ICRP òf een uitvoeringsbesluit van de KEW òf een uitvoeringsbesluit van de ARBO-wet òf geen van deze drie?
- 3 De ICRP is een onafhankelijke commissie van deskundigen òf een adviesorgaan van de Nederlandse overheid òf een adviesorgaan van de Europese Gemeenschap?
- 4 Bij de uitvoering van radiologische werkzaamheden moet men rekening houden met de wettelijke dosislimieten òf het ALARA-principe òf het rechtvaardigingsbeginsel òf al deze uitgangspunten?
- 5 Wat wordt er bedoeld met ALARA ?
- 6 De wettelijke limiet voor de effectieve jaardosis van een burger bedraagt 1  $\mu\text{Sv}$  òf 10  $\mu\text{Sv}$  òf 1 mSv òf 10 mSv ?
- 7 De wettelijke limiet voor de effectieve jaardosis van een niet-blootgestelde werknemer bedraagt 1  $\mu\text{Sv}$  òf 10  $\mu\text{Sv}$  òf 1 mSv òf 10 mSv ?
- 8 Een blootgestelde werknemer in categorie A mag beroepshalve nooit een effectieve jaardosis ontvangen die hoger is dan 1 mSv òf 2 mSv òf 6 mSv òf 20 mSv ?

### ANTWOORDEN

- met alle twee*
- uitvoeringsbesluit van de KEW*
- onafhankelijke commissie van deskundigen*
- met al deze uitgangspunten*
- streef naar zo laag mogelijke dosis (als redelijkerwijs mogelijk is)*
- 1 mSv*
- 1 mSv*
- 20 mSv*

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
9	Een blootgestelde werknemer in categorie B mag beroepshalve maximaal een effectieve jaardosis ontvangen van 1 mSv òf 2 mSv òf 6 Sv òf 20 mSv ?	6 mSv
10	Voor de ooglen van een blootgestelde A-werknemer geldt een wettelijke jaarlimiet van 2 mSv òf 20 mSv òf 150 mSv òf 500 mSv ?	20 mSv
11	Voor handen, voeten en huid van een blootgestelde A-werknemer geldt een wettelijke jaarlimiet van 2 mSv òf 20 mSv òf 150 mSv òf 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	Een ruimte waarin de te ontvangen effectieve jaardosis hoger kan zijn dan 6 mSv moet worden aangemerkt als gecontroleerde zone òf 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 $\mu$ Sv
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 $\mu$ Sv

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
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 activiteitsconcentratie niet onder de vrijstellingswaarde voor matige hoeveelheden ligt?	<i>ja</i>
22	Is een radioactieve stof vrijgesteld als de activiteit niet, maar de activiteitsconcentratie wel onder de vrijstellingswaarde voor matige hoeveelheden ligt?	<i>ja</i>
23	Is een radioactieve stof vrijgesteld als de activiteit en de activiteitsconcentratie beide boven de vrijstellingswaardes voor matige hoeveelheden liggen?	<i>nee</i>
24	De vrijstellingswaardes voor tritium zijn 1 GBq respectievelijk 1 MBq/g. Is 3 kBq tritium met een activiteitsconcentratie van 10 MBq/g vrijgesteld?	<i>ja</i>
25	De vrijstellingswaardes voor $^{131}\text{I}$ zijn 1 MBq respectievelijk 100 Bq/g. Is 40 kBq $^{131}\text{I}$ met een activiteitsconcentratie van 40 MBq/g vrijgesteld?	<i>ja</i>
26	De transportindex wordt berekend aan de hand van het equivalente dosistempo op het oppervlak van de verpakking of op 1 m vanaf het oppervlak van de verpakking	<i>op 1 m vanaf het oppervlak van de verpakking</i>
27	Het equivalente dosistempo op 1 m vanaf het oppervlak van een pakket is 3,5 $\mu\text{Sv}$ per uur. Wat is de transportindex?	<i><math>TI = 3,5 / 10 = 0,4</math> (afroonden naar boven)</i>

*VRAGEN*

- 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?
- 29 Aan wie mogen radioactieve stoffen altijd  
worden overgedragen?
- 30 Mag men radioactief materiaal opslaan  
totdat de activiteit is uitgestraald?

*ANTWOORDEN*

*$2,1 \times 10 \mu\text{Sv/uur} = 21 \mu\text{Sv/uur}$   
op 1 m vanaf het oppervlak van  
het pakket*

*COVRA*

*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*

## 12 Specifieke regelgeving voor ingekapselde bronnen

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Een ingekapselde bron is wel òf niet altijd omgeven door een metalen omhulling?	<i>niet altijd</i>
2	Een ingekapselde bron levert wel òf geen risico van inwendige besmetting op?	<i>wel</i> <i>(de bron kan lek zijn)</i>
3	Een ingekapselde bron levert wel òf geen risico van uitwendige bestraling op?	<i>wel</i>
4	Gebruik van een ingekapselde bron is wel òf niet beperkt tot een radionucliden-laboratorium?	<i>niet</i>
5	Het nemen van veegproeven aan een ingekapselde bron is wel òf niet zinloos?	<i>niet zinloos</i> <i>(de bron kan lek zijn)</i>
6	Resultaten van een lekttest moeten wel òf niet worden opgenomen in het kern-energiewetdossier?	<i>wel</i>
7	De ISO-classificatiecode bevat 5 cijfers van 1 tot en met 6. Een hoog cijfer geeft aan dat de bron zwaar òf licht getest is?	<i>zwaar getest</i>
8	De ISO-classificatiecode bestaat uit 5 cijfers van 1 tot en met 6. Het cijfer 1 geeft aan dat de bron niet òf alleen licht getest is?	<i><u>niet</u> getest</i>
9	Op hoeveel onderdelen is een bron met ISO-classificatiecode C43313 getest?	<i>4 onderdelen</i>
10	Mag een bron met ISO-classificatiecode C11111 wel òf niet worden gebruikt?	<i>wel, maar men moet de bron voorzichtig hanteren</i>



### 13 Specifieke regelgeving voor open bronnen

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Wat is een open bron?	<i>elke radioactieve stof die geen gesloten bron is</i>
2	Wat wordt bij werken met open bronnen als het grootste risico beschouwd?	<i>verspreiding van activiteit</i>
3	Inrichtingseisen voor een C-laboratorium zijn strenger of minder streng dan voor een D-laboratorium?	<i>strenger</i>
4	De maximaal te hanteren activiteit in een C-laboratorium is groter of kleiner dan in een D-laboratorium?	<i>groter</i>
5	Mag in een D-laboratorium op tafel 5 MBq worden gepipetteerd? (zie Figuur 13.1; $e(50)_{\text{inhalatie}} \approx 3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ )	$A_{\text{max}} = 0,02 / 3 \times 10^{-9} = 7 \text{ MBq}$ ( $p = -1, q = 1, r = 0$ ) → <i>het mag</i>
6	Het pipetteren duurt 1 ochtend = 4 uur. Wat is de bijdrage tot de belastingfactor?	$B = (4/40) \times (5/7) = 0,07$
7	Mag in een C-laboratorium 50 MBq worden ingedampt in een zuurkast die voldoet aan NEN-EN 14175 ? (zie Figuur 13.1; $e(50)_{\text{inhalatie}} = 3 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$ )	$A_{\text{max}} = 0,02 / 3 \times 10^{-9} = 7 \text{ MBq}$ ( $p = -4, q = 2, r = 2$ ) → <i>het mag niet</i>
8	Wat is de maximaal toegestane afwrijfbare oppervlaktebesmetting in geval van $\alpha$ -activiteit?	$0,4 \text{ Bq/cm}^2$
9	Wat is de maximaal toegestane afwrijfbare oppervlaktebesmetting in geval van $\beta$ -activiteit?	$4 \text{ Bq/cm}^2$
10	De resultaten van besmettingsmetingen moeten wel of niet worden opgenomen in het kernenergiewetdossier?	<i>wel</i>

$$A_{\max} = 0,02 \times 10^{p+q+r} / e(50)_{\text{inhalatie}}$$

<b>p</b>	<b>bewerking</b>
-4	werken met gas / poeder in open systeem verhitten van vloeistof tegen het kookpunt sterk spattende bewerking
-3	werken met vluchtige nucliden: <sup>3</sup> H in damp jodium werken met poeder in gesloten systeem koken in gesloten systeem schudden, vortexen, centrifugeren opslag van edelgas in gesloten systeem
-2	eenvoudige chemische bewerking (RIA) labeling met niet vluchtig nuclide
-1	kortdurend zeer eenvoudig nat werk: pipetteren van niet vluchtig nuclide bewerking in gesloten systeem: elutie technetium-generator optrekken van spuit labeling in gesloten systeem metingen aan gesloten ampul opslag van radioactief afval in werkruimte

<b>q</b>	<b>ruimte</b>
0	werkruimte buiten laboratoriumbeheer
1	D-laboratorium
2	C-laboratorium
3	B-laboratorium

<b>r</b>	<b>werkplek</b>
0	tafel zonder lokale afzuiging
1	tafel met lokale afzuiging zuurkast niet volgens norm NEN-EN 14175
2	zuurkast volgens norm NEN-EN 14175 laminaire luchtstroomkast (klasse 2)
3	handschoenenkast gesloten luchtstroomkast (klasse 3)

*Figuur 13.1*

**14 Praktische stralingsbescherming bij ingekapselde bronnen**

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

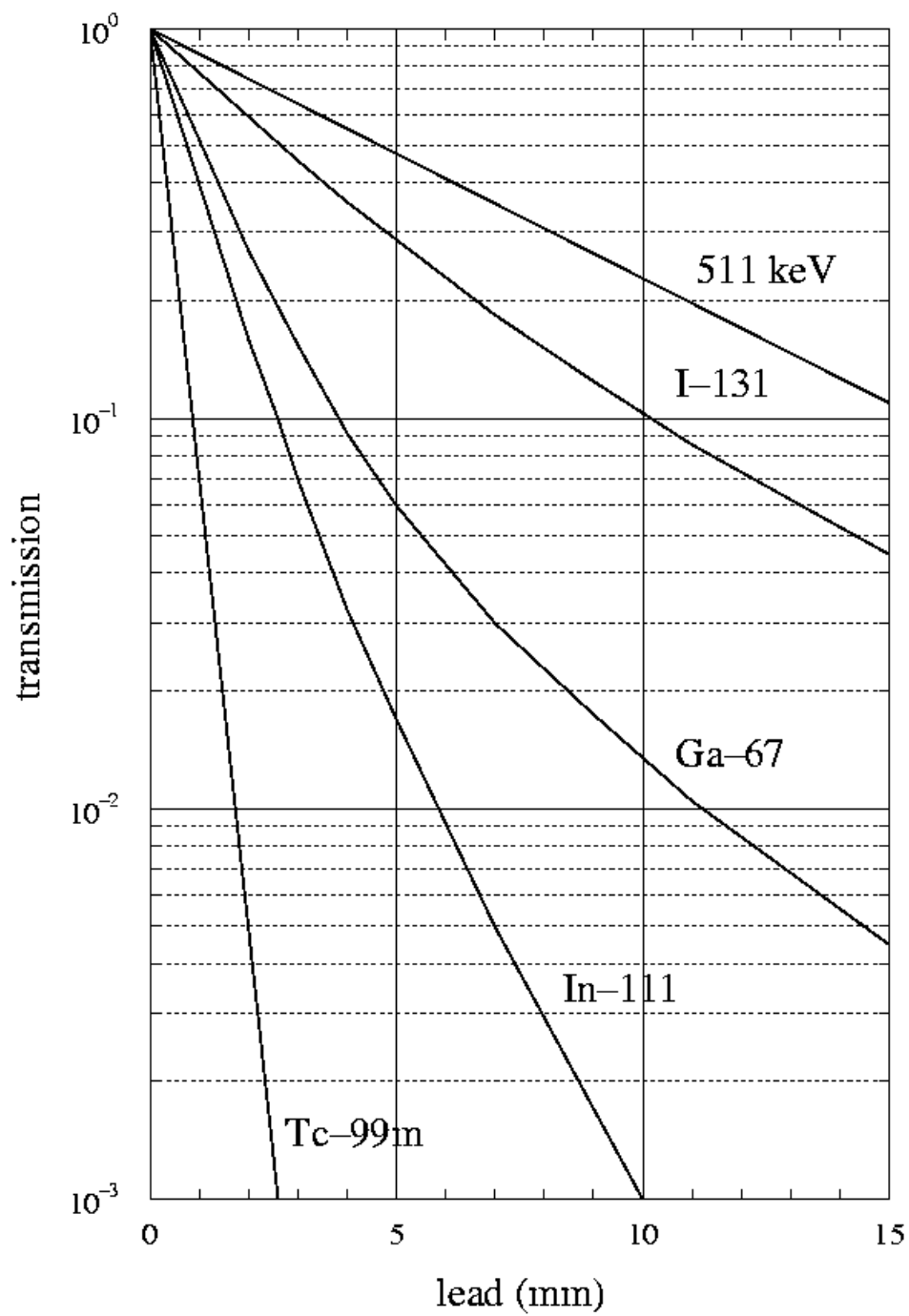
## 15 Praktische stralingsbescherming bij open bronnen

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1	Wie mag een risico-analyse uitvoeren?	<i>(in principe) iedereen</i>
2	Wie mag een risico-analyse toetsen?	<i>alleen een geregistreerd stralingsbeschermingsdeskundige</i>
3	Wie is er voor verantwoordelijk dat de werking van de zuurkast regelmatig wordt gecontroleerd?	<i>toezichthouder</i>
4	Waarom zorgt men er bij het werken met jodiumverbindingen voor dat de pH altijd groter is dan 4 ?	<i>om de vorming van vluchtig jodium te voorkomen</i>
5	Mogen voorwerpen waarvan het oppervlak besmet is met minder dan 4 Bq/cm <sup>2</sup> wel òf niet bij het bedrijfsafval worden gelegd?	<i>wel</i>
6	Mag de inhoud van een telpotje in het algemeen wel òf niet via het riool worden geloosd?	<i>niet (geen chemisch afval via riool)</i>
7	Mag de inhoud van een telpotje in het algemeen wel òf niet als chemisch afval worden afgevoerd?	<i>niet (afvoer via COVRA is verplicht als de activiteitsconcentratie groter is dan de vrijgavegrens voor onbeperkte hoeveelheden)</i>
8	Wat is de eerst te nemen maatregel als in een radionuclidenlaboratorium een ernstige besmetting wordt vastgesteld?	<i>laboratorium sluiten en de aanwezige werknemers controleren op uitwendige besmetting</i>
9	Op welke plek draagt men bij voorkeur zijn TLD-badge?	<i>op borsthoogte, boven de laboratoriumjas</i>
10	Om verspreiding van activiteit te voorkomen wordt een morsbak gebruikt òf een laboratoriumjas gedragen?	<i>gebruik een morsbak</i>

	<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
11	Mag tijdens het werken in de zuurkast het raam helemaal worden gesloten?	<i>nee (doorstroming van de lucht mag niet worden belemmerd)</i>
12	Mag tijdens het werken in de zuurkast het raam helemaal worden geopend?	<i>nee (doorstroming van de lucht mag niet worden belemmerd)</i>
13	Kunnen bij het leegdrukken van een injectiespuit aërosolen ontstaan?	<i>ja, waarschijnlijk wel</i>
14	Kunnen tijdens het bezinken van een neerslag aërosolen ontstaan?	<i>nee, waarschijnlijk niet</i>
15	Een sticker met het opschrift <u>radioactieve stof</u> hoort thuis in de prullebak òf in de blauwe milieubox òf bij het gevaarlijk bedrijfsafval òf bij het radioactief afval?	<i>bij het radioactief afval</i>

## 16 Risico-analyse voor ingekapselde bronnen

<i>VRAGEN</i>	<i>ANTWOORDEN</i>
1 Het dosistempo op 1 m bedraagt 1 mGy per uur. Wat is het dosistempo op 10 cm afstand?	$(100 \text{ cm} / 10 \text{ cm})^2 \times 1$ $= 100 \text{ mGy per uur}$
2 Op 1 m van een radioactieve bron is het equivalente dosistempo 10 $\mu\text{Sv}$ per uur. De bronconstante is 0,1 $\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Wat is de activiteit van de bron?	$H = h \times A$ $A = H / h = 10 / 0,1 = 100 \text{ MBq}$
3 Een bron heeft een activiteit van 50 MBq. De bronconstante is 0,4 $\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Wat is het equivalente dosistempo op een afstand van 100 cm?	$H = h \times A$ $= 0,4 \times 50 = 20 \mu\text{Sv per uur}$
4 Een $\beta$ -bron geeft een veel hogere of veel lagere huiddosis dan een $\gamma$ -bron met dezelfde activiteit op dezelfde afstand en in dezelfde tijd?	<i>veel hogere huiddosis</i>
5 Een werknemer raakt door ingestie besmet met 100 kBq $^{241}\text{Am}$ . De effectieve dosiscoëfficiënt is $2 \times 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$ . Wat is de effectieve volg dosis?	$E(50) = e(50) \times A$ $= 2 \times 10^{-7} \times 100 \times 10^3$ $= 0,02 \text{ Sv} = 20 \text{ mSv}$
6 Op de buitenkant van de verpakking van een ingekapselde $^{111}\text{In}$ -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 16.1)	$\text{transmissie} = 2 \text{ mSv} / 50 \text{ mSv}$ $= 4 \times 10^{-2}$ $\rightarrow$ ongeveer 3,5 mm lood
7 Een versneller slaat automatisch af als het equivalente dosistempo op 1 m van de buitenwand meer dan 1 $\mu\text{Sv}$ per uur bedraagt. Wat is de maximale effectieve dosis van een werknemer in de hal bij een verblijftijd van 2000 uur per jaar?	$2000 \times 1 = 2000 \mu\text{Sv} = 2 \text{ mSv}$
8 Is dit meer of minder dan de jaarlimiet voor een blootgesteld B-werknemer?	<i>minder</i> (jaarlimiet = 6 mSv)



Figuur 16.1

*VRAGEN*

- 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 ontvangt?
- 10 Is dit meer of minder dan de jaarlimiet voor een niet-blootgesteld werknemer?

*ANTWOORDEN*

$$TI = 2,5$$
$$\rightarrow 2,5 \times 10 \mu\text{Sv/uur}$$
$$= 25 \mu\text{Sv/uur op 1 m}$$

*minder*  
(jaarlimiet = 1 mSv)



## 17 Risico-analyse voor open bronnen

### VRAGEN

- 1 Na decontaminatie is een oppervlak van 10 cm × 10 cm nog steeds besmet met 40 Bq van een zuivere β-emitter. Wat is de resterende oppervlaktebesmetting (in Bq/cm<sup>2</sup>)?
- 2 Is dit wel òf niet boven de limiet?
- 3 Welke maatregel(en) zou de toezichthouder moeten nemen?
- 4 Door meting wordt vastgesteld dat er 60 kBq <sup>131</sup>I in de schildklier zit. Volgens ICRP gaat 30% van het ingenomen jodium naar de schildklier. De effectieve dosis-coëfficiënt is 1×10<sup>-8</sup> Sv/Bq. Wat is de effectieve volg dosis?
- 5 Is dit wel òf niet boven de jaarlimiet voor een niet-blootgestelde werknemer?
- 6 Door een ongelukje raakt 10 cm<sup>2</sup> huid van een werknemer besmet met 50 kB van de zuivere β-emitter <sup>32</sup>P. Hoe groot is het equivalente dosistempo op de huid?
- 7 Na hoeveel uur is de jaarlimiet voor de huiddosis van een blootgesteld A-werknemer overschreden?

### ANTWOORDEN

- activiteit = 40Bq*  
*oppervlak = 10 cm × 10 cm*  
*100 cm<sup>2</sup>*  
*→ 40 / 100 = 0,4 Bq/cm<sup>2</sup>*
- limiet = 4 Bq/cm<sup>2</sup>*  
*→ onder de limiet*
1. *besmette oppervlak*  
*afplakken met plastic*
  2. *markeren met sticker onder*  
*vermelding van datum,*  
*nuclide en activiteit*
- inname = 60 kBq / 30%*  
*= 200 kBq*  
*E(50) = e(50) × A*  
*= 1×10<sup>-8</sup> × 200×10<sup>3</sup>*  
*= 0,002 Sv = 2 mSv*
- jaarlimiet = 1 mSv*  
*→ boven de limiet*
- huidbesmetting = 50 / 10*  
*= 5 kBq/cm<sup>2</sup>*  
*vuistregel:*  
*2 mSv/uur per kBq/cm<sup>2</sup>*  
*→ 5 × 2 = 10 mSv/uur*
- jaarlimiet = 500 mSv*  
*na 500 / 10 = 50 uur*

*VRAGEN*

- 8 Een werknemer inhaleert 20 MBq  $^{36}\text{Cl}$ . De effectieve dosisconversiecoëfficiënt is  $5 \times 10^{-10}$  Sv/Bq. Wat is de effectieve volg dosis?
- 9 Is dit wel of niet boven de jaarlimiet voor een blootgesteld B-werknemer?
- 10 De gemiddelde verblijftijd van chloor in het lichaam is ongeveer 2 weken. Hoeveel activiteit wordt naar schatting per dag via de urine uitgescheiden?

*ANTWOORDEN*

$$\begin{aligned} E(50) &= e(50) \times A \\ &= 5 \times 10^{-10} \times 20 \times 10^6 \\ &= 0,01 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jaarlimiet} &= 6 \text{ mSv} \\ &\rightarrow \text{boven de limiet} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ weken} &= 14 \text{ dagen} \\ \text{uitscheiding} &\approx \\ 20 / 14 &= 1,4 \text{ MBq per dag} \end{aligned}$$