

12.1 Echografie en MRI

Opgave 1

- Echografie maakt gebruik van geluidsgolven.
De orde van grootte van de golfsnelheid is 10^3 m/s.
MRI maakt gebruik van elektromagnetische golven.
De golfsnelheid is gelijk aan de lichtsnelheid: $3,0 \cdot 10^8$ m/s.
- De eigenfrequentie van waterstofkernen hangt af van het type weefsel waarin ze zich bevinden en van de sterkte van het magnetisch veld. Het MRI-apparaat moet dus meerdere frequenties gebruiken om alle waterstofkernen te kunnen detecteren.
- De gradiëntspoelen zorgen voor een lokale verandering van het reeds aanwezige magnetische veld. Hierdoor kunnen alleen kernen in dit gradiëntveld een foton opnemen en even later weer uitzenden. Je kunt zo plaatselijk bepalen waar een foton opgenomen en even later weer uitgezonden is.

Opgave 2

- De geluidsgolf kan weerkaatsen bij de overgang van één medium naar het andere. Hoe groter het verschil in geluidssnelheid tussen beide media, hoe sterker de reflectie is.
Zonder gel moet de geluidsgolf door een klein laagje lucht heen. De geluidssnelheid in lucht is veel kleiner dan in weefsel. Zonder gel treedt dus veel reflectie op.
- De gel zorgt ervoor dat de transducer gemakkelijk over de huid heen kan bewegen.
- De golflengte volgt uit de formule voor de golfsnelheid.

$$v = f \cdot \lambda$$

De frequentie ligt vast tijdens een onderzoek met echografie.

De geluidssnelheid is in elk type weefsel anders.

Dus is de golflengte ook anders in elk type weefsel.

Opgave 3

- De frequentie bereken je met de formule voor de golfsnelheid.
De golflengte volgt uit de diameter van de ader.

$$v = f \cdot \lambda$$

$$v = 1,58 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad (\text{Zie BINAS tabel 15A})$$

$$\lambda = 1,0 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$1,58 \cdot 10^3 = 1,0 \cdot 10^{-3} \times f$$

$$f = 1,58 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{Afgerond: } f = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

- De golflengte volgt uit de formule voor de golfsnelheid.

$$v = f \cdot \lambda$$

Als de golflengte kleiner is dan de diameter van de ader, dan weet de fysiotherapeut zeker dat de geluidsgolf zal reflecteren.

Als de golflengte kleiner is en de golfsnelheid dezelfde is, dan is de frequentie groter.

Opgave 4

- Een mens bestaat voor een groot deel uit water.
De lichaamstemperatuur is ongeveer 37°C en ligt in de buurt van 40°C .
- De tijd bereken je met de formule voor de snelheid.
De snelheid is de geluidssnelheid in water van 40°C .
Bij het berekenen van de afstand moet je ermee rekening houden dat de geluidspuls heen en weer gaat tussen de transducer en de ongeboren baby.

$$s = v \cdot t$$

$$s = 2 \times 12 \text{ cm} = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$v = 1,529 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad (\text{Zie BINAS tabel 15A; } 40 \text{ }^\circ\text{C} = 313 \text{ K})$$

$$0,24 = 1,529 \cdot 10^3 \times t$$

$$t = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

- c De frequentie waarmee de geluidspulsen worden uitgezonden, bereken je met de formule voor de frequentie.

De tijd T is de tijd tussen twee pulsen.

De tijd T is de tijdsduur van een puls plus de tijd die nodig is om heen en weer te gaan tussen buikwand en ongeboren kind.

$$T = 110 \mu\text{s} + 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$T = 110 \cdot 10^{-6} + 1,6 \cdot 10^{-4} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2,7 \cdot 10^{-4}}$$

$$f = 3,7 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

Deze frequentie is hoorbaar voor mensen.

Opgave 5

- a De golflengte bereken je met de formule voor de golfsnelheid.
De golfsnelheid van elektromagnetische golven is de lichtsnelheid.

$$v = f \cdot \lambda$$

$$v = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 53,5 \text{ MHz} = 53,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$3,0 \cdot 10^8 = \lambda \times 5,35 \cdot 10^7$$

$$\lambda = 5,603 \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } \lambda = 5,60 \text{ m}$$

- b De gyromagnetische verhouding volgt uit de eenheden van de grootheden in de gegeven formule.

$$[f] = \frac{[\gamma] \cdot [B_{\text{ext}}]}{[2\pi]}$$

$$[f] = \text{Hz}$$

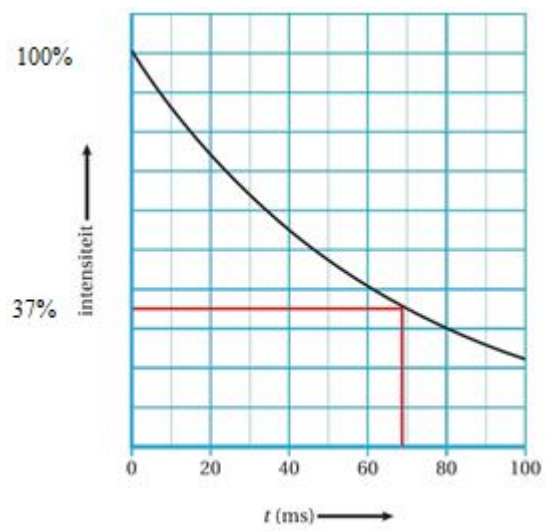
$$[B_{\text{ext}}] = \text{T}$$

$$[2\pi] = 1 \text{ Getallen hebben geen eenheid}$$

$$\text{Hz} = \frac{[\gamma] \cdot \text{T}}{1}$$

$$[\gamma] = \text{Hz/T}$$

- c Hersenvocht bevat meer water dan andere weefsels. In een molecuul water is het percentage waterstofkernen veel groter dan in andere moleculen.
- d Als 63% van de waterstofkernen een foton heeft uitgezonden, dan is de intensiteit afgenomen tot 37%. In figuur 12.1 lees je af dat de relaxatietijd dan gelijk is aan 68 ms.
Uit tabel 12.1 in het basisboek volgt dat de straling afkomstig is uit vetweefsel.



Figuur 12.1

12.2 Röntgenfoto en CT-scan

Opgave 6

- a Een CT-scan maakt een driedimensionaal beeld, terwijl een röntgenfoto een tweedimensionaal beeld maakt.
- b Een CT-scan bestaat uit het gecombineerde beeld van een aantal röntgenfoto's. De patiënt ontvangt dus meer straling bij een CT-scan dan bij een röntgenfoto.
- 7 De hoeveelheid straling die wordt doorgelaten, bereken je met de formule voor de verzwakking van de γ -straling.

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}}$$

$$I = 100 - 85 = 15\%$$

$$I_0 = 100\%$$

$$d_{\frac{1}{2}} = 1,5 \text{ cm} \quad (\text{Zie BINAS tabel 28F})$$

$$15 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{1,5}}$$

$$0,15 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{1,5}}$$

$$d = 4,105 \text{ cm}$$

$$\text{Afgerond: } d = 4,1 \text{ cm}$$

Opgave 8

De veiligste verpakking laat de minste straling door. Dat is de verpakking met het grootste aantal halveringsdiktes n . Voor het aantal halveringsdiktes geldt $n = \frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}$.

IJzer	Aluminium	Beton
$d = 3,0 \text{ cm}$	$d = 6,0 \text{ cm}$	$d = 6,0 \text{ cm}$
$d_{\frac{1}{2}} = 2,1 \text{ cm}$	$d_{\frac{1}{2}} = 6,0 \text{ cm}$	$d_{\frac{1}{2}} = 6,6 \text{ cm}$
$n = \frac{3,0}{2,1} = 1,4$	$n = \frac{6,0}{6,0} = 1,0$	$n = \frac{6,0}{6,6} = 0,91$

De verpakking van ijzer heeft het grootst aantal halveringsdiktes. Verpakking 1 is dus het veiligst.

Opgave 9

- a Volgens BINAS tabel 28F is de halveringsdikte van bot kleiner dan de halveringsdikte van water (= zacht weefsel). Bot houdt de straling dus beter tegen dan overige weefsels. De hoeveelheid straling in punt A is dus kleiner dan op plaats B.
- b Beenmerg houdt straling slechter tegen dan botweefsel. Hoe meer straling wordt tegengehouden, des te witter is de foto. Op de foto in figuur 12.10 van het basisboek is de binnenkant van de botten donkerder. Dus daar is de straling door beenmerg gegaan.

Opgave 10

Hoe meer straling wordt tegengehouden, des te witter is de foto. Bariumpap houdt straling dus beter tegen. De halveringsdikte van bariumpap is dus klein.

12.3 Ioniserende straling

Opgave 11

- a ${}^{66}_{30}\text{Zn}$
- b In BINAS tabel 25A staan 7 verschillende isotopen van zink. In de laatste kolom zie je dat er 5 isotopen zijn die geen straling uitzenden.
- c β -straling behoort niet tot de elektromagnetische straling en γ -straling wel.
In de laatste kolom zie je dat er 1 isotoop is die elektromagnetische straling uitzendt.
- d In de laatste kolom zie je dat er 1 isotoop is die γ -straling uitzendt.

Opgave 12

- a ${}^6_3\text{Li}$ is stabiel
- b ${}^{63}_{28}\text{Ni} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{63}_{29}\text{Cu}$
- c ${}^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^0_{+1}\text{e} + {}^{15}_7\text{N}$
- d ${}^{244}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{240}_{92}\text{U}$
- e ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ is stabiel
- f ${}^{212}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{212}_{83}\text{Bi}$

Opgave 13

De achtergrondstraling bestaat onder andere uit kosmische straling en straling uit natuurlijke gesteenten.

De dampkring houdt een deel van de kosmische straling tegen. Hoog in de bergen is de dampkring boven je hoofd dunner. Daar wordt minder kosmische straling tegengehouden.

In de bergen bevind je je dichter bij natuurlijk gesteente. De stralingsintensiteit is daar dus groter.

Opgave 14

- a Het massagetal van U-238 is 238 en het massagetal van Pb-206 is 206. Het verschil in massagetal is gelijk aan $238 - 206 = 32$.
- b Bij het uitzenden van een α -deeltje komt er een He-4 kern uit de moederkern. Het massagetal van een He-4 kern is gelijk aan 4.
Bij het uitzenden van een β -deeltje komt er een elektron uit de moederkern. Het massagetal van een elektron is gelijk aan 0.
De afname van het massagetal wordt dus veroorzaakt door het uitzenden van α -deeltjes.
- c Per uitgezonden α -deeltje neemt het massagetal met 4 af. In totaal neemt het massagetal met 32 af. Er wordt dus bij $\frac{32}{4} = 8$ stappen een α -deeltje uitgezonden.

Opgave 15

- a ${}^{99m}_{43}\text{Tc} \rightarrow {}^0_0\gamma + {}^{99}_{43}\text{Tc}$
- b ${}^{99}_{43}\text{Tc} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{99}_{44}\text{Ru}$
- c Technetium-99m zendt een foton uit. Technetium-99 zendt een elektron uit. De elektronen worden door je lichaam geabsorbeerd, omdat de dracht van elektronen in weefsel zeer klein is. Bovendien is de halveringstijd van technetium-99 zeer groot: $2,1 \cdot 10^5$ jaar. Er vervallen dus nauwelijks technetium-99 kernen in je lichaam.

Opgave 16

- a De FDG moet zich door het lichaam verspreiden en door de tumoren worden opgenomen. Dat duurt blijkbaar ongeveer een uur.
- b Bij het verval van O-15 komen positronen vrij, maar de halfwaardetijd is 122 s. Na 2 minuten is de helft al vervallen. Na de wachttijd van een uur is FDG nauwelijks nog radioactief als het op de juiste plaats in het lichaam is opgenomen. Op een scan is dan niets te zien.

Bij het verval van Na-22 komen positronen vrij, maar de halfwaardetijd is 2,6 jaar. Als het FDG op de juiste plaats is aangekomen, is de hoeveelheid straling die uitgezonden wordt zeer klein. Ook dan is er op een scan niets te zien.

- c Bij Alzheimer bevindt zich veel eiwit tussen de hersenen en dan wordt veel radioactieve stof door de hersenen opgenomen. Er worden dan veel fotonen uitgezonden en dat is het geval in het linkerplaatje.

12.4 Halveringstijd en activiteit

Opgave 17

- a De activiteit bereken je met de formule voor de (radio)activiteit.
De tijd t is de tijd tussen tijdstip van injecteren en tijdstip van meting.

Tussen maandag 9:10 h en dinsdag 8:46 h zijn 23 uren en 36 minuten verstreken.
 $t = 23 \text{ uur} + 36 \text{ minuten}$

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 13,2 \text{ h} \quad (\text{Zie BINAS tabel 25A})$$

$$t = 23 \text{ h} + 36 \text{ min} = 23 + \frac{36}{60} \text{ h} = 23,6 \text{ h} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$A_0 = 100\%$$

$$A = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{23,6}{13,2}}$$

$$A = 28,95\%$$

De afname is $100,00\% - 28,95 = 71,04\%$

Afgerond: 71,0%

- b Om de schildklier te onderzoeken, moet een deel van het radioactieve preparaat in de schildklier terecht komen. Het duurt een bepaalde tijd voordat het radioactieve preparaat zich door het lichaam verspreid heeft.
- c Radioactief materiaal vervalt spontaan. Bovendien scheidt het lichaam stoffen uit via urine.

Opgave 18

- a De massa van I-131 bereken je met het aantal atomen I-131 en de massa van een atoom.

Het aantal atomen I-131 bereken je met $A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$.

$$A = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} \cdot N$$

$$A = 6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 8,0 \text{ d} = 8,0 \times 24 \times 3600 = 6,912 \cdot 10^5 \text{ s} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$6,0 \cdot 10^{15} = \frac{\ln 2}{6,912 \cdot 10^5} \cdot N$$

$$N = 5,9831 \cdot 10^{21} \text{ atomen I-131}$$

De massa van een atoom I-131 is 130,90612 u (Zie BINAS tabel 25)

1 u = 1,660538921 · 10⁻²⁷ kg (Zie BINAS tabel 7)

De massa van I-131 is $5,9831 \cdot 10^{21} \times 130,90612 \times 1,660538921 \cdot 10^{-27} = 1,300 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

Dit is afgerond: $m = 1,3 \text{ g}$

- b Nee, de halveringstijd is een eigenschap van de stof zelf en hangt dus niet af van de hoeveelheid.
- c Ja, de activiteit van een preparaat is hoeveel kernen er per seconde vervallen. Elke radioactieve kern heeft in een seconde even veel kans om te vervallen. Als de hoeveelheid radioactieve kernen verdubbeld wordt, zal het aantal kernen dat elke seconde vervalt ook verdubbelen.
- d Het aantal dagen waarin de activiteit is gedaald tot $1,7 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$ bereken je met de formule voor de (radio)activiteit.

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$A = 1,7 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

$$A_0 = 6,0 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

$$t_{1/2} = 8,0 \text{ d}$$

$$1,7 \cdot 10^{15} = 6,0 \cdot 10^{15} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8,0}}$$

$$t = 14,555 \text{ d}$$

$$\text{Afgerond: } t = 15 \text{ d}$$

Opgave 19

- a Na 90 jaar is radioactiviteit van cesium afgenomen tot 12,5 %. Dat is na drie halveringstijden. De halveringstijd is dus gelijk aan 30 jaar. Volgens BINAS tabel 25 is dat de halveringstijd van cesium-137.
- b Het aantal radioactieve isotopen bereken je met de formule van het aantal moederkernen.

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N = 1\%$$

$$N_0 = 100\%$$

$$t_{1/2} = 28 \text{ y} \quad (\text{Zie BINAS tabel 25A})$$

$$1 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{28}}$$

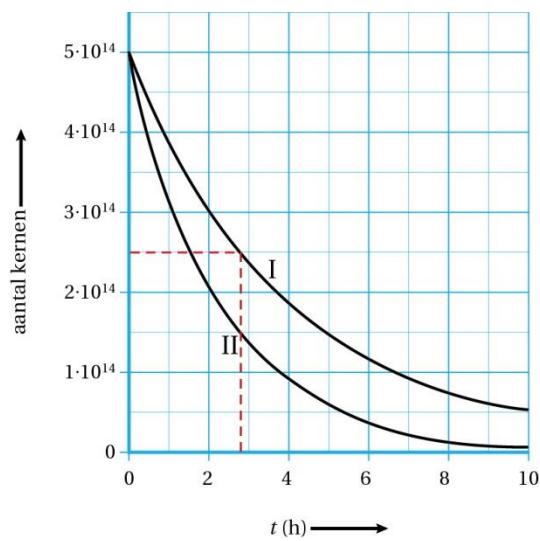
$$t = 186,02 \text{ j}$$

$$\text{Afgerond: } t = 2 \cdot 10^2 \text{ j}$$

- c Na 6,0 uur is er nog 25% van de radioactieve stof over. Dit komt overeen met twee halveringstijden.
De halveringstijd is dus 3,0 uur

Opgave 20

- a Hoe instabieler een isotoop is, hoe sneller hij verval. De snelheid waarmee een isotoop verval, volgt uit de steilheid van de raaklijn aan een (N,t) -diagram.
De grafiek van isotoop II is het steilst. Deze isotoop is dus het minst stabiel.
Isotoop I is dus het meest stabiel.
- b De halveringstijd van een isotoop is de tijd waarin de helft van de isotopen vervallen is. In figuur 12.2 lees je af dat na 2,8 h het aantal kernen gehalveerd is.
De halveringstijd van preparaat I is dus 2,8 h.



Figuur 12.2

- c De activiteit op een moment volgt uit de raaklijn aan het (N,t) -diagram.

Zie figuur 12.3

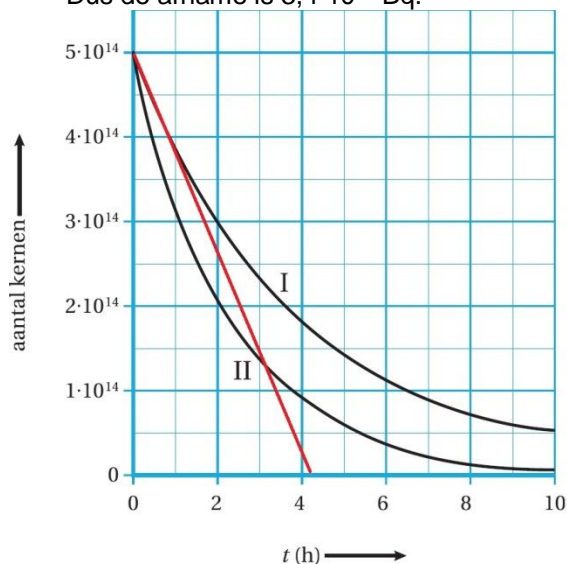
$$A = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$\Delta N = 0 - 5,0 \cdot 10^{14}$$

$$\Delta t = 4,1 - 0,0 = 4,1 \text{ h} = 4,1 \times 3600 = 1,476 \cdot 10^4 \text{ s (Afstemmen eenheden)}$$

$$A = \frac{-5,0 \cdot 10^{14}}{1,476 \cdot 10^4} = -3,38 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Dus de afname is $3,4 \cdot 10^{10}$ Bq.



Figuur 12.3

- d De activiteit op een moment volgt uit de raaklijn aan het (N,t) -diagram.

Zie figuur 12.4

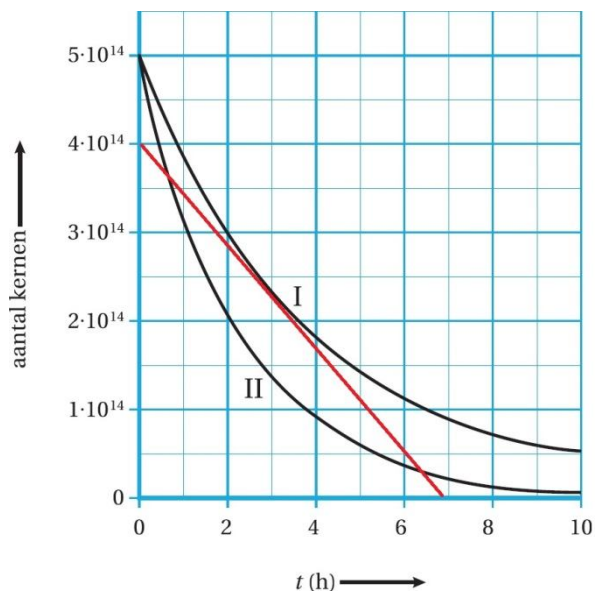
$$A = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$\Delta N = 0 - 4,2 \cdot 10^{14}$$

$$\Delta t = 6,8 - 0,0 = 6,8 \text{ h} = 6,8 \times 3600 = 2,448 \cdot 10^4 \text{ s (Afstemmen eenheden)}$$

$$A = - \frac{-4,2 \cdot 10^{14}}{2,448 \cdot 10^4} = -1,71 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Dus de afname is $1,7 \cdot 10^{10}$ Bq.



Figuur 12.4

- e Uit vraag 19b volgt dat de halveringstijd 2,8 h is. Na 2,8 h is zowel het aantal radioactieve kernen als de activiteit gehalveerd.
- f De gemiddelde activiteit bereken je met de formule voor de (radio)activiteit.

$$A = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$\Delta N = 1,45 \cdot 10^{14} - 5,0 \cdot 10^{14} = -3,55 \cdot 10^{14}$$

$$\Delta t = 5,0 - 0,0 = 5,0 \text{ h} = 5,0 \times 3600 = 1,8 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$A_{\text{gem}} = - \frac{-3,55 \cdot 10^{14}}{1,8 \cdot 10^4} = 1,97 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Afgerond: $2,0 \cdot 10^{10}$ Bq

- g Elke kern die vervalst zendt één alfadeeltje uit. De afname van het aantal radioactieve kernen is $3,55 \cdot 10^{14}$. Er zijn dus $3,55 \cdot 10^{14}$ alfadeeltjes uitgezonden.

Opgave 21

- a Het percentage radioactieve isotopen op $t = 59$ dagen bereken je met de formule voor het aantal moederkernen.

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N_0 = 100 \%$$

$$t = 59 \text{ d}$$

$$t_{1/2} = 8,0 \text{ d} \quad (\text{Zie BINAS tabel 25A})$$

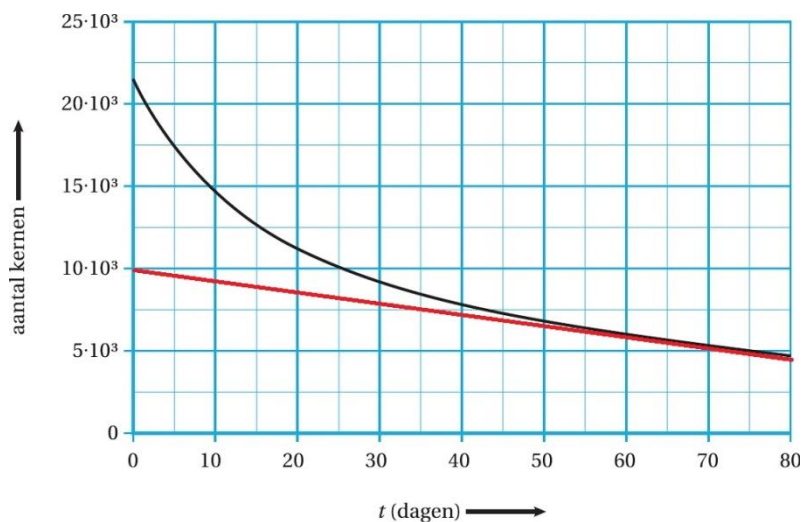
$$N = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{59}{8,0}}$$

$$N = 6,0 \cdot 10^{-3} \%$$

Na 59 dagen is het aantal radioactieve isotopen minder dan 1,0%.

- b De activiteit op een moment volgt uit de raaklijn aan het (N,t) -diagram.

Zie figuur 12.5a



Figuur 12.5a

$$A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

$$\Delta N = -4,5 \cdot 10^3 - 10,5 \cdot 10^3 = -6,0 \cdot 10^3$$

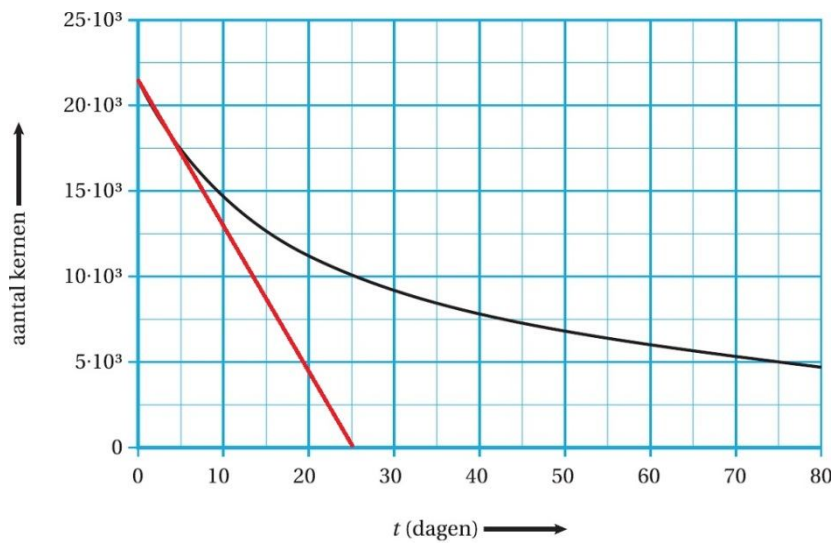
$$\Delta t = 80 - 0 = 80 \text{ d} = 80 \times 24 \times 3600 = 6,912 \cdot 10^6 \text{ s (Afstemmen eenheden)}$$

$$A = -\frac{-6,0 \cdot 10^3}{6,912 \cdot 10^6} = 8,68 \cdot 10^{-4} \text{ Bq}$$

$$\text{Afgerond: } 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ Bq}$$

- c De activiteit van I-131 op $t = 0$ bereken je met de totale activiteit en de activiteit van I-125.
De activiteit van I-131 op $t = 0$ bereken je met de totale activiteit en de activiteit van de I-125 op $t = 0$.
De activiteit van I-125 op $t = 0$ bereken je met de formule voor de (radio)activiteit.
De totale activiteit op $t = 0$ volgt uit de raaklijn aan het (N,t) -diagram.

Zie figuur 12.5b.



Figuur 12.5b

$$A_{\text{tot}} = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$\Delta N = 0,0 - 21,3 \cdot 10^3 = -21,3 \cdot 10^3$$

$$\Delta t = 25 - 0 = 25 \text{ d} = 25 \times 24 \times 3600 = 2,16 \cdot 10^6 \text{ s} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$A_{\text{tot}} = - \frac{-21,3 \cdot 10^3}{2,16 \cdot 10^6} = 9,86 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

$$A_{\text{I-125}} = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$$

$$A_{\text{I-125}} = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ Bq op } t = 59 \text{ dagen}$$

$$t = 59 \text{ d}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 59 \text{ d}$$

$$8,7 \cdot 10^{-4} = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{1,0}$$

$$A_0 = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

De activiteit van I-131 op $t = 0$ was dus $9,86 \cdot 10^{-3} - 1,74 \cdot 10^{-3} = 8,12 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$
 Afgerond: $8,1 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$

12.5 Risico's bij medische beeldvorming

Opgave 22

- a Het micaalagje aan de linkerkant laat alle straling door. Dat het linker gedeelte verkleurd is, betekent dat de badge bestraald is geweest. Het karton in het midden laat alleen de bèta- en de gammastraling door. Het linker gedeelte is donkerder dan het rechtergedeelte. Dus de verpleegkundige is blootgesteld geweest aan alfastraling. Het rechter stukje lood laat enkel de gammastraling door. Omdat het midden- en het rechterdeel even sterk verkleurd zijn, betekent dit dat de badge niet bestraald is geweest door bètastraling.
- b Het micaalagje aan de linkerkant laat alle soorten straling door. Er valt dan nog steeds gammastraling op het linker gedeelte. Dus de film is niet wit.
- c Het micaalagje aan de linkerkant laat alle straling door. Aan de linkerkant zie je dus de totale activiteit. Het laagje lood laat enkel (een deel van) de gammastraling door. De badge is daar nauwelijks verkleurd. De intensiteit van de gammastraling was dus lager dan de intensiteit van de alfastraling.

Opgave 23

- a Een stralingsmeter meet de intensiteit van de straling die een voorwerp uitzendt. Bij besmetting bevindt een radioactieve stof zich op of in je lichaam. Je zendt zelf straling uit en die kun je met een stralingsmeter meten. Bij bestraling bevindt de bron zich buiten je lichaam. Je weefsel is na bestraling plaatselijk veranderd maar niet radioactief geworden. Een stralingsmeter meet dus niets.
- b Bij besmetting komt een radioactieve stof op of in je lichaam terecht. De speciale kleding zorgt ervoor dat de onderzoeker niet in aanraking komt met die radioactieve stof. De voorzorgsmaatregelen beschermen hem dus tegen besmetting.
- c Alfa-straling wordt al tegengehouden door een velletje papier. Voor bèta-straling en gammastraling zijn laagjes metaal nodig. Als de speciale kleding hieruit bestaat, dan bieden ze bescherming tegen bestraling.

Opgave 24

- a ${}_{86}^{222}\text{Rn} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{84}^{218}\text{Po}$
- b De gemiddelde activiteit per m^3 bereken je met de activiteit in de longen en het volume van de longen. De activiteit in de longen bereken je met het stralingsvermogen en de energie die per vervalreactie vrijkomt.

$$E_{\text{verval}} = 5,486 \text{ MeV} \quad (\text{Zie BINAS tabel 25})$$

$$A_{\text{longen}} = \frac{P_{\text{longen}}}{E_{\text{verval}}}$$

$$E_{\text{verval}} = 5,486 \text{ MeV} = 5,486 \times 1,60217 \cdot 10^{-13} = 8,78950 \cdot 10^{-13} \text{ J (Afstemmen eenheden)}$$

$$P_{\text{longen}} = 5,3 \cdot 10^{-14} \text{ W.}$$

$$A_{\text{longen}} = \frac{5,3 \cdot 10^{-14}}{8,78950 \cdot 10^{-13}} = 6,03 \cdot 10^{-2}$$

$$A_{\text{gem}} = \frac{A_{\text{longen}}}{V_{\text{longen}}}$$

$$V_{\text{longen}} = 2,5 \text{ dm}^3 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{\text{gem}} = \frac{6,03 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 24,11 \text{ Bq}$$

$$\text{Afgerond: } A = 24 \text{ Bq.}$$

- c De effectieve dosis bereken je met de formule voor dosisequivalent. De stralingsdosis bereken je met de formule voor de (geabsorbeerde stralings)dosis. De geabsorbeerde energie bereken je met de formule voor het (geabsorbeerde) vermogen en de tijd.

$$E = P_{\text{longen}} \cdot t$$

$$P_{\text{longen}} = 5,3 \cdot 10^{-14} \text{ W}$$

$$t = 1 \text{ jaar} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$E = 5,3 \cdot 10^{-14} \times 3,15 \cdot 10^7 = 1,6695 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$D = \frac{E}{m}$$

$$E = 1,6695 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$m = 0,15 \text{ kg}$$

$$D = \frac{1,6695 \cdot 10^{-6}}{0,15} = 1,113 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$$

$$H = w_R \cdot D$$

$$w_R = 20 \quad (\text{Zie BINAS tabel 27D3})$$

$$H = 20 \times 1,113 \cdot 10^{-5} = 2,226 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

$$\text{Afgerond: } H = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

Opgave 25

- a Bij inwendige bestraling wordt een bron zeer dicht bij de tumor in het lichaam geplaatst. De dracht van gammastraling is zeer groot, dus wordt er ook gezond omliggend weefsel bestraald. De dracht van alfa- en bètastraling is klein, dus wordt enkel tumorweefsel bestraald.
- b Alfastraling kun je tegenhouden met papier. Alfastraling kan dus niet door een afgesloten capsule dringen. Er wordt enkel bètastraling gebruikt bij een afgesloten capsule.

Opgave 26

- a Voor de stralingsdosis geldt $H = w_R \cdot D$. Voor röntgenstraling geldt $w_R = 1$. De stralingsdosis is dus gelijk aan de effectieve dosis.
- b Het aantal röntgenfotonen bereken je met totale energie en de energie per foton. De totale energie bereken je met behulp van het percentage geabsorbeerde fotonen. De hoeveelheid geabsorbeerde energie bereken je met de formule voor (geabsorbeerde stralings)dosis.

$$D = \frac{E}{m}$$

$$D = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$$

$$m = 17 \text{ kg}$$

$$7,2 \cdot 10^{-5} = \frac{E}{17}$$

$$E = 1,224 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Dit is 60% van de totale energie van de röntgenfotonen.

De totale energie van de röntgenfotonen is dus gelijk aan $\frac{1,224 \cdot 10^{-4}}{0,60} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ J}$.

De energie van een foton 12 keV = $12 \cdot 10^3 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,922 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

Er vielen dus $\frac{2,04 \cdot 10^{-4}}{1,922 \cdot 10^{-15}} = 1,061 \cdot 10^{11}$ röntgenfotonen op de patiënt.

Afgerond: $1,1 \cdot 10^{11}$

- e Een stralingsniveau van 1,0 WL is $2,0 \cdot 10^{-9}$ curie/m³.
Volgens BINAS tabel 5 is de eenheid curie gelijk aan $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.
Een stralingsniveau van 1,0 WL is dus gelijk aan $2,0 \cdot 10^{-9} \times 3,7 \cdot 10^{10} = 74$ Bq/m³.
Het stralingsniveau in de mijn is gelijk aan 65 Bq/L = $65 \cdot 10^3$ Bq/m³. (Afstemmen eenheden)

Het stralingsniveau in de mijn is dus gelijk aan $\frac{65 \cdot 10^3}{74} = 8,783 \cdot 10^2$ WL

Afgerond: $8,8 \cdot 10^2$ WL

Opgave 28

- a ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^0_{+1}\text{e} + {}^{18}_8\text{O}$
- b De gemiddelde activiteit bereken je met het aantal uitgezonden positronen en de tijd.
Het totaal aantal uitgezonden positronen bereken je met de totale vrijgekomen stralingsenergie en de energie per positron.
De totale vrijgekomen stralingsenergie bereken je met de gemeten stralingsenergie en het percentage opgenomen stof.
De gemeten stralingsenergie bereken je met de formule voor de (geabsorbeerde stralings)dosis.

$$D = \frac{E}{m}$$

$$D = 1,0 \text{ mGy} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Gy} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$m = 1,5 \text{ kg}$$

$$1,0 \cdot 10^{-3} = \frac{E}{1,5}$$

$$E = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

20% van de ingespoten stof wordt door de hersenen opgenomen.

De totale vrijgekomen stralingsenergie is $1,5 \cdot 10^{-3} \times 5 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

$$\text{aantal positronen} = \frac{E_{\text{totaal}}}{E_{\text{positron}}}$$

$$E_{\text{totaal}} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$E_{\text{positron}} = 245 \text{ keV} = 245 \cdot 10^3 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,9249 \cdot 10^{-14} \text{ J} \quad (\text{Afstemmen eenheden})$$

$$\text{aantal positronen} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{3,9249 \cdot 10^{-14}} = 1,9108 \cdot 10^{11}$$

$$A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$\Delta N = \text{aantal positronen} = -1,911 \cdot 10^{11}$$

$$\Delta t = 8,9 \times 60 = 534 \text{ s}$$

$$A_{\text{gem}} = -\frac{-1,9108 \cdot 10^{11}}{534} = 3,578 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

$$\text{Afgerond: } 3,6 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

- c De orde van grootte van de tijd Δt bereken je met de formule voor de (gemiddelde) snelheid.
De (gemiddelde) snelheid is de lichtsnelheid.

$$c = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$c = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$\Delta x = 0,2$ m (het verschil in afgelegde afstand is ongeveer gelijk aan de diameter van het hoofd)

$$2,997 \cdot 10^8 = \frac{0,2}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 6,673 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

De orde van grootte is 10^{-9} s

- d Mogelijke oorzaken zijn:
- Eén van de twee fotonen (of beide) is (zijn) onderweg geabsorbeerd.
 - De patiënt ligt niet stil.
 - Twee fotonen afkomstig van verschillende annihilaties komen binnen, maar wel binnen de tijdsduur Δt