

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.1 Elektromagnetische golven en geluidsgolven

Opgave 1

- a Echografie maakt gebruik van geluidsgolven.
De orde van grootte van de golfsnelheid is 10^3 m s^{-1} .
Bij het maken van een röntgenfoto maakt men gebruik van elektromagnetische golven.
De golfsnelheid is gelijk aan de lichtsnelheid: $3,0 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.
- b Bij echografie wordt geluid gereflecteerd op de buitenkant van het bot.
(Alleen een heftige breuk kan met echografie worden aangetoond. Om haarscheurtjes in bot te kunnen zien laat je een röntgenfoto maken.)

Opgave 2

- a 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 die in weefsel. Zonder gel treedt dus veel reflectie op.
- b De onregelmatigheden in de huid beïnvloeden de beeldvorming dan niet.
En de gel zorgt ervoor dat de transducer gemakkelijk over de huid kan bewegen.
- c 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.

- d In de longen zit lucht en in de buik niet. Dus in de longen treedt reflectie op op de rand tussen weefsel en lucht. Je ziet dus geen details.

Opgave 3

- a Een mens bestaat voor een groot deel uit water.
De lichaamstemperatuur is ongeveer 37°C en ligt in de buurt van 40°C .
- b 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 er rekening mee houden dat de geluidspuls heen en weer gaat tussen de transducer en de ongeboren baby.

$$s = v \cdot t$$

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

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

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

$$t = 1,56 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

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

- c De frequentie waarmee de geluidspulsen worden uitgezonden, bereken je met de formule voor de frequentie.
 T is de tijdsduur van een puls plus de tijd die nodig is om heen en weer te gaan tussen buikwand en ongeboren kind.

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

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

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

$$f = 3,70 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{Afgerond: } f = 3,70 \cdot 10^3 \text{ Hz.}$$

Deze frequentie is hoorbaar voor mensen.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 4

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

$$\lambda = 1,0 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

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

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

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

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

- b 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 hoger.

Opgave 5

- a Welk soort uv-straling het is leg je uit met de formule voor de energie van een foton.

$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Hoe groter de energie van een foton, des te groter is de frequentie.

Omdat de waarde van c niet verandert, volgt uit een grotere frequentie een kleinere golflengte.

De kleinste golflengte heeft uv-C en dus is uv-C het gevaarlijkst.

- b De frequentie bereken je met de formule van de energie van een foton.

$$E_f = h \cdot f$$

$$141 \text{ keV} = 141 \cdot 10^3 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,258 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$$

$$2,258 \cdot 10^{-14} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot f$$

$$f = 3,409 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$$

$$\text{Afgerond: } f = 3,41 \cdot 10^{19} \text{ Hz.}$$

- d Wat voor soort straling het is zoek je op in BINAS tabel 19B.

(harde) röntgenstraling

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.2 Röntgenfoto en CT-scan

Opgave 6

De hoeveelheid straling die wordt doorgelaten, bereken je met de formule voor de verzwakking van de γ -straling.

De intensiteit I is de hoeveelheid doorgelaten straling per m^2 .

Er is 87,5% van de straling tegengehouden.

$$I = 100 - 87,5 = 12,5\%$$

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

$$I_0 = 100\%$$

$$12,5 = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$n = 3,0$$

$$n = \frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}$$

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

$$3,0 = \frac{d}{1,5}$$

$$d = 4,5 \text{ cm}$$

Opgave 7

Welke verpakking het veiligst is, bepaal je met het aantal halveringsdiktes n .

$$n = \frac{d}{d_{\frac{1}{2}}}$$

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 grootste aantal halveringsdiktes.

Verpakking 1 is dus het veiligst.

Opgave 8

- 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 overig weefsel. De hoeveelheid straling is op plaats A dus kleiner dan op plaats B.
- Beenmerg houdt straling slechter tegen dan botweefsel. Hoe meer straling wordt tegengehouden, des te witter is de foto. Op de foto van figuur 10.9 in het boek is de binnenkant van de botten donkerder. Dus daar is de straling door beenmerg gegaan.

Opgave 9

Hoe meer straling wordt tegengehouden, des te witter is de foto.

Bariumpap houdt straling zeer goed tegen. De halveringsdikte van bariumpap is dus klein.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Opgave 10

Wie gelijk heeft, bereken je met het percentage doorgelaten straling van 2,0 cm aluminium.

Het percentage doorgelaten straling van 2,0 cm aluminium bereken je met het percentage doorgelaten straling van 1,0 cm aluminium.

Als 30% van de straling wordt tegengehouden, dan wordt 70% doorgelaten.

Een plaatje aluminium van 1,0 cm laat 70% door.

Een tweede laag van 1 cm houdt 70% van de 70% doorgelaten straling door.

Dit is $0,7 \times 70\% = 49\%$.

Een plaatje van 2,0 cm houdt dus ongeveer de helft tegen.

Tom heeft gelijk.

Opgave 11

a Zie BINAS tabel 28F.

50 keV = 0,05 MeV. Dus de halveringsdikte is 0,70 cm.

De dikte van het aluminium is 7,0 mm = 0,70 cm. Dit is precies de halveringsdikte.

A De straling wordt gehalveerd door het bovenvlak en door het ondervlak.

Dus 25% wordt doorgelaten.

B De zijde is 7,0 cm. De straling wordt 10× gehalveerd:

Dus $\left(\frac{1}{2}\right)^{10} \times 100\% = 0,097\%$ wordt doorgelaten.

Er wordt nauwelijks straling doorgelaten.

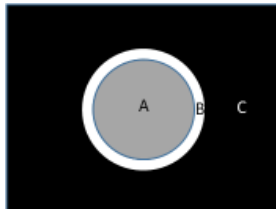
C In deel C wordt 100% van de straling doorgelaten.

Zie figuur 10.1.

Als er geen straling wordt doorgelaten, is de kleur op een röntgenfoto wit. Dus B is wit.

Als alle straling wordt doorgelaten, is de kleur op een röntgenfoto zwart. Dus C is zwart.

Dan is A dus grijs.



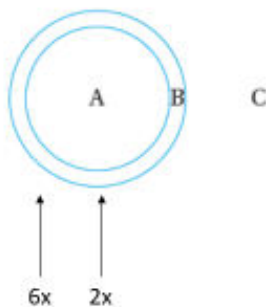
Figuur 10.1

b De 'dikte' van het aluminium, waar de straling doorheen gaat, is niet overal hetzelfde.

Die dikte varieert van 0 tot ongeveer 6 keer bij de overgang naar de holte.

Midden op de holte wordt de straling twee keer gehalveerd.

Zie figuur 10.2.



Figuur 10.2

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.3 Kernstraling

Opgave 12

- a ${}^{66}_{30}\text{Zn}$
- b In BINAS tabel 25A staan zeven verschillende isotopen van zink. In de laatste kolom zie je dat er vijf isotopen zijn die geen straling uitzenden.
- c Alleen γ -straling behoort tot de elektromagnetische straling. In de laatste kolom zie je dat er één isotoop is die γ -straling uitzendt.

Opgave 13

- a ${}^6_3\text{Li}$ is stabiel.
- b ${}^{63}_{28}\text{Ni} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{63}_{29}\text{Cu}$
- c ${}^{19}_8\text{O} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{19}_9\text{F}$
- 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 14

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 dicht bij natuurlijk gesteente. De stralingsintensiteit is daar dus groter. (Bergen zijn ontstaan doordat de aardkorst omhoog is geduwd. Laaggelegen gebieden zijn bedolven onder sediment zoals zand.)

Opgave 15

- 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 worden dus $\frac{32}{4} = 8$ α -deeltjes uitgezonden.

Opgave 16

- 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. Dat is elektromagnetische straling met een grote dracht. Technetium-99 zendt een elektron uit. De elektronen hebben in weefsel een zeer kleine dracht en worden door je lichaam geabsorbeerd.

Opgave 17

- a Bij elke ionisatie verliest het α -deeltje ongeveer 10 eV aan energie. Met enkele MeV kun je dan ongeveer een half miljoen atomen ioniseren. Daarna is de energie te laag om nog een atoom te ioniseren.
- b Voor de kinetische energie geldt $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.
Een β -deeltje heeft dus een veel kleinere massa dan een α -deeltje.
Als de kinetische energie hetzelfde is, is de snelheid dus veel groter.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- c 1 Een α -deeltje heeft een kleinere snelheid en daardoor meer tijd voor interactie met een atoom waar het langskomt.
2 Een β -deeltje heeft lading -1 , een α -deeltje lading $+2$. Door de grotere lading is de interactie bij een α -deeltje groter dan bij een β -deeltje.
- d Een β -deeltje met een bepaalde energie kan net zoveel atomen ioniseren als een α -deeltje. Omdat de ionisatie minder vaak lukt bij een β -deeltje, komt het dus verder.
- e De halveringsdikte bereken je met de kans om 7000 atomen te passeren.
De kans om 7000 atomen te passeren bereken je met de kans om één atoom te passeren.

De kans om één atoom te passeren is $100 - 0,01 = 99,99\%$.

De kans om 7000 atomen te passeren is $0,9999^{7000} = 0,497$.

Met een kans van 0,497 is de kans dus ongeveer 50%.

Dus een rij van 7000 atomen komt overeen met de halveringsdikte.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.4 Halveringstijd en activiteit

Opgave 18

- 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.
De halveringstijd zoek je op in BINAS.

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

Tussen maandag 9:10 uur en dinsdag 11:34 uur zijn 1 dag, 2 uren en 24 minuten verstreken.
 $t = 24 \text{ uur} + 2 \text{ uur} + 24 \text{ minuten}$

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

De tijden moeten in dezelfde eenheid uitgedrukt worden.

$$t = 24 \text{ h} + 2 \text{ h} + 36 \text{ min} = 26 + \frac{24}{60} \text{ h} = 26,4 \text{ h}$$

$$n = \frac{26,4}{13,2} = 2,0$$

De activiteit is dus 2,0 keer gehalveerd.

De activiteit is dus 4,0 keer zo klein geworden.

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

Opgave 19

- a Nee, de halveringstijd is een eigenschap van de stof zelf en hangt dus niet af van de hoeveelheid.
- b Ja, de activiteit van een preparaat is de hoeveelheid kernen die per seconde vervallen. Elke radioactieve kern heeft in een seconde evenveel kans om te vervallen. Als de hoeveelheid radioactieve kernen verdubbeld wordt, is het aantal kernen dat elke seconde vervalst ook verdubbeld.
- c De tijd bereken je met de formule voor de (radio)activiteit.

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

$$A = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

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

$$1,5 \cdot 10^{15} = 6,0 \cdot 10^{15} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$n = 2,0$$

De halveringstijd van I-131 is 8,0 d (zie BINAS tabel 25A).

Dus na $2,0 \times 8,0 = 16$ dagen is de activiteit gedaald tot $1,5 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$.

Opgave 20

- a Van welk preparaat de atomen het meest stabiel zijn, leg je uit met de snelheid waarmee de kernen van een preparaat vervallen.

Hoe instabieler een isotoop is, des te sneller vervallen de kernen van de isotoop.

Op $t = 0 \text{ s}$ is het aantal kernen hetzelfde. Daarna vervallen van isotoop II in dezelfde tijd meer kernen dan van isotoop I.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

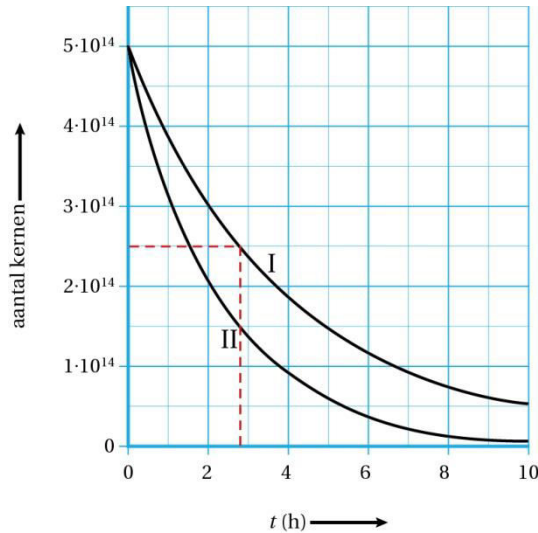
Preparaat I is dus het meest stabiel.

- b De halveringstijd van een isotoop bepaal je met de tijd waarin de helft van de isotopen vervallen is.

Zie figuur 10.3.

In figuur 10.3 lees je af dat na 2,8 h het aantal kernen gehalveerd is.

De halveringstijd van preparaat I is dus 2,8 h.



Figuur 10.3

- c De activiteit op een tijdstip bepaal je met de raaklijn aan de (N,t) -grafiek.

Zie figuur 10.4.

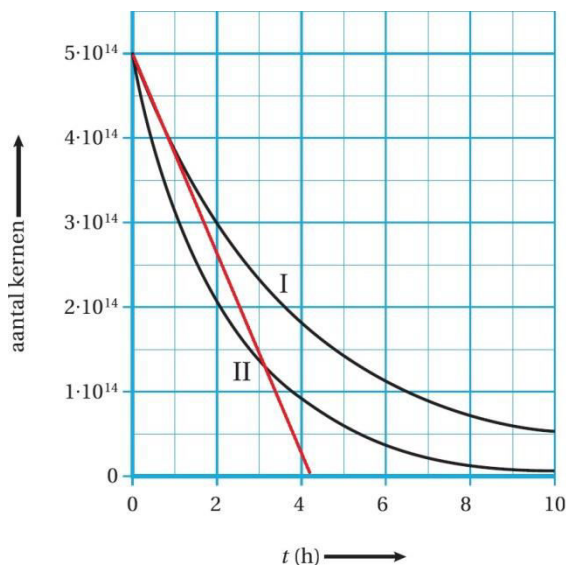
$$A = - \left(\frac{\Delta N}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

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

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

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

Afgerond: $A = 3,4 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.



Figuur 10.4

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- d Na 5,6 uur is twee keer de halveringstijd van 2,8 uur verlopen.
Dus is het aantal radioactieve kernen twee keer gehalveerd en daardoor ook de activiteit.
Op $t = 0$ is de activiteit $3,4 \cdot 10^{10}$ Bq.
Op $t = 2,8$ uur is de activiteit dus de helft ervan: $1,7 \cdot 10^{10}$ Bq.
Op $t = 5,6$ uur is de activiteit de helft van $1,7 \cdot 10^{10} = 8,5 \cdot 10^9$ Bq.
- e De gemiddelde activiteit bepaal je met de formule voor de (radio)activiteit.

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

Na 5,6 uur is 25% van de radioactieve kernen over: $0,25 \times 5,0 \cdot 10^{14} = 1,25 \cdot 10^{14}$.

$$\Delta N = 1,25 \cdot 10^{14} - 5,0 \cdot 10^{14} = -3,75 \cdot 10^{14}$$

$$\Delta t = 5,6 - 0,0 = 5,6 \text{ h} = 5,6 \times 3600 = 2,016 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$A_{\text{gem}} = -\frac{-3,75 \cdot 10^{14}}{2,016 \cdot 10^4} = 1,86 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Afgerond: $A_{\text{gem}} = 1,9 \cdot 10^{10}$ Bq.

- f De activiteit volgt uit de steilheid van de raaklijn aan de (N,t) -grafiek.

Teken op $t = 5,6$ h de raaklijn aan de grafiek in figuur 10.22.

De steilheid van de raaklijn aan de grafiek van preparaat II is groter dan die van preparaat I.

Dus de activiteit van preparaat II is op $t = 5,6$ h groter dan die van preparaat I.

- g Het aantal alfadeeltjes volgt uit het aantal kernen dat is vervallen.

Elke kern die vervalt zendt één alfadeeltje uit.

Het aantal radioactieve kernen van preparaat II op $t = 5,6$ h is $0,5 \cdot 10^{14}$.

De afname van het aantal radioactieve kernen is $5,0 \cdot 10^{14} - 0,5 \cdot 10^{14} = 4,5 \cdot 10^{14}$.

Er zijn dus $4,5 \cdot 10^{14}$ alfadeeltjes uitgezonden.

Opgave 21

- a In figuur 10.22 van het boek lees je af dat na ongeveer een jaar het aantal radioactieve isotopen Y-88 gelijk is aan $1,0 \cdot 10^{19}$.

Dit is $\frac{1}{8}$ deel van het oorspronkelijke aantal; $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$.

Dus Y-88 is $3 \times$ gehalveerd in een jaar.

Een jaar is dus $3 \times$ de halveringstijd.

1 jaar = 365 dagen. De halveringstijd die volgt uit figuur 10.22 is dus $\frac{365}{3} = 122$ dagen.

Dat komt redelijk overeen met 107 dagen.

- b De halveringstijd van U-235 is erg groot ($7,04 \cdot 10^8$ jaar).
Dus vervalt U-235 heel langzaam waardoor het aantal radioactieve kernen nauwelijks afneemt.
- c Cs-137 vervalt sneller dan U-235. Dit betekent dat Cs-137 een hogere activiteit heeft, en dus meer straling uitzendt dan U-235.
- d Y-88 heeft een veel kortere halveringstijd. Y-88 zendt dus in korte tijd veel straling uit, maar daarna is de activiteit vrijwel nul en is er geen gevaar meer.

Opgave 22

- a Het aantal radioactieve isotopen bereken je met de formule voor het aantal moederkernen.

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

$t = 56$ dagen

$t_{\frac{1}{2}} = 8,0 \text{ d}$ (zie BINAS tabel 25A)

$$n = \frac{56}{8,0} = 7,0$$

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

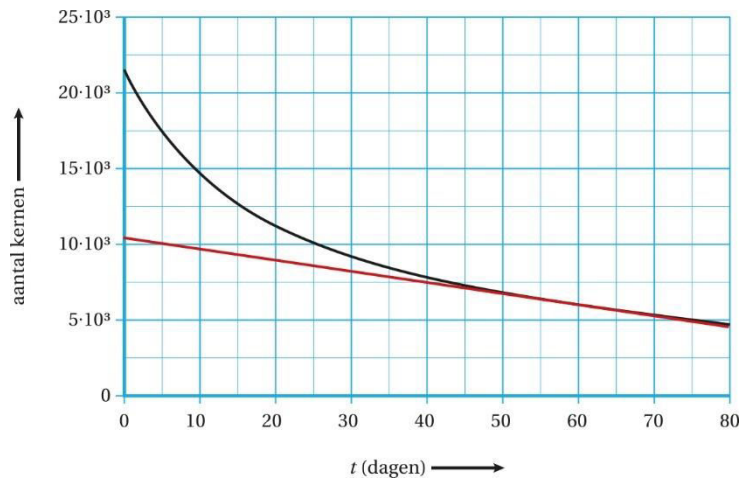
$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{7,0}$$

$$\frac{N}{N_0} = 0,0078$$

Er is nog 0,78% van de oorspronkelijke hoeveelheid I-131 over (en dat is minder dan 1%).

- b De activiteit op een tijdstip volgt uit de raaklijn aan de (N,t) -grafiek.

Zie figuur 10.5.



Figuur 10.5

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

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

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

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

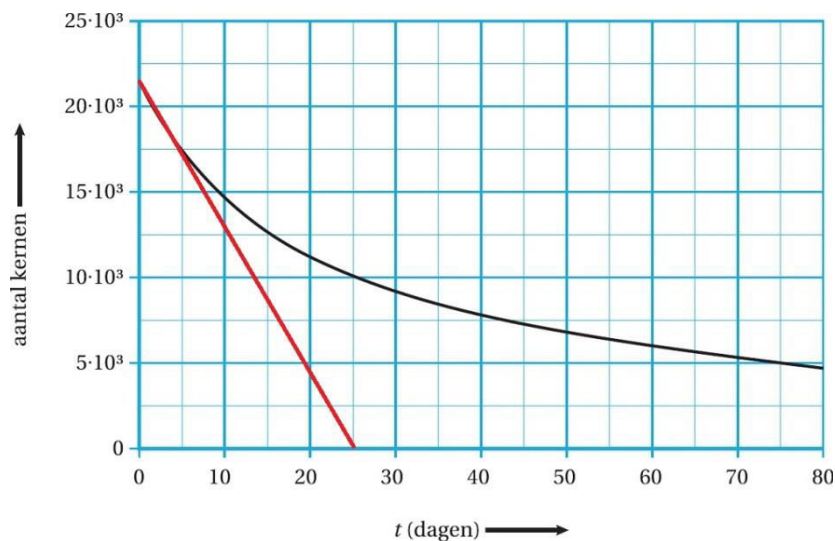
Afgerond: $A = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ Bq}$.

- c De activiteit van I-131 op $t = 0$ bereken je met de totale activiteit en de activiteit van de I-125 op $t = 0$.

De activiteit van de I-125 op $t = 0$ bereken je met de formule voor het aantal moederkernen.

De totale activiteit $t = 0$ volgt uit de raaklijn aan de (N,t) -grafiek.

Zie figuur 10.6.



Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

Figuur 10.6

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

$$\Delta N = 0,0 - 21,5 \cdot 10^3 = -21,5 \cdot 10^3$$

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

$$A_{\text{tot}} = - \frac{-21,5 \cdot 10^3}{2,16 \cdot 10^6} = 9,95 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

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

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

$$t_{\frac{1}{2}} = 59 \text{ d voor I-125} \quad (\text{zie BINAS tabel 25A})$$

Dus de activiteit van I-125 is na 59 dagen één keer gehalveerd.

Hieruit volgt dat de activiteit van I-125 op $t = 0$ s twee keer zo groot is als die bij vraag b is berekend.

$$A_0 = 2 \times 8,7 \cdot 10^{-4} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$$

De activiteit van I-131 op $t = 0$ s was dan $9,95 \cdot 10^{-3} - 1,74 \cdot 10^{-3} = 8,21 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$.

Afgerond: de activiteit van I-131 was $8,2 \cdot 10^{-3} \text{ Bq}$.

Opgave 23

- a Dat het om Cs-137 gaat, toon je aan met de formule voor het aantal moederkernen.

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

$$t = 2076 - 1986 = 90 \text{ jaar}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 30 \text{ y (zie BINAS tabel 25A)}$$

$$n = \frac{90}{30} = 3,0$$

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{3,0}$$

$$\frac{N}{N_0} = 0,125$$

Dus is er 12,5% van de oorspronkelijke hoeveelheid Cs-137 over.

- b Het aantal radioactieve isotopen bereken je met de formule van het aantal moederkernen.

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

$$t_{\frac{1}{2}} = 28 \text{ y (zie BINAS tabel 25A)}$$

Na 28 jaar is er nog 50% over.

Na 56 jaar is er nog 25% over.

Na 84 jaar is er nog 12,5% over.

Na 112 jaar is er nog 6,3% over.

Na 140 jaar is er nog 3,2% over.

Na 168 jaar is er nog 1,6% over.

Na 196 jaar is er nog 0,8% over.

Het duurt tussen de 168 en 196 jaar voordat er nog maar 1% van de hoeveelheid strontium-90 over is. En dat is meer dan een eeuw.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- c De halveringstijd volgt uit het aantal halveringstijden n .

$$n = \frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}$$

$$t = 6,0 \text{ h}$$

De activiteit is met 75% afgenomen. Van de oorspronkelijke activiteit is dan nog 25% over.
De activiteit is dus 2,0 keer gehalveerd: $n = 2,0$.

$$2,0 = \frac{6,0}{t_{\frac{1}{2}}}$$

De halveringstijd is dus 3,0 h.

10.5 Risico's van ioniserende straling**Opgave 24**

- a Het micaalagje aan de linkerkant laat alle straling door. Dat het linker gedeelte verkleurd (zwart) 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 25

- 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 Alfastraling wordt al tegengehouden door een velletje papier. Voor bètastraling en gammastraling zijn laagjes metaal nodig. Als de speciale kleding hieruit bestaat, dan biedt hij bescherming tegen bestraling.

Opgave 26

- a De stralingsdosis die gezond weefsel krijgt is dan 0,5 keer zo groot als die bij gebruik van één bron. De kans op beschadiging van gezond weefsel is dus kleiner.
- b Bij een diepliggende tumor wordt er veel omliggend weefsel bestraald. Deze methode ontziet deels het omliggende weefsel en is dus het meest geschikt voor diepliggende tumoren.

Opgave 27

- 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 een bètastraler gebruikt bij een afgesloten capsule.

Opgave 28

- a Er geldt $H = w_R \cdot D$. Voor röntgenstraling geldt $w_R = 1$.
De stralingsdosis D is dus gelijk aan de effectieve dosis H .
- b Het aantal röntgenfotonen bereken je met de 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.
De (geabsorbeerde stralings)dosis is (in getal) gelijk aan de effectieve dosis.

$$H = 7,2 \mu\text{Sv} = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$$

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

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

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

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

$$7,2 \cdot 10^{-6} = \frac{E}{17}$$

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

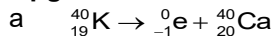
Dit is 60% van de totale energie van de röntgenfotonen.

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 is $12 \text{ keV} = 12 \cdot 10^3 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,922 \cdot 10^{-15} \text{ J}$.

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

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

Opgave 29

b K-40 heeft een halveringstijd van 1,28 miljard jaar.

In de tijd dat je een banaan kunt laten liggen, neemt de activiteit nauwelijks af.

c Het aantal bananen bereken je met de stralingsnormen en de hoeveelheid nSv per banaan. De hoeveelheid nSv per banaan bereken je met de effectieve dosis en de activiteit van een banaan.

De activiteit van een banaan bereken je met het aantal gram kalium in een banaan en de activiteit van een gram kalium.

Een banaan bevat 0,50 g kalium en de activiteit is 31 Bq per gram kalium.

Een banaan heeft dus een activiteit van $0,50 \times 31 = 15,5 \text{ Bq}$.

De effectieve dosis is 6,2 nSv per Bq.

De effectieve dosis van een banaan is dus $15,5 \times 6,2 = 96 \text{ nSv} = 96 \cdot 10^{-9} \text{ Sv}$.

Volgens BINAS tabel 27D2 is de norm $1 \text{ mSv per jaar} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Sv per jaar}$.

Voor overschrijden van de norm zijn $\frac{1 \cdot 10^{-3}}{96 \cdot 10^{-9}} = 1,041 \cdot 10^4$ bananen nodig in een jaar.

Dat is $\frac{1,041 \cdot 10^4}{365} = 28,5$ bananen per dag.

Afgerond: 29 bananen per dag.

d De jaarlijkse effectieve dosis bereken je met de formule voor de effectieve dosis.

De stralingsdosis bereken je met de formule voor de stralingsdosis.

De geabsorbeerde energie per jaar bereken je met de geabsorbeerde energie per seconde en de tijd van een jaar uitgedrukt in seconden.

De geabsorbeerde energie per seconde bereken je met de activiteit en de energie van een elektron.

$$E_{\text{per s}} = A \cdot E_{\text{elektron}}$$

$$A = 5,4 \text{ kBq} = 5,4 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

$$E_{\text{elektron}} = 7,1 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$E_{\text{per s}} = 5,4 \cdot 10^3 \times 7,1 \cdot 10^{-14} \text{ J s}^{-1}$$

$$E_{\text{per s}} = 3,83 \cdot 10^{-10} \text{ J s}^{-1}$$

$1 \text{ jaar} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$ (zie BINAS tabel 5)

Dus in een jaar is de geabsorbeerde energie $3,83 \cdot 10^{-10} \times 3,15 \cdot 10^7 = 1,207 \cdot 10^{-2} \text{ J}$.

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

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$D = \frac{1,207 \cdot 10^{-2}}{70}$$

$$D = 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$H = w_R \cdot D$$

$$w_R = 1 \text{ (zie BINAS tabel 27D3)}$$

$$H = 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

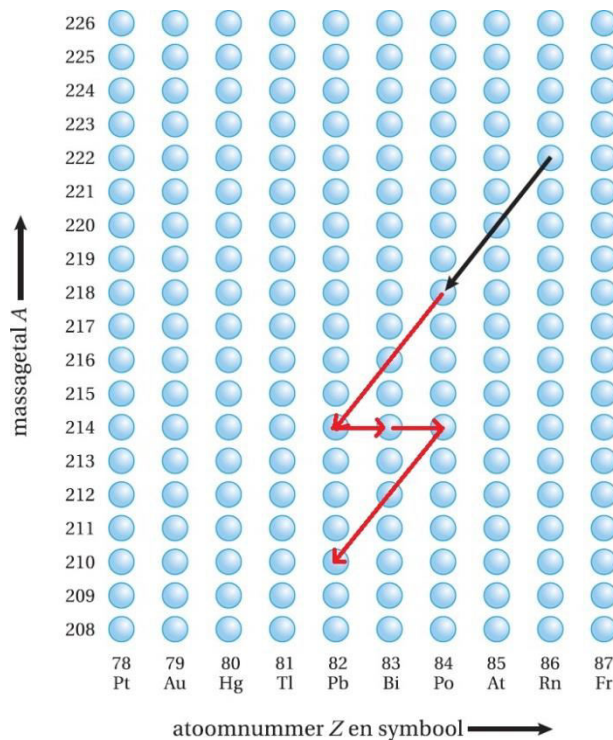
$$\text{Afgerond: } H = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ Sv.}$$

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

10.6 Afsluiting

Opgave 30

- a Een alfadeeltje is ${}^4_2\text{He}$. Komt er een alfadeeltje vrij, dan neemt het atoomnummer dus af met 2 en het massagetal met 4. Dit komt overeen met figuur 10.31 in het boek.
- b Bij bètaverval verandert in de kern een neutron in een proton en een elektron. Het atoomnummer neemt dus met 1 toe en het massagetal blijft gelijk. In figuur 10.7 zie je de vervalreeks weergegeven. De isotoop die ontstaat is lood-210.



Figuur 10.7

- c De stralingsenergie die het longweefsel per uur ontvangt bereken je met de totale activiteit en de energie die bij het verval van één Rn-222 wordt geabsorbeerd. De totale activiteit bereken je met het volume van de longen en de activiteit per liter lucht.

De activiteit is 65 Bq per liter lucht. De longen bevatten 6,0 liter lucht.

De totale activiteit van de lucht in de longen is dus gelijk aan $65 \times 6,0 = 390$ Bq.

De activiteit is het aantal kernen dat elke seconde verval. Per vervallen kern absorbeert het longweefsel $3,1 \cdot 10^{-12}$ J. De totale hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie per seconde is dus gelijk aan $390 \times 3,1 \cdot 10^{-12} = 1,21 \cdot 10^{-9}$ J.

Per uur is dat $3600 \times 1,21 \cdot 10^{-9} = 4,35 \cdot 10^{-6}$ J.

Afgerond: $4,4 \cdot 10^{-6}$ J.

- d De equivalente dosis bereken je met de formule voor het dosisequivalent. De stralingsdosis bereken je met de formule voor de (geabsorbeerde stralings)dosis. De geabsorbeerde stralingsenergie bereken je met de tijd en het antwoord van vraag c.

Per uur ontvangt het longweefsel $4,4 \cdot 10^{-6}$ J aan energie.

Dus in 32 uur ontvangt het longweefsel $32 \times 4,4 \cdot 10^{-6} = 1,408 \cdot 10^{-4}$ J aan energie.

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

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

$$m = 9,5 \cdot 10^2 \text{ g} = 0,95 \text{ kg}$$

$$D = \frac{1,408 \cdot 10^{-4}}{0,95} = 1,482 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

$$H = w_R \cdot D$$

$$w_R = 20$$

$$H = 20 \times 1,482 \cdot 10^{-4} = 2,964 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$$

$$\text{Afgerond: } H = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv.}$$

- e Het stralingsniveau in WL bereken je met de verhouding tussen het stralingsniveau in de mijn en het stralingsniveau van 1 WL.

Een stralingsniveau van 1,0 WL is $2,0 \cdot 10^{-9}$ curie per m^3 .

Volgens BINAS tabel 5 is de eenheid curie gelijk aan $3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$.

Een stralingsniveau van 1,0 WL is dus gelijk aan $2,0 \cdot 10^{-9} \times 3,7 \cdot 10^{10} = 74 \text{ Bq per m}^3$.

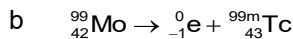
Het stralingsniveau in de mijn is gelijk aan $65 \text{ Bq per liter} = 65 \cdot 10^3 \text{ Bq per m}^3$.

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

Afgerond: het stralingsniveau is $8,8 \cdot 10^2 \text{ WL}$.

Opgave 31

- a Antwoord D



- c Het aantal radioactieve isotopen bereken je met de formule voor het aantal moederkernen.

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

$$t = 1,0 \text{ etmaal} = 24 \text{ h}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = 6,0 \text{ h (zie BINAS tabel 25A)}$$

$$n = \frac{24}{6,0} = 4,0$$

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{4,0}$$

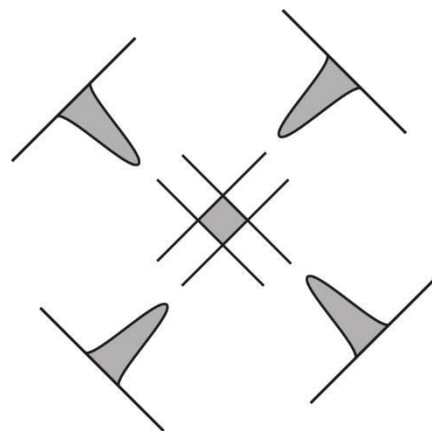
$$\frac{N}{N_0} = 0,063$$

Er is nog 6,3% van de technetium-isotopen over.

De technetium-isotopen vervallen relatief snel.

De patiënt wordt dus niet onnodig lang bestraald na het maken van de foto.

- d Het kanaaltje houdt fotonen tegen die schuin invallen. Je weet dan zeker dat de gedetecteerde fotonen uit één richting komen. Hoe breder het kanaaltje is, hoe gemakkelijker schuin invallende straling doorgelaten wordt.
- e Zie figuur 10.8.



Figuur 10.8

Havo 5 Hoofdstuk 10 Uitwerkingen

- f De equivalente dosis bereken je met de formule voor het dosisequivalent.
De stralingsdosis bereken je met de formule voor (geabsorbeerde stralings)dosis.
De hoeveelheid geabsorbeerde energie bereken je met het percentage en de energie van de invallende fotonen.
Het aantal invallende fotonen is gelijk aan het aantal kernen dat vervalst.
Er zijn $2,2 \cdot 10^{13}$ kernen die een foton met een energie van 0,14 MeV uitzenden.
 $0,14 \text{ MeV} = 0,14 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,242 \cdot 10^{-14} \text{ J per foton}$
Op het lichaam valt dus $2,2 \cdot 10^{13} \times 2,242 \cdot 10^{-14} = 0,493 \text{ J}$.
Het lichaam absorbeert 40% van deze energie.
 $E = 0,40 \times 0,493 = 0,1973 \text{ J}$

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

$$m = 80 \text{ kg}$$

$$D = \frac{0,1973}{80} = 2,467 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$$

$$H = w_R \cdot D$$

$w_R = 1,0$ want de weegfactor van gammastraling is gelijk aan 1,0.

$$H = 1,0 \times 2,467 \cdot 10^{-3} = 2,467 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$$

Dat is hoger dan 2 mSv en dus hoger dan de jaarlijkse equivalente dosis door achtergrondstraling.