



10.1 Het elektromagnetisch spectrum

- 1 a Het verschil tussen röntgen- en gammastraling is dat röntgenstraling een kleinere frequentie heeft / grotere golflengte heeft dan gammastraling.
- b $c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- c Vanaf UV-straling met een frequentie van 10^{16} Hz in het EM-spectrum is de straling ioniserend.
- d Gegeven: $d_{\text{aarde-zon}} = 0,1496 \cdot 10^{12} \text{ m}$ (Binas tabel 31 – baanstraal aarde)
 $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: t
- Berekening: $s = vt \rightarrow t = \frac{s}{v} = \frac{0,1496 \cdot 10^{12}}{2,9979 \cdot 10^8} = 499,02 \text{ s}$
- Antwoord: Het licht van de zon doet er 499,0 s over om de aarde te bereiken.
- e De lichtsnelheid in vacuüm is de grootst mogelijke snelheid. In stoffen is de lichtsnelheid (iets) kleiner.
- 2 a EM-golven verplaatsen zich met de lichtsnelheid en kunnen zich door vacuüm verplaatsen.
- b Gegeven: $\lambda = 780 \text{ nm} = 780 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: f in Hz
- Berekening: $c = f\lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{780 \cdot 10^{-9}} = 3,844 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
- Antwoord: De frequentie van het licht is $3,84 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.
- c Gegeven: $\lambda = 300 \text{ nm} = 300 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
- Gevraagd: E in J
- Berekening: De frequentie:
 $c = f\lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} = 9,993 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
- De energie:
 $E = hf = 6,626 \cdot 10^{-34} \times 9,993 \cdot 10^{14} = 6,621 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Antwoord: De energie van het licht is $6,62 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- d De energie van een foton bereken je met: $E = hf$
Voor de frequentie geldt: $c = f\lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$
Combineer de twee formules:
 $E = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda}$



- 3 a Gegeven: $f = 96,8 \text{ MHz} = 96,8 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Gevraagd: λ in m
Berekening: $c = f\lambda \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{96,8 \cdot 10^6} = 3,097 \text{ m}$
Antwoord: De golflengte is 3,10 m.
- b De zendmast is zo hoog omdat bij deze golflengte de dampkring niets reflecteert. Om het radiosignaal te ontvangen moet je de zender kunnen zien.
- c Gegeven: $s = 17 \text{ km} = 17 \cdot 10^3 \text{ m}$
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Gevraagd: t in s
Berekening: $s = vt \rightarrow t = \frac{s}{c} = \frac{17 \cdot 10^3}{3,00 \cdot 10^8} = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ s}$
Antwoord: De golf doet er $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ over.
- d Wanneer nabijgelegen zenders dezelfde frequentie gebruiken gaan de signalen interfereren: ze klinken door elkaar heen.
- 4 a Infrarood
b Ultraviolet
c Radiogolven
d Radiogolven
e Infrarood
f Röntgen
- 5 a Gegeven: $f = 50 \text{ Hz}$
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Gevraagd: λ in m
Berekening: $c = f\lambda \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{50} = 6,00 \cdot 10^6 \text{ m}$
Antwoord: De golflengte is $6,0 \cdot 10^6 \text{ m}$.
- b Gegeven: $f = 50 \text{ Hz}$
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Gevraagd: E in J
Berekening: $E = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 50 = 3,32 \cdot 10^{-32} \text{ J}$
Antwoord: De energie van een foton is $3,3 \cdot 10^{-32} \text{ J}$.



c Gegeven: $E_f = 3,32 \cdot 10^{-32} \text{ J}$
 $P = 1,0 \text{ W}$

Gevraagd: aantal fotonen per seconde

Berekening: $\frac{1,0}{3,32 \cdot 10^{-32}} = 3,01 \cdot 10^{31}$

Antwoord: Het stopcontact zendt $3,0 \cdot 10^{31}$ fotonen per seconde uit.

d Deze straling wordt verwaarloosd omdat de waarden te klein zijn om rekening mee te houden.

6 a $c_{\text{diamant}} = \frac{c}{2,4} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{2,4} = 1,25 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $c_{\text{water}} = \frac{c}{1,33} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{1,33} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

b De energie van de fotonen verandert niet als, dus de frequentie verandert ook niet.

Er geldt $c = f\lambda$. Hierin is de frequentie onveranderd.

De golflengte neemt dus af met dezelfde factor als de lichtsnelheid:

$$\lambda_{\text{diamant}} = \frac{580}{2,4} = 242 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{water}} = \frac{580}{1,33} = 436 \text{ nm}$$

7 a Gegeven: $f_1 = 1 \text{ GHz} = 1 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
 $f_2 = 2 \text{ GHz} = 2 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
 $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Gevraagd: λ_1 en λ_2 in m

Berekening: $c = f\lambda \rightarrow$

$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^9} = 0,3 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \frac{c}{f_2} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^9} = 0,15 \text{ m}$$

Antwoord: De golflengtes liggen tussen 0,2 m en 0,3 m.

b Bij deze frequentie of golflengte zijn het radiogolven.

c Gegeven: $t = 6,738 \cdot 10^{-2} \text{ s}$
 $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Gevraagd: s in m

Berekening: $s = vt = 2,9979 \cdot 10^8 \times 6,738 \cdot 10^{-2} = 2,0200 \cdot 10^7 \text{ m}$

Antwoord: De satelliet bevindt zich op een hoogte van $2,020 \cdot 10^7 \text{ m}$.



- 8 a Gegeven: $d = 3,0 \text{ km} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m}$
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: t in s
- Berekening: De afstand die het signaal aflegt is twee keer de onderlinge afstand:
 $s = vt \rightarrow t = \frac{2d}{c} = \frac{2 \times 3,0 \cdot 10^3}{3,0 \cdot 10^8} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}$
- Antwoord: Er zit $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ tussen het uitzenden en het ontvangen van het signaal.
- b Gegeven: $f_s = 3,0 \text{ GHz} = 3,0 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
 $f_x = 10 \text{ GHz} = 10 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: λ_s en λ_x in m
- Berekening: $c = f\lambda \rightarrow$
 $\lambda_s = \frac{c}{f_s} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{3,0 \cdot 10^9} = 0,10 \text{ m}$
 $\lambda_x = \frac{c}{f_x} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^9} = 0,030 \text{ m}$
- Antwoord: De golflengte van de X-band is 0,030 m en van de S-band 0,10 m.
- c Grote schepen zijn log en hebben een grote stopafstand. Het is dus belangrijk dat ze een duidelijk beeld hebben van de wijde omgeving om goed te navigeren. De tweede radar dient als reserve voor als de eerste niet meer goed functioneert.
- d De S-bandradar is minder gedetailleerd maar is minder gevoelig voor weersomstandigheden. De X-bandradar geeft meer detail tenzij het regent of mistig is.
- 9 a Opmeten van de golflengte van elke piek geeft:
 $\lambda_{\text{blauw}} = 440 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{groen}} = 540 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{rood}} = 660 \text{ nm}$
- b Gegeven: $\lambda_{\text{blauw}} = 440 \text{ nm} = 440 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $\lambda_{\text{groen}} = 540 \text{ nm} = 540 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $\lambda_{\text{rood}} = 660 \text{ nm} = 660 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
- Gevraagd: $E_{\text{blauw}}, E_{\text{groen}}$ en E_{rood} in J
- Berekening: De frequenties:
 $c = f\lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \rightarrow$
 $f_{\text{blauw}} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{440 \cdot 10^{-9}} = 6,814 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
 $f_{\text{groen}} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{540 \cdot 10^{-9}} = 5,552 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
 $f_{\text{rood}} = \frac{2,998 \cdot 10^8}{660 \cdot 10^{-9}} = 4,542 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$



De energie:

$$E = hf \rightarrow$$

$$E_{\text{blauw}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \times 6,814 \cdot 10^{14} = 4,514 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{groen}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \times 5,552 \cdot 10^{14} = 3,679 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{rood}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \times 4,542 \cdot 10^{14} = 3,010 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Je kunt ook direct de energie uitrekenen met: $E = \frac{hc}{\lambda}$

Antwoord: De energie van het blauwe licht is $4,51 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
De energie van het groene licht is $3,68 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
De energie van het rode licht is $3,01 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

c Bereken de oppervlakken met $A = \frac{1}{2} \cdot \text{zijde} \cdot \text{hoogte}$ (in hokjes²)

$$A_{\text{blauw}} = \frac{1}{2} \times 1,6 \times 5,05 = 4,0$$

$$A_{\text{groen}} = \frac{1}{2} \times 1,6 \times 3,3 = 2,6$$

$$A_{\text{rood}} = \frac{1}{2} \times 2,3 \times 3,8 = 4,4$$

$$\text{Percentage blauwe fotonen: } \frac{A_{\text{blauw}}}{A_{\text{tot}}} = \frac{4,0}{4,0+2,6+4,4} = 0,364 = 36\%$$

$$\text{Percentage groene fotonen: } \frac{A_{\text{groen}}}{A_{\text{tot}}} = \frac{2,6}{4,0+2,6+4,4} = 0,236 = 24\%$$

$$\text{Percentage rode fotonen: } \frac{A_{\text{rood}}}{A_{\text{tot}}} = \frac{4,4}{4,0+2,6+4,4} = 0,40 = 40\%$$

d $E_{\text{gem}} = E_{\text{blauw}} \cdot \% + E_{\text{groen}} \cdot \% + E_{\text{rood}} \cdot \%$

$$E_{\text{gem}} = 4,51 \cdot 10^{-19} \times 0,36 + 3,68 \cdot 10^{-19} \times 0,24 + 3,01 \cdot 10^{-19} \times 0,40 = 3,71 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

De gemiddelde energie is $3,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

e Gegeven: $P = 5,0 \text{ W}$

$$E_{\text{gem}} = 3,71 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Gevraagd: aantal fotonen per seconde

$$\text{Berekening: } \frac{\text{totale energie per seconde}}{\text{fotonenenergie}} = \frac{5,0}{3,71 \cdot 10^{-19}} = 1,347 \cdot 10^{19}$$

Antwoord: Er worden $1,3 \cdot 10^{19}$ fotonen per seconde uitgezonden.

10 a Er komt telkens de waarde van de lichtsnelheid uit.

b Voor EM-golven geldt: $c = f\lambda$.

11 Gegeven: $d = 400 \text{ m}$

$$t = 0,52 \text{ s}$$

Gevraagd: v in m s^{-1}

$$\text{Berekening: } v = \frac{s}{t} = \frac{2d}{t} = \frac{2 \times 400}{0,52} = 1,54 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

Dit is veel kleiner dan de lichtsnelheid.

Antwoord: Een sonar maakt dus geen gebruik van EM-golven.



Examentraining

- 12 a Gegeven: $f = 40 \text{ kHz} = 40 \cdot 10^3 \text{ Hz}$
 $v_{\text{lucht}} = 343 \text{ m s}^{-1}$ (bij 293 K)
- Gevraagd: λ in m
- Berekening: $v = \lambda f \rightarrow \lambda = \frac{v_{\text{lucht}}}{f} = \frac{343}{40 \cdot 10^3} = 8,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Antwoord: De golflengte van het geluid is $8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.
-
- b Gegeven: $f = 40 \text{ kHz} = 40 \cdot 10^3 \text{ Hz}$
 $t_{\text{puls}} = 700 \mu\text{s} = 700 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
- Gevraagd: aantal geluidstrillingen in puls
- Berekening: De trillingstijd:
 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \cdot 10^3} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$
- Het aantal trillingen:
 $\frac{t_{\text{puls}}}{T} = \frac{700 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 28$
- Antwoord: Het aantal geluidstrillingen in één puls is 28.
-
- c Gegeven: $\Delta t = 1,0 \mu\text{s} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
 $v_{\text{lucht}} = 343 \text{ m s}^{-1}$ (bij 293 K)
- Gevraagd: Δd in m
- Berekening: De onnauwkeurigheid in de afstand die het geluid aflegt:
 $\Delta s = v_{\text{lucht}} \Delta t = 343 \times 1,0 \cdot 10^{-6} = 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
- De onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling:
 $\Delta d = \frac{\Delta s}{2} = \frac{3,43 \cdot 10^{-4}}{2} = 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
- Antwoord: De onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling is $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.
-
- d Deze pulsen zijn geluidsgolven. Die bewegen dus met de geluidssnelheid.
Fotonen zijn energiepakketjes die bewegen met de lichtsnelheid.



10.2. Straling en energie

13 a Fotonen bewegen met de lichtsnelheid.

b $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $13,6 \text{ eV} = 13,6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

c $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $4,0 \cdot 10^{-16} \text{ J} = \frac{4,0 \cdot 10^{-16}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ eV}$

- d Terugkaatsing: een foton botst op een stof en verandert van richting.
Emissie: een atoom zendt stralingsenergie uit: een foton.
Transmissie: een foton wordt niet opgenomen door een stof, maar dringt door de stof heen.
Absorptie: een foton wordt door een stof opgenomen en geeft zijn energie af.
- e Gammastraling heeft een hogere frequentie dan UV-straling en dus een hogere energie.

14 a De binnenste ring van een regenboog bestaat uit blauw licht. De golflengte is ongeveer 400 nm.
De buitenste ring bestaat uit rood licht. Daarvan is de golflengte ongeveer 800 nm.
Hoe groter de golflengte, hoe lager de frequentie, dus hoe minder energierijk de fotonen.
'blauwe' fotonen hebben dus meer energie dan 'rode' fotonen.

- b Als er wit licht op een blad valt, wordt alle straling geabsorbeerd behalve de straling met een frequentie die overeen komt met het groene deel van het spectrum. Deze straling wordt teruggekaatst.
De fotonen die geabsorbeerd worden geven hun energie aan het blad af. Hierdoor stijgt de temperatuur van het blad en zendt het blad weer straling uit: emissie.
Het blad kaatst niet alle 'groene' fotonen terug. Een deel daarvan gaat door het blad heen: transmissie.

15 a Gegeven: $E_{\text{zichtbaar}} = 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $E_{\text{röntgen}} = 1 \text{ keV} = 1 \cdot 10^3 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$
 $E_{\text{gamma}} = 1 \text{ MeV} = 1 \cdot 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

Gevraagd: $\lambda_{\text{zichtbaar}}$, $\lambda_{\text{röntgen}}$, en λ_{gamma}

Berekening: $E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$
 $\lambda_{\text{zichtbaar}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,0 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1 \mu\text{m}$
 $\lambda_{\text{röntgen}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,0 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-16}} = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{gamma}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,0 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-13}} = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 1 \text{ pm}$

Antwoord: De golflengte van zichtbaar licht is in de orde van de μm .
De golflengte van röntgenstraling is in de orde van de nm.
De golflengte van gammastraling is in de orde van de pm.

- b Deze waarden komen overeen met de golflengtes van Binas tabel 19B.



- 16 a De golflengte van blacklight is 320 nm. Dit is voor het menselijk oog onzichtbaar. Voorwerpen absorberen deze straling en zenden daarbij zichtbaar licht uit.
- b Tabel 19A van Binas gaat over het zichtbare deel van het elektromagnetisch spectrum. Daarin kun je aflezen dat geel licht een golflengte heeft van ongeveer 570 nm is.
- c De nagel absorbeert licht met een golflengte van 320 nm en zendt licht met een golflengte van 570 nm uit.
De energie van de straling is omgekeerd evenredig met de golflengte, volgens $E = \frac{hc}{\lambda}$.
Er geldt dus: $\frac{E_{\text{uit}}}{E_{\text{abs}}} = \frac{E_{\text{zichtbaar}}}{E_{\text{uv}}} = \frac{\lambda_{\text{uv}}}{\lambda_{\text{zichtbaar}}} = \frac{320}{570} = 0,561$.
Het percentage energie van het UV-foton dat wordt uitgezonden is dus: 56,1%.
- d De golflengte van blacklight is 320 nm. Voorwerpen die deze fotonen absorberen kunnen niet fotonen uitzenden met een kortere golflengte want fotonen met een kortere golflengte hebben meer energie. De golflengte van uitgezonden fotonen ten gevolge van blacklight is dus altijd groter dan 320 nm.
- 17 a De atmosferische absorptie in het gebied van zichtbaar licht ligt volgens het diagram iets boven de 0 %. Vrijwel al het licht wordt dus doorgelaten.
- b Het 'gat' aan de rechterkant is vanaf een golflengte tussen de 10 mm en 100 mm. Dit betreft radiogolven. Hierdoor zijn satellietverbindingen mogelijk en radioastronomie.
- c Röntgenstraling begint bij een golflengte in de orde van de nm. Volgens het diagram is de atmosferische absorptie 100 % vanaf golflengtes van 100 nm en korter. De atmosfeer beschermt dus volledig tegen röntgenstraling.
- d Gegeven: $f = 3,0 \cdot 10^{14}$ Hz
Gevraagd: % doorgelaten straling
Berekening: De golflengte:
$$v = \lambda f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{3,0 \cdot 10^{14}} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,0 \text{ } \mu\text{m}$$

Aflezen:
absorptie ≈ 15 %
Antwoord: Ongeveer 85% van de straling wordt doorgelaten.



- 18 Gegeven: $A = 0,75 \text{ m}^2$
 $I = 0,23 \text{ W m}^{-2}$
 $E_f = 3,4 \text{ eV}$
 $t = 0,75 \text{ h} = 2700 \text{ s}$
- Gevraagd: aantal geabsorbeerde fotonen
- Berekening: Het vermogen dat de huid treft:
 $P = IA = 0,23 \times 0,75 = 0,173 \text{ W}$
- De energie die de huid opneemt:
 $E = Pt = 0,173 \times 2700 = 467 \text{ J}$
- Energie van één foton in J:
 $3,4 \text{ eV} = 3,4 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,44 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Aantal fotonen dat de huid per seconde absorbeert:
 $\frac{E}{E_f} = \frac{467}{5,44 \cdot 10^{-19}} = 8,58 \cdot 10^{20}$
- Antwoord: Per seconde absorbeert de huid $8,6 \cdot 10^{20}$ fotonen.

19 a Als de stoffen uv-straling omzetten in zichtbaar licht, zou je lagen zonnecrème op de huid zien. Liever is de zonnecrème onzichtbaar of transparant.

b De zonnecrème absorbeert één uv-foton en zet deze om in twee onschadelijk fotonen met een lagere energie.

- c Gegeven: $\lambda_{\text{abs}} = 240 \text{ nm} = 240 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $\lambda_{\text{em},1} = 360 \text{ nm} = 360 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

Gevraagd: $\lambda_{\text{em},2}$ in nm

Berekening: Energie van de fotonen:

$$E_{\text{abs}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{abs}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{240 \cdot 10^{-9}} = 8,277 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{em},1} = \frac{hc}{\lambda_{\text{em},1}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{360 \cdot 10^{-9}} = 5,528 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Volgens de wet van behoud van energie:

$$E_{\text{abs}} = E_{\text{em},1} + E_{\text{em},2} \rightarrow E_{\text{em},2} = E_{\text{abs}} - E_{\text{em},1}$$

$$E_{\text{em},2} = 8,277 \cdot 10^{-19} - 5,528 \cdot 10^{-19} = 2,749 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

De golflengte van het tweede foton:

$$E_{\text{em},2} = \frac{hc}{\lambda_{\text{em},2}} \rightarrow \lambda_{\text{em},2} = \frac{hc}{E_{\text{em},2}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{2,749 \cdot 10^{-19}} = 722,6 \text{ nm}$$

OF (met minder afrondingen)

$$E_{\text{abs}} = E_{\text{em},1} + E_{\text{em},2} \rightarrow \frac{hc}{\lambda_{\text{abs}}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{em},1}} + \frac{hc}{\lambda_{\text{em},2}} \rightarrow \frac{1}{\lambda_{\text{abs}}} = \frac{1}{\lambda_{\text{em},1}} + \frac{1}{\lambda_{\text{em},2}}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{em},2}} = \frac{1}{\lambda_{\text{abs}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{em},1}} = \frac{1}{240} - \frac{1}{360} = 0,001389 \dots$$

$$\lambda_{\text{em},2} = \frac{1}{0,001389} = 720 \text{ nm}$$

Antwoord: De golflengte van het tweede foton is 720 nm.

d Een zonnebrandcrème met een chemische zonnefilter absorbeert energierijke fotonen en emitteert fotonen met een niet-schadelijke hoeveelheid energie.

Zonnebrandcrèmes met minerale zonnefilters reflecteren de schadelijke UV stralen.

e Als het opbrengen van de crème niet egaal gebeurt, zijn sommige delen van de huid beter beschermd dan andere en worden dan minder bruin.



20 a Drie voordelen van het gebruik van zonnepanelen ten opzichte van fossiele brandstoffen:

- Zonne-energie raakt niet op.
- Zonne-energie produceert geen CO₂.
- Zonne-energie is op langere termijn goedkoper.

b Zonnepanelen zijn donker gekleurd om zoveel mogelijk fotonen te absorberen en zo weinig mogelijk te reflecteren.

c Het gemiddeld vermogen van de zon is: $\frac{200+20}{2} = 110 \text{ W m}^{-2}$.

d Gegeven: $E_{\text{gem}} = 2,0 \text{ eV} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Gevraagd: λ_{gem} in m

Berekening: $E_{\text{gem}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{gem}}} \rightarrow \lambda_{\text{gem}} = \frac{hc}{E_{\text{gem}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,0 \cdot 10^8}{3,2 \cdot 10^{-19}} = 6,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Antwoord: De gemiddelde golflengte is $6,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ en ligt dus in het zichtbare gebied.

e Gegeven: $E_{\text{gem}} = 2,0 \text{ eV} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$I_{\text{zon}} = 110 \text{ W m}^{-2}$$

$$A = 1,65 \times 1,00 = 1,65 \text{ m}^2$$

Gevraagd: aantal fotonen per seconde

Berekening: Aantal fotonen per m² paneel:

$$\frac{I}{E_{\text{gem}}} = \frac{110}{3,2 \cdot 10^{-19}} = 3,44 \cdot 10^{20} \text{ fotonen}$$

Aantal fotonen op het paneel:

$$3,44 \cdot 10^{20} \times A = 3,44 \cdot 10^{20} \times 1,65 = 5,68 \cdot 10^{20}$$

Antwoord: Het paneel ontvangt $5,7 \cdot 10^{20}$ fotonen per seconde.

f Als een foton de zonnecel treft kan er terugkaatsing, absorptie of transmissie plaatsvinden.

g Gegeven: $E_{\text{jaar}} = 215 \text{ kWh} = 215 \times 3,6 \cdot 10^6 = 7,74 \cdot 10^8 \text{ J}$

$$A = 1,65 \times 1,00 = 1,65 \text{ m}^2$$

Gevraagd: E_{el} per seconde in J

Berekening: De energie die het paneel in 1 seconde levert

$$E_{\text{el}} = \frac{7,74 \cdot 10^8}{365,24 \times 24 \times 3600} = 24,53 \text{ J}$$

Antwoord: Het paneel levert per seconde 24,5 J elektrische energie.

h Gegeven: $I_{\text{zon}} = 110 \text{ W m}^{-2}$

$$A = 1,65 \times 1,00 = 1,65 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{el}} = 24,5 \text{ J per seconde}$$

Gevraagd: η

Berekening: Het vermogen dat het paneel ontvangt:

$$P_{\text{in}} = I_{\text{zon}} A = 110 \times 1,65 = 181,5 \text{ J}$$

Het rendement:

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} = \frac{24,5}{181,5} = 0,135$$

Antwoord: Het rendement van het paneel is 0,135.



- i Om een zo hoog mogelijk rendement te behalen moet het zonnepaneel onder een hoek op het zuiden gericht zijn. Dan is de intensiteit van de zon het grootst en ontvangt het dus het meest fotonen.

j Gegeven: prijs = € 170
kWh prijs = € 0,15
 $E_{\text{jaar}} = 215 \text{ kWh}$

Gevraagd: terugverdientijd

Berekening: Aantal kWh dat moet worden geleverd:
 $\frac{170}{0,15} = 1133 \text{ kWh}$
Hoelang het paneel erover doet om dit te leveren:
 $\frac{1133}{215} = 5,27 \text{ y}$

Antwoord: De terugverdientijd is 5,3 y.

21 a Gegeven: $\lambda_{\text{rood}} = 400 \text{ nm} = 400 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $\lambda_{\text{blauw}} = 800 \text{ nm} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

Gevraagd: E_{rood} en E_{blauw}

Berekening: $E_{\text{rood}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{rood}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^{-9}} = 2,48 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 $E_{\text{blauw}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{blauw}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Antwoord: Blauw licht bestaat dus uit energierijkere fotonen dan rood licht.

- b Blauwe lak reflecteert blauw licht en absorbeert rood licht.
- c Omdat rode lak de meest energierijke fotonen uit het zichtbaar spectrum absorbeert, kan die energie gebruikt worden om de lak te beschadigen. Blauwe lak heeft daar veel minder last van omdat die de fotonen met de meeste energie terugkaatst.

22 a Gegeven: $m_{\text{elektron}} = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
 $v = 6,3 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$

Gevraagd: E_k in J

Berekening: $E_k = \frac{1}{2} m_{\text{elektron}} v^2 = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \times (6,3 \cdot 10^7)^2 = 1,81 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

Antwoord: De kinetische energie van de elektronen is $1,8 \cdot 10^{-15} \text{ J}$.

b Gegeven: $E_k = 1,81 \cdot 10^{-15} \text{ J}$
Gevraagd: λ in m

Berekening: De kinetische energie wordt omgezet in stralingsenergie:
 $E_f = E_k \rightarrow E_f = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,0 \cdot 10^8}{1,81 \cdot 10^{-15}} = 1,10 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Antwoord: De golflengte is $1,10 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.



- c Volgens Binas tabel 19B ligt de golflengte van röntgenstraling in de ordes van 10^{-8} m en 10^{-10} m. Een golflengte van $1,10 \cdot 10^{-10}$ m is dan harde röntgenstraling.
- d Hoe groter de energie van de fotonen, hoe groter het doordringend vermogen van de straling. De elektronen moeten dus een grotere kinetische energie krijgen. Dit bereik je door de spanning tussen de anode en de kathode te verhogen.



10.3 Röntgendiagnostiek en echografie

- 23 a Bij diagnostiek wil men een zo **laag** mogelijke bestralingsbelasting.
- b Een röntgenfoto levert een **2D** beeld op, en een CT-scan levert een **3D** beeld op.
 - c Bij echografie wordt gebruikt gemaakt van geluidgolven.
 - d Een transducer zendt geluidsgolven uit en ontvangt de echo's daarvan.
 - e CT-scan – röntgenfotografie – echografie.
- 24 a Röntgenstraling lijkt op gammastraling. Beide zijn elektromagnetische golven. Röntgenstraling heeft een lagere frequentie dan gammastraling. Een echografie maakt gebruik van geluidsgolven. Dat is geen EM-straling.
- b Het is de bedoeling dat een transducer de echotijd berekent van een uitgezonden puls. Bij een continu geluid is dat niet mogelijk.
 - c Door rond een lichaamsdeel te draaien, kan men vanuit alle hoeken naar het lichaamsdeel kijken, dus ook naar delen die vanuit één hoek achter bot liggen.
- 25 a Het borstbeen absorbeert veel röntgenstraling. Delen die achter het borstbeen lichaam zijn daarom moeilijk of niet zichtbaar.
- b Bij een CT-scan draait de röntgenbuis geheel rond het lichaam en bekijkt de tumor vanuit alle richtingen. Vanuit bepaalde hoeken ligt de tumor niet achter het borstbeen. Hij kan dan duidelijk waargenomen worden.
- 26 a Tandvlees is zacht weefsel dat zich rondom de wortels bevindt. Röntgenstraling dringt dus makkelijk door tandvlees heen waardoor het niet zichtbaar is. Als het wel goed zichtbaar was, zou je de wortel niet goed kunnen waarnemen.
- b Het apparaatje in de kies zit tegen de wortelpunt aan. Het is daar bijna net zo breed als bij het begin van de tand.
 - c Doorgelaten straling zorgt er voor dat de foto zwart wordt. Hoe meer de röntgenstraling geabsorbeerd wordt, hoe witter het beeld. Het apparaatje is witter dan de kies en absorbeert dus meer röntgenstraling. Daarom heeft het een kleinere halveringsdikte.
- 27 a Een voordeel van het gebruik van kleur is dat onze ogen beter kleurverschillen zien dan grijs tinten. (In de gele vlek zitten meer kegeltjes dan staafjes).
- b De kleur wordt gekozen op basis van een zo goed mogelijk contrast.



- 28 a Bij een CT-scan wordt een lichaamsdeel vanuit een 360° hoek bestraald. Er worden dus meerdere röntgenfoto's gemaakt. Daarbij wordt dit proces meerdere malen herhaald om een 3D-beeld te krijgen. De stralingsbelasting van een CT-scan is dus vele malen groter dan die van een enkele röntgenfoto.
- b Bepaald delen van het lichaam liggen soms achter bot waardoor ze minder goed zichtbaar zijn bij een enkele röntgenfoto. Een CT-scan verschaft ook meer detail en biedt daarbij een kijk in de diepte. Dit kan van groot belang zijn bij een goede diagnose.

- 29 Röntgenstraling is EM-straling met een hoge frequentie en heeft een ioniserende werking op weefsel: het beschadigt cellen, moleculen en atomen en kan het mutaties opleveren.

Een echografie maakt gebruik van geluidsgolven en geluidsgolven zijn niet ioniserend. De geluidsgolven geven wel energie af aan het weefsel dat daardoor opwarmt. Dit kan schadelijk zijn maar is verwaarloosbaar in vergelijking met het ioniserend vermogen van röntgenstraling.

- 30 a Gegeven: $f_1 = 1,0 \text{ MHz} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 $f_2 = 10 \text{ MHz} = 10 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 $v_{\text{geluid}} = 1,53 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ (Binas tabel 15A bij 313 K)

Gevraagd: λ in m

Berekening: $v_{\text{geluid}} = \lambda f \rightarrow \lambda = \frac{v_{\text{geluid}}}{f}$

$$\lambda_1 = \frac{v_{\text{geluid}}}{f_1} = \frac{1,53 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10^6} = 1,53 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$
$$\lambda_2 = \frac{v_{\text{geluid}}}{f_2} = \frac{1,53 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^6} = 1,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Antwoord: De golflengte van de golven ligt tussen $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ en $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

- b Gegeven: $v_{\text{geluid}} = 1,53 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$
 $\Delta s = 1,0 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Gevraagd: Δt in s

Berekening: De tijd die het signaal nodig heeft om 1,0 mm af te leggen:

$$\Delta s = v_{\text{geluid}} \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v_{\text{geluid}}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{1,53 \cdot 10^3} = 6,54 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Het signaal legt 2,0 mm af (heen en terug) als het diepteverschil 1,0 mm is:

$$\Delta t = 2 \times 6,54 \cdot 10^{-7} = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Antwoord: De transducer moet dus minimaal een verschil van $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ kunnen meten.

- c Hoe witter het weefsel, hoe meer het geluidsgolven terugkaatst.
De schedel en de ruggengraat lichten wit op. Zij kaatsen het ultrageluid dus goed terug.

- 31 a Het elektron verliest $30 - 5 = 25 \text{ keV}$ aan kinetische energie.
Deze energie wordt omgezet in straling.
Straling met een energie van 25 keV is volgens Binas tabel 19B röntgenstraling.

b $25 \text{ keV} = 25 \cdot 10^3 \text{ eV} = 25 \cdot 10^3 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ J}$



- 32 a De straling die door het midden van het bot gaat, legt de grootste afstand af in het bot en wordt dus het meest geabsorbeerd. Het midden van het bot is dus het lichtst.
De röntgenfoto wordt steeds donkerder naar de randen toe.
- b De afbeelding van de elleboog is aan de randen het lichtst.
Door het midden van het bot wordt dus weinig straling geabsorbeerd.
De elleboog is dus hol.
- 33 a Gegeven: $I = 100 \text{ mA}$
 $\text{mAs} - \text{getal} = 20$
Gevraagd: t in s
Berekening: Voor de expositiewaarde geldt:
 $\text{mAs} - \text{getal} = It \rightarrow t = \frac{\text{mAs} - \text{getal}}{I} = \frac{20}{100} = 0,20 \text{ s}$
Antwoord: De bestralingstijd is 0,20 s.
- b Gegeven: $I = 500 \text{ mA}$
 $\text{mAs} - \text{getal} = 20$
Gevraagd: t in s
Berekening: Voor de expositiewaarde geldt:
 $\text{mAs} - \text{getal} = It \rightarrow t = \frac{\text{mAs} - \text{getal}}{I} = \frac{20}{500} = 0,040 \text{ s}$
Antwoord: De bestralingstijd is 0,040 s.
- c De stroomsterkte bepaalt het aantal fotonen dat de buis uitzendt. Hoe meer fotonen, hoe scherper het beeld, dus hoe groter de stroomsterkte hoe scherper het beeld (bij eenzelfde bestralingstijd).
- d Volgens $I = \frac{q}{t}$ geldt er:
 $[I] = \text{mA} = \frac{\text{mC}}{\text{s}}$
Voor het mAs-getal geldt dus:
 $[\text{mAs} - \text{getal}] = [It] = [I][t] = \text{mA} \cdot \text{s} = \frac{\text{mC}}{\text{s}} \cdot \text{s} = \text{mC}$
- 34 a Percentage dat wordt doorgelaten: $80\% \times 30\% \times 98\% = 0,80 \times 0,30 \times 0,98 = 0,2352 = 23,52\%$.
Percentage dat wordt tegengehouden: $100\% - 23,52\% = 76,48\% = 76\%$.
- b De volgorde waarbij je de percentages met elkaar vermenigvuldigt, maakt niet uit.
- 35 a Bij een te kleine blaas heb je te maken met vocht. Een echografie is dan het meest op zijn plaats.
- b Voor ontstekingen onder een kies is een röntgenfoto het meest geschikt. Een ontsteking is dan waarschijnlijk zichtbaar ten opzichte van de kies en het tandvlees.
- c De ruggengraat moet nauwkeurig in beeld worden gebracht en daar is ook diepte voor nodig. Een CT-scan is de aangewezen diagnostiek.



- 36 a Gegeven: afb G
 $v_{\text{geluid}} = 1,45 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: λ in m
- Berekening: De trillingstijd volgens afbeelding G:
 $2T = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ s} \rightarrow T = \frac{1,00 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,500 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
De golflengte:
 $v_{\text{geluid}} = \frac{\lambda}{T} \rightarrow \lambda = v_{\text{geluid}} T = 1,45 \cdot 10^3 \times 0,500 \cdot 10^{-6} = 7,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
- Antwoord: De golflengte is $7,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.
- b Gegeven: afb G
 $v_{\text{geluid}} = 1,45 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$
- Gevraagd: d_{vet} in m
- Berekening: Het signaal wordt na $21,0 \mu\text{s}$ opgevangen. De afstand die het aflegt:
 $s = v_{\text{geluid}} t = 1,45 \cdot 10^3 \times 21 \cdot 10^{-6} = 3,045 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
De afgelegde afstand komt overeen met 2 keer de dikte van het vetweefsel:
 $d_{\text{vet}} = \frac{s}{2} = \frac{3,045 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2} = 1,523 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- Antwoord: De dikte van het vetweefsel is $1,52 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.
- c Röntgenstraling beweegt met de lichtsnelheid en ultrageluid met de geluidssnelheid.
Röntgenstraling heeft een veel hogere frequentie dan ultrageluid.
Röntgenstraling heeft een ioniserend vermogen en ultrageluid niet.
Röntgenstraling is ten gevolge van het ioniserend vermogen veel schadelijker dan ultrageluid.

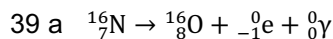


10.4 Nucleaire geneeskunde

- 37 a Bij een diagnostische behandeling wordt onderzoek gedaan naar de oorzaak, bijvoorbeeld het in beeld brengen van een tumor. Hierbij is de hoeveelheid straling die een patiënt ontvangt gering.

Bij een therapeutische behandeling wordt de oorzaak aangepakt. Dit betekent bijvoorbeeld dat een aanwezige tumor wordt bestraald met een hoge dosis straling.

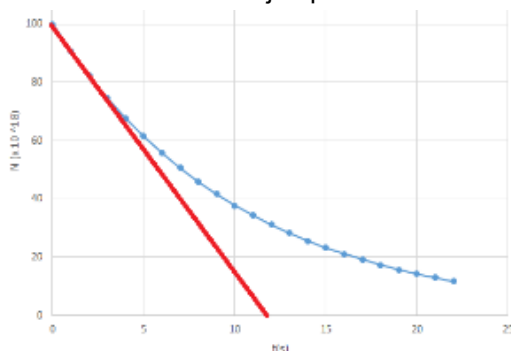
- b Bij een grotere halveringstijd duurt het langer voordat de helft van een stof vervalst. Per seconde vervallen er dan minder deeltjes. De activiteit is dus kleiner.
- c Om geschikt te zijn als tracer moet de radioactieve stof
- zich chemisch kunnen binden aan een molecuul dat voorkomt in het onderzochte weefsel
 - een gammastraler zijn
 - zo weinig mogelijk alfa- of bètastraling uitzenden.
- 38 a Ca-45 is geen gammastraler en dus niet geschikt als tracer.
- b Ca-47 zendt behalve gammastraling ook bètastraling uit.
De halveringstijd van Ca-47 is 4,54 dag. Dat is ten opzichte van de duur van een diagnose best lang. De patiënt zou dan onnodig lang in het ziekenhuis moeten verblijven.
- c Je zou Ca-45 kunnen gebruiken voor een inwendige behandeling vlakbij de tumor. De dracht van bètadeeltjes is immers klein. Er wordt weinig gezond weefsel aangetast.
Toch is het geen goede keuze omdat de halveringstijd 165 dagen is. Daarmee is de activiteit laag en moet er een grote hoeveelheid worden ingespoten. De tracer blijft daarmee onnodig lang in het lichaam.



- b Om geschikt als tracer te zijn, moet een stof gammastraling uitzenden: ${}^0_0\gamma$.

- c Volgens het diagram: $t_{1/2} = 7 \text{ s}$ bij $N = 50$
Volgens Binas tabel 25A: $t_{1/2} = 7,13 \text{ s}$.

- d Teken een raaklijn op $t = 0 \text{ s}$:



$$A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\frac{0 - 100 \cdot 10^{18}}{12 - 0} = 8,3 \cdot 10^{18} \text{ Bq}$$

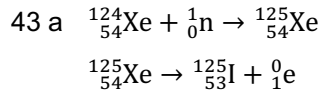


- e Het praktische bezwaar om N-16 te gebruiken is de korte halveringstijd van 7 s. Er is geen tijd om het isotoop te vervoeren naar de patiënt.
- 40 a In Binas tabel 25A staan vijf isotopen van jood.
- I-127 is geen gammastraler
 - I-125 en I-131 hebben een te lange halveringstijd (59 d en 8,0 d)
 - I-128 heeft een te korte halveringstijd (25,0 min)
 - I-123 is dus het meest geschikt om als tracer te dienen.
- b De stof moet de tijd hebben om zich chemisch te binden aan een molecuul in de nieren.
- c Een gezonde nier neemt de stof **snel** op en blijft **kort** radioactief, en een minder goed functionerende nier neemt de stof **langzaam** op en blijft **lang** radioactief.
- d De radioactieve stof moet voor een groot deel vervallen zijn voordat je kinderen op schoot mag nemen. Er wordt immers gammastraling uitgezonden die het lichaam van het kind zou kunnen beschadigen als ze te dichtbij komen. In het geval van I-123 is de halveringstijd 13,2 h, dus is de stof na twee dagen vier keer gehalveerd, oftewel de activiteit is afgenomen tot ongeveer 6%.
- e De activiteit van de stof op het moment dat hij het lichaam wordt ingespoten, is bekend. Vervolgens meet je hoe lang het duurt voordat de activiteit gehalveerd is. Als je de meting vanuit het lichaam verricht, meet je de halveringstijd uitgaande van een kleinere beginhoeveelheid: niet alle stof komt in de nieren terecht, een deel kan worden uitgeplast, een deel van de straling kan worden geabsorbeerd... Deze kleinere beginhoeveelheid leidt ertoe dat je in een kortere tijd de 50% waarde (van de oorspronkelijke beginhoeveelheid) bereikt. Je meet dus een kortere halveringstijd.
- 41 a ${}^{67}_{29}\text{Cu} \rightarrow {}^{67}_{30}\text{Zn} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\gamma$
- b Cu-67 zendt gammastraling uit en is daarmee geschikt voor diagnostiek. Het zendt ook bètastraling uit, dus is ook geschikt voor behandeling van tumorweefsel.
- c Zn-70 is een stabiele stof en dus makkelijker te bewaren dan het instabiele Cu-67.
- d ${}^{70}_{30}\text{Zn} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{67}_{29}\text{Cu} + {}^4_2\text{He}$
- 42 a Gegeven: $t_{1/2} = 22 \text{ h}$
Gevraagd: percentage vervallen stof na $t = 66 \text{ h}$
Berekening: Het aantal halveringen:
$$n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{66}{22} = 3,0$$

Percentage stof dat over is:
$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n = 100 \left(\frac{1}{2}\right)^{3,0} = 12,5$$

Percentage stof dat vervallen is:
$$100 - 12,5 = 87,5$$

Antwoord: Na 66 h is 87,5 % van de stof vervallen.
- b Voordeel van TI-201: het zendt geen bètastraling uit.
Nadeel van TI-201: de halveringstijd is veel groter.

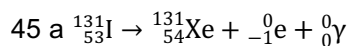


- b Gegeven: $E_f = 28 \text{ keV} = 28 \cdot 10^3 \text{ eV}$
Gevraagd: λ in m
Berekening: De energie in J:
 $E_f = 28 \cdot 10^3 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,48 \cdot 10^{-15} \text{ J}$
De golflengte:
 $E_f = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_f} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{4,48 \cdot 10^{-15}} = 4,44 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Antwoord: De golflengte is $4,4 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.

c $A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{0,44 \cdot 10^{13} - 0}{3,0 \times 24 \times 3600 - 0} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ Bq}$

- d Gegeven: $t_{1/2} = 59 \text{ d}$
Gevraagd: A in Bq na 1 y
Berekening: Het aantal halveringen:
 $n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{365}{59} = 6,19$
Percentage stof dat over is:
 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n = 100 \left(\frac{1}{2}\right)^{6,19} = 1,37$
Antwoord: Na één jaar is er ongeveer 1 % van de stof over.

- 44 a De gaatjes moeten smal zijn zodat je weet dat de fotonen die het kristal treffen zo goed als rechtdoor zijn gegaan. Dan weet je vanuit welke richting deze fotonen kwamen.
- b In de linker figuur licht een groot gebied op. Daar is dus veel gammastraling uit afkomstig. De tracer heeft zich dus veel opgehoopt en dat komt omdat die patiënt het meest is aangetast.
- c De tracer zendt ioniserende straling uit. Die straling is schadelijk voor gezond weefsel. Het is dus wenselijk dat de tracer een zo klein mogelijke halveringstijd heeft.
- d Ziekenhuizen kunnen kortdurende isotopen zelf maken door bepaalde kernen op elkaar te beschieten met deeltjes als protonen en neutronen.



- b De bètastraling beschadigt het meest want die wordt volledig opgenomen door de hardwerkende cellen. De dracht van bètastraling is immers klein.



c Gegeven: $t_{1/2} = 8,0 \text{ d}$
 $A_{\text{eind}} = 6,25\%$

Gevraagd: t in d

Berekening: Het aantal halvingen:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 6,25 = 100 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{6,25}{100} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^4$$
$$n = 4$$

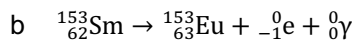
Aantal dagen:

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow t = n \cdot t_{1/2} = 4 \times 8,0 = 32 \text{ d}$$

Antwoord: Er is na 32 dagen nog 6,25 % van de stof over.

d De effectieve halveringstijd is kleiner dan de 'gewone' halveringstijd omdat de radioactieve stof niet alleen verval, maar ook uitgeplast wordt.

46 a Aangezien samarium-153 een isotoop is van samarium-152, heeft samarium een extra neutron. Samarium-152 wordt dus beschoten met een neutron.



c Om de scan te maken wordt de gammastraling gebruikt die het samarium uitzendt. Dit is mogelijk dank zij het grote doordringen vermogen van gammastraling.

d De beginactiviteit op 3 juni om 9:00 is 3000 MBq.

De activiteit is 1500 MBq 3,7 hokjes verder.

2 hokjes komen overeen met 24 h.

3,7 hokjes komen dus overeen met 44 h.

De halveringstijd is dus ongeveer 44 h.

e Gegeven: $m = 30 \text{ kg}$
 37 MBq kg^{-1}
 $V_0 = 15 \text{ mL}$

Gevraagd: V in mL

Berekening: Benodigde straling:

$$A = m \cdot 37 = 30 \times 37 = 1110 \text{ MBq}$$

De activiteit van 15 mL op 4 juni 09:00:

$$A_0 = 2030 \text{ MBq}$$

Volume V dat is ingespoten:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{A}{A_0} \rightarrow V = \frac{A}{A_0} V_0 = \frac{1110}{2030} \times 15 = 8,2 \text{ mL}$$

Antwoord: Er is dus 8,2 mL van de fles ingespoten.



10.5 Effecten van bestraling en besmetting

- 47 a De dosis is de hoeveelheid stralingsenergie die een lichaamsdeel per kg. De equivalente dosis houdt rekening met de soort straling die geabsorbeerd wordt.
- b Een dosimeter houdt de equivalente dosis bij die het lichaam absorbeert.
- c Bij bestraling ben je blootgesteld aan een externe stralingsbron. Je kunt je dan ter bescherming van de bron verwijderen.
Bij besmetting is er sprake van een interne stralingsbron: een stof die in het lichaam zit. Je bent dan zelf radioactief geworden.
- d De weegfactor voor alfastraling is 20 (Binas tabel 27D-3).
- e De weegfactor voor je maag is 0,12 (Binas tabel 27D-3).
- f De halveringsdikte is 4,2 cm (Binas tabel 28F).
-
- 48 a Gegeven: $m = 90 \text{ kg}$
 $E = 2,5 \text{ mJ} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ (alfastraling)
- Gevraagd: D in Gy
- Berekening: $D = \frac{E}{m} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{90} = 2,78 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$
- Antwoord: De ontvangen dosis is $2,8 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$.
-
- b Gegeven: $D = 2,78 \cdot 10^{-5} \text{ Gy}$
 $w_r = 20$
- Gevraagd: H in Sv
- Berekening: $H = w_r D = 20 \times 2,78 \cdot 10^{-5} = 5,56 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$
- Antwoord: De equivalente dosis is $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$.
-
- c De toegestane dosislimiet voor een individueel lid van de bevolking is 1 mSv (Binas tabel 27D-2).
- d De persoon ontvangt een equivalente dosis van $5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 0,56 \text{ mSv}$. Hij mag de dosis dus eigenlijk maar één keer ontvangen.
-
- 49 a ${}^{193}_{76}\text{Os} \rightarrow {}^{193}_{77}\text{Ir} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\gamma$
- b Ir-193 is een stabiele isotoop.
- c De bètastraling heeft een grotere energie dan de gammastraling.
Bètastraling heeft een veel kleiner doordringend vermogen (dracht) dan de gammastraling: alle energie wordt aan de tumor afgegeven.



- 50 a Achtergrondstraling is ioniserende straling die afkomstig is uit de omgeving. Dat kan de grond zijn, de kosmos, materialen en voedsel.
- b De dracht is de afstand die een deeltje aflegt in een stof voordat alle energie is afgegeven en het deeltje dus stil komt te staan.
Gammastraling is elektromagnetische straling en wordt door een stof altijd deels geabsorbeerd. De fotonen komen niet stil te staan, maar worden door een stof opgenomen. Er is altijd een percentage van de fotonen dat door de stof heen dringt.
- c De halveringsdikte van een stof hangt af van de energie van de straling, de soort stof, en de dikte van de stof.
- 51 a Het loodschort houdt 75% tegen. Er wordt dus 25% doorgelaten.
- b De halveringsdikte van lood bij een energie van 0,050 MeV is volgens Binas tabel 28F gelijk aan 0,0079 cm.
- c Het schort laat 25% van de straling door.
De intensiteit is dus 2 keer gehalveerd.
Het schort moet dus minimaal 2 halveringsdiktes dik zijn: $d = 2 \times 0,0079 = 0,016$ cm.
- d Met een schort wordt 25% van de straling doorgelaten.
Je wilt dus weten op welke afstand de intensiteit 4 keer zo klein is.
De intensiteit neemt af met het kwadraat van de afstand, dus als de afstand verdubbelt, neemt de intensiteit met een factor 4 af.
Je moet dus op een afstand van 6,0 m staan.
- 52 a Gegeven: $m = 3,23 \mu\text{g} = 3,23 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$
 $m_{\text{at}} = 62,93 \text{ u} = 62,93 \times 1,661 \cdot 10^{-27} = 1,045 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$
Gevraagd: N
Berekening: $N = \frac{m}{m_{\text{at}}} = \frac{3,23 \cdot 10^{-9}}{1,045 \cdot 10^{-25}} = 3,091 \cdot 10^{16}$ kernen
Antwoord: Het aantal kernen is $3,09 \cdot 10^{16}$.
- b De halveringstijd van Ni-63 is 100 jaar. In 10 minuten neemt de activiteit dus nauwelijks af.
- c Gegeven: $N = 3,091 \cdot 10^{16}$
 $t_{1/2} = 100 \text{ y} = 100 \times 365,25 \times 24 \times 3600 = 3,156 \cdot 10^9 \text{ s}$
Gevraagd: aantal kernen
Berekening: $A = 0,693 \frac{N}{t_{1/2}} = 0,693 \times \frac{3,091 \cdot 10^{16}}{3,156 \cdot 10^9} = 6,787 \cdot 10^6 \text{ Bq}$
Antwoord: De activiteit is $6,79 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.
- d De energie van het deeltje dat vrijkomt, is 0,062 MeV.



e Gegeven: $E_{\text{deeltje}} = 0,062 \text{ MeV} = 0,062 \times 1,6 \cdot 10^{-13} = 9,92 \cdot 10^{-15} \text{ J}$
 $A = 6,787 \cdot 10^6 \text{ Bq}$
 $m = 140 \text{ g} = 0,140 \text{ kg}$
 $\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$
 $w_r = 1$

Gevraagd: H in Sv

Berekening: Het aantal geabsorbeerde bètadeeltjes in 10 minuten:
 $N = At = 6,787 \cdot 10^6 \times 600 = 4,072 \cdot 10^9$

De geabsorbeerde energie:
 $E = E_{\text{deeltje}} N = 9,92 \cdot 10^{-15} \times 4,072 \cdot 10^9 = 4,039 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

De dosis:
 $D = \frac{E}{m} = \frac{4,039 \cdot 10^{-5}}{0,140} = 2,885 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$

De equivalente dosis:
 $H = w_r D = 1 \times 2,885 \cdot 10^{-4} = 2,885 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$

Antwoord: De equivalente dosis is $2,9 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$.

53 a Gegeven: $P = 0,20 \text{ mW} = 0,20 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
 $\Delta t = 30 \text{ s}$
 $m = 4,0 \text{ kg}$

Gevraagd: D in Gy

Berekening: De geabsorbeerde energie:
 $E = Pt = 0,20 \cdot 10^{-3} \times 30 = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

De dosis:
 $D = \frac{E}{m} = \frac{6,0 \cdot 10^{-3}}{4,0} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$

Antwoord: De dosis is $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$.

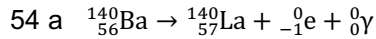
b Gegeven: $D = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$
 $w_r = 1$
 $w_{\text{spieren}} = 0,05$

Gevraagd: Effectieve totale lichaamsdosis in Sv

Berekening: De equivalente dosis:
 $H = w_r D = 1 \times 1,5 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$

De effectieve totale lichaamsdosis:
 $w_{\text{spieren}} H = 0,05 \times 1,5 \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$

Antwoord: De effectieve totale lichaamsdosis is $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$.



b Gegeven: $r = 1,00 \text{ m}$
 $A_r = 352 \text{ Bq cm}^{-2}$

Gevraagd: A in Bq

Berekening: Oppervlakte van een bol met straal 1,00 m:
 $\text{Opp} = 4\pi r^2 = 4\pi \times 1,00^2 = 12,57 \text{ m}^2 = 12,57 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$

De activiteit:

$$A = A_r \cdot \text{Opp} = 352 \times 12,57 \cdot 10^4 = 4,4246 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

Antwoord: De activiteit is $4,42 \cdot 10^7 \text{ Bq}$.

55 a De halveringstijd van Ca-45 is 163 d. In 10 minuten is de activiteit verwaarloosbaar veranderd.

b Gegeven: $A = 3,8 \text{ MBq} = 3,8 \cdot 10^6 \text{ Bq}$
 $\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$

Gevraagd: aantal vervallen kernen

Berekening: $N = A \cdot t = 3,8 \cdot 10^6 \times 600 = 2,28 \cdot 10^9 \text{ kernen}$

Antwoord: Het aantal vervallen kernen is $2,3 \cdot 10^9$.

c Gegeven: $N = 2,28 \cdot 10^9$
 $m = 300 \text{ g} = 0,300 \text{ kg}$
 $E_{\text{deeltje}} = 0,256 \text{ MeV} = 0,256 \times 1,602 \cdot 10^{-13} = 4,053 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
 $w_r = 1$

Gevraagd: H in Sv

Berekening: De geabsorbeerde energie:

$$E = \frac{1}{2} N \cdot E_{\text{deeltje}} = \frac{1}{2} \times 2,28 \cdot 10^9 \times 4,053 \cdot 10^{-14} = 4,62 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

De dosis:

$$D = \frac{E}{m} = \frac{4,62 \cdot 10^{-5}}{0,300} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

De equivalente dosis:

$$H = w_r D = 1 \times 1,54 \cdot 10^{-4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

Antwoord: De equivalente dosis is $1,54 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$.

56 a Bij een dikte van 1,5 cm halveert de begin-intensiteit.
De halveringsdikte van aluminium voor deze straling is 1,5 cm.

b Volgens Binas tabel 28F heeft aluminium een halveringsdikte van 1,51 cm bij een stralingsenergie van 0,1 MeV.

c De achtergrondstraling is continu aanwezig. Je wilt je metingen afstemmen op de straling die van de bron afkomstig is.

d Als 87,5% van de straling moet worden tegengehouden, mag er 12,5% worden doorgelaten.
Dit komt overeen met 3 halveringen.

De dikte van het schort moet dus 3 halveringsdiktes dik zijn, oftewel $d = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ cm}$.



- e Hoe hoger de energie van de straling, hoe minder goed hij wordt tegengehouden.
De stof moet dus dikker zijn. Daarmee wordt het schort zwaarder.

f Gegeven: $m = 65 \text{ kg}$
 $\Delta t = 2 \text{ h} = 7200 \text{ s}$
 $E_{\text{puls}} = 0,1 \text{ MeV} = 0,1 \times 1,6 \cdot 10^{-13} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
 $N = 100 \text{ pulsen s}^{-1}$

Gevraagd: Jaarlijkse dosislimiet overschreden?

Berekening: Aantal geabsorbeerde pulsen in 2 uur:
 $N = 100 \times 7200 = 7,2 \cdot 10^5$

Geabsorbeerde energie:
 $E = E_{\text{puls}} \cdot N = 1,6 \cdot 10^{-14} \times 7,2 \cdot 10^5 = 1,152 \cdot 10^{-8} \text{ J}$

De dosis:
 $D = \frac{E}{m} = \frac{1,152 \cdot 10^{-8}}{65} = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ Gy}$

De equivalente dosis:
 $H = w_r D = 1 \times 1,77 \cdot 10^{-10} = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ Sv} \ll 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$

Antwoord: De jaarlijkse dosislimiet wordt bij lange niet overschreden.

57 a Gegeven: $N = 3,0 \cdot 10^5$
 $E_{\text{deeltje}} = 9,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
 $D = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$

Gevraagd: m in kg

Berekening: Geabsorbeerde energie:
 $E = E_{\text{deeltje}} \cdot N = 9,6 \cdot 10^{-13} \times 3,0 \cdot 10^5 = 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

De massa van de longen:
 $D = \frac{E}{m} \rightarrow m = \frac{E}{D} = \frac{2,88 \cdot 10^{-7}}{1,2 \cdot 10^{-7}} = 2,4 \text{ kg}$

Antwoord: De massa van de longen is 2,4 kg.

b Gegeven: $D = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$
 $w_r = 20$
 $w_{\text{longen}} = 0,12$

Gevraagd: effectieve totale lichaamsdosis

Berekening: De equivalente dosis:
 $H = w_r \cdot D = 20 \times 1,2 \cdot 10^{-7} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$

De effectieve totale lichaamsdosis:
 $w_{\text{longen}} H = 0,12 \times 2,4 \cdot 10^{-6} = 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}$

Antwoord: De effectieve totale lichaamsdosis is $2,9 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}$.



58 a ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$

b Gegeven: $E_f = 2,5 \text{ eV} = 4,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Gevraagd: f in Hz

Berekening: $E_f = hf \rightarrow f = \frac{E_f}{h} = \frac{4,0 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 6,03 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Antwoord: De frequentie is $6,0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

c Gegeven: Afb E

$$I_{\text{achtergrond}} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ puls min}^{-1}$$

Gevraagd: $d_{1/2}$ in cm

Berekening: De werkelijke begin-intensiteit (zonder achtergrondstraling):

$$I_0 = I_{0,\text{afl}} - I_{\text{achtergrond}} = 6,0 \cdot 10^3 - 1,00 \cdot 10^3 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ puls min}^{-1}$$

De intensiteit van de straling na 1 halveringsdikte:

$$I = \frac{I_0}{2} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ puls min}^{-1}$$

De metingen in het diagram zijn inclusief de achtergrondstraling:

$$I_{\text{afl}} = I + I_{\text{achtergrond}} = 2,5 \cdot 10^3 + 1,00 \cdot 10^3 = 3,5 \cdot 10^3 \text{ puls min}^{-1}$$

De halveringsdikte van aluminium aflezen:

$$d_{1/2} = 1,4 \text{ mm}$$

De halveringsdikte van het weefsel is 10 keer zo groot:

$$d_{1/2} = 14 \text{ mm}$$

Antwoord: De halveringsdikte van het menselijk weefsel is 14 mm.

d Gegeven: $m = 1,5 \cdot 10^2 \text{ g} = 0,15 \text{ kg}$

$$\Delta t = 8,0 \text{ h} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ s per dag}$$

$$E_f = 10 \text{ keV} = 10 \times 1,6 \cdot 10^{-16} = 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

$$N = 1,25 \cdot 10^3 \text{ fotonen s}^{-1}$$

$$\text{Dosislimiet} = 50 \text{ mSv per jaar}$$

Gevraagd: Jaarlijkse dosislimiet overschreden?

Berekening: Aantal geabsorbeerde fotonen per jaar:

$$N = 1,25 \cdot 10^3 \times 3600 \times 8,0 \times 365,25 = 1,315 \cdot 10^{10}$$

Geabsorbeerde energie:

$$E = E_f \cdot N = 1,6 \cdot 10^{-15} \times 1,315 \cdot 10^{10} = 2,10 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

De dosis:

$$D = \frac{E}{m} = \frac{2,10 \cdot 10^{-5}}{0,15} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}$$

De equivalente dosis:

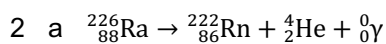
$$H = w_T D = 1 \times 1,4 \cdot 10^{-4} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Sv} = 0,14 \text{ mSv} < 50 \text{ mSv}$$

Antwoord: De jaarlijkse dosislimiet wordt dus niet overschreden.



Toetsvoorbereiding

- 1 a De golflengte van röntgenstraling is kleiner dan de golflengte van zichtbaar licht.
- b Röntgenstraling is ioniserende straling. Dit kan best een oorzaak zijn voor de rode huid.
- c Botten zijn op een röntgenfoto goed zichtbaar omdat ze relatief veel straling tegenhouden. De halveringsdikte van botten is veel kleiner dan die van het zachte weefsel rondom de botten.
- d Bij een CT-scan wordt van een gebied in het lichaam meerdere foto's genomen vanuit verschillende hoeken. Ook wordt op dezelfde manier een serie foto's genomen nadat het lichaam een stukje is opgeschoven zodat er een 3D-beeld gemaakt kan worden.



- b De gammastraling die bij het verval van radium-226 vrijkomt, gaat door het lichaam heen.

c Gegeven: $m = 80 \text{ kg}$
 $\Delta t = 30 \text{ min} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ s}$
 $E_f = 5,5 \text{ MeV} = 5,5 \times 1,6 \cdot 10^{-13} = 8,8 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
 $A = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Bq}$
 $w_r = 20$
Dosislimiet = 1,0 mSv per jaar

Gevraagd: aantal behandelingen

Berekening: Aantal geabsorbeerde fotonen per behandeling:

$$N = A \cdot \Delta t = 1,8 \cdot 10^5 \times 1,8 \cdot 10^3 = 3,24 \cdot 10^8$$

Geabsorbeerde energie per behandeling:

$$E = E_f \cdot N = 8,8 \cdot 10^{-13} \times 3,24 \cdot 10^8 = 2,85 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

De dosis per behandeling:

$$D = \frac{E}{m} = \frac{2,85 \cdot 10^{-4}}{80} = 3,56 \cdot 10^{-6} \text{ Gy}$$

De equivalente dosis per behandeling

$$H = w_r D = 20 \times 3,56 \cdot 10^{-6} = 7,12 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} = 7,12 \cdot 10^{-2} \text{ mSv}$$

Aantal behandelingen:

$$\frac{\text{dosislimiet}}{H} = \frac{1,0}{7,12 \cdot 10^{-2}} = 14$$

Antwoord: Per jaar zouden 14 behandelingen mogelijk zijn.

- d De halveringstijd van radium-226 is 1600 jaar. Na 60 jaar is de activiteit dus bijna even groot.

3 a Gegeven: $f = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Gevraagd: λ in m

Berekening: $c = \lambda f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,0 \cdot 10^8}{5,1 \cdot 10^{14}} = 5,88 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Antwoord: De golflengte is $5,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.



b De golflengte is 588 nm. Volgens Binas tabel 19A komt het overeen met oranje.

c Gegeven: $f = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
 $P = 50 \text{ W}$

Gevraagd: aantal fotonen

Berekening: Energie van één foton:

$$E_f = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 5,1 \cdot 10^{14} = 3,38 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Het aantal uitgezonden fotonen per seconde:

$$\frac{P}{E_f} = \frac{50}{3,38 \cdot 10^{-19}} = 1,48 \cdot 10^{20}$$

Antwoord: De lamp zendt $1,5 \cdot 10^{20}$ fotonen per seconde uit.

4 a Met factor 20 verbrandt je na 90 minuten.

Zonder crème verbrand je dus na $\frac{90}{20} = 4,5 \text{ min.}$

b Met factor 50 kun je dus 50 keer langer in de zon zitten: $4,5 \times 50 = 225 \text{ min} = 3,75 \text{ h.}$

c Gegeven: $I = 0,14 \text{ W m}^{-2}$
 $A = 60 \text{ dm}^2 = 0,60 \text{ m}^2$
 $\Delta t = 30 \text{ min} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ s}$
 $N_{\text{tot}} = 2,8 \cdot 10^{20}$

Gevraagd: E_f in J

Berekening: Stralingsvermogen dat op de huid valt:

$$P = IA = 0,14 \times 0,60 = 0,084 \text{ W}$$

Aantal fotonen dat de huid opneemt per seconde

$$N = \frac{N_{\text{tot}}}{\Delta t} = \frac{2,8 \cdot 10^{20}}{1,8 \cdot 10^3} = 1,56 \cdot 10^{17}$$

Gemiddelde energie per foton:

$$E_f = \frac{P}{N} = \frac{0,084}{1,56 \cdot 10^{17}} = 5,38 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{5,38 \cdot 10^{-19}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 3,36 \text{ eV}$$

Antwoord: De gemiddelde energie van de fotonen is 3,4 eV.

d Volgens Binas tabel 19 B is de golflengte van uv-C straling tussen 100 nm en 280 nm.

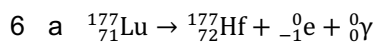
De aardatmosfeer houdt deze straling grotendeels tegen.

Deze straling levert dus geen bijdrage aan de verbranding van de huid.

e De hand verbrandt des te sneller, want behalve de straling die het direct van de zon ontvangt, ontvangt het ook weerkaatste straling.



- 5 Gegeven: $D_{\text{slokdarm}} = 0,30 \text{ mGy} = 0,30 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$
 $D_{\text{maag}} = 1,3 \text{ mGy} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Gy}$
 $w_r = 1$ (Cesium-137 is een bètastraler)
 $w_{\text{slokdarm}} = 0,05$ en $w_{\text{maag}} = 0,12$
- Gevraagd: effectieve totale lichaamsdosis
- Berekening: De equivalente dosis:
 $H_{\text{slokdarm}} = w_r \cdot D_{\text{slokdarm}} = 1 \times 0,30 \cdot 10^{-3} = 0,30 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$
 $H_{\text{maag}} = w_r \cdot D_{\text{maag}} = 1 \times 1,3 \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Sv}$
- De effectieve totale lichaamsdosis:
 $w_{\text{slokdarm}} H_{\text{slokdarm}} + w_{\text{maag}} H_{\text{maag}} =$
 $0,05 \times 0,30 \cdot 10^{-3} + 0,12 \times 1,3 \cdot 10^{-3} = 1,71 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$
- Antwoord: De effectieve totale lichaamsdosis is $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$.



- b De straling die buiten het lichaam kan worden opgevangen is de gammastraling.

- c Gegeven: $E_f = 7,05 \cdot 10^{-14} \text{ J}$
- Gevraagd: λ in m
- Berekening: $E_f = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_f} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \times 2,998 \cdot 10^8}{7,05 \cdot 10^{-14}} = 2,818 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
- Antwoord: De golflengte is $2,82 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

- d Gegeven: $A = 0,001 A_0$
 $t_{1/2} = 6,7 \text{ d}$
- Gevraagd: t in d
- Berekening: Het aantal keer dat de stof moet halveren:
 $A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 0,001 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{1}{1000} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \approx \left(\frac{1}{2}\right)^n$
 $n \approx 10$
 10 halvingen duren:
 $n = \frac{t}{t_{1/2}} \rightarrow t = n \cdot t_{1/2} = 10 \times 6,7 = 67 \text{ d}$
- Antwoord: De eerstvolgende afspraak kan pas 67 dagen later.

- e Gegeven: $E_f = 0,05 \text{ MeV}$
 $d_{1/2} = 0,75 \text{ cm}$ (Binas tabel 28F)
 $d = 10,5 \text{ cm}$
- Gevraagd: percentage doorgelaten straling
- Berekening: Aantal keer dat de straling halveert:
 $n = \frac{d}{d_{1/2}} = \frac{10,5}{0,75} = 14$
- Percentage doorgelaten straling:
 $I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n = 100 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{14} = 0,0061\%$
- Antwoord: Er wordt 0,0061% van de straling doorgelaten.