

13 Elektromagnetische straling vwo

13.1 Licht als golf

Elektromagnetische golven

1**

a Bereken de frequentie van dit licht.

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ en $v_{\text{golf}} = c = 2,99792 \text{ m/s}$
- $f = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{590 \cdot 10^{-9}} = 5,08122 \cdot 10^{14} = 5,08 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b Welke kleur heeft dit licht?

- opzoeken in Binas → geel licht

2**

a Bereken de golflengte van dit licht.

- $\lambda = c \cdot T$ en $T = \frac{1}{f} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$
- $\lambda = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{6,0 \cdot 10^{14}} = 4,9965 \cdot 10^{-7} = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

b Leg uit waarom details kleiner dan één millimeter wazig zijn.

- vergroting is 1000 → 1 mm op de foto is in werkelijkheid 10^{-6} m
- $\lambda = 500 \text{ nm} = 0,5 \mu\text{m}$ en komt in de buurt van de kleinste afmetingen
- afbuiging van het licht wordt merkbaar waardoor de foto wazig wordt

3***

a Geef hiervoor een verklaring.

- als licht door een klein gaatje gaat wordt het aan de randen afgebogen
- hoe kleiner het gaatje hoe groter de afbuiging is en hoe onscherper de foto
- bij een klein diafragma is de afbuiging groot en wordt de foto onscherp

b Geef hiervoor een verklaring.

- de golflengte van rood licht is groter dan van blauw licht
- rood licht buigt meer af dan blauw licht en spreidt zich meer uit over de pixels

c Bereken de afmeting (lengte en breedte) van een pixel.

- oppervlakte van de beeldchip is $25 \cdot 36 = 900 \text{ mm}^2$

- aantal pixels per mm^2 is $\frac{3,6 \cdot 10^7}{900} = 4,0 \cdot 10^4$
- oppervlakte van één pixel is $\frac{1}{4,0 \cdot 10^4} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2$
- pixels zijn vierkant $\rightarrow$ lengte en breedte: $\sqrt{2,5 \cdot 10^{-5}} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

Een tralie

4**

- a** Bereken de tralieconstante.
- 800 lijnen per mm is $800 \cdot 10^3$ lijnen per meter
 - $\frac{1}{800 \cdot 10^3} = 1,25 \cdot 10^{-6} \rightarrow d = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b Bereken het aantal lijnen per mm.

- $\frac{1}{4,00 \cdot 10^{-6}} = 2,50 \cdot 10^5$ lijnen per meter
- dit is 250 lijnen per mm

5***

a Neem de figuur over en geef aan welke lijnen bij de 2^e orde lichtbundels horen.



b Bereken de tralieconstante.

- $\alpha = 30,0^\circ \mid n = 2 \mid \lambda = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m} \mid d = \dots \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d} \rightarrow \sin 30 = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{d} \rightarrow d = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{0,5} = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken het aantal lijnen per mm van de gebruikte tralie.

- afstand tussen twee lijnen $\rightarrow d = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- aantal lijnen per meter $= \frac{1}{d} = \frac{1}{2,00 \cdot 10^{-6}} = 5,00 \cdot 10^5$
- aantal lijnen per millimeter $= \frac{5,00 \cdot 10^5}{1000} = 5,00 \cdot 10^2 = 500$

d Bereken de afstand tussen de tralie en het projectiescherm.

- $\sin \alpha = \frac{3 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{2,0 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \sin \alpha = 0,75 \rightarrow \alpha = 48,59^\circ$
- $\tan \alpha = \frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}}$
- $\text{aanliggend} = \frac{0,5}{\tan 48,59} = 0,44096 \rightarrow$ de afstand tot het scherm is 0,44 m

6*****a** Leg uit welke lijnen horen bij de groene en welke bij de rode lichtbundel.

- bij de onderste serie staan de lijnen verder uit elkaar → meer spreiding
- bij de onderste serie hoort de grootste golflengte
- de onderste serie komt van de rode lichtbundel

b Bereken de golflengte van de rode lichtbundel.

- $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$
- $\sin \alpha$ van de onderste serie 1,25 keer groter dan $\sin \alpha$ van de bovenste serie en d is hetzelfde
- $\lambda_{\text{rood}} = 1,25 \cdot \lambda_{\text{groen}} \rightarrow \lambda_{\text{rood}} = 1,25 \cdot 520 = 650 \text{ nm}$

7*****a** Toon aan dat de afstand tussen de spleten van de tralie $1,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ is.

- 600 lijnen per mm = $600 \cdot 1000 = 6,0 \cdot 10^5$ lijnen per meter
- $d = \frac{1}{6,0 \cdot 10^5} = 1,66667 \cdot 10^{-6} = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b Bereken hoek α van de 1^e orde lichtbundel.

- $n=1 \mid \lambda = 532 \cdot 10^{-9} \text{ m} \mid d = 1,66667 \cdot 10^{-6} \text{ m} \mid \alpha = \dots^\circ$
- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d} \rightarrow \sin \alpha = \frac{532 \cdot 10^{-9}}{1,66667 \cdot 10^{-6}} = 0,3192 \rightarrow \alpha = 18,61455 = 18,6^\circ$

c Bereken hoek α van de 2^e orde lichtbundel.

- $\sin \alpha = \frac{2 \cdot 532 \cdot 10^{-9}}{1,66667 \cdot 10^{-6}} = 0,6384 \rightarrow \alpha = 39,67261 = 39,7^\circ$

d Bereken de hoek tussen de 1^e orde en de 2^e orde lichtbundels.

- $39,67261 - 18,61455 = 21,05806 = 21,1^\circ$

e Bereken de afstand tussen de 0^e orde lichtbundel en de 1^e orde lichtbundel.

- antwoord bij b → $\alpha = 18,61455$ graden
- $\tan \alpha = \frac{x}{\ell}$ met $\ell = 2,00 \text{ m}$
- $\tan 18,61455 = \frac{x}{2,0} \rightarrow x = 0,67364 = 0,674 \text{ m}$

f Bereken de afstand tussen de 1^e orde lichtbundel en de 2^e orde lichtbundel.

- antwoord bij b: $\alpha = 39,67261$ graden
- $\tan \alpha = \frac{x}{\ell}$ met $\ell = 2,00 \text{ m}$
- $\tan 39,67261 = \frac{x}{2,0} \rightarrow x = 1,65882 \text{ m}$ afstand tussen 0^e en 2^e orde bundel
- afstand tussen 1^e en 2^e orde bundel is $1,65882 - 0,67364 = 0,985 \text{ m}$

g Leg uit of de afstand tussen de bundels met een hogere orde afneemt, toeneemt of gelijk blijft.

- vergelijk je antwoorden op vragen e en f
- de afstand tussen 0^e orde en 1^e orde is 0,674 m
- de afstand tussen 1^e orde en 2^e orde is 0,985 m
- de afstand tussen de bundels neemt toe

8***

a Bereken op welke afstand de leraar het tralie van het bord moet houden.

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 1$ en $d = \frac{1}{300 \cdot 10^3} = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,201 \rightarrow \alpha = 11,59544^\circ$
- $\tan \alpha = \frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}} \rightarrow \tan 11,59544 = \frac{0,20}{x} \rightarrow x = 0,974718 = 0,975 \text{ m}$

b Bereken de afstand tussen de 2^e en de 3^e orde stip.

2^e orde stip

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 2$ en $d = \frac{1}{300 \cdot 10^3} = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{2 \cdot 670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,402 \rightarrow \alpha = 23,70327^\circ$
- $\tan 23,70327 = \frac{x}{0,974718} \rightarrow x = 0,427938 \text{ m}$

3^e orde stip

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 3$ en $d = \frac{1}{300 \cdot 10^3} = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{3 \cdot 670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,603 \rightarrow \alpha = 37,08506^\circ$
- $\tan 37,08506 = \frac{x}{0,974718} \rightarrow x = 0,736774 \text{ m}$

verschil

- $\Delta x = 0,736774 - 0,427938 = 0,308836 = 0,309 \text{ m}$

c Bereken de afstand tussen de 0^e orde en 1^e orde stip.

- $\alpha = 11,59544^\circ$ (opgave a) $\rightarrow \tan 11,59544 = \frac{x}{2,00} \rightarrow x = 0,410375 = 0,410 \text{ m}$

9****

a Leg uit hoe deze gebieden ontstaan.

- het licht dat de lamp uitzendt bestaat uit rood, groen en blauw licht
- rood, groen en blauw licht hebben verschillende golflengtes
- verschillende golflengtes komen onder een andere hoek uit de tralie

b Bereken de afstand van de lens tot het scherm.

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 1$ en $d = \frac{1}{400.000} = 2,50 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{500 \cdot 10^{-9}}{2,50 \cdot 10^{-6}} = 0,200 \rightarrow \alpha = 11,53696^\circ$
- $\tan 11,53696 = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{x} \rightarrow x = 0,122474 = 0,122 \text{ m}$

c Bereken de golflengte van deze 2^e orde violette lijn.

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$
- twee lijnen vallen samen $\rightarrow$ zelfde hoek α
- $\frac{1 \cdot \lambda_{\text{rood}}}{d} = \frac{2 \cdot \lambda_{\text{violet}}}{d} \rightarrow \lambda_{\text{rood}} = 2 \cdot \lambda_{\text{violet}}$
- $700 = 2 \cdot \lambda_{\text{violet}} \rightarrow \lambda_{\text{violet}} = 350 \text{ nm}$

d Bereken de golflengte van deze 3^e orde groenblauwe lijn.

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$
- twee lijnen vallen samen $\rightarrow$ zelfde hoek α
- $\frac{2 \cdot \lambda_{\text{rood}}}{d} = \frac{3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}}}{d} \rightarrow 2 \cdot \lambda_{\text{rood}} = 3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}}$
- $2 \cdot 700 = 3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}} \rightarrow \lambda_{\text{groenblauw}} = 467 \text{ nm}$

10****

a Leg dit uit.

- $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$
- $n = 0 \rightarrow \sin \alpha = 0 \rightarrow \alpha = 0$
- hoek α is niet afhankelijk van de golflengtes $\rightarrow$ alle lichtkleuren vallen samen
- dit geeft wit licht

b Bereken de golflengte van deze kleur licht.

- $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ met $n = 1$ en $d = \frac{10^{-3}}{500} = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\tan \alpha = \frac{0,10}{0,40} \rightarrow \alpha = 14,03624^\circ$
- $\sin 14,03624 = \frac{\lambda}{2,0 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \lambda = 4,85071 \cdot 10^{-7} = 4,85 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad (485 \text{ nm})$

c Bereken de resolutie van de meetopstelling.

- herhaal de berekening voor een afstand tussen 0^e en 1^e orde van 10,1 cm
- $\tan \alpha = \frac{0,101}{0,40} \rightarrow \alpha = 14,17098^\circ$

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n=1$ en $d=2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin 14,170977 = \frac{\lambda}{2,0 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \lambda = 4,89633 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- $\Delta\lambda = 4,89633 \cdot 10^{-7} - 4,85071 \cdot 10^{-7} = 4,56157 \cdot 10^{-9} = 4,6 \text{ nm}$

Het elektromagnetisch spectrum

11**

a Bereken de frequentie van deze straling.

- $v_{\text{golf}} = f \cdot \lambda$ en $v_{\text{golf}} = c = 2,99792 \text{ m/s}$
- $f = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{940 \cdot 10^{-9}} = 3,18928 \cdot 10^{14} = 3,19 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b Waarom kun je deze straling niet zien?

- de golflengte van zichtbaar licht zit tussen 400 nm en 750 nm
- 940 nm valt buiten dit gebied

12**

a Leg uit of met radiogolven geluidsgolven of elektromagnetische golven wordt bedoeld.

- radiogolven worden uitgezonden door een antenne waarin elektronen trillen
- radiogolven zijn geen geluidsgolven maar elektromagnetische golven

b Bereken de golflengte van deze radiogolven.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 198 \cdot 10^3 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,5141 \cdot 10^3 = 1,51 \cdot 10^3 \text{ m}$

13**

a Bereken de golflengte van deze radiogolven.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 96,8 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 3,09702 = 3,10 \text{ m}$

14***

a Na hoeveel minuten kunnen de astronauten op zijn vroegst antwoord verwachten?

- signalen zijn elektromagnetische straling $\rightarrow v_{\text{golf}} = c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t \rightarrow 7,84 \cdot 10^{10} = 2,99792 \cdot 10^8 \cdot t \rightarrow t = 2,61515 \cdot 10^2 \text{ s}$
- signaal heen en terug $\rightarrow t = 2 \cdot 2,61515 \cdot 10^2 = 5,23029 \cdot 10^2 \text{ s}$
- aantal minuten: $\frac{5,23029 \cdot 10^2}{60} = 8,71716 = 8,72 \text{ minuten}$

15***

a Bereken de golflengte van deze microgolven.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 2,50 \cdot 10^9 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,119917 = 0,120 \text{ m}$

b Geef hiervoor een verklaring.

- in de magnetron komen staande (micro)golven met buiken en knopen
- buik $\rightarrow$ intensiteit van straling is groot $\rightarrow$ veel verwarming
- knoop $\rightarrow$ intensiteit van straling is klein $\rightarrow$ weinig verwarming

c Bereken de afstand tussen plaatsen waar het kaas gaat smelten.

- de kaas gaat smelten op plaatsen met een buik (constructieve interferentie)
- de afstand tussen twee buiken is $\frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2} \cdot 0,12 = 0,0600 \text{ m}$ (6,00 cm)

16***

a Bereken de golflengte van de 900 MHz en van de 2100 MHz band.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda \quad | \quad f = 900 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 900 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,3331 = 0,333 \text{ m}$ (3 sign. cijfers)
- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda \quad | \quad f = 2100 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 2100 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,142758 = 0,1428 \text{ m}$ (4 sign. cijfers)

b Leg uit waarom in gebouwen de 900 MHz band beter is te ontvangen dan de 2100 MHz band.

- 900 MHz golven hebben een grotere golflengte dan 2100 MHz golven
- 900 MHz golven buigen gemakkelijker om voorwerpen heen

13.2 Licht als deeltje: fotonen

De wet van Wien

1*

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

- je ziet het uitgestraalde IR licht
- dit geeft de temperatuur aan

b Geef hiervoor een verklaring.

- gebieden met een hogere temperatuur zijn rood (vergelijk met kleding)
- de linkerhand (rechts op de foto) is roder dan de rechterhand
- de linkerhand heeft een hogere temperatuur

2*

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

- je ziet een temperatuurverschil tussen de muren, de ramen en het dak

b Leg uit wat je hieruit kunt concluderen.

- het dak is roder dan de muren, net als de ramen en de deur
- het dak heeft een hogere temperatuur en is niet goed geïsoleerd

3**

a Bereken de golflengte $\lambda_{\max}$ van de EM-straling die wordt uitgestraald.

- $T = 37,0 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow T = 37,0 + 273,15 = 310,15 \text{ K}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
- $\lambda_{\max} \cdot 310,15 = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow \lambda = 9,34312 \cdot 10^{-6} = 9,34 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b Bereken de frequentie van deze straling.

- $\lambda = 9,34312 \cdot 10^{-6} \text{ m} \mid f = \dots \text{ Hz}$
- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda$
- $2,99792 \cdot 10^8 = f \cdot 9,34312 \cdot 10^{-6} \rightarrow f = 3,20869 \cdot 10^{13} = 3,21 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$

4**

a Controleer of de informatie in de figuur klopt.

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{3620} = 8,0049 \cdot 10^{-7} = 800 \text{ nm} \rightarrow \text{klopt niet}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{2070} = 1,39989 \cdot 10^{-6} = 1400 \text{ nm} \rightarrow \text{klopt}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{965} = 3,00287 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 3000 \text{ nm} \rightarrow \text{klopt}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{290} = 9,99231 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 10000 \text{ nm} \rightarrow \text{klopt}$

b Bereken de temperatuur die hiermee correspondeert.

- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W \rightarrow 380 \cdot 10^{-9} \cdot T = 2,89777 \cdot 10^{-3}$
- $T = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{380 \cdot 10^{-9}} = 7,62571 \cdot 10^3 = 7,63 \cdot 10^3 \text{ K}$

c Ben je het met Johan eens? Leg uit waarom wel / niet.

- $\lambda_{\max}$ is de golflengte met de grootste intensiteit
- er wordt ook licht met een kleinere en met groter golflengte uitgestraald
- Johan heeft geen gelijk

5***

a Toon dit aan.

- de straalkachel geeft oranje licht van ongeveer 600 nm
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W \rightarrow 600 \cdot 10^{-9} \cdot T = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 4,83 \cdot 10^3 \text{ K}$
- deze temperatuur is hoger dan het smeltpunt van nichroom

b Bereken de golflengte van het licht dat het nichroom dan uitzendt.

- $T = 1000^\circ = 1273,15 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
- $\lambda_{\max} \cdot 1273,15 = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow \lambda = 2,27606 \cdot 10^{-6} = 2,276 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken de golflengte $\lambda_{\max}$ van de EM-straling die de buitenkant bij 70 °C uitzendt.

- $T = 70 + 273,15 = 343,15 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{343,15} \rightarrow \lambda_{\max} = 8,44462 \cdot 10^{-6} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

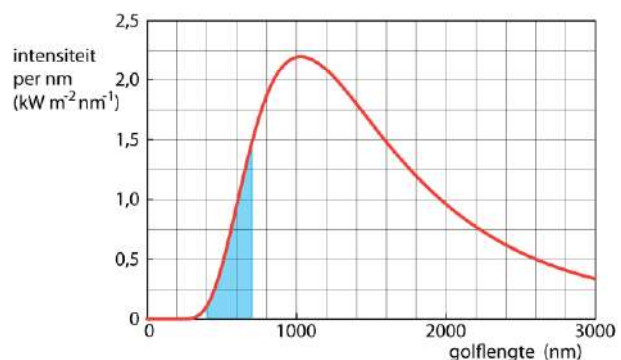
6**

a Bepaal de temperatuur van de draad in °C.

- aflezen $\lambda_{\max} = 1000 \text{ nm}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
- $1000 \cdot 10^{-9} \cdot T = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 2,89777 \cdot 10^3 \text{ K}$
- $T = 2,89777 \cdot 10^3 - 273,15 = 2,62462 \cdot 10^3 = 2,6 \cdot 10^3 \text{ °C}$

b Leg uit hoe dit volgt uit de grafiek.

- het zichtbare gebied zit tussen 400 nm en 750 nm
- maar een klein deel van het uitgestraalde licht zit in dit gebied
- de meeste uitstraling is infra rood licht wat onzichtbaar is



7****a** Bereken de temperatuur van de lava in graden celsius.

- aflezen $\lambda_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
- $2,0 \cdot 10^{-6} \cdot T = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 1,448885 \cdot 10^3 \text{ K}$
- $T = 1,448885 \cdot 10^3 - 273,15 = 1,175735 \cdot 10^3 = 1,2 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$

b Waarom zie je dat het lava oranje licht uitstraalt?

- $\lambda_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- bij golflengten kleiner dan $\lambda_{\max}$ wordt ook zichtbaar licht uitgestraald
- het deel waarbij λ kleiner is dan 750 nm zie je als oranje / rood licht

8****a** Heeft wit licht een bepaalde golflengte?

- nee, wit licht is een combinatie van rood, groen en blauw licht

b Wanneer ervaar je licht als wit?

- als de temperatuur van de stralingsbron gelijk is aan die van de oppervlakte van de zon
- rood, groen en blauw zijn dan ongeveer met gelijke intensiteit aanwezig

c Bij welke temperatuur ga je het licht als wit ervaren?

- de oppervlakte van de zon heeft een temperatuur van 5780 K .

d Leg uit of er dan alleen licht met een golflengte van 380 nm wordt uitgestraald.

- bij 380 nm heeft de stralingsgrafiek een maximum
- er wordt ook licht met een kleinere en met een grotere golflengte uitgestraald

9*****a** Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

- uitstraling tussen 2 en 30 μm
- opzoeken in Binas 19B $\rightarrow$ (ver) infrarood

b Leg uit bij welke grafiek je koorts hebt.

- de rode grafiek want die heeft de hoogste intensiteit en hoort daarom bij de hoogste temperatuur

c Bepaal je lichaamstemperatuur in $^\circ\text{C}$ als je koorts hebt.

- aflezen $\lambda_{\max} = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W$
- $9,2 \cdot 10^{-6} \cdot T = 2,89777 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 314,975 \text{ K}$
- $T = 314,975 - 273,15 = 41,825 = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$

d Leg voor iedere methode A, B of C uit waarom die wel of niet geschikt is om nauwkeurig de temperatuur te meten.

- methode A is niet nauwkeurig, want $\lambda_{\max}$ verandert maar weinig tussen $T = 37^\circ\text{C}$ en $T = 42^\circ\text{C}$
- methode B is niet geschikt want de gemeten intensiteit hangt af van de hoeveelheid straling die op de thermometer valt en dat verschilt per meting
- methode C is het beste want de toename van de intensiteit tussen $4\mu\text{m}$ en $9\mu\text{m}$ is bij 42°C een stuk groter dan bij 37°C

De wet van Stefan-Boltzmann

10* a** Toon dit aan.

- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{5,78 \cdot 10^3} = 5,01344 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 501 \text{ nm}$
- aflezen $\lambda_{\max} = 500 \text{ nm} \rightarrow$ klopt

b Toon dit aan.

- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \rightarrow \sigma = \frac{P}{A \cdot T^4}$
- standaard eenheden invullen
- $[\sigma] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \rightarrow [\sigma] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

c Bereken hoeveel energie één vierkante meter van de zon per seconde uitstraalt.

- $T = 5,78 \cdot 10^3 \text{ K} \mid A = 1 \text{ m}^2 \mid P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (5,78 \cdot 10^3)^4 \rightarrow P = 6,32882 \cdot 10^7 = 6,33 \cdot 10^7 \text{ W}$

d Bereken de oppervlakte van de zon.

- $P = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W} \mid P \text{ per m}^2 = 6,32882 \cdot 10^7 \text{ W / m}^2 \mid A_{\text{zon}} = \dots \text{ m}^2$
- $3,828 \cdot 10^{26} = 6,32882 \cdot 10^7 \cdot A_{\text{zon}} \rightarrow A_{\text{zon}} = 6,04852 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$

e Bereken de straal van de zon.

- $A = 4\pi \cdot r^2$
- $6,04852 \cdot 10^{18} = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow r = 6,93776 \cdot 10^8 = 6,94 \cdot 10^8 \text{ m}$

f Bereken de golflengte van de EM-straling die door het centrum van de zon wordt uitgestraald.

- $T = 1,55 \cdot 10^7 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{1,55 \cdot 10^7} = 1,86953 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,187 \text{ nm}$

g Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

- $\lambda_{\max} = 1,87 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow$ dit is röntgenstraling

11***

a Wat is de natuurkundige betekenis van de oppervlakte onder de grafiek?

- bepaal de eenheid van de oppervlakte onder de grafiek
- $[\text{oppervlakte}] = \text{kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{nm} = \text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$
- het oppervlakte onder de grafiek is vermogen per vierkante meter

b Toon aan dat dit in overeenstemming is met de grafieken in de figuur.

- $T = 4000 \text{ K} \rightarrow 7,5 \text{ hokjes}$ (marge 1 hokje)
- $T = 5000 \text{ K} \rightarrow 18 \text{ hokjes}$ (marge 1 hokje)
- $T = 6000 \text{ K} \rightarrow 37 \text{ hokjes}$ (marge 1 hokje)
- van 4000 naar 5000 $\rightarrow 7,5 \cdot \left(\frac{5000}{4000}\right)^4 = 18$ KLOPT
- van 4000 naar 6000 $\rightarrow 7,5 \cdot \left(\frac{6000}{4000}\right)^4 = 38$ KLOPT
- van 5000 naar 6000 $\rightarrow 18 \cdot \left(\frac{6000}{5000}\right)^4 = 37$ KLOPT

12***

a Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Wien.

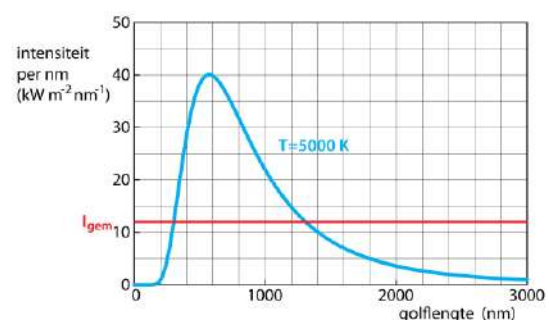
- $T = 5000 \text{ K} \mid \lambda_{\text{max}} = \dots \text{m}$
- $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$ met $k_W = 2,89777 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$
- $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{5000} = 5,79554 \cdot 10^{-7} = 580 \text{ nm}$
- dit komt overeen met het maximum van de grafiek

c Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Stefan-Boltzmann.

- $A = 1,0 \text{ m}^2 \mid T = 5000 \text{ K} \mid P = \dots \text{W}$
- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 1,0 \cdot 5000^4 = 3,54398 \cdot 10^7 \text{ W}$ per vierkante meter
- tel het aantal hokjes onder de grafiek $\rightarrow 35,5 \text{ hokjes}$
- één hokje is $5 \cdot 200 = 1000 \text{ kW m}^{-2}$
- oppervlak is $35,5 \cdot 1000 = 3,55 \cdot 10^4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} = 3,55 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow \text{klopt}$

OOK GOED

- schat de gemiddelde waarde van de grafiek door een horizontale lijn te tekenen met evenveel oppervlak onder als boven de grafiek
- $I_{\text{gem}} = 12 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$
- grafiek tussen 0 en 3000 nm
- $I_{\text{gem}} = 3000 \cdot 12 \cdot 10^3 = 3,6 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- $P = 3,6 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow \text{overeenstemming}$



d Hoeveel keer groter is het oppervlak onder de grafiek bij een temperatuur van 10000 K?

- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \rightarrow \frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4$ vermogen per vierkante meter
- T wordt 2 keer zo groot
- $\frac{P}{A}$ wordt $2^4 = 16$ keer zo groot
- de oppervlakte onder de grafiek wordt 16 keer zo groot

e Hoeveel keer kleiner is de oppervlakte onder de grafiek bij een temperatuur van 300 K?

- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \rightarrow \frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4$ vermogen per vierkante meter
- T wordt $\frac{300}{5000} = 0,06$ keer zo groot
- $\frac{P}{A}$ wordt $0,06^4 = 1,296 \cdot 10^{-5}$ keer zo groot
- het oppervlak onder de grafiek wordt $1,3 \cdot 10^{-5}$ keer zo groot

13***

a Bereken het gemiddelde stralingsvermogen per vierkante meter bij een mens.

- $T = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$ | $A_{\text{bron}} = 1,0 \text{ m}$ | $P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (308,15)^4 = 511,2815 = 5,1 \cdot 10^2 \text{ W}$

b Schat hoeveel stralingsenergie een mens per seconde uitzendt.

- beschouw een mens als cilinder met straal 0,20 m en hoogte 1,7 m
- $A = 2\pi r \cdot h \rightarrow A = 2\pi \cdot 0,20 \cdot 1,7 = 2,136 \text{ m}^2 \rightarrow A \approx 2,0 \text{ m}^2$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot (308,15)^4 = 1022,563 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ W}$

c Hoeveel kilojoule is dit per dag?

- $t = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ s}$ | $P = 1022,563 \text{ W}$ | $E = \dots \text{ J}$
- $E = P \cdot t \rightarrow E = 1022,563 \cdot 86400 = 8,83494 \cdot 10^7 = 8,8 \cdot 10^4 \text{ kJ}$

d Bereken hoeveel energie je per dag uitstraalt in kilocalorieën.

- één calorie is 4,184 J
- $E(\text{cal}) = \frac{8,83494 \cdot 10^7}{4,184} = 2,11312 \cdot 10^7 \text{ cal} = 2,1 \cdot 10^4 \text{ kilocalorie}$

e Waarom heb je per dag veel minder energie nodig dan je uitstraalt?

- je neemt ook straling uit de omgeving op
- je bent geen zwarte straler

f Toon dit aan.

- opname van straling: $A = 2,0 \text{ m}^2$ | $T = 27 + 273,15 = 300,15 \text{ K}$ | $P = \dots \text{ W}$

- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 2,0 \cdot (300,15)^4 = 920,4385 \text{ W}$
- uitstaling is 1022,563 W $\rightarrow$ verschil: $1022,563 - 920,4385 = 102,1245 = 102 \text{ W}$

g Hoeveel energie verlies je hierdoor per dag uitgedrukt in kilocalorieën?

- $t = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ s}$ | $P = 102,1245 \text{ W}$ | $E = \dots \text{ J}$
- $E = P \cdot t \rightarrow E = 102,1245 \cdot 86400 = 8,82356 \cdot 10^6 \text{ J}$
- $E(\text{cal}) = \frac{8,82356 \cdot 10^6}{4,184} = 2,10888 \cdot 10^6 \text{ cal} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ kilocalorie}$

h Leg uit waar de energie uit voeding vooral voor wordt gebruikt.

- de energie uit voeding wordt voornamelijk gebruikt om je lichaam op een temperatuur van 37 °C te houden

14***

a Hoe verhouden zich de (huid-) oppervlakken van een olifant en een muis?

- de huidoppervlak schaalt met het kwadraat van de lengte
- lengte 500 : 5 = 100
- oppervlakte $(100)^2 : 1 = 10^4 : 1$

b Verwacht je dat een olifant per dag 500 kg voedsel moet eten?

- massaverhouding is $\frac{5000}{0,035} = 1,4 \cdot 10^5$
- oppervlakteverhouding is $\frac{100^2}{1} = 1,0 \cdot 10^4$
- per kg heeft een olifant veel minder huidoppervlak dan een muis
- per kg straalt een olifant minder straling uit dan een muis
- een olifant hoeft minder dan 500 kg voedsel per dag te eten

c Hoeveel kilogram moet een olifant dan iedere dag eten?

- huidoppervlak van olifant is 10.000 keer die van een muis
- een olifant moet 10.000 keer meer voedsel eten
- $10.000 \cdot 3,5 = 35000 \text{ gram} = 35 \text{ kg}$

d Is dit meer of minder dan jouw schatting?

- veel meer dan de schatting

e Bedenk een reden waarom jouw schatting niet goed klopt.

- er is ook energie nodig voor de spieren
- de spiermassa verhoudt zich als het lichaamsgewicht
- een olifant heeft relatief veel meer spieren dan een muis

De (omgekeerde) kwadratenwet

15***

a Bereken het uitgestraalde vermogen van het glas.

- $m = 6,0 \text{ kg} \quad | \quad \rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad | \quad V = \dots \text{m}^3$
- $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 2,5 \cdot 10^3 = \frac{6}{V} \rightarrow V = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- bolvormig: $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow 2,4 \cdot 10^{-3} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3 \rightarrow r = 8,30566 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
- oppervlakte: $A = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow A = 4\pi \cdot (8,30566 \cdot 10^{-2})^2 = 8,66879 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 8,66879 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 950 + 273,15 = 1223,15 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 8,66879 \cdot 10^{-2} \cdot (1223,15)^4 = 1,10024 \cdot 10^4 = 1,1 \cdot 10^4 \text{ W}$

b Bereken de stralingsintensiteit bij het gezicht.

- $P = 1,10024 \cdot 10^4 \text{ W} \quad | \quad r = 0,90 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W/m}^2$
- $I = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}$
- $I = \frac{1,10024 \cdot 10^4}{4\pi \cdot 0,9^2} = 1,08092 \cdot 10^3 = 1,1 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$

c Bereken de stralingsintensiteit bij de toeschouwers.

- $P = 1,100243 \cdot 10^4 \text{ W} \quad | \quad r = 3,5 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W/m}^2$
- $I = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}$
- $I = \frac{1,10024 \cdot 10^4}{4\pi \cdot 3,5^2} = 71,4729 = 71 \text{ W/m}^2$

16***

a Hoeveel gram stearine verbrandt een kaars per minuut?

- $P = 80 \text{ W} \quad | \quad t = 60 \text{ s} \quad | \quad E = \dots \text{ J}$
- $E = P \cdot t \rightarrow E = 80 \cdot 60 = 4800 \text{ J}$
- stookwaarde $40 \text{ MJ/kg} \rightarrow \text{per minuut } \frac{4800}{40 \cdot 10^6} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,12 \text{ gram}$

b Is deze temperatuur in overeenstemming met de gele kleur van het kaarslicht?

- $T = 1200 + 273,15 = 1473,15 \text{ K} \quad | \quad \lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W$
- $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{1473,15} = 1,967 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

- dit is infrarood licht en is niet in overeenstemming met de gele kleur

c Op welke afstand van de kaars kun je nog net lezen?

- $P = 80 \text{ W} \quad | \quad I = 2,5 \text{ W/m}^2 \quad | \quad A = \dots \text{ m}^2$
- $I = \frac{P}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow 2,5 = \frac{80}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow r = 1,59577 = 1,6 \text{ m}$

d Hoeveel lichtenergie komt er per seconde in een oog bij een intensiteit van $2,5 \text{ W/m}^2$?

- oppervlakte pupil $A_{\text{cirkel}} = \pi \cdot r^2$
- $A = \pi \cdot (8,0 \cdot 10^{-3})^2 = 2,01062 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- $P = I \cdot A \rightarrow P = 2,5 \cdot 2,01062 \cdot 10^{-4} = 5,02655 \cdot 10^{-4} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ W}$

17***

a Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

- opzoeken: smeltpunt ijzer is 1811 K
- $0,7 \cdot 1811 = 1267,7 \text{ K}$
- $T = 1267,7 \text{ K} \quad | \quad \lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{1267,7} = 2,28585 \cdot 10^{-6} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b Bereken de intensiteit op een afstand van 80 cm .

- $A_{\text{bron}} = 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 1267,7 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot 1267,7^4 \rightarrow P = 585,7841 \text{ W}$
- $I = \frac{P}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow I = \frac{585,7841}{4\pi \cdot 0,80^2} \rightarrow I = 72,8363 = 73 \text{ W/m}^2$

c Leg uit waarom dit het geval is.

- bij hogere temperatuur is het uitgestraalde vermogen groter
- per seconde verliest het voorwerp dan meer warmte

d Hoeveel keer groter is de afkoelsnelheid bij $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ten opzichte van de afkoelsnelheid bij $600 \text{ }^\circ\text{C}$?

- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- verhouding: $\frac{P_{1200} = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot (1200 + 273,15)^4}{P_{600} = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot (600 + 273,15)^4} = \frac{1473,15^4}{873,15^4} = 8,1$
- de afkoelsnelheid neemt met een factor $8,1$ af

18***

a Hoeveel stralingsenergie ontsnapt er per seconde door het kijkgaatje?

- oppervlakte kijkgaatje: $A = \pi \cdot r^2 \rightarrow A = \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{-2})^2 = 7,06858 \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 7,06858 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 950 + 273,15 = 1223,15 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 7,06858 \cdot 10^{-4} \cdot 1223,15^4 \rightarrow P = 89,7146 = 90 \text{ W}$

b Bereken de temperatuur van de buitenwanden van de oven.

- buitenwanden: $A = (2 \cdot 0,26 \cdot 0,3) + (2 \cdot 0,25 \cdot 0,3) + (2 \cdot 0,25 \cdot 0,26) = 0,436 \text{ m}^2$
- $P = 1200 - 89,7146 = 1110,2854 \text{ W}$ | $A_{\text{bron}} = 0,436 \text{ m}^2$ | $T = \dots \text{ K}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $1110,2854 = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 0,436 \cdot T^4 \rightarrow T = 460,3457 \text{ K}$
- $T = 460,3457 - 273,15 = 187,1957 = 187 \text{ }^\circ\text{C}$

c Leg uit waarom dit het geval is.

- de oven neemt straling uit de omgeving op $\rightarrow$ de oven is geen zwarte straler
- ook de opgenomen stralingsenergie wordt uitgezonden

19****

a Bereken de temperatuur van het filament als de lamp brandt.

- $r = 0,023 \cdot 10^{-3} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ | $\ell = 0,58 \text{ m}$ | $A = \dots \text{ m}^2$
- cilinder: $A = 2\pi \cdot r \cdot \ell \rightarrow A = 2\pi \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,58 = 8,38177 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 8,3817692 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ | $P = 60 \text{ W}$ | $T = \dots \text{ K}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $60 = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot 8,38177 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 \rightarrow T = 1884,955 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ K}$

b Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

- $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_W \rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{1884,955} = 1,53732 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken de oppervlakte van de gloeidraad.

- $P = 100 \text{ W}$ | $T = 2500 + 273,15 = 2773,15 \text{ K}$ | $A_{\text{bron}} = \dots \text{ m}^2$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $100 = 5,67037 \cdot 10^{-8} \cdot A_{\text{bron}} \cdot 2773,15^4 \rightarrow A_{\text{bron}} = 2,98191 \cdot 10^{-5} = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

d Bereken de stroomsterkte door de gloeilamp.

- $P = 100 \text{ W}$ | $U = 230 \text{ V}$ | $I = \dots \text{ A}$
- $P = U \cdot I \rightarrow 100 = 230 \cdot I \rightarrow I = 0,4347826 = 0,435 \text{ A}$

e Bereken de weerstand van de gloeilamp.

- $U = 230 \text{ V}$ | $I = 0,4347826 \text{ A}$ | $R = \dots \Omega$
- $U = I \cdot R \rightarrow R = \frac{230}{0,4347826} = 529 \Omega$

f Toon dit aan.

- $A_{\text{bron}} = 2\pi \cdot r \cdot \ell \rightarrow \ell = \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi \cdot r}$
- $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A_d} \rightarrow R = \rho \cdot \frac{1}{A_d} \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi \cdot r} \rightarrow R = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi r \cdot A_d}$

- $R = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi r \cdot A_d} = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi r \cdot \pi \cdot r^2} = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi^2 \cdot r^3}$

g Bereken met behulp van de antwoorden op vragen c en d de diameter van de wolframdraad.

- $R = 529 \, \Omega \quad | \quad \rho = 847 \cdot 10^{-9} \, \Omega \text{ m} \quad | \quad A_{\text{bron}} = 2,98191 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad | \quad r = \dots \text{ m}$

- $R = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi^2 \cdot r^3}$

- $529 = 847 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2,98191 \cdot 10^{-5}}{2\pi^2 \cdot r^3} \rightarrow r^3 = 847 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2,98191 \cdot 10^{-5}}{2\pi^2 \cdot 529}$

- $r^3 = 2,41876 \cdot 10^{-15} \rightarrow r = 1,34235 \cdot 10^{-5} = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

- $d = 2 \cdot r \rightarrow d = 2 \cdot 1,34235 \cdot 10^{-5} = 2,68469 \cdot 10^{-5} = 2,68 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

h Bereken de lengte van de wolframdraad.

- $A_{\text{bron}} = 2,98191 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad | \quad r = 1,34235 \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad | \quad \ell = \dots \text{ m}$

- $A_{\text{bron}} = 2\pi \cdot r \cdot \ell$

- $2,98191 \cdot 10^{-5} = 2\pi \cdot 1,34235 \cdot 10^{-5} \cdot \ell \rightarrow \ell = 0,35355 = 0,354 \text{ m}$

Fotonen

20* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{5,0 \cdot 10^{-19}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} = 3,12075 = 3,12 \text{ eV}$$

$$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{5,0 \cdot 10^{-19}}{6,62607 \cdot 10^{-34}} = 7,54595 \cdot 10^{14} = 7,55 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} \leftrightarrow f = 7,54595 \cdot 10^{14} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{7,54595 \cdot 10^{14}} = 3,97289 \cdot 10^{-7} = 397 \text{ nm}$$

21* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$1,00 \text{ eV} = 1,0 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1,00 \text{ eV} \leftrightarrow 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow \frac{1,60218 \cdot 10^{-19}}{6,62607 \cdot 10^{-34}} = 2,417994 \cdot 10^{14} = 2,42 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$1,00 \text{ eV} \leftrightarrow f = 2,418 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{2,418 \cdot 10^{14}} = 1,23984 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,24 \cdot 10^3 \text{ nm}$$

22* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 5,0 \cdot 6,62607 \cdot 10^{-34} = 3,313035 \cdot 10^{-19} = 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \leftrightarrow 3,313035 \cdot 10^{-19} \rightarrow E = \frac{3,313035 \cdot 10^{-19}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} = 2,06783 = 2,07 \text{ eV}$$

$$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{5,0 \cdot 10^{14}} = 5,99584 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

23* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$500 \text{ nm} \rightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792 \cdot 10^8}{5,0 \cdot 10^{-7}} = 3,97289 \cdot 10^{-19} = 3,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$500 \text{ nm} \leftrightarrow 3,87289 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow E = \frac{3,97289 \cdot 10^{-19}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} = 2,47967 = 2,48 \text{ eV}$$

$$500 \text{ nm} \leftrightarrow 3,87289 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow f = \frac{3,97289 \cdot 10^{-19}}{6,62607 \cdot 10^{-34}} = 5,99585 \cdot 10^{14} = 6,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

24*** a Toon dit aan.

- $E_f = h \cdot f$

- $c = f \cdot \lambda \rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$

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

b Bepaal de eenheid van de constante van Planck.

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

- formule opschrijven met eenheden in plaats van grootheden

- $[h] = \frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{m/s}} \rightarrow [h] = \text{J} \cdot \text{s}$

c Toon dit aan.

- om van J naar eV te gaan moet je delen door e (elementair ladingskwantum)

- $E_f(\text{J}) = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow E_f(\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$

d Toon dit aan.

- $E_f(\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$

- vul de waarden in voor h, c en e in (Binas 7):

$$E_f(\text{eV}) = \frac{6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792 \cdot 10^8}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot \lambda} = \frac{1,239842 \cdot 10^{-6}}{\lambda} = \frac{1,240 \cdot 10^{-6}}{\lambda}$$

- vermenigvuldig met 10^9 omdat λ in nm wordt ingevuld

13.3 Absorptie en emissie van licht

1**

- a** Leg uit of het bovenste spectrum het absorptiespectrum of het emissiespectrum is.
- het bovenste spectrum is het uitgezonden licht → het emissiespectrum
- b** Leg uit wat je waarneemt als je keukenzout in een gasvlam strooit.
- er wordt geel licht uitgezonden
- c** Leg uit hoe je een absorptiespectrum kunt meten.
- je straalt wit licht door een vlam en meet het spectrum achter de vlam
 - strooi NaCl in de vlam en meet opnieuw het spectrum
 - het verschil van deze spectra zijn de golflengtes die zijn geabsorbeerd door de natriumatomen
- d** Leg uit hoe je een emissiespectrum kunt meten.
- maak de kamer donker en meet het spectrum van de vlam
 - strooi NaCl in de vlam en meet opnieuw het spectrum
 - in het verschil van deze spectra zijn de golflengtes die zijn uitgestraald door de natriumatomen

2**

- a** Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.
- het rode en groene licht wordt door kopersulfaat geabsorbeerd
 - het blauwe licht wordt niet geabsorbeerd en kan door de vloeistof
 - als je er doorheen kijkt bereikt alleen het blauwe licht je oog
- b** Leg uit welke twee factoren dat zijn.
- de concentratie van de kopersulfaatoplossing
 - de afstand die het licht door de oplossing aflegt (de lengte van de lichtweg)
- c** Beschrijf wat je ziet.
- rood licht wordt geabsorbeerd → roos ziet er zwart uit
 - blauw licht wordt niet geabsorbeerd → vaas ziet er blauw uit

3**

- a** Leg uit hoe de corona ervoor zorgt dat er golflengten ontbreken in het spectrum van de zon.
- vanaf het oppervlakte van de zon wordt een continu spectrum uitgestraald
 - het licht gaat eerst door de gaswolk (corona) om de zon
 - de corona absorbeert enkele karakteristieke lijnen
- b** Welke golflengten verwacht je in het emissiespectrum van de corona?
- het licht dat door de corona is geabsorbeerd wordt naar alle kanten uitgestraald
 - normaal is dit licht niet te zien vanwege de felle achtergrond van het zonlicht
 - bij een zonsverduistering zie je alleen het door de corona uitgestraalde licht
 - de ontbrekende lijnen in het zonnespectrum worden door de corona uitgestraald

- c Verklaar verschil is tussen het spectrum buiten de dampkring en het spectrum op het oppervlak van de aarde.
- vanaf het oppervlakte van de zon gaat het licht eerst door de corona en daarna door de dampkring om de aarde
 - behalve de absorptielijnen van de corona zie je ook ontbrekende kleuren omdat het licht wordt geabsorbeerd door de gassen in dampkring van de aarde

4***

- a Zoek op om welke stof het gaat.
- Binas tabel 20
 - het gaat om kwik (Hg)
- b Leg uit voor ieder spectrum A, B en C uit of het een continu-spectrum, een absorptiespectrum of een emissiespectrum is.
- A is een emissiespectrum, want er worden maar enkele golflengtes uitgezonden
 - B is een continu-spectrum want over een breed gebied worden alle golflengtes uitgezonden
 - C is een absorptiespectrum, want over een breed gebied ontbreken enkele golflengtes terwijl alle andere golflengtes worden uitgezonden

5**

- a Leg uit hoe je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp wit licht uitzendt.
- over het zichtbare gebied 400 – 750 nm worden alle golflengten ongeveer even sterk uitgezonden
 - dit ervaar je als wit licht
- b Hoe kun je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp IR straling uitzendt?
- licht met golflengte groter dan 750 nm heet infrarood licht
 - aan het Xe-lamp spectrum is te zien dat er veel van dit soort licht wordt uitgezonden
- c Waaraan kun je zien dat licht uit een Xe-lamp blauwer is dan zonlicht?
- bij het zonnenspectrum neemt de intensiteit snel af bij λ kleiner dan 450 nm
 - bij het Xe-lamp spectrum neem de intensiteit pas af bij λ kleiner 400 nm
 - bovendien zendt een Xe lamp veel blauw licht uit tussen 300 en 450 nm
- d Leg uit waarom het licht uit een Xe-lamp gevaarlijker is dan zonlicht.
- een Xe-lamp zendt veel ultraviolet-licht uit met $\lambda < 400$ nm

6***

- a Leg uit welke kleur dit licht heeft.
- zie spectrum in boek $\rightarrow$ 668 nm is rood licht
- b Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in joule.
- $c = f \cdot \lambda \rightarrow 2,99792 \cdot 10^8 = f \cdot 668 \cdot 10^{-9} \rightarrow f = 4,4879 \cdot 10^{14} = 4,49 \cdot 10^{14}$ Hz
 - $E_f = h \cdot f \rightarrow E_f = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 4,4879 \cdot 10^{14} = 2,97372 \cdot 10^{-19} = 2,97 \cdot 10^{-19}$ J

- c** Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in elektronvolt.
- energie in joule delen door het elementair ladingsquantum $1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 - $E_f(\text{eV}) = \frac{2,97372 \cdot 10^{-19}}{1,60218 \cdot 10^{-19}} = 1,86 \text{ eV}$
- d** Bereken hoeveel fotonen er per seconde op het netvlies moeten vallen om het licht afkomstig van strontiumatomen te kunnen zien
- $E_f = 2,97372 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 - $1,7 \cdot 10^{-18} \text{ W} = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ joule per seconde}$
 - aantal fotonen per seconde is $\frac{1,7 \cdot 10^{-18}}{2,97372 \cdot 10^{-19}} = 5,71675 = 5,7$

13.4 Röntgenstraling

- 1*** a Leg uit waarom de bagage met röntgenstraling wordt bekeken.
- om te zien of er iets in zit wat gemaakt is uit zware atomen zoals metaalatomen

- b Wat valt je op aan deze schoenen?
- in de zool zit een metalen versteviging waaraan de hak is bevestigd

- 2**** a Leg uit waarom dit het geval is.
- handweefsel bevat minder zware atomen dan botweefsel
 - handweefsel absorbeert minder röntgenstraling dan botweefsel
 - handweefsel is niet goed zichtbaar omdat röntgenstraling er ongehinderd doorheen gaat
- b Leg uit waaraan je kunt zien dat de ringen van metaal zijn gemaakt.
- vanwege de grote dichtheid worden röntgenstraling door het metaal geabsorbeerd
 - op de röntgenfoto is de ring zichtbaar als donker object
- c Leg uit of je dit met een röntgenfoto kunt bepalen.
- metalen absorberen vrijwel alle röntgenstraling
 - met absorptie van röntgenstraling is niet goed te bepalen welk metaal het betreft

- 3**** a Leg uit waarom dit geen goed idee is?
- röntgenstraling is ioniserende straling
 - biologisch weefsel wordt beschadigd
- b Bereken de energie van een röntgenfoton met een frequentie van $1,0 \cdot 10^{18}$ Hz.
- $E_{\text{foton}} = h \cdot f$ met $h = 6,62607 \cdot 10^{-34}$ J s
 - $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,0 \cdot 10^{18} = 6,62607 \cdot 10^{-16} = 6,6 \cdot 10^{-16} = \text{J}$
- c Bereken hoeveel chemische bindingen één röntgenfoton kan verbreken.
- omrekenen joule naar eV: delen door $e = 1,60218 \cdot 10^{-19}$ C
 - $E_{\text{foton}} (\text{eV}) = 6,62607 \cdot 10^{-16} / 1,60218 \cdot 10^{-19} = 4,13567 \cdot 10^3 \text{ eV}$
 - aantal gebroken bindingen: $4,13567 \cdot 10^3 / 4,2 = 984,68 = 985$

- 4**** a Leg uit wat ioniserende werking is en waarom röntgenstraling gevaarlijk is.
- ioniserende werking is het vermogen van straling om elektronen los te maken van de atoomkern
 - door bestraling worden chemische bindingen verbroken

- b** Geef twee redenen waarom het gezondheidsrisico bij een stralingsbelasting van 25 mSv kan verschillen.
- als de straling over een langere periode is opgelopen is het minder gevaarlijk omdat het lichaam dan meer tijd heeft om de opgelopen schade aan het weefsel te herstellen
 - de plaats waar de straling wordt geabsorbeerd is belangrijk, bestraling in het hoofd geeft onherstelbare beschadiging van hersenweefsel, bestraling van een arm geeft schade die het lichaam makkelijker kan herstellen

5***

- a** Leg uit wat er gebeurt als een Cu-atoom röntgenstraling uitzendt.
- een elektron botst met hoge snelheid tegen een Cu atoom
 - hierbij wordt een elektron uit de K-schil van het Cu atoom verwijderd
 - een elektron van het Cu-atoom uit een hogere schil (bijvoorbeeld de L schil) valt naar de K-schil om het gat op te vullen
 - het energieverschil tussen een elektron in de L en in de K-schil wordt als röntgenfoton uitgezonden
- b** Bereken de kinetische energie die een elektron minstens moet hebben om een röntgenfoton met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz te laten ontstaan.
- $E_{\text{foton}} = h \cdot f$ met $h = 6,62607 \cdot 10^{-34}$ J s
 - $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,85 \cdot 10^{19} = 1,22582 \cdot 10^{-14}$ J
 - E_K van het elektron moet tenminste $E_{\text{foton}} = 1,23 \cdot 10^{-14}$ J zijn want anders zou er spontaan energie ontstaan
- c** Bereken de minimale snelheid van de elektronen bij het botsen.
- $E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ met $m_e = 9,10939 \cdot 10^{-31}$ kg
 - $1,22582 \cdot 10^{-14} = \frac{1}{2} \cdot 9,10939 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,64053 \cdot 10^8 = v = 1,64 \cdot 10^8$ m/s
- d** Bereken de minimale spanning die nodig is om deze snelheid te bereiken.
- $\Delta E_K = E_{\text{foton}} = 1,2258 \cdot 10^{-14}$ J
 - $\Delta E_K = -\Delta E_{\text{el}} \rightarrow \frac{1}{2} m \cdot v^2 = -q \cdot U$ met $q = -1,60218 \cdot 10^{-19}$ C
 - $1,22582 \cdot 10^{-14} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot U \rightarrow U = 7,65099 \cdot 10^4 = 7,65 \cdot 10^4$ V
- e** Leg uit wat er gebeurt als de elektronen met een grotere snelheid tegen de koperen plaat botsen.
- het overschot aan kinetische energie wordt omgezet in warmte
 - de Cu-atomen gaan met grotere amplitude trillen

6****

- a** Leg uit waarom David geen gelijk heeft.
- cel 1 laat 90% door
 - cel 2 laat 90% van deze 90% door en cel 3 daar weer 90% van
 - cellen 2 en 3 absorberen dus minder dan 10% van de opvallende stralen
 - de totale absorptie is minder dan 30%

- b** Toon aan dat detector X1 meet dat er 72,9% wordt doorgelaten.
- 70% doorgelaten is 0,7 van de straling
 - achter cel 1 nog 0,9 over,
 - achter cel 2 nog 0,9 van 0,9 = $0,9^2$ over
 - achter cel 3 nog $0,9^3 = 0,729$ over
 - detector 3 geeft aan dat er $0,729 \cdot 100\% = 72,9\%$ wordt doorgelaten
- c** Bereken hoeveel procent van de straling detector Y1 bereikt.
- Y1 meet straling door bot – bot – water
 - Y1 meet 0,9 keer 0,9 keer 0,98 = 0,7938
 - 79% van de straling bereikt Y1
- d** Bij welke detector X2 of X3 verwacht je het grootste percentage doorgelaten straling?
- X2 meet: bot – water – bloed
 - X3 meet: water – water – bot
 - omdat in bloed zware elementen zitten, zoals ijzer, absorbeert een cel met bloed meer röntgenstraling dan een cel met water
 - detector X3 zal meer straling doorlaten dan detector X2
- e** Verwacht je dat X3 en Y2 verschillende of dezelfde waarden zullen geven. Licht je antwoord toe.
- om te berekenen hoeveel er wordt doorgelaten moet je de doorgelaten fracties met elkaar vermenigvuldigen
 - bij een vermenigvuldiging maakt de volgorde niet uit
 - ze geven beide dezelfde meetwaarde
- f** Bereken de waarden die X3 en Y2 meten.
- X3 meet: water – water – bot $\rightarrow 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,9 = 0,86436$
 - Y2 meet: bot – water – water $\rightarrow 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,86436$
 - beide 87 %
- g** Bereken hoeveel procent een cel bloed absorbeert.
- X2 meet: bot – water – bloed
 - $0,9 \cdot 0,98 \cdot x = 0,85 \rightarrow x = 0,9637$
 - bloed absorbeert $1 - 0,9637 = 0,03628 = 3,6\%$
- h** Bereken hoeveel blokjes water er nodig zijn om 15% van de straling te absorberen.
- water absorbeert 2% en laat dus 0,98 van de straling door
 - n blokjes absorberen $0,98^n$ van de straling $0,98^n = 0,85$
 - links en rechts de logaritme nemen
 - $\log 0,98^n = \log 0,85 \rightarrow n \cdot \log 0,98 = \log 0,85 \rightarrow n = 8,044$
 - er zijn 8 blokjes water nodig om 15% van de straling te absorberen

13.5 Magnetische resonantie: MRI

- 1***
- a** Noem een voordeel en een nadeel van een röntgenfoto ten opzichte van echoscopie.
- voordeel: met een röntgenfoto kun je diep in het lichaam kijken
 - voordeel: met een röntgenfoto kun je met meer detail onderscheid maken tussen verschillende soorten weefsel
 - nadeel: röntgenstraling is ioniserende straling en dus schadelijk
 - nadeel: röntgenstraling heeft dure apparatuur nodig
- b** Noem een voordeel en een nadeel van een CT-scan ten opzichte van een röntgenfoto.
- voordeel: je krijgt een drie dimensionaal beeld met veel details
 - nadeel: je gebruikt veel meer ioniserende straling
- c** Noem een voordeel en een nadeel van een MRI-scan ten opzichte van een CT-scan.
- voordeel: bij een MRI-scan wordt geen ioniserende straling gebruikt
 - voordeel: je hebt veel onderscheid tussen verschillende soorten weefsel
 - nadeel: dure apparatuur
 - nadeel: met metalen voorwerpen in je lichaam kan MRI niet worden uitgevoerd

- 2****
- a** Waarom zenden waterstofkernen EM straling uit?
- de waterstofkernen worden eerste met EM-straling in aangeslagen toestand gebracht
 - na een poosje zenden ze deze energie weer uit in de vorm van EM-straling
- b** Bestaat de uitgezonden EM-straling uit één of uit meerdere frequenties?
- er is sprake van resonantie
 - er wordt één frequentie uitgezonden
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- omdat in bloed en water de dichtheid van H-atomen groter is dan in botweefsel

- 3*****
- a** Bereken de frequentie waarbij het MRI signaal wordt verkregen.
- 1,0 Tesla $\leftrightarrow$ 42,5781 MHz
 - 2,3 Tesla $\leftrightarrow$ $2,3 \cdot 42,5781 = 97,92963 = 98$ MHz
- b** Bereken de golflengte van de EM straling die bij een veldsterkte van 2,3 Tesla wordt gebruikt.
- $f = 97,92963 \text{ MHz} = 97,92963 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
 - $c = f \cdot \lambda \rightarrow 2,99792 \cdot 10^8 = 97,92963 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 3,0613 = 3,1 \text{ m}$

- c** Leg uit of de waterstofconcentratie invloed heeft op de golflengte van de EM-straling?
 - de golflengte van de EM-straling wordt bepaald door de energie die nodig is om protonspins om te keren
 - de concentratie waterstof heeft hierop geen invloed
- d** Leg uit of de waterstofconcentratie invloed heeft op de amplitude van de EM-straling?
 - de amplitude van de EM-straling wordt bepaald door het aantal fotonen dat per seconde wordt uitgezonden
 - hoe meer waterstof aanwezig is hoe meer fotonen er per seconde worden uitgezonden en hoe groter de amplitude is

4**

- a** Moet bij MRI de contrastvloei stof straling uitzenden?
 - de contrastvloei stof mag geen straling uit te zenden
- b** Leg uit hoe je de T1 tijd kunt meten.
 - de protonen worden met een EM-puls in aangeslagen toestand gebracht
 - bij het terugvallen naar de grondtoestand zenden de protonen EM-straling uit
 - je meet hoe het uitzenden van EM-straling in de tijd afneemt
 - hieruit bereken je de T1 tijd
- c** Leg uit hoe het verlagen van de T1 tijd het contrast tussen bloed in de bloedvaten en het omliggende weefsel beïnvloedt.
 - door de contrastvloei stof neemt de T1 tijd van bloed af
 - als het verschil tussen de T1 tijd van bloed en het omliggende weefsel groter wordt is het onderscheid duidelijker

5**

- a** Leg uit waarom dit het geval is.
 - snel achter elkaar moet een MRI-scan worden gemaakt
 - de gegevens moeten naar de computer worden gestuurd en worden verwerkt
 - als een groot deel van het lichaam moet worden bestudeerd met een hoge resolutie is de hoeveelheid data te groot en kost de berekening teveel tijd
- b** Bij f-MRI wordt een 4D-dataset verkregen. Leg uit waarom er bij f-MRI over vier dimensies wordt gesproken.
 - behalve de drie ruimtedimensies (lengte, breedte, hoogte) komt er een vierde dimensie bij: de tijd

6***

- a** Leg uit hoe het f-MRI resultaat onderbouwing geeft aan bovenstaande tekst.
 - bij 14 – 15 jarigen is er minder doorbloeden van de hersenen bij negatieve en positieve feedback dan bij 18 – 25 jarigen
 - maar de verschillen zijn veel kleiner dan tussen 8–11 jarigen en 14–15 jarigen