

13 Elektromagnetische straling vwo

13.1 Licht als golf

1** a Bereken de golflengte van dit licht.

- $\lambda = c \cdot T$ en $T = \frac{1}{f} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$
- $\lambda = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{6,0 \cdot 10^{14}} = 4,9965 \cdot 10^{-7} = 5,00 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad (500 \text{ nm})$

b Leg uit waarom details kleiner dan één millimeter wazig op de foto staan.

- vergroting is 1000 \rightarrow 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

2*** 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
- hoe groter de afbuiging 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
- het rode licht spreidt zich meer uit over de pixels
- dit geeft rode randen bij de kleinste details

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

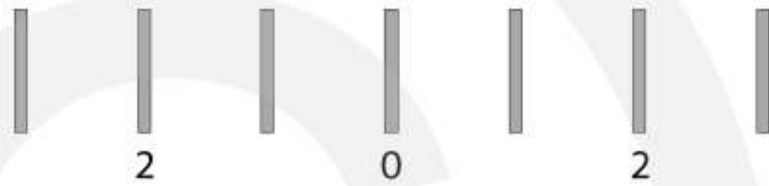
- oppervlakte van de beeldchip is $25 \cdot 36 = 900 \text{ mm}^2$
- aantal pixels per mm^2 is $\frac{3,6 \cdot 10^{10}}{900} = 4,0 \cdot 10^7$
- oppervlakte van één pixel is $\frac{1}{4,0 \cdot 10^7} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^2$
- pixels zijn vierkant \rightarrow lengte en breedte: $\sqrt{2,5 \cdot 10^{-8}} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

- 3****
- a** Bereken de tralieconstante.
- 600 lijnen per mm is $600 \cdot 10^3$ lijnen per meter
 - $\frac{1}{600 \cdot 10^3} = 1,66667 \cdot 10^{-6} \rightarrow d = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken het aantal lijnen per mm.

- $\frac{1}{2,00 \cdot 10^{-6}} = 5,0 \cdot 10^5$ lijnen per meter
- dit is 500 lijnen per mm

- 4*****
- a** Geef aan welke lijnen horen bij de 2^e orde lichtbundels.



b Bereken de tralieconstante.

- $\alpha = 29,538^\circ \mid n = 2 \mid \lambda = 493 \cdot 10^{-9} \text{ m} \mid d = \dots \text{ m}$
- $\sin 29,538 = 0,493$
- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$
- $0,493 = \frac{2 \cdot 493 \cdot 10^{-9}}{d} \rightarrow d = \frac{2 \cdot 493 \cdot 10^{-9}}{0,493} = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

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

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

- 5*****
- a** Geef aan welke lijnen horen bij de groene en welke bij de rode lichtbundel.
- bij er onderste serie staan de lijnen verder uit elkaar \rightarrow meer spreiding
 - bij er onderste serie hoort de grootste golflengte
 - bij er onderste serie komt van de rode lichtbundel

b Bereken de golflengte van de rode lichtbundel.

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

6***

a Toon aan dat de afstand tussen de spleten van de tralie $1,667 \cdot 10^{-6}$ m is.

- 600 lijnen per mm = $600 \cdot 1000 = 6,0 \cdot 10^5$ lijnen per meter
- $d = \frac{1}{6,0 \cdot 10^5} = 1,667 \cdot 10^{-6}$ m

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

- $n=1$ | $\lambda = 532 \cdot 10^{-9}$ m | $d = 1,667 \cdot 10^{-6}$ m | $\alpha = \dots^\circ$

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$

- $\sin \alpha = \frac{532 \cdot 10^{-9}}{1,667 \cdot 10^{-6}} = 0,3192$

- $\alpha = 18,61455 = 18,6^\circ$

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

- $\sin \alpha = \frac{2 \cdot 532 \cdot 10^{-9}}{1,6667 \cdot 10^{-6}} = 0,6384$

- $\alpha = 39,67261 = 39,7^\circ$

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

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

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

- antwoord bij a: $\alpha = 18,61455$ graden

- $\tan \alpha = \frac{x}{\ell}$ met $\ell = 2,00$ m

- $\tan 18,61455 = \frac{x}{2,0} \rightarrow x = 0,67364 = 0,674$ 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 $\ell = 2,00$ m

- $\tan 39,67261 = \frac{x}{2,0} \rightarrow x = 1,65882$ m (= afstand tussen 0^e en 2^e orde bundel)

- afstand tussen 1^e en 2^e orde bundel is $1,65882 - 0,67364 = 0,985$ m

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

- de hoek tussen de bundels neemt toe bij groter wordende orde
- de afstand wordt groter

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

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d} \quad | \quad n = 1$
- $d = 1 / 300.000 = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,201$
- $\alpha = 11,59544^\circ$
- $\tan \alpha = \frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}}$
- $\tan 11,59544 = \frac{0,20}{x}$
- $x = 0,20 / \tan 11,59544 = 0,974718 = 0,975 \text{ m}$

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

• **2^e orde stip**

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d} \quad | \quad n = 2$
- $d = 1 / 300.000 = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{2 \cdot 670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,402$
- $\alpha = 23,70327^\circ$
- $\tan 23,70327 = \frac{x}{0,974718}$
- $x = 0,974718 \cdot \tan 23,70327 = 0,427938 \text{ m}$

• **3^e orde stip**

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d} \quad | \quad n = 3$
- $d = 1 / 300.000 = 3,33333 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{3 \cdot 670 \cdot 10^{-9}}{3,33333 \cdot 10^{-6}} = 0,603$
- $\alpha = 37,08506^\circ$
- $\tan 37,08506 = \frac{x}{0,974718} \rightarrow$
- $x = 0,974718 \cdot \tan 37,08506 = 0,736774 \text{ m}$

• **verschil**

- $\Delta x = 0,736774 - 0,427938 = 0,308836 = 0,309 \text{ m (30,9 cm)}$

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

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

8****

a Leg uit wat het voordeel is van het gebruik van de lens.

- de evenwijdige lichtbundel wordt door de tralie afgebogen en verlaat het tralie als evenwijdige lichtbundel
- zonder lens ontstaan er lichtvlekken op het scherm die even groot zijn als het tralie
- de lens zorgt ervoor dat de evenwijdige lichtbundel naar 1 punt in het brandvlak convergeert

b Leg uit hoe deze lijnen ontstaan.

- de spaarlamp zendt niet alle kleuren licht even sterk uit
- rode, groene en blauwe lijnen worden uitgezonden zodat het oog wit licht ervaart

c Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 1$
- $d = \frac{1}{600.000} = 1,66667 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{500 \cdot 10^{-9}}{1,66667 \cdot 10^{-6}} = 0,3 \rightarrow \alpha = 17,4576^\circ$
- $\tan \alpha = \frac{\text{overstaand}}{\text{aanliggend}} \rightarrow \tan 17,4576 = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{x}$
- $x = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{\tan 17,4576} = 7,94949 \cdot 10^{-2} = 7,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

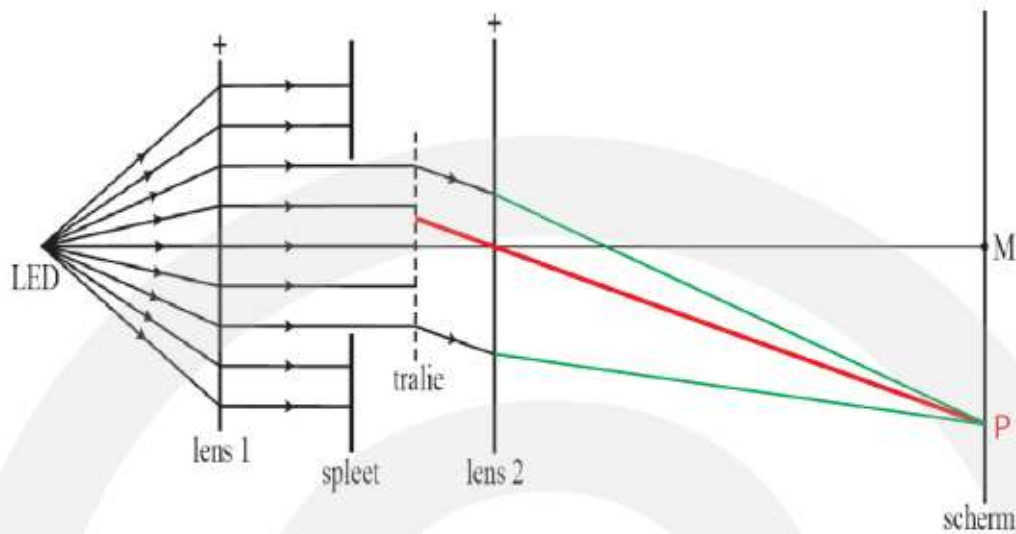
d Bereken de golflengte van deze 2^e orde violette lijn.

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

e 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
- $\frac{2 \cdot \lambda_{\text{rood}}}{d} = \frac{3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}}}{d} \rightarrow 2 \cdot \lambda_{\text{rood}} = 3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}}$
- $2 \cdot 700 = 3 \cdot \lambda_{\text{groenblauw}} \rightarrow \lambda_{\text{groenblauw}} = 467 \text{ nm}$

9**** a Teken in figuur 1 de volledige lichtbundel die vanaf het tralie naar punt P gaat.



b Bereken de golflengte van het licht dat in P scherp wordt afgebeeld.

- $\tan \alpha = \frac{0,10}{0,40} \rightarrow \alpha = 14,03624^\circ$
- $d = \frac{1}{400.000} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin \alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ met $n = 1$
- $\sin 14,03624 = \frac{\lambda}{2,5 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \lambda = 2,5 \cdot 10^{-6} \sin 14,03624 = 6,0634 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 606 \text{ nm}$

c Bereken de resolutie van de meetopstelling.

- herhaal de berekening voor een afstand tussen M en P 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 $d = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- $\sin 14,170977 = \frac{\lambda}{2,5 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \lambda = 2,5 \cdot 10^{-6} \sin 14,17098 = 6,12040 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- $\Delta \lambda = 6,120407 \cdot 10^{-7} - 6,06339 \cdot 10^{-7} = 5,7017 \cdot 10^{-9} = 5,7 \text{ nm}$

13.2 Elektromagnetische straling

1*

| | hoorbaar geluid in lucht | zichtbaar licht in vacuüm |
|----------------------------|--|--|
| voortplantingssnelheid | $3,42 \cdot 10^2$ m/s | $3,0 \cdot 10^8$ m/s |
| is er een medium nodig? | ja | nee |
| de frequentie bepaalt | de toonhoogte | de kleur |
| het frequentiebereik is | 20 – 20.000 Hz | $4,5 \cdot 10^{14}$ – $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz |
| het golflengtebereik is | $1,7 \cdot 10^{-2}$ – $1,7 \cdot 10^1$ m | $4,0 \cdot 10^{-7}$ – $7,0 \cdot 10^{-7}$ m |
| soort golf (trans of long) | longitudinaal | transversaal |
| wordt veroorzaakt door | trillen van atomen | trillen van lading |
| terugkaatsingswet geldt? | ja | ja |
| wet van Snellius geldt? | ja | ja |
| kan interfereren | ja | ja |

2**

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.

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

c Wat is totale reflectie? Hint: denk aan het hoofdstuk over licht.

- totale reflectie treedt op als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:
 - er is een grensvlak van stof A naar stof B
 - de brekingsindex van stof A is groter dan de brekingsindex van stof B
 - de hoek van inval is boven een bepaalde waarde, de grenshoek.

d Toon aan dat de brekingsindex geen eenheid heeft.

- $v_{\text{golf}} = \frac{c}{n} \rightarrow n = \frac{c}{v_{\text{golf}}}$
- eenheden invullen: $[n] = \frac{\text{m/s}}{\text{m/s}} \rightarrow$ m en s wegstrepen in teller en noemer
- n heeft geen eenheid

e Leg uit of in de dampkring de snelheid van EM-straling op grote hoogte groter, kleiner, of gelijk is dan de snelheid van EM-straling vlakbij het aardoppervlak?

- totale reflectie gebeurt hoog in de dampkring
- de brekingsindex van lucht dicht bij het aardoppervlak is groter dan de brekingsindex van lucht hoog in de dampkring

- hoe kleiner de brekingsindex hoe groter de golfsnelheid is
- lucht hoog in de dampkring heeft een grotere voortplantingssnelheid
- dit komt omdat de luchtdruk, en dus de concentratie van moleculen, hoog in de dampkring lager is dan bij het aardoppervlak

3* a** Bereken de golflengte van deze radiogolven.

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

b Geef een verklaring voor dit verschijnsel.

- de radiogolven buigen om gebouwen en auto's heen en interfereren met elkaar
- er ontstaan knopen (zwak signaal) en buiken (sterk signaal)
- afstand tussen een knoop en een buik is $\frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{4} \cdot 3,10 = 0,775 \text{ m}$
- door de auto 77,5 cm te verplaatsen wordt het signaal sterker

4* 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 een verklaring voor dit verschijnsel.

- 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.

- afstand tussen een knoop en een buik is $\frac{1}{4}\lambda = \frac{1}{4} \cdot 0,12 = 0,030 \text{ m}$ (3,0 cm)

5* a** Bereken de golflengte van de 900 MHz en van de 1800 MHz band.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda \quad | \quad f = 900 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 900 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,3331 = 0,333 \text{ m}$
- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda \quad | \quad f = 1800 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- $2,99792 \cdot 10^8 = 1800 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,166551 = 0,1666 \text{ m}$ (4 sign. cijfers)

b Leg uit waarom in gebouwen de 900 MHz band beter is te ontvangen dan de 1800 MHz band.

- 900 MHz golven hebben een grotere golflengte dan 1800 MHz golven
- 900 MHz golven buigen gemakkelijker om voorwerpen heen
- 900 MHz golven worden minder snel gehinderd

6****

a Leg uit waarom dit het geval is.

- aarde en mars draaien beide om de zon maar met een andere omlooptijd

b Bereken de kleinste en de grootste afstand tussen Aarde en Mars.

- kleinste afstand → aarde en mars staan aan dezelfde kant van de zon
- grootste afstand → de zon bevindt zich tussen aarde en mars
- afstand zon – aarde is $0,1496 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)
- afstand zon – mars is $0,2278 \cdot 10^{12}$ m (Binas 31)
- kleinste afstand is $0,2278 \cdot 10^{12} - 0,1496 \cdot 10^{12} = 7,820 \cdot 10^{10}$ m
- grootste afstand is $0,2278 \cdot 10^{12} + 0,1496 \cdot 10^{12} = 3,774 \cdot 10^{11}$ m

c Bereken na hoeveel minuten de astronauten op zijn vroegst antwoord kunnen verwachten.

- gemiddelde afstand $s_{\text{gem}} = \frac{7,820 \cdot 10^{10} + 3,774 \cdot 10^{11}}{2} = 2,278 \cdot 10^{11}$ m
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ | $v_{\text{gem}} = c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s
- $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ | $2,278 \cdot 10^{11} = 2,99792 \cdot 10^8 \cdot t \rightarrow t = 759,86$ s
- signaal heen en terug → $t = 2 \cdot 759,86 = 1519,72$ s
- aantal minuten: $\frac{1519,72}{60} = 25,3287 = 25,33$ minuten (4 sign. cijfers)

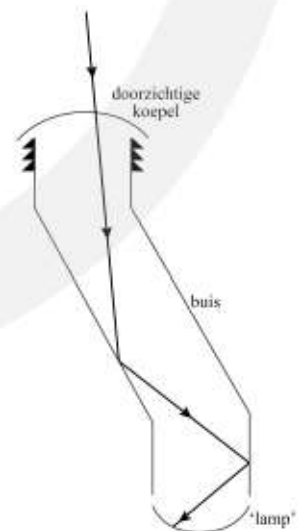
7****

Zonnelamp

a Construeer het vervolg van de lichtstraal tot aan de 'lamp'.

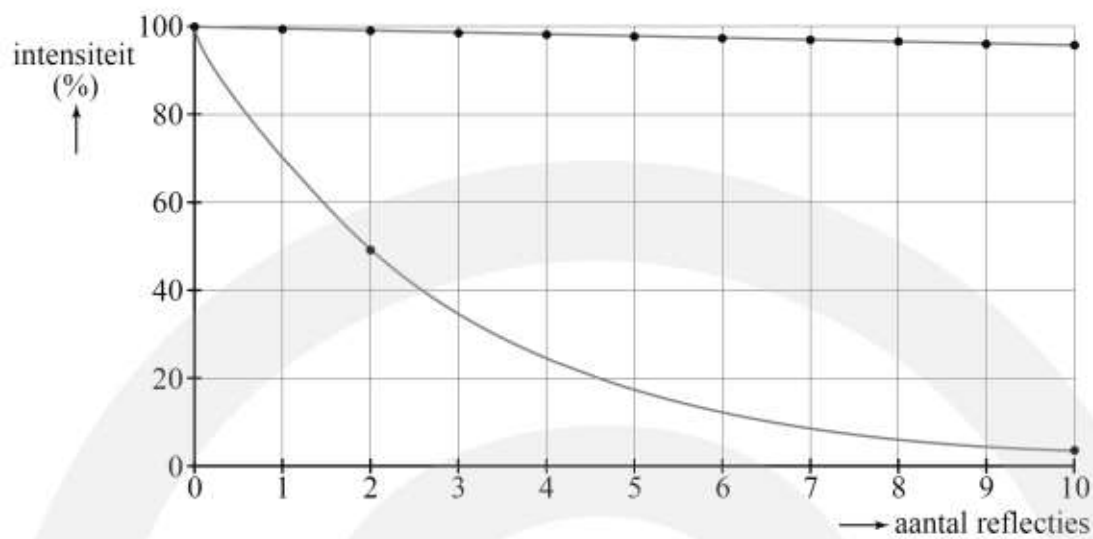
b Geef aan welke manier de juiste is. Licht je antwoord toe, waar nodig met een berekening.

- invallen van lucht naar stof → breking naar de normaal toe
- alleen de tweede straal van boven is goed → alleen B en C voldoen
- van stof naar lucht: breking van de normaal af → B en C voldoen beide
- $n_i \cdot \sin i = n_r \cdot \sin r$
- opzoeken: $n_i = n_{\text{acryl}} = 1,491$ | $n_r = n_{\text{lucht}} = 1,0$
- opmeten: hoek $i = 30^\circ$
- $1,491 \cdot \sin 30 = 1,0 \cdot \sin r \rightarrow r = 48,2^\circ$
- opmeten in figuur → lichtstraal B is juist



c Teken in figuur 6 de grafiek voor chroom van 0 tot 10 reflecties. Bereken hiervoor de percentages bij 2 en 10 reflecties.

- bij 2 reflecties: $I = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 = 49\%$
- bij 10 reflecties: $I = 0,7^{10} = 0,0282 = 2,82\%$



- d** Noem aan de hand van de grafieken twee verschillen tussen de straling die via de buis de kamer in kan komen en de straling van zonlicht. Licht bij elk verschil toe of dat een voordeel of een nadeel van de zonnelamp is.
- via de buis komt minder UV straling in de kamer dan bij zonlicht
 - voordeel: je kunt niet verbranden / geen huidkanker
 - nadeel: je huid kan zonder UV licht geen vitamine D aanmaken
 - via de buis komt minder IR straling in de kamer dan bij zonlicht
 - voordeel: in de zomer komt er minder warmte binnen
 - nadeel: in de winter komt er minder warmte binnen

13.3 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 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 λ_{\max} van de EM-straling die wordt uitgestraald.
- $T = 37,0 \text{ }^\circ\text{C} = 310,15 \text{ K}$ | $\lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
 - $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
 - $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{310,15} = 9,343131 \cdot 10^{-6} = 9,34 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- b** Bereken de frequentie van deze straling.
- $\lambda = 9,34312 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ | $f = \dots \text{ Hz}$
 - $c = f \cdot \lambda$
 - $2,99792458 \cdot 10^8 = f \cdot 9,343 \cdot 10^{-6} \rightarrow f = 3,21 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$
- 4****
- a** Controleer of de informatie in de figuur klopt.
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{3620} = 8,0049 \cdot 10^{-7} = 800 \text{ nm} \rightarrow$ klopt niet
 - $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{2070} = 1,39989 \cdot 10^{-6} = 1400 \text{ nm} \rightarrow$ 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.

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow 380 \cdot 10^{-9} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{T}$
- $T = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{380 \cdot 10^{-9}} = 7,625716 \cdot 10^3 = 7626 \text{ K}$

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

- λ_{\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 voor beide straalkachels.

- straalkachel links geeft geel-oranje licht van ongeveer 600 nm
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow 600 \cdot 10^{-9} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{T} \rightarrow T = 4,8 \cdot 10^3 \text{ K}$
- straalkachel links geeft rood licht van ongeveer 700 nm
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow 700 \cdot 10^{-9} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{T} \rightarrow T = 4,1 \cdot 10^3 \text{ K}$
- beide temperaturen zijn hoger dan het smeltpunt van nichroom

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

- $T = 1000^\circ = 1273,15 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{1273,15} = 2,276 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken de golflengte λ_{\max} van de EM-straling die de buitenkant uitzendt.

- $T = 70 + 273,15 = 343,15 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{343,15} \rightarrow \lambda_{\max} = 8,4446 \cdot 10^{-6} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

6** a Bereken de temperatuur van het lava in graden Celsius.

- $\lambda_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad | \quad T = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
- $2,0 \cdot 10^{-6} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{T} \rightarrow T = 1448,886 \text{ K}$
- $T = 1448,886 \text{ K} = 1722 = 1,7 \cdot 10^3 \text{ } ^\circ\text{C}$

b Waarom zie je dat het lava oranje licht uitstraalt?

- $\lambda_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- bij golflengten kleiner dan λ_{\max} wordt ook licht uitgestraald
- het deel waarbij $\lambda < 700 \text{ nm}$ zie je als oranje / rood licht

7** 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

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

- $\lambda_{\max} = 1,0634 \cdot 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$ dit zijn microgolven

b Bereken de temperatuur die bij deze achtergrondstraling hoort.

- $\lambda_{\max} = 1,0634 \text{ mm} = 1,0634 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad | \quad T = \dots \text{ K}$

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$

- $1,0634 \cdot 10^{-3} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{T} \rightarrow T = 2,7250 \text{ K}$

c Bereken het verschil λ_{\max} tussen de gebieden met de hoogste en met de laagste temperatuur.

- $T_{\min} = 2,725 - 0,004 = 2,721 \text{ K}$

- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{2,721} = 1,0649659 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,0649659 \text{ mm}$
- $T_{\min} = 2,725 + 0,004 = 2,729 \text{ K}$
- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{2,729} = 1,061844 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,061844 \text{ mm}$
- verschil: $\Delta\lambda_{\max} = 1,0649659 - 1,061844 = 3,1219 \cdot 10^{-3} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

De wet van Stefan-Boltzmann

9***

a Toon dit aan.

- $T = 5780 \text{ K} \quad | \quad \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
- $\lambda_{\max} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{5780} = 5,0134 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 501 \text{ nm}$
- aflezen $\lambda_{\max} \approx 500 \text{ nm} \rightarrow$ klopt

b Toon dit aan.

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

c Bereken hoeveel vermogen één vierkante meter van de zon uitstraalt.

- $T = 5,78 \cdot 10^3 \text{ K} \quad | \quad A = 1 \text{ m}^2 \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (5,78 \cdot 10^3)^4 \rightarrow P = 6,329 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$

d Bereken de oppervlakte van de zon.

- $P = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W} \quad | \quad I = 6,329 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 \quad | \quad A_{\text{bron}} = \dots \text{ m}^2$
- vermogen = intensiteit \times oppervlakte $\rightarrow P = I \cdot A$
- $3,85 \cdot 10^{26} = 6,329 \cdot 10^7 \cdot A_{\text{bron}} \rightarrow A_{\text{bron}} = 6,083 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$

e Bereken de straal van de zon.

- $A = 4\pi \cdot r^2$
- $6,038 \cdot 10^{18} = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow r = 6,9576 \cdot 10^8 = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$

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

- $T = 15,5 \cdot 10^8 \text{ K} \quad | \quad \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{15,5 \cdot 10^8} = 1,86953 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,187 \text{ nm}$

g Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

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

10***

a Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.

- $V_{\text{bol}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$
- $r_{\text{betel}} = 700 \cdot r_{\text{zon}}$
- de zon past $700^3 = 3,43 \cdot 10^8$ keer in Betelgeuze

b Hoe kun je aan de figuur zien dat Betelgeuze een lage temperatuur heeft?

- Betelgeuze straalt rood licht uit $\rightarrow \lambda_{\max}$ is groot

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$

- λ_{\max} is groot, k_W is constant $\rightarrow T$ is klein

c Bereken de golflengte λ_{\max} van het licht dat Betelgeuze uitzendt.

- $T = 3,6 \cdot 10^3 \text{ K} \mid \lambda_{\max} = \dots \text{ m}$

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$

- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot 10^3} = 8,049367 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 805 \text{ nm}$

d Is de temperatuur bij deze vlekken hoger of lager buiten deze vlekken?

- de kleur van de vlekken is geleer dan erbuiten
- de vlekken hebben een hogere temperatuur

e Toon dit aan.

- $A = 4\pi \cdot r^2$

- $r_{\text{betel}} = 700 \cdot r_{\text{zon}} \rightarrow A_{\text{betel}} = 700^2 \cdot A_{\text{zon}} = 4,9 \cdot 10^5 \cdot A_{\text{zon}} \rightarrow$

f Welke ster straalt per seconde het meeste energie uit, Betelgeuze of de zon?

- $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$

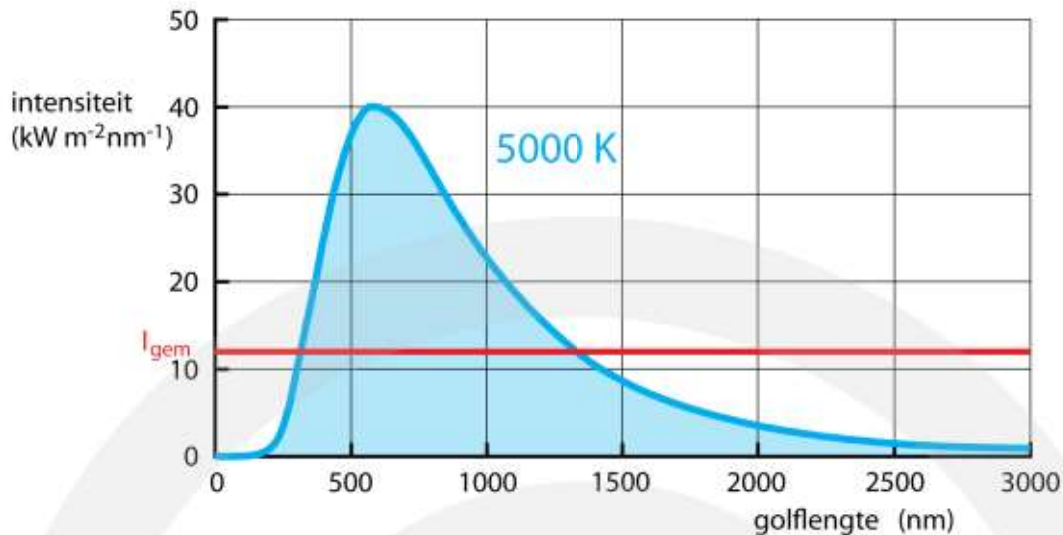
- $\frac{P_{\text{betel}}}{P_{\text{zon}}} = \frac{\sigma \cdot A_{\text{betel}} \cdot T_{\text{betel}}^4}{\sigma \cdot A_{\text{zon}} \cdot T_{\text{zon}}^4} = \left(\frac{A_{\text{betel}}}{A_{\text{zon}}} \right) \cdot \frac{T_{\text{betel}}^4}{T_{\text{zon}}^4}$

- $\frac{A_{\text{betel}}}{A_{\text{zon}}} = 4,9 \cdot 10^5$

- $\frac{P_{\text{betel}}}{P_{\text{zon}}} = 4,9 \cdot 10^5 \cdot \frac{(3,6 \cdot 10^3)^4}{(5,78 \cdot 10^3)^4} = 7,37 \cdot 10^4$
- Betelgeuze straalt per seconde $7,37 \cdot 10^4$ keer meer energie uit dan de zon

11***

- a** Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Wien.
- $T = 5000 \text{ K} \quad | \quad \lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_W}{T}$ met $k_W = 2,8977721 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$
 - $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{5000} = 5,795544 \cdot 10^{-7} = 580 \text{ nm}$
 - dit komt overeen met het maximum van de grafiek
- b** Wat is de natuurkundige betekenis van het oppervlakte onder de grafiek?
- bepaal de eenheid van de oppervlakte onder de grafiek
 - $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{nm} = \text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$
 - het oppervlakte onder de grafiek is vermogen per vierkante meter
- c** Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Stefan-Boltzmann.
- $A = 1 \text{ m}^2 \quad | \quad T = 5000 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
 - $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$
 - $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 5000^4 = 3,54398 \cdot 10^7 \text{ W}$ (per vierkante meter)
 - tel het aantal hokjes onder de grafiek $\rightarrow 7,1$ hokjes
 - één hokje is 5000 kW m^{-2}
 - oppervlak is $7,1 \cdot 5000 = 3,55 \cdot 10^4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} = 3,55 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow$ 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
 - $I_{\text{gem}} = 3000 \cdot 12 \cdot 10^3 = 3,6 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
 - $P = 3,6 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow$ er is 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
- het oppervlak 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 $1,296 \cdot 10^{-5}$ keer zo groot

12***

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

- $T = 33 + 273,15 = 306,15 \text{ K} \mid A_{\text{bron}} = 1,0 \text{ m} \mid P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (306,15)^4 = 498,137 = 498 \text{ W}$

b Schat hoeveel stralingsenergie een mens per seconde uitzendt.

- beschouw een mens als cilinder met straal 0,20 m en hoogte 1,7 m
- $A = \pi r^2 \cdot h$
- $A = 2\pi \cdot 0,2 \cdot 1,7 = 2,136 \text{ m}^2 \rightarrow A \approx 2 \text{ m}^2$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot (306,15)^4 = 996,2737 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ W}$

c Hoeveel kilojoule is dit per dag?

- $t = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ s}$ | $P = 1009,354 \text{ W}$ | $E = \dots \text{ J}$
- $E = P \cdot t$
- $E = 996,2737 \cdot 86400 = 8,6078 \cdot 10^7 = 8,61 \cdot 10^4 \text{ kJ}$

d Bereken hoeveel energie je per dag uitstraal in kilocalorieën.

- één calorie is 4,184 J
- $E(\text{cal}) = \frac{8,6078 \cdot 10^7}{4,184} = 2,057315 \cdot 10^7 \text{ cal} = 2,057 \cdot 10^4 \text{ kilocalorie}$

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: $A = 2,0 \text{ m}^2$ en $T = 298,15 \text{ K}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot (298,15)^4 = 896,15 \text{ W}$
- uitstaling is 996,2737 W
- verschil: $996,2737 - 896,15 = 100,12 = 100 \text{ W}$

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

- $t = 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400 \text{ s}$ | $P = 88,04 \text{ W}$ | $E = \dots \text{ J}$
- $E = P \cdot t$
- $E = 100 \cdot 86400 = 8,64 \cdot 10^6 \text{ J}$
- $E(\text{cal}) = \frac{8,64 \cdot 10^6}{4,184} = 2,065 \cdot 10^6 \text{ cal} = 2065 \text{ kilocalorie}$

h Hoeveel is dit in vergelijking met de voeding van 2000 kilocalorieën per dag?

- dit is vrijwel gelijk aan elkaar
- de meeste energie uit voeding is nodig om het lichaam op temperatuur te houden

13***

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

- de huidoppervlak schaalt met het kwadraat van de lengte
- lengte 100 : 1
- 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

- 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 minder 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

14*** **a** Bereken het uitgestraalde vermogen van het stuk glas.

- $m = 6,0 \text{ kg} \quad | \quad \rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad | \quad V = \dots \text{ m}^3$
- $\rho = \frac{m}{V}$
- $2,5 \cdot 10^3 = \frac{6}{V} \rightarrow V = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- 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: $A = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow A = 4\pi \cdot (8,30566 \cdot 10^{-2})^2 = 8,668786 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 8,668786 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 950 + 273,15 = 1223,15 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 8,668786 \cdot 10^{-2} \cdot (1223,15)^4 = 1,100243 \cdot 10^4 = 1,10 \cdot 10^4 \text{ W}$

b Bereken de stralingsintensiteit bij het gezicht.

- $P = 1,100243 \cdot 10^4 \text{ W} \quad | \quad r = 0,90 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W/m}^2$
- $A = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow A = 4\pi \cdot 0,9^2 = 10,17876 \text{ m}^2$
- $I = \frac{P}{A}$
- $I = \frac{1,100243 \cdot 10^4}{10,17876} = 1,08092 \cdot 10^3 = 1,1 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$

c Bereken de stralingsintensiteit bij de toeschouwers.

- $P = 1,100243 \cdot 10^4 \text{ W} \quad | \quad r = 3,5 \text{ m} \quad | \quad I = \dots \text{ W/m}^2$
- $A = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow A = 4\pi \cdot 3,5^2 = 153,938 \text{ m}^2$
- $I = \frac{P}{A} \rightarrow I = \frac{1,100243 \cdot 10^4}{153,938} = 71,4731 = 71 \text{ W/m}^2$

15****

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: $A = 2\pi \cdot r \cdot \ell$
- $A = 2\pi \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,58 = 8,3817692 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 8,3817692 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ | $P = 60 \text{ W}$ | $T = \dots \text{ K}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $60 = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 8,3817692 \cdot 10^{-5} \cdot T^4 \rightarrow T = 1884,955 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ K}$

b Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

- $T = 3,6 \cdot 10^3 \text{ K}$ | $\lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$
- $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_W}{T}$
- $\lambda_{\text{max}} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{1884,955} = 1,537316 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

c Bereken de oppervlakte van de gloeidraad.

- $P = 100 \text{ W}$ | $T = 2500 + 273,15 = 2773,15 \text{ K}$ | $A_{\text{bron}} = \dots \text{ m}^2$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $100 = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot A_{\text{bron}} \cdot 2773,15^4 \rightarrow A_{\text{bron}} = 2,981913 \cdot 10^{-5} = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

d Bereken de stroomsterkte door de gloeilamp.

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

e Bereken de weerstand van de gloeilamp.

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

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.

- $R = 529 \Omega$ | $\rho = 847 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m}$ | $A_{\text{bron}} = 2,981913 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ | $r = \dots \text{ m}$
- $R = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi^2 \cdot r^3}$

- $529 = 847 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2,981913 \cdot 10^{-5}}{2\pi^2 \cdot r^3} \rightarrow r^3 = 847 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2,981913 \cdot 10^{-5}}{2\pi^2 \cdot 529}$
- $r^3 = 2,418761 \cdot 10^{-15} \rightarrow r = 1,34234553 \cdot 10^{-5} = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
- $d = 2 \cdot r \rightarrow d = 2 \cdot 1,34234553 \cdot 10^{-5} = 2,684691 \cdot 10^{-5} = 2,684691 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

h Bereken de lengte van de wolframdraad.

- $A_{\text{bron}} = 2,981913 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \mid r = 1,34234553 \cdot 10^{-5} \text{ m} \mid \ell = \dots \text{ m}$
- $A_{\text{bron}} = 2\pi \cdot r \cdot \ell$
- $2,981913 \cdot 10^{-5} = 2\pi \cdot 1,34234553 \cdot 10^{-5} \cdot \ell \rightarrow \ell = 0,35355 = 0,354 \text{ m}$

16* a** Hoeveel gram stearine wordt er per minuut verbrand?

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

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

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

- $P = 80 \text{ W} \mid I = 2,5 \text{ W/m}^2 \mid A = \dots \text{ m}^2$
- $I = \frac{P}{A}$
- $2,5 = \frac{80}{A} \rightarrow A = 32 \text{ m}^2$
- oppervlakte bol: $A = 4\pi \cdot r^2$
- $32 = 4\pi \cdot r^2 \rightarrow r = 1,59577 = 1,6 \text{ m}$

17* a** Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

- opzoeken: smeltpunt ijzer is 1811 K
- $0,7 \cdot 1811 = 1267,7 \text{ K}$
- $T = 1267,7 \text{ K} \mid \lambda_{\text{max}} = \dots \text{ m}$

- $\lambda_{\max} = \frac{k_W}{T}$
- $\lambda_{\max} = \frac{2,8977721 \cdot 10^{-3}}{1267,7} = 2,28585 \cdot 10^{-6} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b Bereken de stralingsintensiteit op een afstand van 80 cm.

- $A_{\text{bron}} = 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 1267,7 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot 1267,7^4 \rightarrow P = 585,7841 \text{ W}$
- oppervlakte bol: $A = 4\pi \cdot r^2$
- $A = 4\pi \cdot 0,8^2 = 8,042477 \text{ m}^2$
- $P = 585,7841 \text{ W} \quad | \quad A = 8,042477 \text{ m}^2 \quad | \quad I = \dots \text{ W/m}^2$
- $I = \frac{P}{A}$
- $I = \frac{585,7841}{8,042477} = \rightarrow I = 72,83628 = 73 \text{ W/m}^2$

c Leg uit waarom dit het geval is.

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

d Met welke factor neemt de afkoelsnelheid af tijdens het afkoelen van 1200 °C naar 600 °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: $A = \pi \cdot r^2$
- $A = \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{-2})^2 = 7,068583 \text{ m}^2$
- $A_{\text{bron}} = 7,068583 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad | \quad T = 950 + 273,15 = 1223,15 \text{ K} \quad | \quad P = \dots \text{ W}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$
- $P = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 7,068583 \cdot 10^{-4} \cdot 1223,15^4 \rightarrow P = 89,7146 = 90 \text{ W}$

b Bereken de temperatuur van de buitenwanden van de oven.

- buitenwanden: $A = (2 \cdot 0,26 \cdot 0,3) + (2 \cdot 0,25 \cdot 0,3) + (2 \cdot 0,25 \cdot 0,26) = 0,436 \text{ m}^2$
- $P = 1200 - 89,7146 = 1110,2854 \text{ W} \quad | \quad A_{\text{bron}} = 0,436 \text{ m}^2 \quad | \quad T = \dots \text{ K}$
- $P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$

- $1110,2854 = 5,670373 \cdot 10^{-8} \cdot 0,436 \cdot T^4 \rightarrow T = 460,3457 \text{ K}$
- $T = 460,3457 - 273,15 = 187,1957 = 187 \text{ °C}$

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

Fotonen

19* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

$$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} \leftrightarrow f = 7,54595 \cdot 10^{14} \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{7,54595 \cdot 10^{14}} = 397,289 \cdot 10^{-7} = 397 \text{ nm}$$

20* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

21* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

22* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

23** 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 (de lading van een elektron)
- $E_f(\text{J}) = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow E_f(\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$

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

13.4 Absorptie en emissie van licht

- 1**
- a** Leg uit wat je waarneemt als je keukenzout in een gasvlam strooit.
- er wordt geel licht uitgezonden
- b** Leg uit hoe je een absorptiespectrum kunt meten. Maak gebruik van een tekening.
- **materiaal**: lichtbron met wit licht – bunsenbrander – NaCl – tralie – scherm om spectrum af te beelden (of een fotocamera)
 - **methode**: wit licht gaat door de vlam → strooi NaCl in de vlam → nadat het witte licht door de vlam is gegaan gaat het door een tralie → het licht dat door de tralie is gegaan projecteer je op een muur of fotografeer met een camera
 - **schets**: **doen**
- c** Schets het absorptiespectrum dat je verwacht als er natriumatomen aanwezig zijn in de vlam.
- het spectrum bevat alle kleuren, behalve de gele lijn van het natrium
 - alleen het gele licht is geabsorbeerd, alle andere golflengten zijn aanwezig
- d** Schets de opstelling waarmee je het emissiespectrum kunt meten.
- het gele licht dat wordt uitgestraald vang je op met een positieve lens
 - zorg er voor dat je niet ook het witte licht van de lamp opvangt
 - het uitgestraalde licht stuur je door een tralie
 - achter de tralie plaats je een scherm of een fotocamera
- e** Schets het emissiespectrum dat je verwacht als er natriumatomen aanwezig zijn in de vlam.
- twee scherpe lijnen bij 589 en 590 nm (geel licht)
- 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 zonnenspectrum worden door de corona uitgestraald
- c** Leg uit waarom er een verschil is tussen het spectrum van zonlicht gemeten buiten de dampkring en het spectrum van zonlicht 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** Leg uit hoe je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp wit licht uitzendt.
- over het zichtbare gebied 400 – 700 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 700 nm heet infrarood licht
 - aan het X-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 bij 480 nm
- d** Leg uit waarom het licht uit een Xe-lamp gevaarlijker is dan zonlicht.
- een Xe-lamp zendt relatief veel UV-licht uit met $\lambda < 400$ nm

- 5*****
- 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 lading van elektron $1,6021765 \cdot 10^{-19}$

- $E_f(\text{eV}) = \frac{2,97372 \cdot 10^{-19}}{1,6021765 \cdot 10^{-19}} = 1,86 \text{ eV}$

d Bereken hoeveel fotonen met $\lambda = 668 \text{ nm}$ er per seconde op het netvlies moeten vallen om het licht 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 = $1,7 \cdot 10^{-18} / 2,97372 \cdot 10^{-19} = 5,7$ fotonen per seconde

6****

a Bereken de golflengte van de fotonen die worden uitgezonden als een elektron overspringt van 12,75 eV naar 10,20 eV.

- $\Delta E = E_{\text{eind}} - E_{\text{begin}} \rightarrow \Delta E = 10,2 - 12,75 = -2,55 \text{ eV}$

(- teken geeft aan dat er energie vrij komt)

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

- $2,55 = \frac{6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792 \cdot 10^8}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot \lambda} \rightarrow \lambda = 486,21 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 486 \text{ nm}$

b Welke lijn in figuur 1 hoort bij deze overgang?

- lijn met magenta kleur

c Bereken de golflengte van de fotonen die worden uitgezonden als een elektron overspringt van 12,09 eV naar 10,20 eV.

- $\Delta E = E_{\text{eind}} - E_{\text{begin}} \rightarrow \Delta E = 10,2 - 12,09 = -1,89 \text{ eV}$

(- teken geeft aan dat er energie vrij komt)

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

- $1,89 = \frac{6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792 \cdot 10^8}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot \lambda} \rightarrow \lambda = 655,999 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 656 \text{ nm}$

d Welke lijn in figuur 1 hoort bij deze overgang?

- lijn met rode kleur

e Geef in figuur 1 aan welke lijn bij deze overgang hoort.

- de lijn bij 434 nm

f Bereken de energie van de fotonen in elektronvolt van de fotonen die bij deze overgang hoort.

- $\lambda = 434 \text{ nm} = 434 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

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

- $E_f(\text{eV}) = \frac{6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2,99792 \cdot 10^8}{1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot 434 \cdot 10^{-9}} \rightarrow E_f = 2,85677 = 2,86 \text{ eV}$

g Bereken de energie van het onbekende energieniveau.

- $\Delta E = E_{\text{eind}} - E_{\text{begin}}$
- $-2,85677 = 10,20 - E_{\text{begin}} \rightarrow E_{\text{begin}} = 10,20 + 2,85677 = 1,30568 = 1,306 \text{ eV}$

h Leg uit of deze lijn tot de Lymanreeks kan horen.

- de minste energie van de Lymanreeks is 10,20 eV
- dit geeft een lijn met een golflengte van 121,5 nm
- de lijn in figuur 1 heeft een golflengte van 410 nm
- fotonen met 410 nm hebben minder energie dan fotonen met 121,5 nm
- de lijn bij 410 nm kan dus niet tot de Lymanreeks horen

13.5 Draadloze communicatie

1** a Bereken de langste en de kortste golflengte van de draaggolf van de FM-zenders.

- EM-straling: $\lambda = c \cdot T \rightarrow \lambda = c / f$ met $c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s
- 87,5 MHz: $\lambda = 2,99792 \cdot 10^8 / 87,5 \cdot 10^6 = 3,42617 = 3,43$ m
- 108 MHz: $\lambda = 2,99792 \cdot 10^8 / 108 \cdot 10^6 = 2,7758 = 2,78$ m

b Bereken de frequentie van Radio Veronica.

- EM-straling: $\lambda = 538$ m | $c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s
- $\lambda = c \cdot T \rightarrow \lambda = c / f$
- $538 = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{f} \rightarrow f = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{538}$
- $f = 5,5723 \cdot 10^5 = 5,57 \cdot 10^5$ Hz = 0,557 MHz

c Welke frequentieband werd door Radio Veronica gebruikt?

- Radio Veronica gebruikte de middengolfband (0,5 – 2 MHz)

2** a Bereken de golflengte van deze EM-straling.

- EM-straling: $\lambda = c \cdot T \rightarrow \lambda = c / f$ met $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s
- 1575,42 MHz: $\lambda = \frac{2,99792458 \cdot 10^8}{1575,42 \cdot 10^6} = 0,190293673 = 0,190294$ m

6 significante cijfers

3**** a Bereken de golflengte die nodig is om een radiosignaal van Amsterdam naar New York te versturen.

- dempingsfactor = $10^{-4} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r} \right)^2$; dempingsfactor = $3,0 \cdot 10^{-16}$

- $r = 5868$ km = $5,868 \cdot 10^6$ m

- $3,0 \cdot 10^{-16} = 10^{-4} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^6} \right)^2$

- links en rechts delen door 10^{-4} : $3,0 \cdot 10^{-12} = \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^6} \right)^2$

- links en rechts de wortel nemen: $\sqrt{3,0 \cdot 10^{-12}} = \frac{\lambda}{4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^6}$

- $\lambda = 4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{3,0 \cdot 10^{-12}} \rightarrow \lambda = 127,72 = 1,3 \cdot 10^2$ m

4^{***}

- a** Leg uit waarom dit het geval is.
- de afstand tussen de satelliet en de antenne is heel groot
 - de hoek tussen de opvallende stralen is vrijwel gelijk aan nul
- b** Leg uit waarom dit voor kleine schotels een beter ontwerp is.
- bij het offset type valt er geen schaduw van de detector op de schotel
 - hierdoor neemt het effectieve oppervlak van de schotel toe
- c** Bereken de versterkingsfactor van de schotel.
- EM-straling: $\lambda = c \cdot T \rightarrow \lambda = c / f$ met $c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s
 - 12.515 MHz: $\lambda = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{12515 \cdot 10^6} = 2,395 \cdot 10^{-2}$ m
 - versterkingsfactor = $\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right)^2$
 - versterkingsfactor = $\left(\frac{\pi \cdot 0,6}{2,395 \cdot 10^{-2}}\right)^2 = 6,194 \cdot 10^3 = 6,2 \cdot 10^3$ (geen eenheid)

5^{***}

- a** Wat is het belangrijkste verschil tussen communiceren met een portofoon en communiceren met een mobiele telefoon?
- bij een portofoon is er rechtstreekse communicatie tussen twee portofoons
 - bij mobiele telefoons verloopt de communicatie via basisstations
- b** Maak een schets van de situatie. Geef aan waar Demi en Tom zich bevinden ten opzichte van de zenders P, Q en R.
- zender P in het noorden is voor Tom zwakker dan voor Demi
 - Tom bevindt zich zuidelijker dan Demi
 - zender Q is het oosten is voor Tom even sterk als voor Demi
 - Tom bevindt zich even ver in het oosten
 - zender R in het zuidwesten is voor Tom sterker dan voor Demi
 - Tom bevindt zich meer naar het westen dan Demi
- c** In welke richting moet Tom lopen om bij Demi te komen?
- Tom moet naar het Noorden lopen

6^{**}

- a** Bepaal de frequentie van het signaal dat wordt verzonden.
- er zijn 20 golven van de draaggolf in één modulatiegolf
 - de modulatie heeft een 20 keer lagere frequentie
 - $150 \cdot 10^3 / 20 = 7,5 \cdot 10^3$ Hz
- b** Geef met een schets aan hoe de EM-golf er dan uitziet.
- zie leerboek voor frequentiemodulatie

- 7****
- a** Hoe groot is de frequentie van de gebruikte draaggolf?
- de frequentie van de draaggolf is 8600 kHz
- b** Hoe groot moet de bandbreedte minstens zijn om geluid tot 20 kHz op de draaggolf te moduleren?
- de bandbreedte moet dan ook minimaal 20 kHz zijn
- 8****
- a** Bereken hoeveel middengolfzenders er maximaal gebruik kunnen maken van deze middengolf band.
- van 531 tot 1602 kHz → frequentieband is $1602 - 531 = 1071$ kHz
 - frequentie afstand tussen twee zenders is 10 kHz
 - er passen $1071 / 10 = 107$ zenders op de frequentieband
- b** Leg uit of de frequentie afstand tussen twee zenders een beperking oplegt aan de maximale signaal frequentie die kan worden uitgezonden?
- de uitgezonden signaalfrequentie kan niet groter zijn dan de afstand tussen twee zenders
 - is de frequentieafstand 10 kHz dan kan er geen signaal van meer dan 10 kHz worden verstuurd
- 9****
- a** Leg uit waarom FM veel minder gevoelig is voor storingen in de atmosfeer dan AM.
- amplitude modulatie: het signaal is gekoppeld aan de intensiteit van de EM-straling
 - als de EM draaggolf wordt verzwakt door storingen in de atmosfeer heeft dit direct invloed op het signaal
 - frequentie modulatie: het signaal is gekoppeld aan de frequentie van de EM-straling
 - als de EM draaggolf wordt verzwakt door storingen in de atmosfeer heeft dit geen invloed op het signaal
- 10*****
- a** Bereken de golflengte van Radio 5 op de AM-band.
- de frequentie van 747 AM is 747 kHz = $747 \cdot 10^3$ Hz
 - $c = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$ met $c = 2,99792 \cdot 10^8$ m/s
 - $\lambda = \frac{2,99792 \cdot 10^8}{747 \cdot 10^3} = 4,01325 \cdot 10^2 = 401$ m
- b** Leg uit waarom voor AM hoge zendmasten moeten worden gebruikt.
- de lengte van een antenne moet $\frac{1}{4}$ keer de golflengte zijn

- omdat bij een AM-band de golflengte groot is moet de zendmast lang zijn
 - lengte van zendmast voor Radio 5: $\frac{\lambda}{4} = \frac{401}{4} = 100 \text{ m}$
- c** Leg uit waarom het uitzenden van AM veel elektrische energie kost.
- EM-golven met amplitude-modulatie is storingsgevoelig
 - er moet een sterk signaal worden uitgezonden om boven de ruis uit te komen
 - een sterk signaal uitzenden kost veel energie
- d** Leg uit waarom FM kwalitatief veel beter is dan AM.
- door storingen in de atmosfeer kan EM-straling worden geabsorbeerd, waardoor de amplitude verandert
 - storingen in de atmosfeer hebben invloed op de amplitude maar niet (of veel minder) op de frequentie van EM-straling
 - FM heeft minder last van storingen dan AM
- e** Leg uit wat er bedoeld wordt met de uitspraak dat de FM-band overvol is.
- een zender heeft een frequentiegebied nodig om te zorgen dat zenders gescheiden van elkaar kunnen worden ontvangen
 - bij FM-band heeft iedere zender een bandbreedte van 0,2 MHz
 - FM radio wordt uitgezonden tussen 87,5 en 108 MHz
 - er passen maar een beperkte aantal zenders op een FM-band
- f** Leg uit waarom na 2023 ook de FM band zal ophouden te bestaan en alles digitaal wordt.
- digitale radio heeft een veel betere kwaliteit dan analoge radio met AM of FM modulatie

11 a** Hoeveel seconden duurt het versturen bij de drie genoemde technieken?

- gsm (2G), 3 MB met 10 kB/s: $t = \frac{3 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^3} = 300 \text{ s}$
- UMTS (3G), 3 MB met 2 MB/s: $t = \frac{3 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} = 1,5 \text{ s}$
- LTE (4G), 3 MB met 1 GB/s: $t = \frac{3 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = 3,0 \text{ ms}$

12* a** Toon aan bij muziek op cd een omzetter van 16-bit wordt gebruikt.

- $2^{16} = 65.536$

b Met welke bitrate moet de cd speler de digitale informatie op de cd omzetten naar muziek?

- bemonsteringsfrequentie 44,1 kHz

- 44.100 keer per seconde wordt een 16-bit signaal verzonden
 - $44.1 \cdot 10^3 \cdot 16 \cdot 2 = 1,4112 \cdot 10^9$
 - iedere seconde worden er $1,41 \cdot 10^9$ bit omgezet
- c** Bereken hoeveel MB informatie er op een cd past.
- iedere seconde worden er $1,4112 \cdot 10^9$ bit omgezet
 - 70 minuten is $70 \cdot 60 = 4200$ seconden
 - $1,4112 \cdot 10^9 \cdot 4440 = 5,927 \cdot 10^9$ bit
 - 8 bits is 1 byte
 - op een CD past $5,927 \cdot 10^9 / 8 = 7,4088 \cdot 10^8$ byte = 741MB

13**** Pioneer-10

- a** Toon dat met een berekening aan.
- uplink signaal van $1,88 \cdot 10^9$ Hz wordt met 1,10 vermenigvuldigd en teruggezonden
 - downlink signaal: $1,10 \cdot 1,88 \cdot 10^9 = 2,068 \cdot 10^9$ Hz
 - bandbreedte is 40 MHz = $40 \cdot 10^6$ Hz
 - $20 \cdot 10^6$ Hz onder en $20 \cdot 10^6$ Hz boven het gemiddelde
 - hoogste frequentie van het uplink signaal is $1,88 \cdot 10^9 + 20 \cdot 10^6 = 1,90 \cdot 10^9$ Hz
 - laagste frequentie downlink is $2,068 \cdot 10^9 - 20 \cdot 10^6 = 2,05 \cdot 10^9$ Hz
 - de grootste frequentie van de uplink is kleiner dan de laagste frequentie van de downlink
 - de kanalen zijn gescheiden
- b** Leg uit of hier sprake is van amplitudemodulatie of van frequentiemodulatie.
- Lees de tekst: *De commando's worden gegeven door de draaggolf met een bandbreedte van 40 MHz te moduleren.*
 - er is dus sprake van frequentiemodulatie
- c** Waarom is kanaalscheiding noodzakelijk?
- anders kunnen de twee signalen (uplink en downlink) elkaar verstoren

13.6 Röntgenstraling

- 1****
- 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.
- metaal bevat zware atomen en heeft een grote dichtheid
 - röntgenstraling wordt door 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 het niet goed te bepalen welk metaal het betreft
- 2****
- 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
 - $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,0 \cdot 10^{18} = 6,62607 \cdot 10^{-16}$ J
- c** Bereken hoeveel chemische bindingen één röntgenfoton kan verbreken.
- omrekenen joule naar eV: delen door $e = 1,6021765 \cdot 10^{-19}$ C
 - $E_{\text{foton}}(\text{eV}) = 6,62607 \cdot 10^{-16} / 1,6021765 \cdot 10^{-19} = 4,136 \cdot 10^3$ eV
 - aantal gebroken bindingen: $4,136 \cdot 10^3 / 4,2 = 985$
- 3***
- 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

- 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** Hoe is de sievert gedefinieerd?
- één sievert is één joule geabsorbeerde stralingsenergie per kilogram
- c** Geef twee redenen waarom het gezondheidsrisico bij een stralingsbelasting van 250 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 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 = 0,9² over
 - achter cel 3 nog 0,9³ = 0,729 over
 - detector 3 geeft aan dat 72,9 % wordt doorgelaten
- c** Bereken hoeveel procent doorgelaten straling detector Y1 meet.
- Y1 meet straling door bot – bot – water
 - Y1 meet 0,9 keer 0,9 keer 0,98 = 0,7938
 - Y1 meet 79 % van de straling die is gebruikt
- 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

6***

a Leg uit hoe door het beschieten van Cu met elektronen Röntgenstraling wordt opgewekt.

- een elektron botst met hoge snelheid tegen een Cu atoom
- hierbij wordt een elektron uit de onderste schil van het Cu atoom (= de K schil) 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 de L en de K-schil wordt als röntgen-foton 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 doen ontstaan.

- $E_{\text{foton}} = h \cdot f$ met $h = 6,62607 \cdot 10^{-34}$ J s
- $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,85 \cdot 10^{19} = 1,225823 \cdot 10^{-14}$ 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
- $1,225823 \cdot 10^{-14} = \frac{1}{2} \cdot 9,10939 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,64053 \cdot 10^8 = v = 1,64 \cdot 10^8$ m/s

d Bereken de minimale spanning die nodig is om deze snelheid te bereiken.

- $E_{\text{foton}} = E_K = E_{\text{el}} = 1,2258 \cdot 10^{-14}$ J

- $E_{el} = q \cdot U$ met $q = e = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 - $1,225823 \cdot 10^{-14} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \cdot U \rightarrow U = 7,650986 \cdot 10^4 = 7,65 \cdot 10^4 \text{ V}$
- 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

13.7 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** Wat wordt er bedoeld met een recht evenredig verband?
- recht evenredig heeft de wiskundige structuur: $y = a \cdot x$
 - wordt x met factor f vergroot dan wordt y ook met factor f vergroot
- b** 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

c Bereken de golflengte van de EM straling die bij een veldsterkte van 2,3 Tesla wordt gebruikt. Neem aan de EM-straling met de lichtsnelheid door het lichaam gaan.

- $f = 97,92963 \text{ MHz} = 97,92963 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- $c = f \cdot \lambda \rightarrow 3,00 \cdot 10^8 = 97,93 \cdot 10^6 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 3,0634 = 3,1 \text{ m}$

d Welke invloed heeft de verhoogde concentratie waterstof op de golflengte van de gedetecteerde EM straling?

- er is geen invloed van de concentratie op de golflengte van de uitgezonden en gedetecteerde straling

e Welke invloed heeft de verhoogde concentratie waterstof op de amplitude van de gedetecteerde EM straling?

- hoe meer straling er wordt uitgezonden hoe groter de amplitude is

4**

a Moet bij MRI de contrastvloeistof straling uitzenden?

- de contrastvloeistof hoeft 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 lage-energie toestand zenden de protonen EM-straling uit
- je meet hoe lang het uitzenden van EM-straling duurt
- 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.

- 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 hetgeen tijd kost
- als een groot deel van het lichaam moet worden bestudeerd met een hoge resolutie is de hoeveelheid data te groot

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: 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