

13 Elektromagnetische straling vwo

13.1 Licht als golf

1** In een lichtmicroscop wordt monochromatisch licht gebruikt met een frequentie van $f = 6,0 \cdot 10^{14}$ Hz. De microscoop vergroot 1000 keer.

a Bereken de golflengte van dit licht.

Met deze microscoop maak je een foto. Details van één millimeter zijn scherp te zien op de foto maar kleinere details staan wazig op de foto.

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



2*** In een fotocamera wordt de hoeveelheid licht geregeld door de sluitertijd en door het diafragma. De sluitertijd geeft aan hoe lang de lens openstaat en het diafragma geeft aan hoe groot de opening is waardoor het licht in de camera komt. Bij een klein diafragma (bijvoorbeeld F/22) gaat het licht in de lens door een klein gaatje. Foto's die genomen zijn met een groter diafragma (bijvoorbeeld F/4) zijn scherper.

a Geef hiervoor een verklaring.

Verder zie je bij een flinke vergroting rare kleureffecten bij de kleinste details.

b Geef hiervoor een verklaring.

In een digitale fotocamera zit een beeldchip van 25 bij 36 mm. De camera heeft 36 megapixels, d.w.z. dat er $3,6 \cdot 10^7$ gebiedjes (pixels) zijn waar het licht wordt geregistreerd. Ga ervan uit de pixels vierkant zijn en dat ze elkaar raken.

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

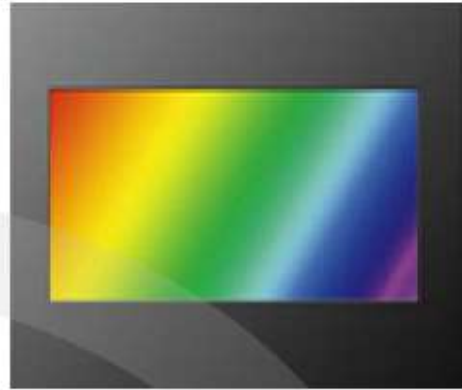


3** De afstand tussen twee lijnen uitgedrukt in meter heet de tralieconstante. Een tralie heeft 600 lijnen per mm.

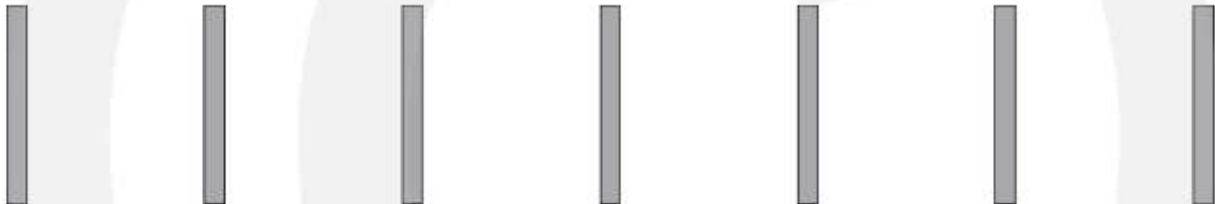
a Bereken de tralieconstante van deze tralie.

Een tralie heeft een tralieconstante van $2,00 \cdot 10^{-6}$ m.

b Bereken het aantal lijnen per mm.



4*** Een groene lichtbundel met $\lambda = 493$ nm gaat door een tralie. Op een afstand van 1,00 m van de tralie staat een projectiescherm. Op dit scherm ontstaat een interferentiepatroon. De grijze strepen geven de plaatsen aan waar je de 0^e t/m 3^e orde lichtbundels op het scherm ziet.



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

Voor een tralie geldt de tralieformule:

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

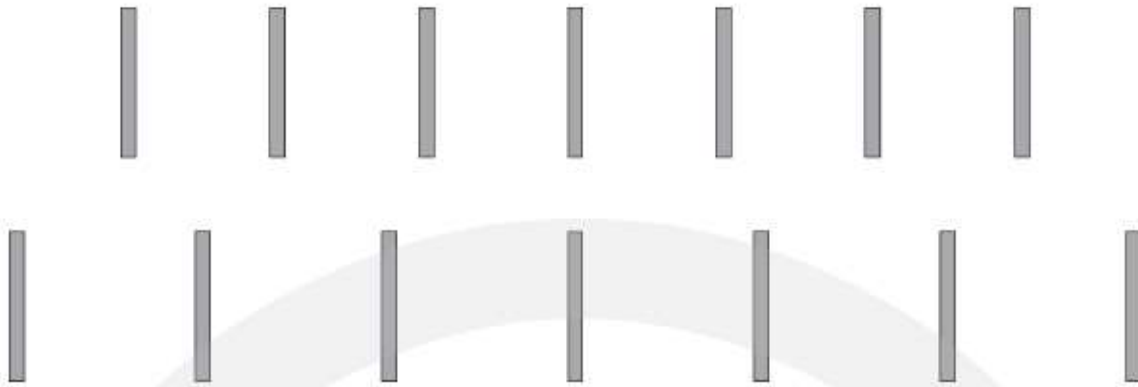
- α is de hoek waaronder de lichtstraal wordt afgebogen in graden ($^{\circ}$)
- n is de orde van de interferentie $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ (geen eenheid)
- λ is de golflengte in meter (m)
- d is de tralieconstante (de afstand tussen de spleten) in meter (m)

De 2^e orde lichtbundel ($n = 2$) wordt afgebogen met een hoek van 29,538 graden.

b Bereken de tralieconstante.

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

5*** Een groene en een rode lichtbundel worden vlak boven elkaar op een tralie gericht. Achter de tralie vallen de lichtbundels op een projectiescherm. Op dit scherm ontstaan interferentiepatronen. De grijze strepen geven de plaatsen aan waar je de 0^e t/m 3^e orde lichtbundels op het scherm ziet.



a Geef aan welke lijnen horen bij de groene en welke bij de rode lichtbundel.

Voor een tralie geldt de tralieformule:

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

- α is de hoek waaronder de lichtstraal wordt afgebogen in graden (°)
- n is de orde van de interferentie $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ (geen eenheid)
- λ is de golflengte in meter (m)
- d is de tralieconstante (de afstand tussen de spleten) in meter (m)

De groene lichtbundel heeft een golflengte van 520 nm. $\sin \alpha$ van de onderste serie lijnen is 1,25 keer zo groot als $\sin \alpha$ van de bovenste serie lijnen. Zie figuur.

b Bereken de golflengte van de rode lichtbundel.

6*** Een groene laserstraal van 532 nm valt loodrecht op een tralie met 600 lijnen per mm.

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

Voor een tralie geldt de tralieformule:

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

- α is de hoek waaronder de lichtstraal wordt afgebogen in graden (°)
- n is de orde van de interferentie $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ (geen eenheid)
- λ is de golflengte in meter (m)
- d is de tralieconstante (de afstand tussen de spleten) in meter (m)

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

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

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

Een projectiescherm staat op een afstand van 2,00 m van de tralie. Op het scherm verschijnt een rij met groene stippen. De middelste stip is het felst en is afkomstig van de 0^e orde lichtbundel.

- e Bereken de afstand tussen de 0^e orde lichtbundel en de 1^e orde lichtbundel.
- f Bereken de afstand tussen de 1^e orde lichtbundel en de 2^e orde lichtbundel.
- g Leg uit of de afstand tussen de bundels met een hogere orde afneemt, toeneemt of gelijk blijft.

7*** Een natuurkundeleraar demonstreert het interfereren van licht door een tralie in de klas. Hij schijnt met een rode laser door de tralie in de richting van het schoolbord. Op het bord verschijnt een rij lichtstippen. De tralie heeft 300 lijnen per mm. Het licht uit de laser heeft een golflengte van 670 nm. De afstand tussen de 0^e orde en 1^e orde stip op het bord is 20,0 cm.

- a Bereken op welke afstand de leraar het tralie voor het bord houdt.

Op het bord zijn de 0^e t/m 5^e orde lichtbundels zichtbaar.

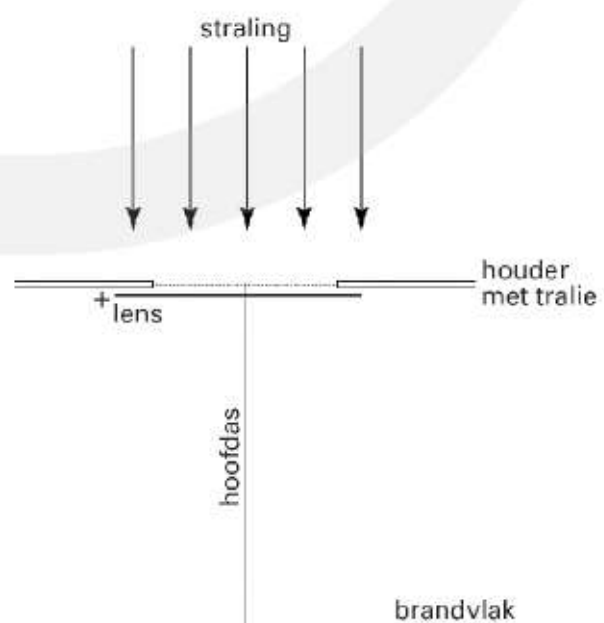
- b Bereken de afstand tussen de 2^e en de 3^e orde stip.

De leraar houdt de tralie op 2,00 m afstand van het schoolbord.

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

8**** Een witte spaarlamp is voorzien van een lens, zodat er een evenwijdige lichtbundel wordt uitgestraald. De straling valt loodrecht op een tralie, zodanig dat het gehele tralie wordt belicht. De tralie heeft 600 lijnen per mm. Vlak achter het tralie is een bolle lens geplaatst. In de figuur is de situatie schematisch weergegeven.

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



In het brandvlak van de lens ontstaat het emissiespectrum van de spaarlamp. In het spectrum komen heldere rode, groene en blauwe lijnen voor.

b Leg uit hoe deze lijnen ontstaan.

In dit spectrum staat is de eerste orde emissielijn van 500 nm op 2,50 cm van de hoofdas. Omdat de lichtbundel evenwijdig is is de afstand van de lens tot het brandvlak gelijk aan de brandpuntsafstand.

c Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

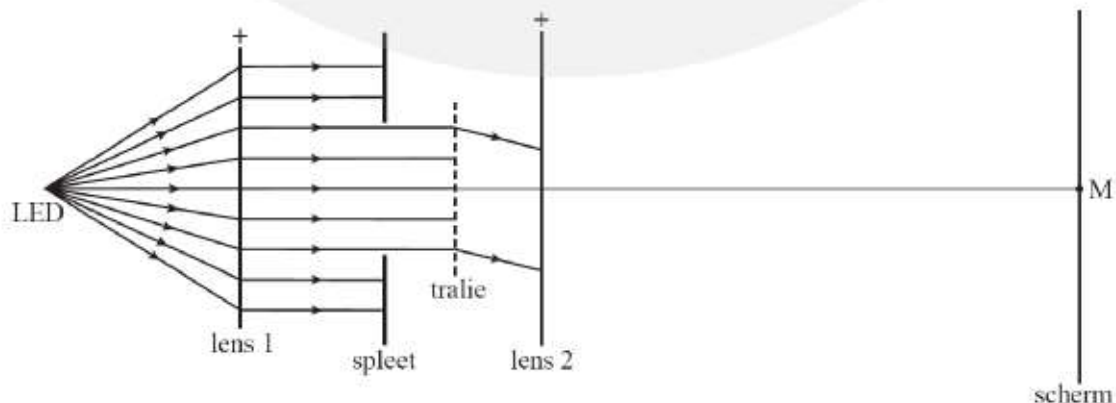
Op het scherm is te zien dat de 1^e orde rode lijn met $\lambda = 700$ nm samenvalt met een 2^e orde violette lijn.

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

Op het scherm is te zien dat de 2^e orde rode lijn met $\lambda = 700$ nm samenvalt met een 3^e orde groenblauwe lijn.

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

9**** Om het emissiespectrum van een witte LED-lamp te meten wordt een tralie gebruikt. Eerst wordt met behulp van lens 1 en een spleet een smalle evenwijdige lichtbundel gemaakt. Deze bundel valt op het tralie. Elke evenwijdige bundel licht die uit het tralie treedt, wordt door lens 2 naar één punt op een scherm geconvergeerd. Zie figuur 1. In deze figuur zijn voor één bepaalde golflengte de uiterste stralen van een van de eerste-orde-bundels tot lens 2 weergegeven. Op het scherm is een interferentiepatroon te zien. Punt M is het nulde-orde-maximum. De getekende eerste-orde-bundel komt op het scherm samen in (het nog niet aangegeven) punt P. Figuur 1 is niet op schaal.



Figuur 1

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

De gebruikte tralie heeft 400 lijnen per mm. De afstand tussen lens 2 en het scherm is 40,0 cm. De afstand tussen M en P is 10,0 cm.

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

Het spectrum bevat informatie over de optische processen die in de LED-lamp plaatsvinden. Op het scherm zijn details van het spectrum waarneembaar als ze tenminste 1,0 mm van elkaar zijn gescheiden. De resolutie van de meetopstelling is het kleinste verschil in golflengte dat kan worden waargenomen.

c Bereken de resolutie van de meetopstelling.

13.2 Elektromagnetische straling

- 1* In de tabel gaan we een aantal eigenschappen van hoorbaar geluid en zichtbaar licht met elkaar vergelijken. Deze eigenschappen hebben te maken met het golfkarakter van zowel geluid als van licht.

	hoorbaar geluid in lucht	zichtbaar licht in vacuüm
voortplantingssnelheid		
is er een medium nodig?	ja / nee	ja / nee
de frequentie bepaalt		
het frequentiebereik isHz totHzHz totHz
het golflengtebereik ism totmm t/mm
soort golf (trans of long)		
wordt veroorzaakt door		
terugkaatsingswet geldt?	ja / nee	ja / nee
wet van Snellius geldt?	ja / nee	ja / nee
kan interfereren	ja / nee	ja / nee

- 2*** Sinds 1934 zendt BBC Radio 4 radiogolven uit met een frequentie van 198 kHz.

- a Leg uit of met radiogolven geluidsgolven of EM-straling wordt bedoeld.
b Bereken de golflengte van deze radiogolven.

Deze radiogolven worden Long Wave (LW) golven genoemd. Bij de dampkring worden deze LW golven teruggekaatst. Er treedt totale reflectie op.

- + c Wat is totale reflectie? **HINT denk aan het hoofdstuk over licht**

Voor de golfsnelheid van EM-straling geldt: $v_{\text{golf}} = \frac{c}{n}$. Hierin is n de brekingsindex.

- + d Toon aan dat de brekingsindex geen eenheid heeft.
+ 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?

- 3*** De band waarin FM-radio wordt uitgezonden wordt de VHF (very-high frequency) band genoemd. Deze FM-band heeft een frequentiegebied van 87 tot 108 MHz. Een populaire radiozender is 3FM. In de provincie Utrecht is deze zender te ontvangen op 96,8 MHz.

- a Bereken de golflengte van deze radiogolven.

Als je in een auto zit kan het soms gebeuren dat je voor een stoplicht staat en maar een heel zwak radiosignaal ontvangt. Door de auto een stukje te verplaatsen wordt het radiosignaal plotseling veel sterker.

b Geef hiervoor een verklaring.

4^{***} Een magnetron oven werkt op een frequentie van 2,50 GHz.

a Bereken de golflengte van de microgolven in een magnetron.

In een magnetron staat het gerecht op een ronddraaiende schijf. Als zo'n draaischijf niet wordt gebruikt wordt het gerecht op sommige plaatsen meer verwarmd dan op andere plaatsen.



b Geef een verklaring voor dit verschijnsel.

Om het ongelijkmatig verwarmen door een magnetron te onderzoeken kun je de draaischijf verwijderen en een boterham met een plakje kaas in de magnetron leggen. Na een paar seconde zie je dat op sommige plaatsen de kaas gaat smelten en op andere plaatsen niet.

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

5^{***} De meeste mobiele telefoons hebben in Europa twee of drie banden. De frequenties van deze drie banden zijn 900 MHz, 1800 MHz en 1900 MHz.

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

De 900 MHz band heeft als voordeel dat het zendbereik groot is en dat het goed is te ontvangen in gebouwen. Een nadeel is dat deze band gevoelig is voor weersomstandigheden. De 1800 MHz band heeft een kleiner zendbereik en is minder goed te ontvangen in gebouwen, maar is ongevoelig voor weersomstandigheden. In Europa wordt vanwege de voordelen van zowel de lage als de hoge frequenties beide banden gebruikt.

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



- 6**** Na het succesvolle Apollo project, waarbij astronauten op de maan zijn gebracht, wordt er soms gedacht om ook mensen naar de planeet Mars te brengen.

De afstand tussen Aarde en Mars is niet altijd even groot.

- a Leg uit waarom dit het geval is.

De afstand Zon–Aarde is $0,1496 \cdot 10^{12}$ m en de afstand Zon–Mars is $0,2278 \cdot 10^{12}$ m.

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

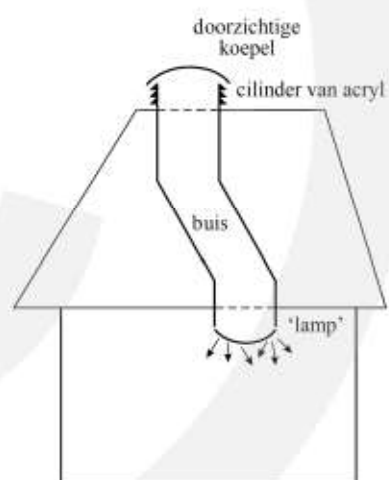
Op een bepaald moment is de afstand tussen Aarde en Mars halverwege de kleinste en de grootste afstand. De astronauten maken een melding dat zich een probleem voordoet.

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

7**** Zonnelamp

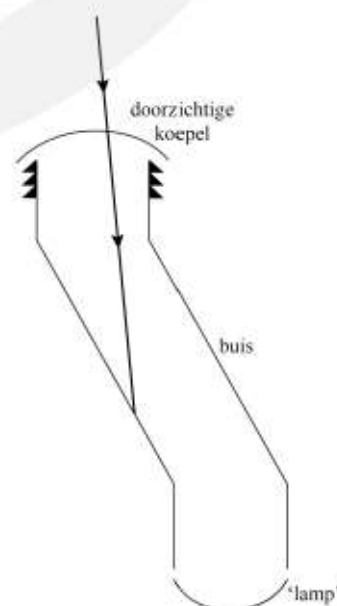
Een zonnelamp maakt het mogelijk om ruimtes zonder ramen met daglicht te verlichten. Op het dak wordt een doorzichtige koepel geplaatst die het zonlicht doorlaat. De koepel rust op een cilinder van acryl met zaagtandprofiel. Daaronder zit een buis die door het plafond naar een kamer gaat. Zie figuur 1.

Figuur 1



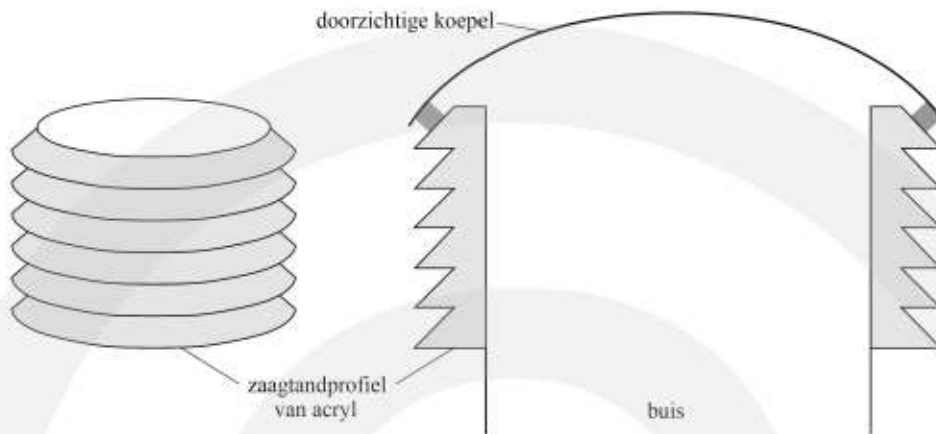
De binnenkant van de buis is van spiegelennd materiaal gemaakt. Onderaan de buis komt het licht door de 'lamp' diffuus de kamer in. De buis is weer-gegeven in figuur 2. Daarin is één lichtstraal getekend.

Figuur 2



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

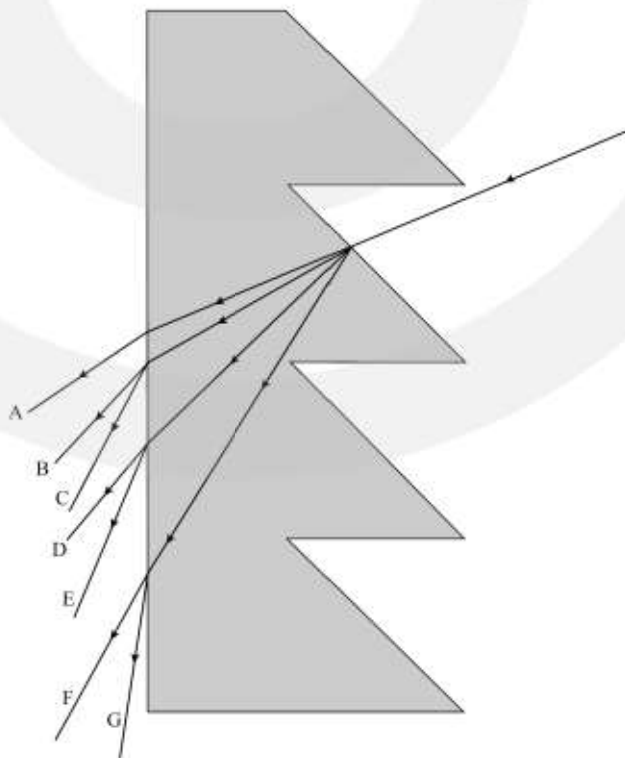
Om ook bij lage zonnestand genoeg licht in de kamer te krijgen, kan het zonlicht door de cilinder van acryl naar binnen. Zie figuur 3. Figuur 4 is een verticale doorsnede van de cilinder met de koepel. Figuur 3 en 4 zijn niet op schaal.



Figuur 3

Figuur 4

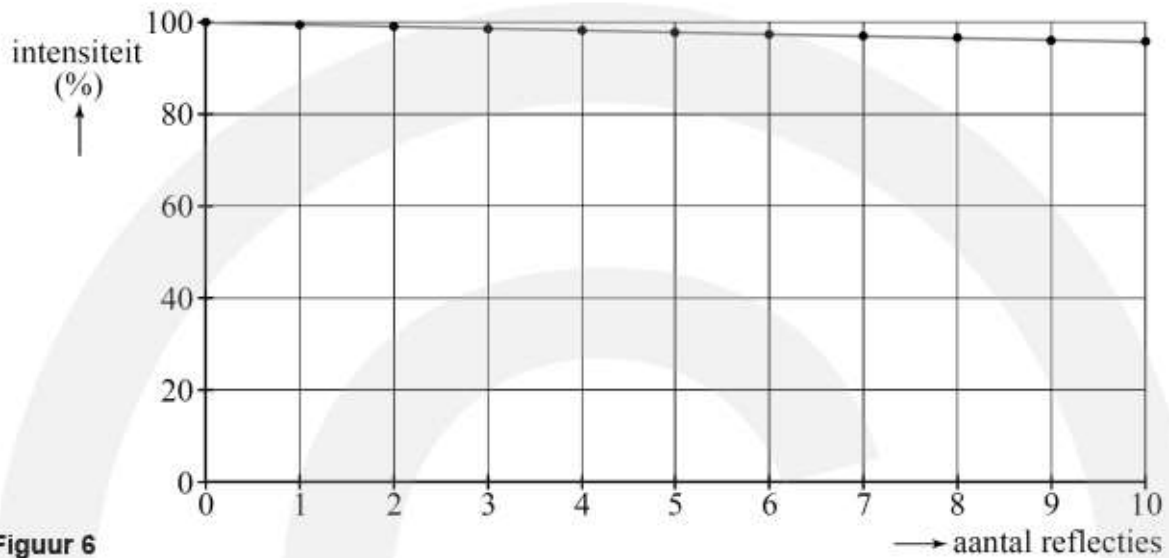
Een gedeelte van figuur 4 is vergroot weergegeven in figuur 5. Daarbij is één invallende lichtstraal getekend. Ook is op zeven manieren het vervolg van de lichtstraal door het zaagtandprofiel getekend.



Figuur 5

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

De binnenkant van de buis is bedekt met een speciaal folie dat veel beter reflecteert dan een verchromd oppervlak. In figuur 6 is voor het folie de intensiteit als functie van het aantal reflecties weergegeven als percentage van de oorspronkelijke intensiteit.

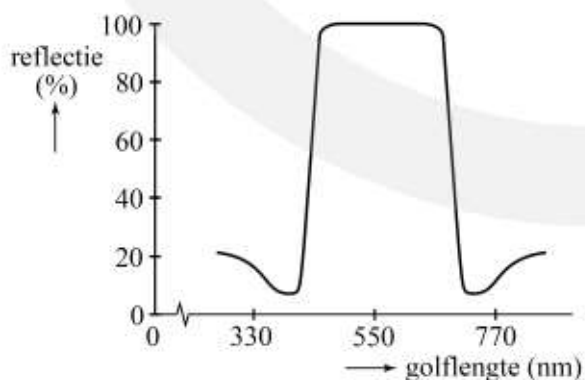


Figuur 6

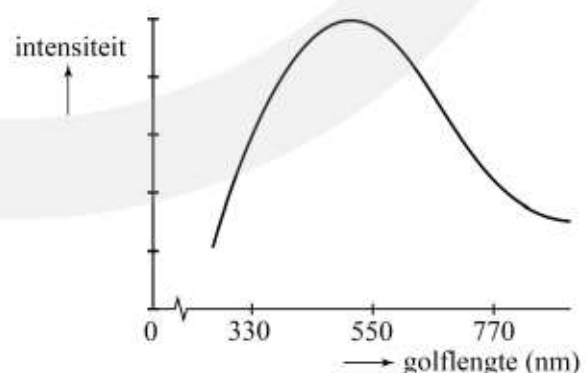
Bij chroom wordt bij iedere reflectie 70% van het opvallende licht gereflecteerd.

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

In figuur 7 staat de grafiek die de fabrikant levert over de reflectie van het folie in de buis. In figuur 8 staat de intensiteitsverdeling van zonlicht weergegeven.



Figuur 7



Figuur 8

- 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.

13.3 Licht als deeltje: fotonen

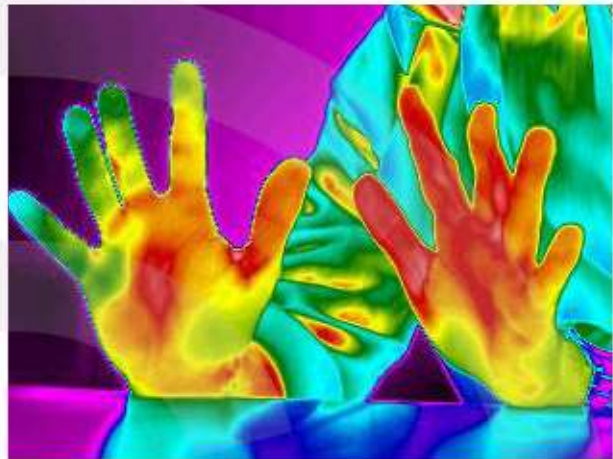
De wet van Wien

1* Hiernaast zie je een infraroodfoto van de handen van een persoon opgenomen met een thermische camera.

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

Er is kleurverschil tussen de twee handen.

b Geef hiervoor een verklaring.



2* Hiernaast zie je een infrarood foto van een huis opgenomen met een thermische camera.

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

Op de foto heeft een dak een andere kleur dan de muren.

b Leg uit wat je hieruit kunt concluderen.

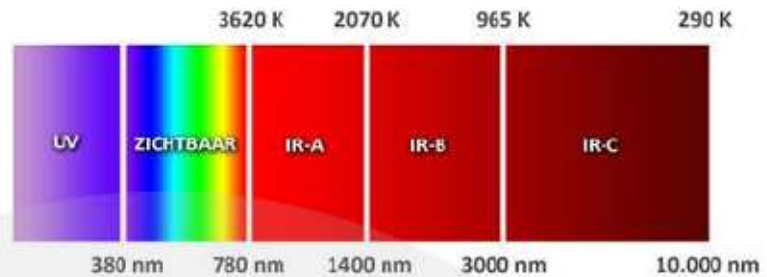


3** De lichaamstemperatuur van een zoogdier is $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

a Bereken de golflengte λ_{max} van de EM-straling die wordt uitgestraald.

b Bereken de frequentie van deze straling.

4** In de figuur zie je een spectrum. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ultraviolet (UV), zichtbaar licht en infrarood licht, (IR-A, IR-B en IR-C).



Bij de overgangen van zichtbaar licht naar IR-A, IR-B en IR-C staat onderaan de figuur de golflengte en bovenaan de temperatuur in kelvin.

a Controleer of de informatie in de figuur klopt.

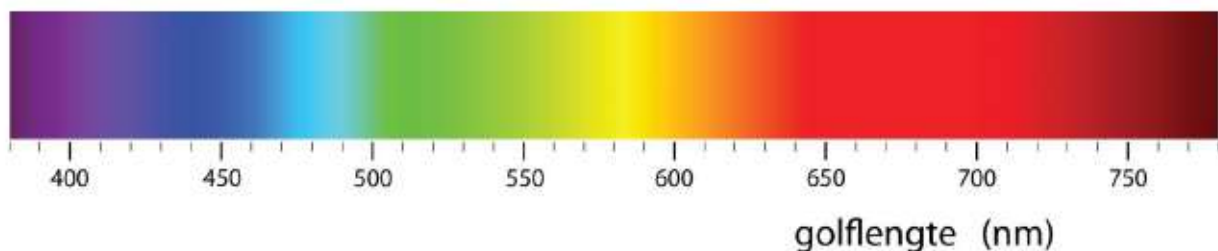
Bij de overgang van zichtbaar naar UV is alleen de golflengte aangegeven.

b Bereken de temperatuur die hiermee correspondeert.

Johan beweert dat een voorwerp met een temperatuur 2070 K uitsluitend licht met een golflengte van 1400 nm uitstraalt.

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

5*** In onderstaande figuren zie je twee elektrische straalkachels. Daaronder zie je het kleurenspectrum.



In een elektrische straalkachel wordt meestal het metaal nichroom gebruikt. Dit is een legering van 80 % nikkel en 20% chroom. Nichroom smelt bij 1400 °C.

De kleur van het uitgestraalde licht van een straalkachel komt niet overeen met λ_{\max} van de wet van Wien.

a Toon dit aan voor beide straalkachels.

Als de straalkachel brandt is de temperatuur van het nichroom 1000 °C.

b Bereken de golflengte λ_{\max} van het licht dat het nichroom uitzendt.

Om te voorkomen dat je je handen niet brandt mag de buitenkant van de kachel niet warmer zijn dan 70 °C.

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

6** Het stralingsspectrum van hete lava heeft een maximum bij een golflengte van 2,0 μm .

a Bereken de temperatuur van het lava in graden Celsius.

De golflengte van 2,0 μm ligt buiten het zichtbare gebied.

b Waarom zie je dat het lava oranje licht uitstraalt?



7** Als iets heel erg warm is kan het "witheet" worden. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens het lassen.

a Heeft wit licht een bepaalde golflengte?

b Wanneer ervaar je licht als wit?

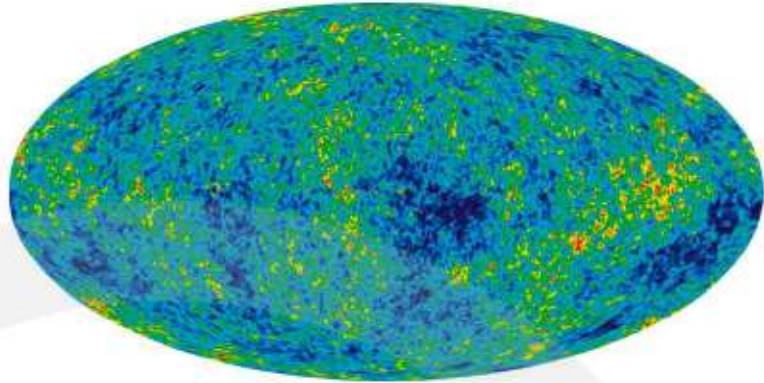
c Bij welke temperatuur ga je het licht als wit ervaren?



De overgang van zichtbaar licht naar UV ligt bij ongeveer 380 nm.

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

- 8*** Overal in de ruimte is EM-straling aanwezig. Dit noem je de kosmische achtergrondstraling. In de figuur zie je hoe deze straling is verdeeld over het heelal.



De straling met de grootste intensiteit heeft een golflengte λ_{\max} van 1,0634 mm.

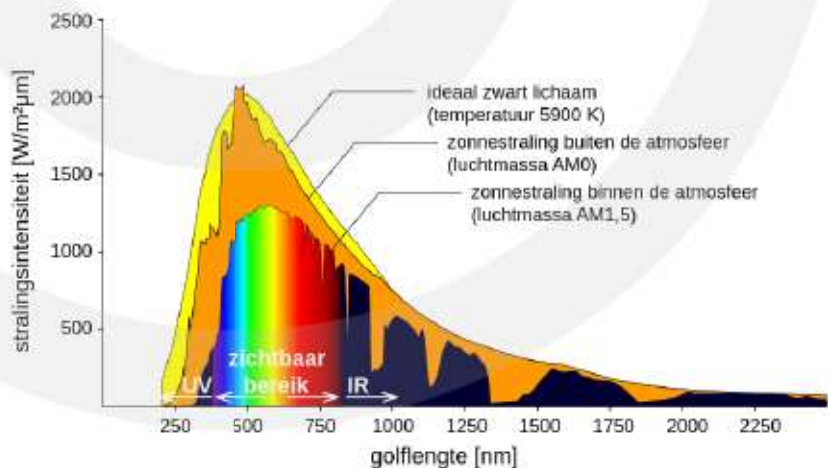
- Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?
- Bereken de temperatuur die bij deze achtergrondstraling hoort.

De kleuren in de figuur laat zien dat de temperatuur in het heelal niet overal hetzelfde is. De temperatuur in rode gebieden is 0,008 kelvin hoger dan de temperatuur in de donkerblauwe gebieden.

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

De wet van Stefan-Boltzmann

- 9*** In de figuur zie je het spectrum dat door de zon wordt uitgestraald (oranje). Hieruit kun je afleiden dat de temperatuur van het oppervlakte van de zon $5,78 \cdot 10^3$ K is.



- Toon dit aan.

Voor het uitgestraalde vermogen van EM-straling bij een zwart lichaam geldt:

$$P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$$

De eenheid van σ is $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

- Toon dit aan.
- Bereken hoeveel vermogen één vierkante meter van de zon uitstraalt.

De zon straalt een vermogen uit van $3,85 \cdot 10^{26}$ W.

d Bereken de oppervlakte van de zon.

Voor de oppervlakte van een bol geldt: $A = 4\pi \cdot r^2$

e Bereken de straal van de zon.

Het centrum van de zon heeft een temperatuur van $15,5 \cdot 10^6$ K. De EM-straling die door het centrum wordt uitgestraald wordt in de zon geabsorbeerd en bereikt de oppervlakte niet.

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

g Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

10*** Betelgeuze is een reusachtige ster in het sterrenbeeld Orion op 50 lichtjaar afstand van de aarde. De straal van Betelgeuze is 700 keer die van de zon. Zie figuur.

Voor volume van een bol geldt:

$$V_{\text{bol}} = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$$

a Bereken hoe vaak de zon in Betelgeuze past.

Ondanks zijn enorme afmeting straalt Betelgeuze toch maar weinig licht uit. Dit komt omdat Betelgeuze een lage temperatuur heeft.

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

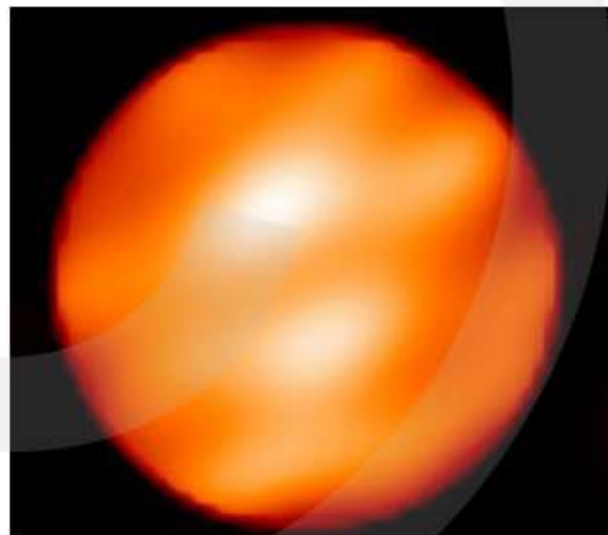
De oppervlakte van Betelgeuze heeft een gemiddelde temperatuur van $3,6 \cdot 10^3$ K.

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

De temperatuur van Betelgeuze is niet over het hele oppervlak hetzelfde. In het midden zie je twee vlekken.

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

Voor de oppervlakte van een bol geldt: $A = 4\pi \cdot r^2$. Hieruit volgt dat het oppervlak van Betelgeuze $4,9 \cdot 10^5$ keer zo groot is als de oppervlakte van de zon.



e Toon dit aan.

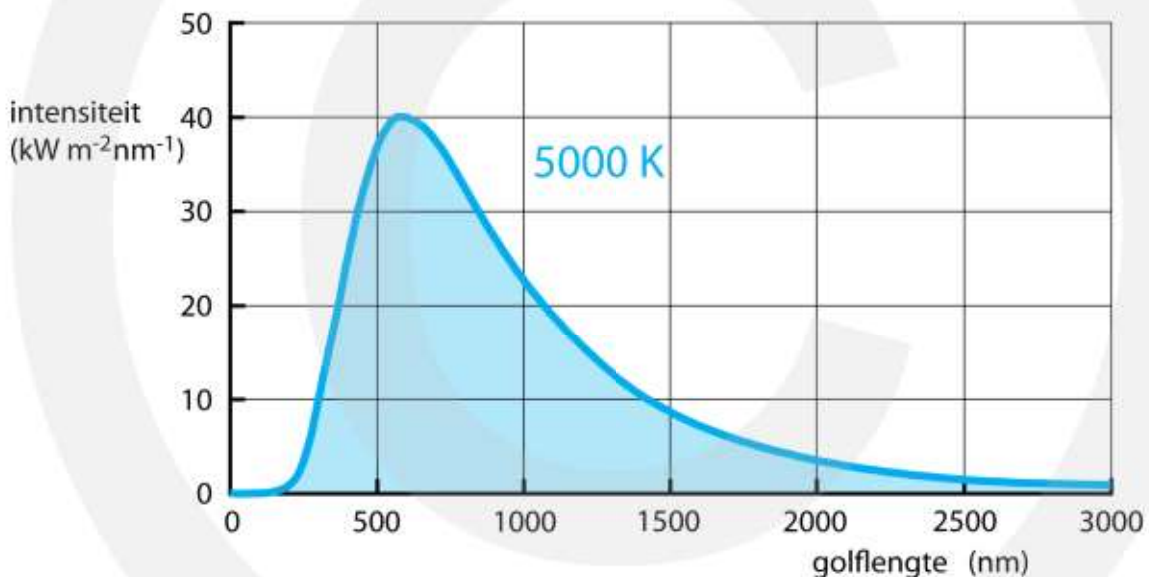
Voor het uitgestraalde vermogen van EM-straling bij een zwart lichaam geldt:

$$P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$$

Het oppervlakte van de zon heeft een temperatuur van $5,78 \cdot 10^3$ K.

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

11*** Het uitgestraalde vermogen van een zwart lichaam met een temperatuur van 5000 K is gegeven in onderstaande figuur.



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

Op de verticale as is de intensiteit uitgezet in kilowatt per vierkante meter per nanometer.

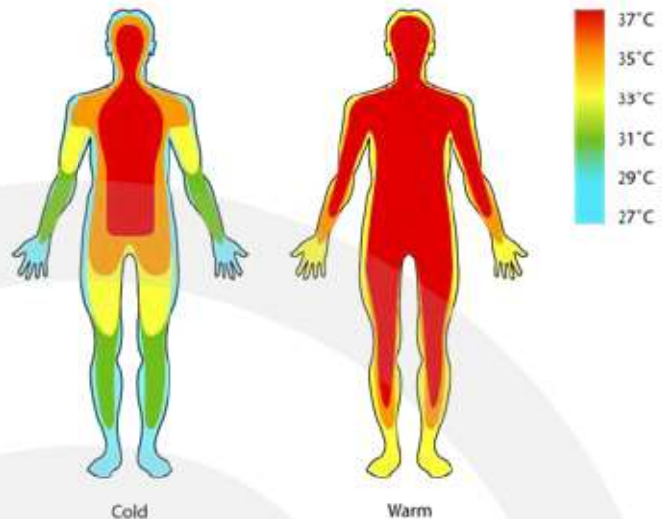
b Wat is de natuurkundige betekenis van het oppervlakte onder de grafiek?

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

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

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

12*** Vanwege de lichaamstemperatuur straalt een zoogdier voortdurend EM-straling uit. Bij een mens heeft de huid een temperatuur van gemiddeld 33 graden.



- Bereken het gemiddelde stralingsvermogen per vierkante meter bij een mens.
- Schat hoeveel stralingsenergie een mens per seconde uitzendt.
- Hoeveel kilojoule is dit per dag?

Een mens eet ongeveer 2000 kilocalorieën per dag. Eén calorie is 4,184 J.

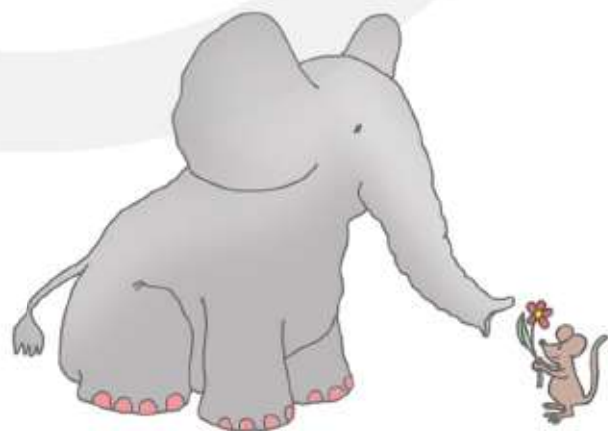
- Bereken hoeveel energie je per dag uitstraal in kilocalorieën.
- Waarom heb je per dag veel minder energie nodig dan je uitstraalt?

Bij een buitentemperatuur van 25 °C verlies je per seconde 100 J energie door het uitzenden van straling.

- Toon dit aan.
- Hoeveel energie verlies je hierdoor per dag uitgedrukt in kilocalorieën?
- Hoeveel is dit in vergelijking met de voeding van 2000 kilocalorieën per dag?

13*** Bij een zoogdier wordt voedsel voornamelijk gebruikt om het lichaam op temperatuur te houden en om de spieren van energie te voorzien. Een muis weegt ongeveer 35 gram en eet per dag 3,5 gram voedsel. Een olifant weegt ongeveer 5000 kg. Een muis is ongeveer 5 cm lang en een olifant ongeveer 5 m.

De massa's van een olifant en een muis verhouden zich als 5000 : 0,035.



- Hoe verhouden zich de (huid-) oppervlakken van een olifant en een muis?
- Verwacht je dat een olifant per dag 500 kg voedsel moet eten?

Stel dat vrijwel al het voedsel nodig is voor het op temperatuur houden van het lichaam.

c Hoeveel kilogram moet een olifant dan iedere dag eten?

In werkelijkheid eet een olifant per dag ongeveer 180 kg voedsel.

d Is dit meer of minder dan jouw schatting?

e Bedenk een reden waarom jouw schatting niet goed klopt.

14^{***} Voor het bewerken van glas wordt het op een temperatuur van 950 °C gebracht. Bij deze temperatuur is het glas stroperig en kan het in een vorm worden gebracht of worden geblazen.

Op de foto houdt een glasblazer 6,0 kg glas in zijn hand. Het glas heeft een dichtheid van $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Ga er van uit dat het glas massief en bolvormig is.



a Bereken het uitgestraalde vermogen van het stuk glas.

Het gezicht van de glasblazer is op een afstand van 90 cm.

b Bereken de stralingsintensiteit bij het gezicht.

Op 3,5 m afstand staan toeschouwers te kijken.

c Bereken de stralingsintensiteit bij de toeschouwers.

15^{****} In een gloeilamp bevindt zich een filament gemaakt van wolfram. Voor een 60 W lamp heeft het filament een lengte van 58 cm en een diameter van 0,046 mm. In de lamp is het filament gewikkeld in een dubbele spiraal. Zie figuur.



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

b Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

Je wilt een gloeilamp maken van 100 watt waarbij de temperatuur van het filament 2500 °C is.

c Bereken de oppervlakte van de gloeidraad.

Het uitgestraalde vermogen is gelijk aan het elektrische vermogen: $P = U \cdot I$. In Europa is de netspanning 230 volt.

d Bereken de stroomsterkte door de gloeilamp.

Voor de weerstand geldt: $R = \frac{U}{I}$.

e Bereken de weerstand van de gloeilamp.

Voor een draad geldt: $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A_d}$

- R is de weerstand (Ω)
- ρ is de soortelijke weerstand ($\Omega \text{ m}$)
- ℓ is de lengte van de draad (m)
- A_d is de oppervlakte van de doorsnede (m^2)

Voor de oppervlakte van de cilindrische draad geldt: $A_{\text{bron}} = 2\pi r \cdot \ell$

Voor de oppervlakte van de doorsnede geldt: $A_d = \pi \cdot r^2$

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

f Toon dit aan.

Bij 2500 °C heeft wolfram een soortelijke weerstand van $\rho = 847 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m}$.

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

h Bereken de lengte van de wolframdraad.

16^{***} Een kaars is gemaakt van stearine waarvan de stookwaarde 40 MJ/kg is. Het vermogen van een brandende kaars is 80 W.

a Hoeveel gram stearine wordt er per minuut verbrand?

De vlam heeft een temperatuur van ongeveer 1200 °C.

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

Om te kunnen lezen heb je minimaal een lichtintensiteit van 2,5 W/m² nodig.

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



17^{***} Om ijzer te vervormen wordt het verwarmd tot 70% van het smeltpunt in kelvin.

a Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

Het voorwerp heeft een oppervlakte van 40 cm².

b Bereken de stralingsintensiteit op een afstand van 80 cm.



Als het ijzer de juiste vorm heeft laat je het afkoelen. In het begin is de afkoelsnelheid groter dan aan het einde.

c Leg uit waarom dit het geval is.

De afkoelsnelheid is recht evenredig met het uitgestraalde vermogen.

d Met welke factor neemt de afkoelsnelheid af tijdens het afkoelen van 1200 °C naar 600 °C?

18*** Een emalleeroven heeft een temperatuur van $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aan de voorkant zit een kijkgaatje met een diameter van $3,0\text{ cm}$.

a Hoeveel stralingsenergie ontsnapt er per seconde door het kijkgaatje?

De oven heeft een vermogen van 1200 W . De buitenmaten van de oven zijn $260\text{ mm} \times 250\text{ mm} \times 300\text{ mm}$.

b Bereken de temperatuur van de buitenwanden van de oven.

In werkelijkheid hebben de buitenwanden een hogere temperatuur.

c Leg uit waarom dit het geval is.



Fotonen

19* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$5,00 \cdot 10^{-19}\text{ J} = \dots\dots\dots \text{ eV}$$

$$5,00 \cdot 10^{-19}\text{ J} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$$

$$5,00 \cdot 10^{-19}\text{ J} = \dots\dots\dots \text{ nm}$$

20* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$10,0\text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ J}$$

$$1,00\text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$$

$$1,00\text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ nm}$$

21* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$5,00 \cdot 10^{14}\text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ J}$$

$$5,00 \cdot 10^{14}\text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ eV}$$

$$5,00 \cdot 10^{14}\text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ nm}$$

22* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

500 nm = J

500 nm = eV

500 nm = Hz

23** Als de fotonenergie wordt uitgedrukt in joule geldt: $E_f(\text{J}) = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

a Toon dit aan.

In deze formule is h de constante van Planck.

b Bepaal de eenheid van de constante van Planck.

Als de fotonenergie wordt uitgedrukt in elektronvolt geldt: $E_f(\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$

c Toon dit aan.

Als de golflengte in nm wordt gegeven geldt: $E_f(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$

d Toon dit aan.

13.4 Absorptie en emissie van licht

1** In een kleurloze gasvlam van een bunsenbrander strooi je een beetje keukenzout (NaCl). Door de hoge temperatuur van de vlam ontleedt het NaCl en ontstaat er een damp met natriumatomen.

a Leg uit wat je waarneemt als je keukenzout in een gasvlam strooit.

Om dit verschijnsel verder te onderzoeken meet je het absorptiespectrum van de vlam met natriumatomen.

b Leg uit hoe je een absorptiespectrum kunt meten.

- Welke materialen heb je nodig?
- Welke methode gebruik je?
- Maak een schets van de opstelling.

c Schets het absorptiespectrum dat je verwacht als er natriumatomen aanwezig zijn in de vlam.

Je kunt ook het emissiespectrum meten.

d Leg uit hoe je een emissiespectrum kunt meten. Maak gebruik van een tekening.

e Schets het emissiespectrum dat je verwacht als er natriumatomen aanwezig zijn in de vlam.

2** Een kopersulfaat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ oplossing heeft een diepblauwe kleur. Als je door een kopersulfaatoplossing kijkt ziet alles er blauw uit.

a Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

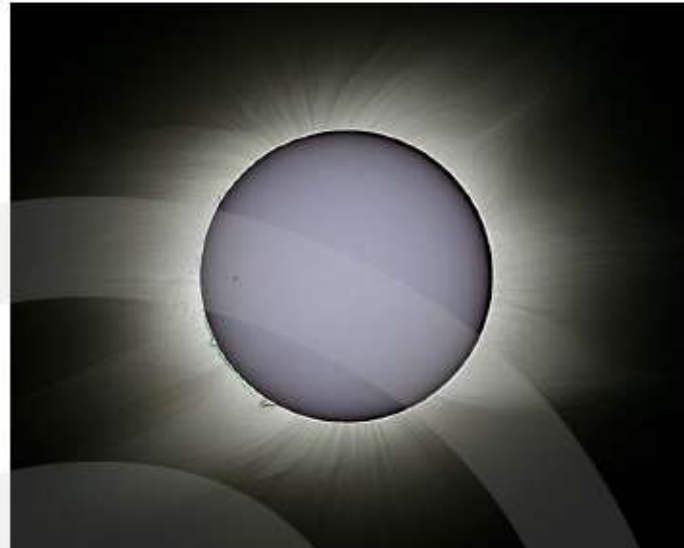
De sterkte van de verkleuring hangt af van twee factoren.

b Leg uit welke twee factoren dat zijn.

Je kijkt door een kopersulfaatoplossing naar een rode roos in een blauwe vaas.

c Beschrijf wat je ziet.

3** Het zonnenspectrum bevat golflengten tussen ongeveer 200 en 3000 nm. Af en toe ontbreekt er een golflengte. Dit komt omdat de zon een dampkring heeft met verschillende gassen (de corona). Tijdens een totale zonsverduistering is de corona goed te zien. Zie figuur.

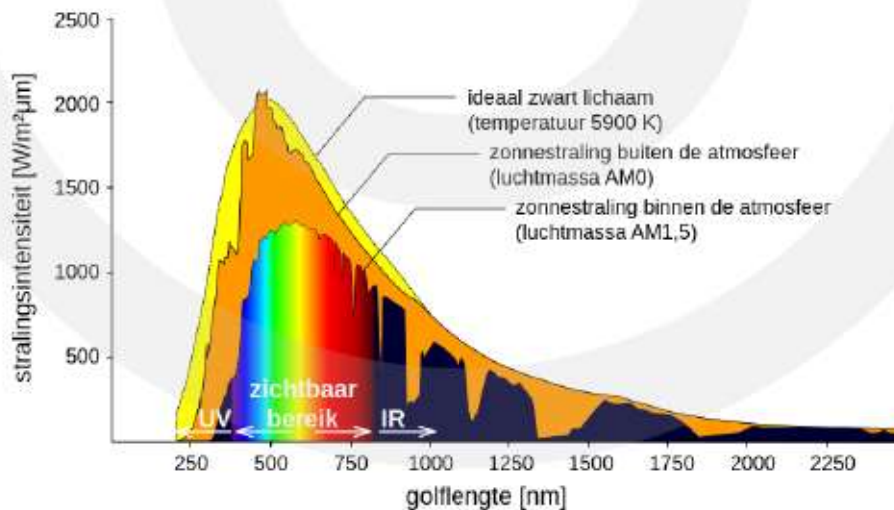


a Leg uit hoe de corona ervoor zorgt dat er golflengten ontbreken in het spectrum van de zon.

Bij een totale zonsverduistering staat de maan tussen de zon en de aarde. Je ziet dan alleen het licht dat door de corona wordt uitgezonden.

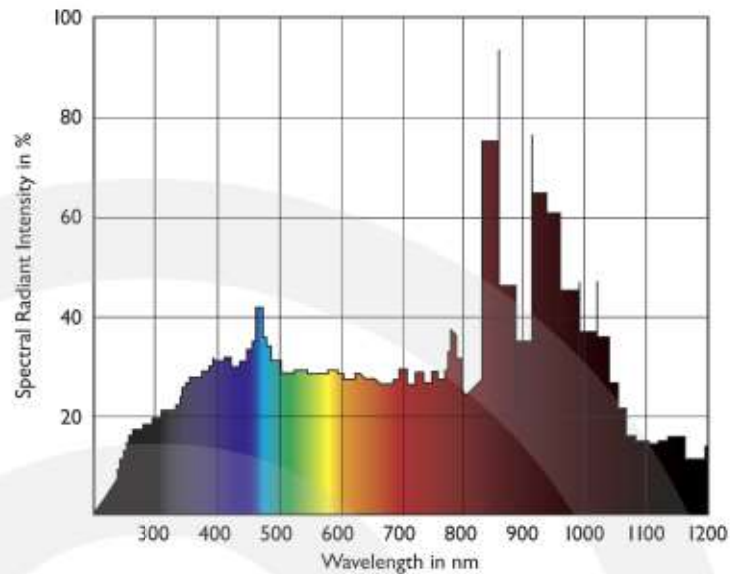
b Welke golflengten verwacht je in het emissiespectrum van de corona?

In de figuur zie je het spectrum van zonlicht gemeten vlak buiten de dampkring van de aarde (oranje). Het gekleurde spectrum daaronder is het zonlicht je waarneemt op het oppervlak van de aarde.



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.

4** Een hoge-druk xenonlamp bevat xenon (een edelgas) met een hoge gasdruk. Als het gas elektrische wordt ontstoken ontstaat er een xenon plasma. Dit plasma geeft fel wit licht. Vanwege de witte kleur en het grote vermogen worden xenonlampen gebruikt in o.a. auto's, beamers en bioscopen. In figuur 1 zie het spectrum van een hoge-druk xenonlamp.



Figuur 1

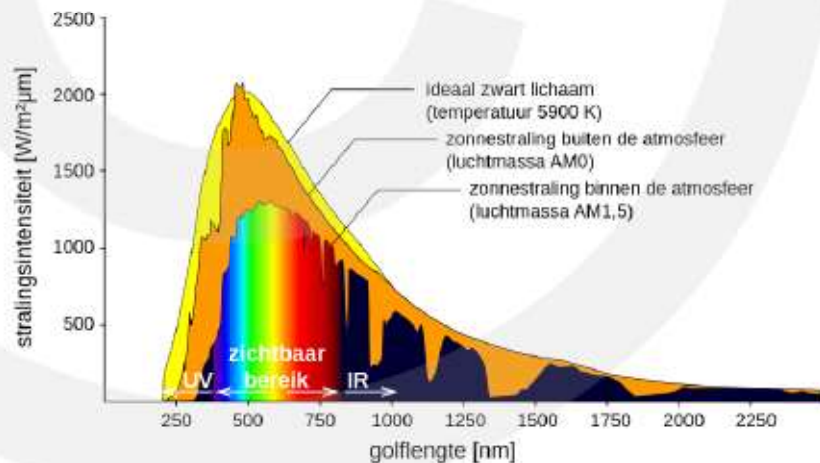
a Leg uit hoe je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp wit licht uitzendt.

Behalve wit licht zendt een Xe-lamp ook veel infrarood (IR) straling uit.

b Hoe kun je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp IR-straling uitzendt?

Het licht van een Xe-lamp is wat blauwer dan zonlicht en wordt daarom als koel ervaren. De meeste mensen vinden licht uit een gewone gloeilamp aangener (warmer).

In figuur 2 zie je het zonnenspectrum.



Figuur 2

c Waaraan kun je zien dat licht uit een Xe-lamp blauwer is dan zonlicht?

Als licht uit een Xe-lamp op je huid komt wordt je bruin. Bij te veel licht verbrandt je huid en kun je huidkanker krijgen.

d Leg uit waarom het licht uit een Xe-lamp gevaarlijker is dan zonlicht.

5*** In een kleurloze gasvlam van een bunsenbrander strooi je een beetje strontium-sulfaat (SrSO_4). Door de hoge temperatuur van de vlam ontleedt het SrSO_4 en ontstaat er licht met een golflengte van 668 nm.

a Welke kleur heeft dit licht?

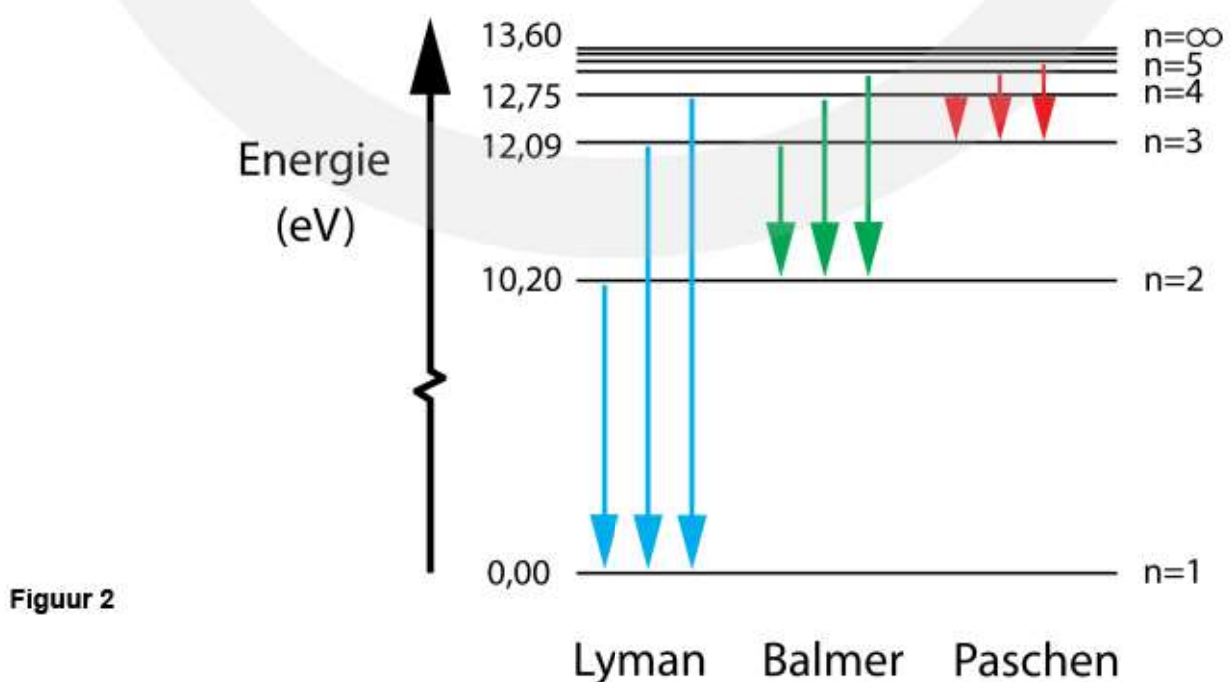
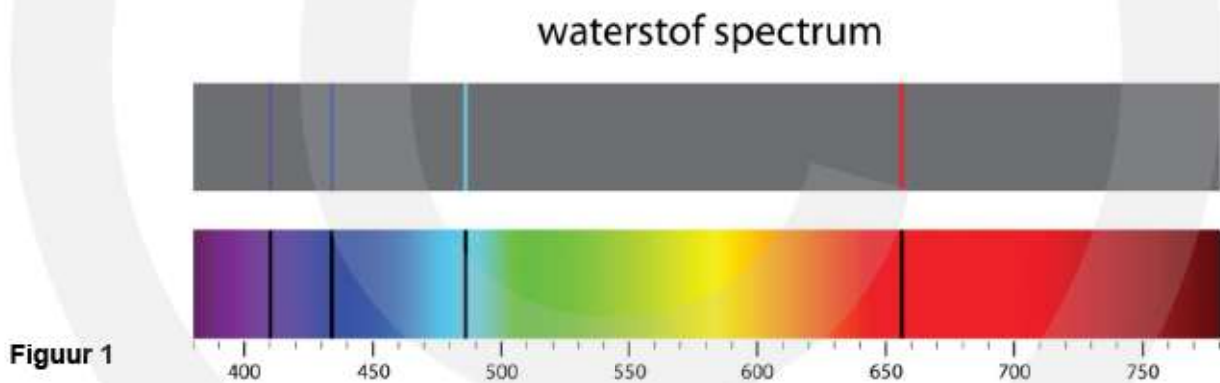
b Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in joule.

c Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in elektronvolt.

Om licht waar te nemen heeft het netvlies tenminste $1,7 \cdot 10^{-18}$ W nodig.

d Bereken hoeveel uitgezonden fotonen er per seconde op het netvlies moeten vallen om het licht afkomstig van strontiumatomen te kunnen zien.

6**** In figuur 1 zie je het spectrum van waterstof. In figuur 2 zie je de overgangen van de elektronen in een waterstofatoom.



Van de Balmerreeks zijn in figuur 2 drie overgangen aangegeven. De energie van de uitgezonden fotonen is gelijk aan het energieverval tussen de energieniveaus.

- a** Bereken de golflengte van de fotonen die worden uitgezonden als een elektron overspringt van 12,75 eV naar 10,20 eV.
- b** Welke lijn in figuur 1 hoort bij deze overgang?
- c** Bereken de golflengte van de fotonen die worden uitgezonden als een elektron overspringt van 12,09 eV naar 10,20 eV.
- d** Welke lijn in figuur 1 hoort bij deze overgang?

De derde overgang in de Balmerreeks begint op een onbekend energieniveau en eindigt op 10,20 eV.

- e** Geef in figuur 1 aan welke lijn bij deze overgang hoort.
- f** Bereken de energie van de fotonen in elektronvolt van de fotonen die bij deze overgang hoort.
- g** Bereken de energie van het onbekende energieniveau.

Volgens figuur 1 is er ook nog een vierde absorptie / emissielijn.

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

13.5 Draadloze communicatie

1** Met een radio luister je meestal naar FM-zenders. De frequentie van de draaggolf ligt bij deze zenders tussen 87,5 en 108 MHz.

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

Radio 538 was vroeger een piratenzender die vanaf de Noordzee uitzond onder de naam Radio Veronica. De EM-straling van Radio Veronica had een golflengte van 538 meter.

b Bereken de frequentie van Radio Veronica.

c Welke frequentieband werd door Radio Veronica gebruikt?

2** GPS satellieten gebruiken een frequentie van 1575,42 MHz.

a Bereken de golflengte van deze EM-straling.

3**** De sterkte van de ontvangen golf gedeeld door de sterkte van de uitgezonden golf is de dempingsfactor. Voor radiogolven geldt bij benadering:

$$\text{dempingsfactor} = 10^{-4} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot r} \right)^2$$

– λ is de golflengte van de draaggolf in meter

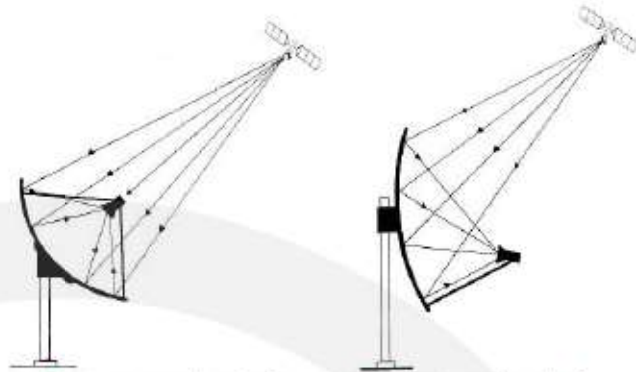
– r is de afstand tussen de zender en de ontvanger in meter

Om het radiosignaal zonder al te veel storing te kunnen ontvangen mag de dempingsfactor niet kleiner zijn dan $3,0 \cdot 10^{-16}$.

De afstand tussen Amsterdam en New York bedraagt 5868 km.

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

4*** Een schotelantenne bestaat uit een schotel die de EM-golven convergeert naar een antenne. In de antenne worden de EM-golven omgezet in een elektrisch signaal. Om televisie-signalen van een satelliet op te vangen zijn er twee typen schotels te koop. Zie onderstaande figuur.



Prime Focus schotel

Voor grotere schotels, daar de Inb schaduw teveel van het oppervlak bedekt, een grote schotel heeft daar minder hinder van.

Offset schotel

Meest voorkomend type Voor kleine en middelmatige schotels

In de figuur zie je hoe EM-straling van een satelliet wordt opgevangen. De figuur is misleidend, want in werkelijkheid is de EM-straling die wordt ontvangen een vrijwel evenwijdige bundel.

a Leg uit waarom dit het geval is.

Kleine en middelmatige schotels zijn meestal van het offset type.

b Leg uit waarom dit voor kleine schotels een beter ontwerp is.

Een schotelantenne versterkt het signaal met een factor. De versterkingsfactor is:

$$\text{versterkingsfactor} = \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2$$

- d is de diameter van de schotel
- λ is de golflengte van de EM-straling

Een satellietschotel heeft een diameter van 60 cm en is gericht op de Astra 1 satelliet. De Nederlandse publieke omroepen NPO 1, 2 en 3 worden door deze satelliet uitgezonden in de super high frequency (SHF) band op 12.515 MHz.

c Bereken de versterkingsfactor van de schotel.

5*** Zowel met een portofoon (walkytalky) als met een mobiele telefoon kun je draadloos communiceren.

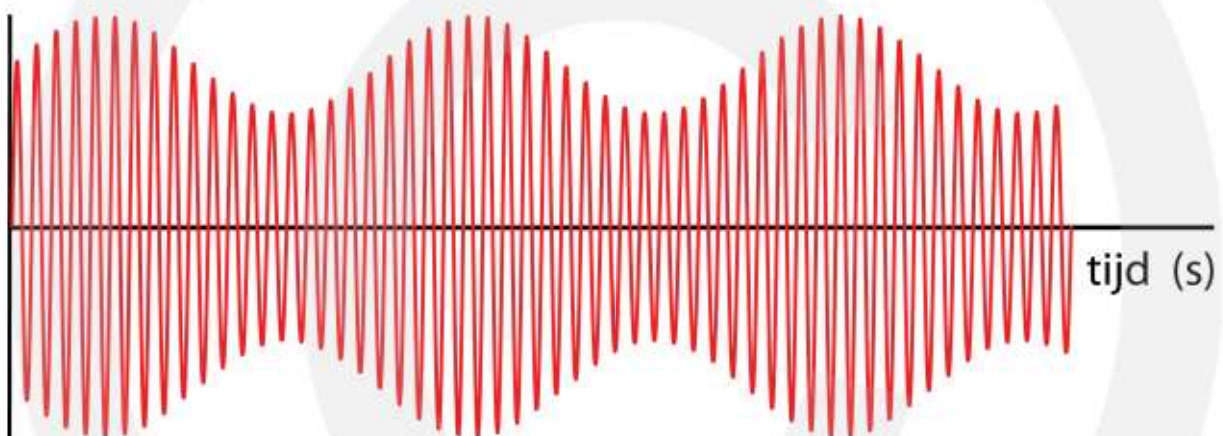
a Wat is het belangrijkste verschil tussen communiceren met een portofoon en communiceren met een mobiele telefoon?

Bij een bergwandeling gebruiken Demi en Tom portofoons om met elkaar in contact te blijven. Op de portofoon zit een meter die aangeeft hoe sterk het ontvangen signaal is. Er blijken nog meer wandelaars met portofoons in het gebied te zijn.

Na een tijdje hebben Demi en Tom oogcontact met elkaar verloren. Demi besluit te wachten. Ze meet met haar portofoon een zender P in het noorden met sterkte 5, een zender Q in het oosten met sterkte 3 en een zender R in het zuidwesten met sterkte 1. Tom meet met zijn portofoon zender P in het noorden met sterkte 1, zender Q in het oosten met sterkte 3 en zender R in het zuidwesten met sterkte 5.

- b** Maak een schets van de situatie. Geef aan waar Demi en Tom zich bevinden ten opzichte van de zenders P, Q en R.
- c** In welke richting moet Tom lopen om bij Demi te komen?

6** In de figuur zie je een EM-golf met amplitude modulatie.



De draaggolf heeft een frequentie van 150 kHz.

- a** Bepaal de frequentie van het signaal dat wordt verzonden.

In plaats van amplitudemodulatie kan ook frequentiemodulatie worden toegepast.

- b** Geef met een schets aan hoe de EM-golf er dan uitziet.

7** De frequentie van een AM-draaggolf varieert van 8599 tot 8601 kHz. De bandbreedte is dan 2 kHz.

- a** Hoe groot is de frequentie van de gebruikte draaggolf?

Het menselijk oor kan frequenties tot 20 kHz horen.

- b** Hoe groot moet de bandbreedte minstens zijn om geluid tot 20 kHz op de draaggolf te moduleren?

8** De middengolf band loopt in Europa van 531 tot 1602 kHz. De frequentie afstand tussen twee zenders bedraagt volgens internationale afspraak 10 kHz.

- a** Bereken hoeveel middengolfzenders er maximaal gebruik kunnen maken van deze middengolf band.
- b** Leg uit of de frequentie afstand tussen twee zenders een beperking oplegt aan de maximale signaal frequentie die kan worden uitgezonden?

9** Zender met frequentie modulatie (FM) zijn veel minder gevoelig voor storingen in de atmosfeer dan zenders met amplitude modulatie (AM). FM-radio is daarom van veel betere kwaliteit dan AM radio.

- a** Leg uit waarom FM minder gevoelig is voor storingen in de atmosfeer dan AM.

10*** Lees de onderstaande tekst:

De Publieke Omroep (NPO) stopt met radio via de AM band. Over twaalf maanden verstomd het geluid van Hilversum op de middengolf definitief.

De 200 duizend mensen die nog altijd dagelijks naar NPO Radio 5 luisteren via de middengolf op 747 AM moeten dus op zoek naar een andere manier om de zender te ontvangen. Door te stoppen bespaart NPO 1,2 miljoen euro per jaar. De hoge zendmasten die voor middengolf moeten worden gebruikt zijn verouderd en moeten worden vervangen. Bovendien kost het uitzenden van middengolf via de AM band drie miljoen kWh aan elektrische energie per jaar. Afscheid van AM is het einde van een tijdperk. Vooral in de jaren vijftig en zestig luisterden mensen massaal naar AM-zenders. In de jaren zeventig kwam de omslag, waarbij werd overgeschakeld naar het kwalitatief veel betere FM. Het verhuizen van NPO Radio 5 van de AM-band naar de FM-band is geen optie, omdat de FM band overvol is. NPO heeft maar recht op vier FM-frequentiepakketen, waardoor Radio 5 en Radio 6 afvallen. Vanaf volgend jaar zullen Radio 5 en 6 alleen via digitale kanalen draadloos te beluisteren zijn. Zeker tot 2023 blijft de FM-band nog relevant, maar de overheid overweegt om daarna ook met de FM band te stoppen. Alles gaat dan digitaal.

Naar Volkskrant, 16 september 2014

- a** Bereken de golflengte van Radio 5 op de AM-band.
- b** Leg uit waarom voor AM hoge zendmasten moeten worden gebruikt.
- c** Leg uit waarom het uitzenden van AM veel elektrische energie kost.
- d** Leg uit waarom FM kwalitatief veel beter is dan AM.

- e Leg uit wat er bedoeld wordt met de uitspraak dat de FM-band overvol is.
- f Leg uit waarom na 2023 ook de FM band zal ophouden te bestaan en alles digitaal wordt.

- 11**** De snelheid waarmee informatie wordt overgedragen wordt uitgedrukt in kB of MB per seconde. De snelheden van de verschillende mobiele telefoontechnieken zijn:
- gsm (2G) 10 kB/s
 - UMTS (3G) 2 MB/s
 - LTE (4G) 1 GB/s

Je wilt een foto van 3 MB versturen.

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

- 12***** Om van een analoog signaal een digitaal signaal te maken moet het signaal snel na elkaar worden gemeten. Het aantal metingen per seconde heet de bemonsteringsfrequentie of de sample frequentie. Het aantal stappen waarin het analoge signaal wordt verdeeld heet de resolutie.

Voor muziek op een cd is de bemonsteringsfrequentie 44,1 kHz. Het signaal wordt verdeelt in 65.536 stappen. Met een n-bits omzetter kun je 2^n stappen maken.

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

De snelheid waarmee informatie wordt overgedragen heet de bitrate. Om stereo muziek op te slaan zijn twee gescheiden kanalen nodig.

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

Een byte is gelijk aan 8 bits. Op een cd past ongeveer 70 minuten muziek.

- c Bereken hoeveel MB (megabyte) informatie er op een cd past.

13**** Pioneer-10

De verkener Pioneer-10 werd gelanceerd in 1972. Voordat Pioneer-10 het zonnestelsel verliet, beschreef hij een baan langs verschillende planeten. Om continu de snelheid van Pioneer-10 te bepalen en commando's over te brengen, gebruikt men radiocommunicatie. Hiertoe zendt men vanaf de aarde een draaggolf van 1,88 GHz uit (uplink), waarvan de frequentie na ontvangst in Pioneer-10 met een factor 1,10 wordt vermenigvuldigd en teruggezonden (downlink). Uren later wordt het downlink-

signaal op aarde ontvangen, terugvermenigvuldigd en met het oorspronkelijke signaal vergeleken.

De commando's worden gegeven door de draaggolf met een bandbreedte van 40 MHz te moduleren. Het vermenigvuldigen met de factor 1,10 zorgt ervoor dat de uplink- en downlink-signalen in gescheiden kanalen zitten.

- a** Toon dat met een berekening aan.
- b** Leg uit of hier sprake is van amplitudemodulatie of van frequentiemodulatie.
- c** Waarom is kanaalscheiding noodzakelijk?

13.6 Röntgenstraling

1** Hiernaast zie je een röntgenfoto uit 1896 gemaakt door Wilhelm Röntgen. Op de foto zie je de linkerhand van een medewerker.

Het handweefsel is veel minder goed zichtbaar dan de botten.

a Leg uit waarom dit het geval is.

Om de ringvinger zitten twee metalen ringen.

b Leg uit waaraan je kunt zien dat de ringen van metaal zijn gemaakt.

We willen graag weten van welk metaal de ringen zijn gemaakt.

c Leg uit of je dit met een röntgenfoto kunt bepalen.



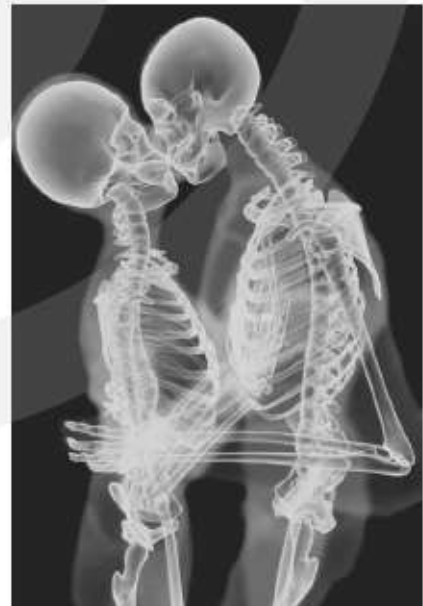
2** Bram en Charlotte willen hun liefde vereeuwigen met een röntgenfoto.

a Leg uit waarom dit geen goed idee is ?

b Bereken de energie van een röntgenfoton met een frequentie van $1,0 \cdot 10^{18}$ Hz.

Het verbreken van een chemische binding kost gemiddeld 4,2 eV energie.

c Bereken hoeveel chemische bindingen één röntgenfoton kan verbreken.

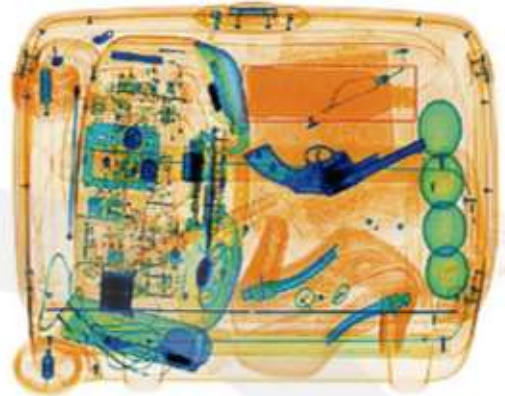


3* Op een vliegveld wordt de bagage met röntgenstraling gecontroleerd. Hiernaast zie je het resultaat van een controle.

a Leg uit waarom de bagage met röntgenstraling wordt bekeken.

Behalve het pistool zit er ook een paar schoenen in de koffer.

b Wat valt je op aan deze schoenen?



4** Röntgenstraling is gevaarlijk vanwege de ioniserende werking.

a Leg uit wat ioniserende werking is en waarom röntgenstraling gevaarlijk is.

De eenheid van stralingsbelasting is de sievert.

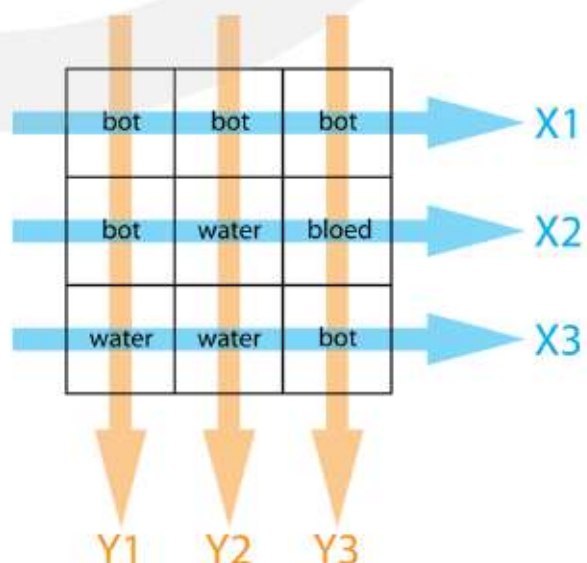
b Hoe is de sievert gedefinieerd?

Een stralingsbelasting van bijvoorbeeld 250 mSv betekent niet altijd hetzelfde risico.

c Geef twee redenen waarom het gezondheidsrisico bij een stralingsbelasting van 250 mSv kan verschillen.

5**** Bij een CT-scan worden röntgenfoto's onder verschillende hoeken gemaakt. De intensiteit van de röntgenstraling die de detector bereikt is afhankelijk van het tussenliggende weefsel. In de figuur zie je schematisch een stukje menselijk weefsel dat water, bloed en botweefsel bevat. De getekende cellen (blokjes) hebben een afmeting van 2 bij 2 millimeter.

Er worden twee röntgenfoto's gemaakt, één waarbij de straling horizontaal van links naar rechts door het weefsel gaat en één waarbij de straling verticaal van boven naar beneden door het weefsel gaat. De pijlen geven de richting van de röntgenstraling aan. Zie figuur 1. De detectoren x1, x2, x3 en y1, y2, y3 meten hoeveel procent van de straling wordt doorgelaten.



- Een cel water absorbeert 2% van de röntgenstraling.
- Een cel bot absorbeert 10% van de röntgenstraling.

David beweert dat detector X1 zal aangeven dat 70% van de straling wordt doorgelaten.

- Leg uit waarom David geen gelijk heeft.
- Toon aan dat detector X1 meet dat er 72,9% wordt doorgelaten.
- Bereken hoeveel procent doorgelaten straling detector Y1 meet.
- Bij welke detector X2 of X3 verwacht je het grootste percentage doorgelaten straling?

Detector X3 meet water–water–bot en detector Y2 meet bot–water–water.

- Verwacht je dat X3 en Y2 verschillende of dezelfde waarden zullen geven. Licht je antwoord toe.
- Bereken de waarden die X3 en Y2 meten.

Detector X2 meet 85% doorgelaten straling.

- Bereken hoeveel procent een cel bloed absorbeert.
- Bereken hoeveel blokjes water er nodig zijn om 15% van de straling te absorberen.

6*** Voor het maken van een röntgenfoto wordt röntgenstraling met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz gebruikt. Röntgenstraling wordt opgewekt door elektronen te versnellen en tegen een koperen plaat te schieten. Bij de botsing wordt een elektron uit de K-schil van een Cu atoom verwijderd. Voor het versnellen van de elektronen wordt een spanning aangelegd tussen de kathode en de anode van de röntgenbuis. Bij de kathode vertrekken de elektronen met een verwaarloosbare beginsnelheid.

- Leg uit hoe door het beschieten van Cu met elektronen röntgenstraling wordt opgewekt.
- 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.
- Bereken de minimale snelheid van de elektronen bij het botsen.
- Bereken de minimale spanning die nodig is om deze snelheid te bereiken.
- Leg uit wat er gebeurt als de elektronen met een grotere snelheid tegen de koperen plaat botsen.

13.7 Magnetische resonantie: MRI

- 1*** Veel gebruikte technieken voor medische diagnoses zijn:
- echografie
 - Röntgenfoto
 - CT-scan
 - MRI scan
- a** Noem een voordeel en een nadeel van een röntgenfoto ten opzichte van echoscopie.
- b** Noem een voordeel en een nadeel van een CT-scan ten opzichte van een röntgenfoto.
- c** Noem een voordeel en een nadeel van een MRI-scan ten opzichte van een CT-scan.
- 2**** Bij een MRI-scan wordt de EM-straling gemeten die door waterstofkernen in het radiofrequente gebied wordt uitgezonden.
- a** Waarom zenden waterstofkernen bij een MRI-scan EM-straling uit?
- b** Bestaat de uitgezonden EM-straling uit één of uit meerdere frequenties?
- Door bloed en door weefsel wordt meer EM-straling uitgezonden dan door botweefsel.
- c** Leg uit waarom dit het geval is.
- 3***** Bij MRI wordt EM-straling met een frequentie in het radiofrequente gebied gebruikt. Bij een magneetveld van 1,0 Tesla wordt een MRI signaal verkregen bij een frequentie van 42,5781 MHz. Er is een recht evenredig verband tussen de sterkte van het magnetische veld en de frequentie.
- a** Wat wordt er bedoeld met een recht-evenredig verband?
- In een MRI scanner wordt een veld van 2,3 Tesla gebruikt.
- b** Bereken de frequentie waarbij het MRI signaal wordt verkregen.
- 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.

Per volume-eenheid bevat een tumor bevat relatief veel waterstof. Met een MRI scan wordt de tumor zichtbaar gemaakt.

- d** Welke invloed heeft de verhoogde concentratie waterstof op de golflengte van de gedetecteerde EM straling?
- e** Welke invloed heeft de verhoogde concentratie waterstof op de amplitude van de gedetecteerde EM straling?

4** Om met MRI bloedvaten duidelijk in beeld te krijgen wordt er soms contrastvloeistof in de bloedstroom geïnjecteerd. Contrastmiddelen voor MRI zijn vaak verbindingen met het element gadolinium, omdat dit element gunstige magnetische eigenschappen heeft.

- a** Moet bij MRI de contrastvloeistof straling uitzenden?

Het contrastmiddel beïnvloedt hoe lang georiënteerde waterstofkernen gemiddeld in de anti-parallelle (hoge energie) toestand verblijven. De T1 tijd is de tijd waarin 63% van de protonen van de anti-parallelle (hoge energie) naar de parallelle (lage energie) toestand zijn vervallen. Omdat weefsels verschillende T1 tijden hebben, kunnen ze van elkaar worden onderscheiden

- b** Leg uit hoe je de T1 tijd kunt meten.
- c** Leg uit hoe het verlagen van de T1 tijd het contrast tussen bloed in de bloedvaten en het omliggende weefsel beïnvloedt.

5** Bij functionele MRI (f-MRI) worden veranderingen in het MRI signaal gemeten door snel na elkaar een MRI-scan te maken. De f-MRI techniek wordt veel gebruikt om processen in de hersenen te bestuderen. Maak je met een f-MRI iedere twee seconden een hersenscan, dan kun je de doorbloeding van de hersenen in kaart brengen tijdens het uitvoeren van een opdracht.

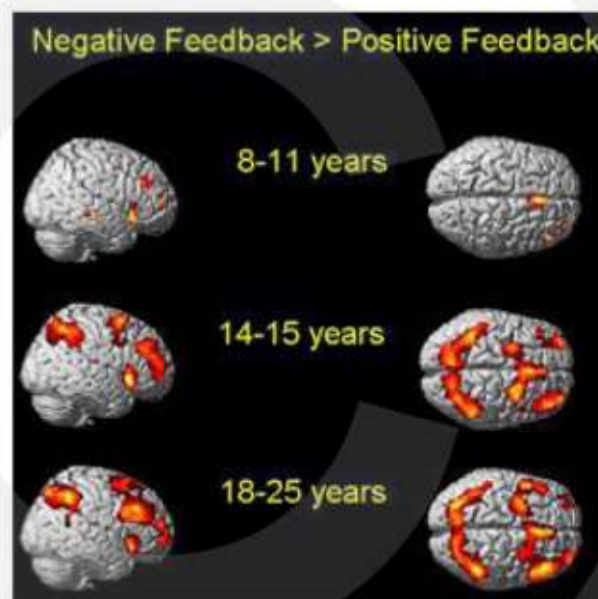
Bij f-MRI kan maar een klein deel van het lichaam worden bestudeerd met een lagere resolutie dan bij gewone MRI.

- a** Leg uit waarom dit het geval is.
- b** Bij f-MRI wordt een 4D-dataset verkregen. Leg uit waarom er bij f-MRI over vier dimensies wordt gesproken.

6*** Aan de universiteit van Leiden wordt met behulp van f-MRI onderzoek gedaan naar het puberbrein. Lees onderstaande tekst.

Sociale wederkerigheid

Wat verder opvalt aan de ontwikkeling tijdens de adolescentie, is dat sociale en morele beslissingen dikwijls nog niet van hetzelfde niveau zijn als het cognitieve functioneren. Westenberg: "Vanaf hun twaalfde kunnen veel adolescenten al logisch redeneren op een niveau dat niet veel onderdoet voor dat van volwassenen. Met hun denkvermogen is dan ook niets mis. Het schort vaak echter nog aan inzicht in sociaal gedrag en sociale interacties. In het Brain and Development Lab doen we bijvoorbeeld onderzoek naar sociale wederkerigheid, waaruit blijkt dat adolescenten pas op latere leeftijd inzien dat ze er zelf baat bij hebben om vertrouwen aan anderen te schenken."



Bron:
website universiteit Leiden

In de figuur zie je het resultaat van f-MRI onderzoek waarbij aan de linkerkant de proefpersonen negatieve reactie krijgen op een uitgevoerde taak en aan de rechterkant positieve reactie. In de rood oplichtende gebieden in de hersenen is de doorbloeding groter dan in de rest van de hersenen.

a Leg uit hoe het f-MRI resultaat onderbouwing geeft aan bovenstaande tekst.