

11 Elektromagnetische straling havo

11.1 Licht als golf

- 1**** Een natriumlamp zendt licht uit met een golflengte van 590 nm.
a Bereken de frequentie van dit licht.
b Welke kleur heeft dit licht?
- 2**** De afstandsbediening van een televisie zendt straling uit met een golflengte van 940 nm.
a Bereken de frequentie van deze straling.
b Waarom kun je deze straling niet zien?
- 3***** Na het succesvolle Apollo project, waarbij astronauten op de maan zijn geland, wordt er nagedacht om mensen naar Mars te brengen. Aarde en Mars draaien beide om de zon, waarbij de kleinst mogelijke afstand tussen de planeten $7,84 \cdot 10^{10}$ m is. Stel dat astronauten op het oppervlak van Mars een melding maken dat zich een probleem voordoet.
a Na hoeveel minuten kunnen de astronauten op zijn vroegst antwoord verwachten?
- 4**** 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.
- 5***** 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.
- 6***** Een magnetronoven 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 hiervoor een verklaring.

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

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

7***

Het 4G netwerk in Europa maakt veel gebruik van 900 MHz, 1800 MHz en 2100 MHz elektromagnetische straling.

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

11.2 Licht als deeltje: fotonen

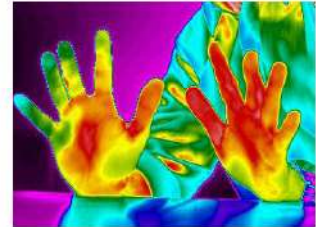
De wet van Wien

- 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.

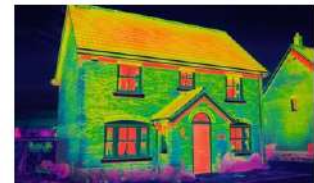


- 2* Hiernaast zie je een infrarood foto van een huis opgenomen met een thermische camera.

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.

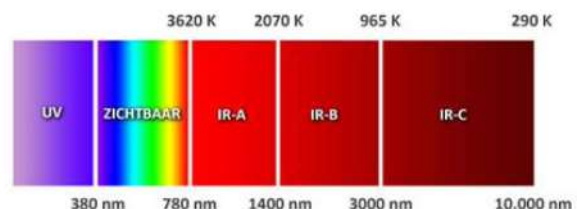


- 3** De lichaamstemperatuur van een zoogdier is $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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.

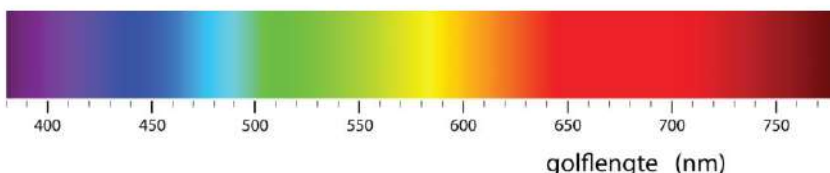
Bij de overgang van UV naar zichtbaar is alleen de golflengte aangegeven.

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 een elektrische straalkachel. Daarnaast 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 de straalkachel komt niet overeen met λ_{max} van de wet van Wien.

a Toon dit aan.

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.

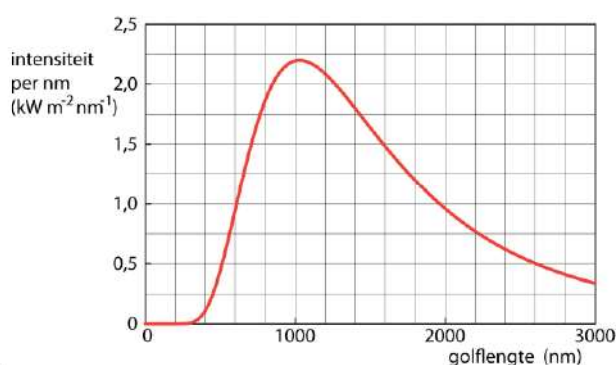
Om te voorkomen dat je je handen niet brandt mag de buitenkant van de kachel niet warmer zijn dan 70 °C.

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

6** In een gloeilamp zit een dunne draad gemaakt van wolfram waar elektrische stroom doorheen gaat. Vanwege de weerstand van de draad krijgt het een hoge temperatuur, waardoor het licht gaat uitstralen.

In de figuur zie je het continue spectrum dat door de gloeidraad wordt uitgestraald.

a Bepaal de temperatuur van de draad in °C.



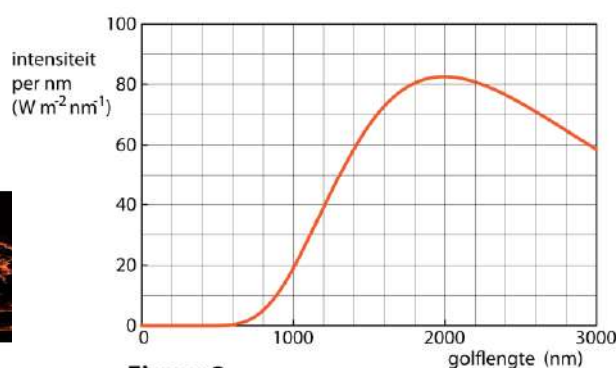
Een gloeilamp heeft een laag rendement.

b Leg uit hoe dit volgt uit de grafiek.

7** Lava is gesmolten steen dat wordt uitgestoten door een vulkaan. Om de temperatuur van lava te bepalen wordt het stralingsspectrum opgenomen. Zie figuren 1 en 2.



Figuur 1



Figuur 2

a Bepaal 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?

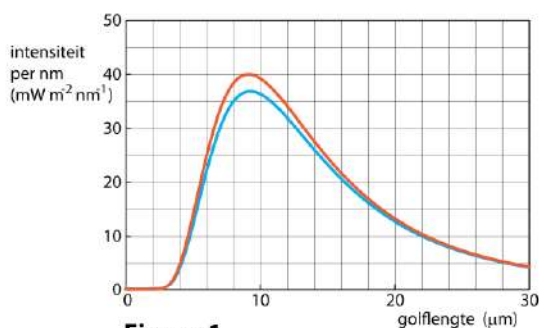
- 8**** Als iets heel erg warm is kan het "witheet" worden. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens het lassen.
- a** Heeft wit licht een bepaalde golflengte?
 - b** Wanneer ervaar je licht als wit?
 - c** Bij welke temperatuur ga je het licht als wit ervaren?



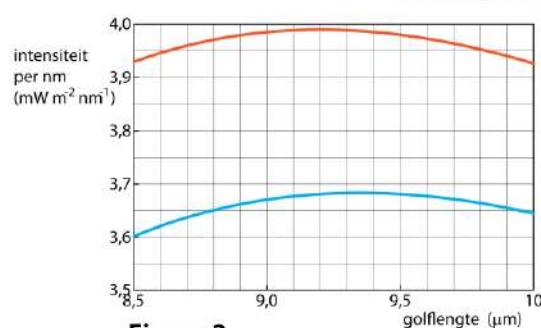
De overgang van zichtbaar licht naar UV ligt bij ongeveer 380 nm.

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

- 9***** Om je lichaamstemperatuur op te nemen kun je met een koortsthermometer de temperatuur van je trommelvlies meten. In figuur 1 zie je het continue spectrum dat door het trommelvlies wordt uitgestraald. In figuur 2 is het gebied waar de grafieken een maximum hebben uitvergroot.



Figuur 1



Figuur 2

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

In de figuren 1 en 2 zie je twee grafieken. Bij één grafiek ben je gezond en bij de andere heb je koorts.

- b** Leg uit bij welke grafiek je koorts hebt.
- c** Bepaal de temperatuur van je trommelvlies als je koorts hebt in °C.

Om je temperatuur te meten zijn er twee methodes. Bij methode A meet je het spectrum en bepaal je de golflengte waarbij de uitstraling maximaal is. Bij methode B meet je de uitgestraalde intensiteit bij 9,0 μm en bereken je hieruit de temperatuur. Bij methode C meet je de uitgestraalde intensiteit bij 4,0 μm en bij 9,0 μm en bereken hoeveel groter de uitstraling bij 9,0 μm is ten opzichte van die bij 4,0 μm.

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

De wet van Stefan-Boltzmann

Gebruik voor de opgaven 10, 11 en 12 de wet van Stefan-Boltzmann voor het uitgestraalde vermogen van EM-straling:

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

- P_{bron} is de uitgestraalde energie per seconde (het vermogen) in watt (W)
- A_{bron} is de oppervlakte van de stralingsbron in vierkante meter (m^2)
- σ is de constante van Stefan-Boltzmann | $\sigma = 5,67037 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
- T is de temperatuur van de stralingsbron in kelvin (K)

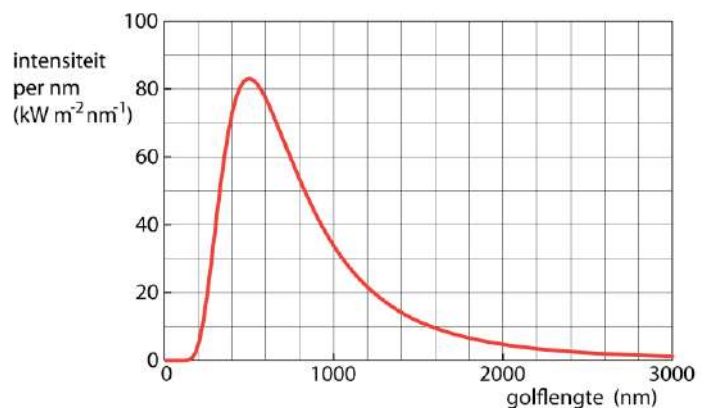
- 10***** In de figuur zie je het spectrum dat door de zon wordt uitgestraald. Hieruit kun je afleiden dat de temperatuur van het oppervlakte van de zon $5,78 \cdot 10^3 \text{ K}$ is.

a Toon dit aan.

Voor het uitgestraalde vermogen van EM-straling geldt:

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

- P_{bron} is de uitgestraalde energie per seconde (het vermogen) in watt (W)
- A_{bron} is de oppervlakte van de stralingsbron in vierkante meter (m^2)
- σ is de constante van Stefan-Boltzmann | $\sigma = 5,67037 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
- T is de temperatuur van de stralingsbron in kelvin (K)



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

b Toon dit aan.

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

De zon straalt een vermogen uit van $3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

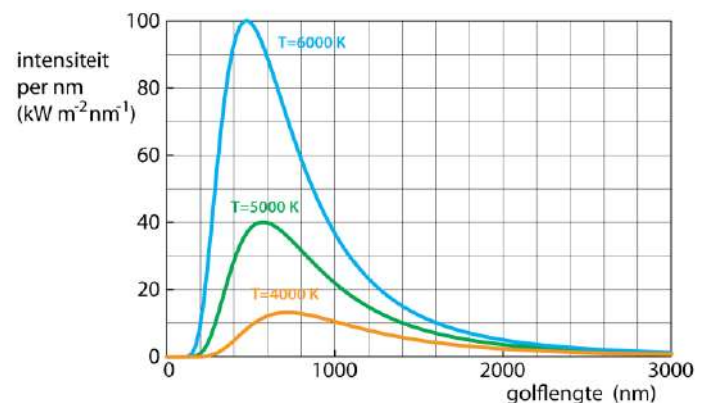
d Bereken de oppervlakte van de zon.

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

e Bereken de straal van de zon.

- 11+** In de figuur zie je het spectrum dat een voorwerp bij verschillende temperaturen uitstraalt.

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



Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is het uitgestraalde vermogen recht evenredig met de temperatuur in kelvin tot de vierde macht: $P_{\text{bron}} = c \cdot T^4$ waarin c een constant getal is.

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

Fotonen

12* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

13* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

14* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

15* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ J}$$

$$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ eV}$$

$$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$$

16** 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.

11.3 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.



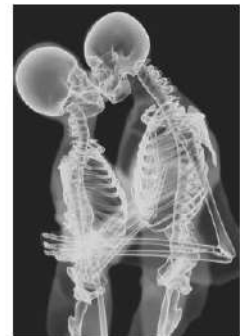
Om de ringvinger zitten twee metalen ringen.

- b** Leg uit waaraan je kunt zien dat de metalen ringen een grote dichtheid hebben.

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

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

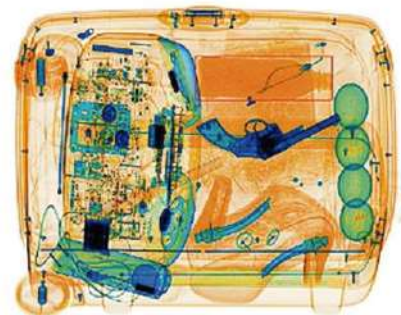
- 2**** Bram en Charlotte willen hun liefde vereeuwigen met een röntgenfoto.
- a** Leg uit waarom dit geen goed idee is ?
- b** Bereken de energie van een röntgenfoton met een frequentie van $1,00 \cdot 10^{18}$ Hz.



Het verbreken van een chemische binding kost gemiddeld 4,20 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 zitten er ook 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 stralingsbelasting wordt uitgedrukt in sievert. Dit is de hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie per kilogram. Een stralingsbelasting van bijvoorbeeld 25 mSv betekent niet altijd hetzelfde risico.

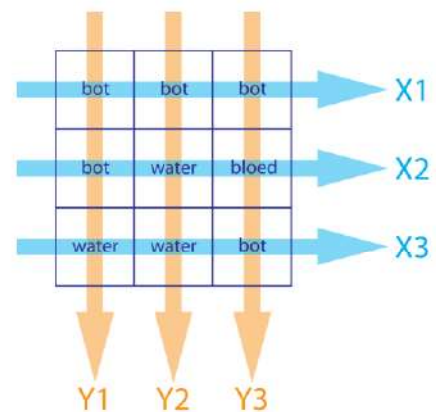
- b** Geef twee redenen waarom het gezondheidsrisico bij een stralingsbelasting van 25 mSv kan verschillen.

5*** 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.

- Bereken de kinetische energie die een elektron minstens moet hebben om een röntgenfoton met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz te laten ontstaan.
- Bereken de minimale snelheid van de elektronen bij het botsen.
- Leg uit wat er gebeurt als de elektronen met een grotere snelheid tegen de koperen plaat botsen.

6**** 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.