

11

Elektromagnetische straling

havo

11.1 Licht als golf

1**

a Bereken de frequentie van dit licht.

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

b Welke kleur heeft dit licht?

- opzoeken in Binas → geel licht

2**

a Bereken de frequentie van deze straling.

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

b Waarom kun je deze straling niet zien?

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

3***

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

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

4**

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

- radiogolven worden uitgezonden door een antenne en niet door een luidspreker
- radiogolven zijn geen geluidsgolven maar elektromagnetische golven

b Bereken de golflengte van deze radiogolven.

- $v_{\text{golf}} = c = f \cdot \lambda$

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

5***

a Bereken de golflengte van deze radiogolven.

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

6***

a Bereken de golflengte van deze microgolven.

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

b Geef hiervoor een verklaring.

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

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

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

7***

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

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

11.2 Licht als deeltje: fotonen

De wet van Wien

1*

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

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

b Geef hiervoor een verklaring.

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

2*

a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

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

b Leg uit wat je hieruit kunt concluderen.

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

3**

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

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

b Bereken de frequentie van deze straling.

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

4**

a Controleer of de informatie in de figuur klopt.

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

b Bereken de temperatuur die hiermee correspondeert.

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

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

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

5***

a Toon dit aan.

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

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

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

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

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

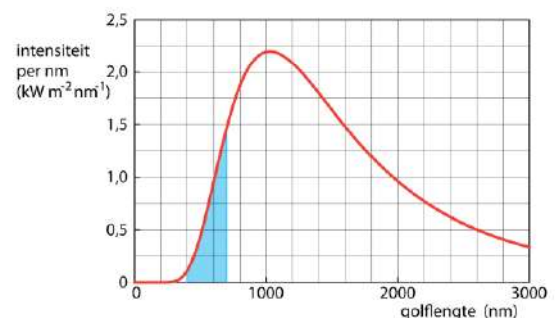
6**

a Bepaal de temperatuur van de draad in °C.

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

b Leg uit hoe dit volgt uit de grafiek.

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



7**

a Bereken de temperatuur van de lava in graden celsius.

- aflezen $\lambda_{\max} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

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

b Waarom zie je dat het lava oranje licht uitstraalt?

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

8**

a Heeft wit licht een bepaalde golflengte?

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

b Wanneer ervaar je licht als wit?

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

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

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

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

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

9***

a Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

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

b Leg uit bij welke grafiek je koorts hebt.

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

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

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

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

- methode A is niet nauwkeurig, want $\lambda_{\max}$ verandert maar weinig tussen $T = 37 \text{ } ^\circ\text{C}$ en $T = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$
- methode B is niet geschikt want de gemeten intensiteit hangt af van de hoeveelheid straling die op de thermometer valt en dat verschilt per meting

- methode C is het beste want de toename van de intensiteit tussen $4\mu\text{m}$ en $9\mu\text{m}$ is bij 42°C een stuk groter dan bij 37°C

De wet van Stefan-Boltzmann

10***

a Toon dit aan.

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

b Toon dit aan.

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

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

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

d Bereken de oppervlakte van de zon.

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

e Bereken de straal van de zon.

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

11+

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

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

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

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

- van 4000 naar 6000 $\rightarrow 7,5 \cdot \left(\frac{6000}{4000}\right)^4 = 38$ KLOPT
- van 5000 naar 6000 $\rightarrow 18 \cdot \left(\frac{6000}{5000}\right)^4 = 37$ KLOPT

Fotonen

12* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

13* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

14* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

15* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

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

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

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

16**

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

11.3 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.

- vanwege de grote dichtheid worden röntgenstraling door het metaal geabsorbeerd
- op de röntgenfoto is de ring zichtbaar als donker object

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

- metalen absorberen vrijwel alle röntgenstraling
- met absorptie van röntgenstraling is 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
- $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,0 \cdot 10^{18} = 6,62607 \cdot 10^{-16} = 6,6 \cdot 10^{-16} = \text{J}$

c Bereken hoeveel chemische bindingen één röntgenfoton kan verbreken.

- omrekenen joule naar eV: delen door $e = 1,60218 \cdot 10^{-19}$ C
- $E_{\text{foton}} (\text{eV}) = 6,62607 \cdot 10^{-16} / 1,60218 \cdot 10^{-19} = 4,13605 \cdot 10^3$ eV
- aantal gebroken bindingen: $4,13605 \cdot 10^3 / 4,2 = 984,77 = 985$ bindingen

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

- 5*** a** Bereken de kinetische energie die een elektron minstens moet hebben om een Röntgenfoton met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz te laten ontstaan.
- $E_{\text{foton}} = h \cdot f$ met $h = 6,62607 \cdot 10^{-34}$ J s
 - $E_{\text{foton}} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \cdot 1,85 \cdot 10^{19} = 1,225823 \cdot 10^{-14}$ 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

- b** 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 [rustmassa elektron in Binas 7B](#)
 - $1,225823 \cdot 10^{-14} = \frac{1}{2} \cdot 9,10939 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,64053 \cdot 10^8 = v = 1,64 \cdot 10^8$ m / s
- c** 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 koper-atomen gaan met grotere amplitude trillen

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

- b** Toon aan dat detector X1 meet dat er 72,9% wordt doorgelaten.
- 70% doorgelaten is 0,7 van de straling
 - achter cel 1 nog 0,9 over,
 - achter cel 2 nog 0,9 van 0,9 = $0,9^2$ over
 - achter cel 3 nog $0,9^3 = 0,729$ over
 - detector 3 geeft aan dat 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 $1 - 0,9637 = 0,03628 = 3,6 \%$