

# Pulsar

## 3e editie

### natuurkunde

## 5 havo

### uitwerkingen

#### **Auteurs**

Leo te Brinke  
Ton van den Broeck  
Peter Brussaard  
Sjef Buil  
Dick Hoekzema  
Joost Massolt  
Aartjan van Pelt  
René van der Veen  
Jaap Vreeling  
Paul Zuurbier

#### **Eindredactie**

Lieke HeimeI  
Jan Penterman

# Inhoud

---

- 10 Straling 6**
  - Introductie 6
  - 10.1** Straling in soorten 6
  - 10.2** Ioniserende straling 7
  - 10.3** Radioactief verval 8
  - 10.4** Straling en risico's 10
    - Toepassing 12
    - Proefwerkopgaven 14
  
- 11 Kracht in evenwicht 16**
  - Introductie 16
  - 11.1** Krachten zijn vectoren 16
  - 11.2** Krachten onder een hoek 17
  - 11.3** Krachten op de helling 18
  - 11.4** Zwaartepunt en hefboom 19
    - Toepassing 20
    - Proefwerkopgaven 22
  
- 12 Eigenschappen van stoffen en materialen 24**
  - Introductie 24
  - 12.1** Het deeltjesmodel 24
  - 12.2** Warmtetransport 25
  - 12.3** Warmte-uitwisseling 26
  - 12.4** Warmtegeleiding en elektrische geleiding 27
  - 12.5** Rekken en trekken 27
    - Toepassing 29
    - Proefwerkopgaven 30
  
- 13 Functionele materialen (verplicht SE) 31**
  - Introductie 31
  - 13.1** Kunststoffen 31
  - 13.2** Koolstof 32
  - 13.3** Metalen 33
  - 13.4** Silicium 33
  - 13.5** Technisch ontwerpen 35
    - Toepassing 36
    - Proefwerkopgaven 37
  
- 14 Communicatie en medische beeldvorming 38**
  - Introductie 38
  - 14.1** Zender en ontvanger 39
  - 14.2** Mobiele telefonie 41
  - 14.3** Medische beeldvorming met geluid 42
  - 14.4** Medische beeldvorming met straling 43
    - Toepassing 44
    - Proefwerkopgaven 45
  
- 15 Zonnestelsel en heelal 46**
  - Introductie: Afstanden in het heelal 46
  - 15.1** Waarnemingen in de sterrenkunde 46
  - 15.2** De beweging van hemellichamen 47
  - 15.3** Het zonnestelsel 48
  - 15.4** Zon en sterren 49
  - 15.5** Het heelal 50
    - Toepassing 51
    - Proefwerkopgaven 52
  
- 16 Aarde en klimaat (keuze SE) 54**
  - Introductie 54
  - 16.1** Luchtdruk 54
  - 16.2** Regen en wind 56
  - 16.3** Zomer en winter 56
  - 16.4** Aardbevingen 57
  - 16.5** De temperatuur op aarde 58
    - Toepassing 59
    - Proefwerkopgaven 60
  
- 17 Menselijk lichaam (keuze SE) 61**
  - Introductie 61
  - 17.1** Spraak en gehoor 61
  - 17.2** Afbeeldingen en zicht 63
  - 17.3** Warmte en lichaamstemperatuur 63
  - 17.4** Druk in je lichaam 65
    - Toepassing 66
    - Proefwerkopgaven 68

# Hoofdstuk 10

## Straling

### ■ Introductie

- 1 Nee. Een versnelling van  $5,5 \text{ m/s}^2$  komt overeen met een versnelling van  $\frac{5,5}{9,81} = 0,56 \text{ g}$ . Dit is meer dan  $0,45 \text{ g}$ .
- 2 In de uiterste stand. In deze stand is de netto kracht het grootst. De versnelling is daarom ook het grootst. In de evenwichtsstand is de netto kracht 0 en de versnelling dus ook 0.
- 3 Het gemiddelde vermogen is  $1,1 \cdot 10^2 \text{ kW}$ . Totaal konden de 13 generatoren  $13 \times 6,0 = 78 \text{ MWh}$  leveren. Dit is  $78 \cdot 10^3 \text{ kWh}$ . Hiermee kan een maand lang gekoeld worden. Het vermogen is dan:
 
$$P = \frac{E}{t} = \frac{78 \cdot 10^3 \text{ kWh}}{30 \times 24 \text{ h}} = 1,1 \cdot 10^2 \text{ kW}$$
- 4 De verspreiding van de radioactieve stoffen is richting het noordwesten. De wind kwam dus uit het zuidoosten.
- 5 a Na 90 jaar is de hoeveelheid Cesium 3 maal gehalveerd.  $100\% \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 12,5\%$   
 b Na 210 jaar  
 Na nog 4 halveringstijden is de hoeveelheid Cesium nog maar  $0,78\%$  van wat het eerst was:  $12,5\% \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,78\%$ . Er is dan meer dan  $99\%$  verdwenen. Dit zijn totaal 7 halveringstijden.  $7 \times 30 = 210$  jaar.
- 6 Het nadeel van het koelen met zeewater is dat het zeewater verontreinigd wordt met radioactief materiaal. Het nadeel van het ventileren is dat er radioactief gas kan ontsnappen uit de reactor.
- 7 De film gaat over een fictief bijna-ongeluk bij een kernreactor. Als de kernreactor zou smelten zou hij volgens de film door de aarde heen smelten en China bereiken.  
 12 dagen na de première gebeurde er werkelijk een ongeluk bij de kerncentrale *Three Mile Island*.

### ■ 10.1 Straling in soorten

- 1 a 8,3 minuten  
 De afstand aarde – zon is  $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$   
 De lichtsnelheid is  $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
 Met de formule  $t = \frac{s}{v} = \frac{1,5 \cdot 10^{11}}{3,0 \cdot 10^8} = 500 \text{ s} = 8,3 \text{ min}$

- b De meest nabije ster (na de zon) staat op ongeveer  $4,3$  lichtjaar. Je berekent dit als volgt:  
 De afstand die het licht in 1 jaar aflegt (lichtjaar) is:  
 $s = v \cdot t = 3,0 \cdot 10^8 \times 365 \times 24 \times 3600 = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$

De afstand is dus:  $\frac{4,1 \cdot 10^{16}}{9,5 \cdot 10^{15}} \approx 4,3$  lichtjaar

*Je kunt ook in Binas opzoeken hoeveel één lichtjaar is.*

- 2 a Infrarood  
 b Ultraviolet  
 c radiogolven (*korte en ultrakorte golven, ook wel metergolven*)  
 d Infrarood  
 e radiogolven (*microgolven, ook wel millimetergolven*)  
 f  $\gamma$ -straling (*kosmische straling*)
- 3 Dit is te vinden in *Binas*. Van lage naar hoge golflengte:  
 de kosmos, zonnebank, afstandsbediening, radiator, radar, tv-zendmast
- 4 Het metaal laat minder röntgenstraling door dan de voet.
- 5 a Röntgenstraling wordt opgewekt in een röntgenbuis door een materiaal te beschieten met snelle elektronen.  
 b De straling heet kernstraling omdat de kern van het atoom deze straling uitzendt.  
 c Kernstraling wordt onderverdeeld in  $\alpha$ -,  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling.
- 6 Pulsje
- 7 a  $3,32 \cdot 10^5 \text{ s}$   
 De afstand aarde-zon is  $0,1496 \cdot 10^{12} \text{ m}$   

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,1496 \cdot 10^{12}}{450 \cdot 10^3} = 3,32 \cdot 10^5 \text{ s} (= 92,3 \text{ h})$$
  
 b  $\gamma$ -straling gaat met de lichtsnelheid, dus sneller dan  $\alpha$ -straling. Het duurt  $8,3$  min, zie opdracht 1a.
- 8 a Als de ozonlaag dunner wordt, dan wordt minder ultraviolette straling van de zon tegengehouden. Dat is schadelijk voor het leven op aarde (*onder andere huidkanker bij mensen*).  
 b Koolstofdioxide is een zogenaamd broeikasgas. Bij teveel  $\text{CO}_2$  wordt veel warmtestraling van de aarde teruggekaatst naar het aardoppervlak waardoor de temperatuur stijgt.

- 9 a Kosmische straling is straling afkomstig uit het heelal.  
 b Om botten te onderzoeken wordt vaak röntgenstraling gebruikt. Bij het behandelen van tumoren wordt ook vaak straling gebruikt.
- 10 a De invloed van straling hoog in de lucht is groter dan op de grond.  
 b De conclusie is dat de straling niet afkomstig is van de zon. De straling van de zon kan de aarde namelijk niet bereiken tijdens een zonsverduistering.
- 11 a De aanwezigheid van natuurlijke bronnen en de hoogte boven zeeniveau (op grotere hoogte zit er minder atmosfeer boven je en wordt minder straling uit het heelal geabsorbeerd).  
 b De aanwezigheid van bijvoorbeeld een ziekenhuis of een kerncentrale.

### 10.2 Ioniserende straling

- 12 UV-A is het minst schadelijk. UV-A moet daarom direct onder licht komen te staan, daaronder UV-B en daaronder UV-C.
- 13 a UV-B heeft meer energie dan UV-A en veroorzaakt daarom meer schade.  
 b UV-C wordt helemaal door de ozonlaag geabsorbeerd.
- 14 UV-A. Als UV-B of UV-C zou worden gebruikt, zou het schade aan je lichaam kunnen veroorzaken.
- 15 a  $\frac{6,3 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 3,9 \text{ eV}$  en  $\frac{7,1 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,4 \text{ eV}$   
 b  $12,4 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,0 \cdot 10^{-18} \text{ J}$   
 c De UV-B straling wordt door de sneeuw of het water gereflecteerd. Er komt zo meer straling bij jou terecht.  
 d Het linker plaatje is in de herfst gemaakt. De ozonlaag boven Europa is dunner.  
 e In het voorjaar is de ozonlaag dikker. Je ontvangt dus minder UV-straling.
- 16 a De straling van de bron slaat met grote snelheid elektronen los van luchtmoleculen. Je krijgt ionen. Deze positief geladen ionen worden aangetrokken door de elektroscop, zodat deze ontladst.  
 b Het lukt ook met een positief geladen elektroscop omdat dan elektronen uit de lucht worden aange-trokken in plaats van afgestoten.  
 c Zichtbaar licht heeft veel minder energie dan UV-licht.  
 d Als je een felle lamp neemt, heb je meer zichtbaar licht (en warmte). De hoeveelheid energie per lichtdeeltje wordt echter niet groter.
- 17 a Het is gebaseerd op de eigenschap dat röntgenstraling verschillend doordringend vermogen heeft in verschillende weefsels.  
 b Gewoon licht heeft geen doordringend vermogen in je lichaam.
- c Sommige parasols laten nog steeds UV-straling door.  
 d Dit is tegen  $\gamma$ -straling bedoeld. Voor  $\alpha$ - of  $\beta$ -straling is een veel dünnere wand al afdoende.

eigenschap	$\alpha$ -straling	$\beta$ -straling	$\gamma$ -straling
doordringend vermogen	kleinst	klein	heel groot
ioniserend vermogen	heel groot	groot	kleinst

- 18
- 19 a Lood is een 'zwaar metaal' waar röntgenstraling sterk in wordt geabsorbeerd, zonder dat je een dikke laag nodig hebt.  
*Het zou ook kunnen met bijv. aluminium. De schort zou dan ongeveer even zwaar zijn maar veel dikker en onbuigzaam.*  
 b Röntgenstraling is gevaarlijk voor het menselijk lichaam. Deze kan schade aan het DNA veroorzaken. Dit levert een groot risico voor de (ongeboren) baby op.
- 20 a In lood is de dracht kleiner dan in beton; zie Binas. *(Beton heeft een kleinere dichtheid dan lood.)*  
 b  $\alpha$ -straling heeft een kleinere dracht dan  $\beta$ -straling met dezelfde energie.
- 21 Er zal lood in verwerkt zijn.  
*Met andere stoffen zou het veel te dik worden.*
- 22 a De energie van de straling is de hoeveelheid energie die één deeltje bevat, de intensiteit zegt iets over de hoeveelheid deeltjes per tijdseenheid.  
 b Ook lucht heeft een halveringsdikte. Deze is echter erg groot vergeleken met andere stoffen omdat de dichtheid van lucht erg laag is.
- 23 a water, beton, aluminium, ijzer, lood  
 b De dichtheid van het materiaal en de energie van de straling.
- 24 a Als er nog 12,5% wordt doorgelaten betekent dat dat de intensiteit 3 maal gehalveerd is. ( $100\% \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 12,5\%$ ) Het plaatje aluminium is dus 3 halveringsdiktes dik. De halveringsdikte is dus  $\frac{18}{3} = 6,0 \text{ cm}$ .  
 b Bij een dikte van 12,5 cm is de intensiteit nog 12,5%. Dit is 3 halveringsdiktes. De halveringsdikte is dus  $\frac{12,5}{3} = 4,3 \text{ cm}$   
 c Als 65% wordt geabsorbeerd, wordt er dus nog 35% doorgelaten. Aflezen in de grafiek: 2 cm.  
 d Aflezen in de grafiek: 8% wordt doorgelaten. Dus  $100 - 8 = 92\%$  wordt geblokkeerd.
- 25 Pulsje
- 26 a Volgens Binas is de halveringsdikte van lood bij deze energie 0,86 cm, oftewel 8,6 mm. Dit schort houdt dus 50% tegen.  
 b Volgens Binas is de halveringsdikte van beton bij dezelfde hoeveelheid energie 4,6 cm.

- 27 a** De voorwerpen hebben een verschillende dichtheid, de absorptie van röntgenstraling hangt af van de dichtheid waardoor je de voorwerpen kan onderscheiden.  
**b**  $\alpha$ -straling heeft een te klein doordringend vermogen en wordt geheel door de koper tegengehouden.  
**c**  $\gamma$ -straling heeft een te groot doordringend vermogen en is daardoor gevaarlijk. En je ziet (vrijwel) niets in de koffer.

- 28 a** Er wordt gekeken hoeveel procent van de straling door de platen wordt doorgelaten. Dit percentage zegt iets over de dikte van de platen.  
**b** Alle  $\alpha$ -straling komt ongeveer even ver in de platen. Dit geldt ook voor de  $\beta$ -straling.  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling komt dus of niet, of wel door de platen, je kan daarmee niet goed de dikte bepalen.

**29** Pulsje

- 30 a** 96,9%  
 De muur heeft een dikte van  $\frac{33}{6,6} = 5$  halveringsdiktes.

$$I = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$I = 100\% \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 3,1\%$$

Er is dus  $100 - 3,1 = 96,9\%$  geabsorbeerd.

**b** 11 cm

Bij dezelfde hoeveelheid energie (2,0 MeV) heeft ijzer een halveringsdikte van 2,1 cm. Dit is  $\frac{6,6}{2,1} = 3,1$  keer zo weinig. De muur moet dan  $\frac{33}{3,1} = 11$  cm dik zijn.

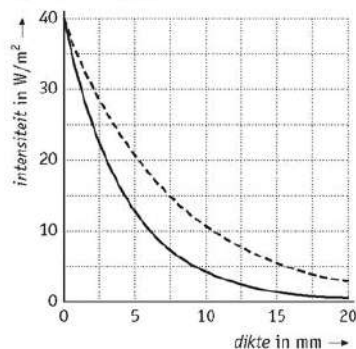
- 31 a** 3,0 cm  
 De nul-intensiteit van de straling is  $40 \text{ W/m}^2$ . Na 12 mm is de intensiteit  $2,5 \text{ W/m}^2$ . Dit is  $\frac{2,5}{40} = \frac{1}{16}$  van de nul-intensiteit.

$$\frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^4. \text{ Dus 12 mm is 4 halveringsdiktes.}$$

De halveringsdikte is dan  $\frac{12}{4} = 3,0$  mm.

- b** Aflezen in de grafiek:  $I = 25 \text{ W/m}^2$   
**c** 7,3 mm  
 De intensiteit is dan  $(100 - 81 =) 19\%$  van de nul-intensiteit.  $0,19 \times 40 = 7,6 \text{ W/m}^2$   
 Aflezen in de grafiek: 7,3 mm  
**d** De intensiteit is  $\frac{5,0}{40} = \frac{1}{8}$  van de nul-intensiteit.  
 $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$ , dus het plaatje is 3 halveringsdiktes dik.  
 $\frac{15,5}{3} = 5,17$  mm

- e** De doorlaatkromme voor straling van 1,0 MeV is met de stippellijn aangegeven.



**f** 20,7 mm

De intensiteit is dan  $(100 - 93,75 =) 6,25\%$  van de nul-intensiteit.  $100\% \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 6,25\%$  Het plaatje moet dus 4 halveringsdiktes dik zijn.  $4 \times 5,17 = 20,7$  mm

- g** Er is 6,25% van de nul-intensiteit over. Dit is  $0,0625 \times 40 = 2,5 \text{ W/m}^2$ . In je grafiek zou  $2,5 \text{ W/m}^2$  overeen moeten komen met 20,7 mm.

- 32 a** Hij gaat achter het muurtje staan om zo weinig mogelijk straling op te vangen.  
**b** De straling gaat daar niet doorheen.  
**c** De straling gaat er makkelijker doorheen, het is donkerder, net als het zenuwkanaal.

- 33 a** Als je een vlucht van 2,0 uur maakt ontvang je dus evenveel straling als bij een scan.  
 $2,0 \text{ h} = 2,0 \times 3600 = 7200 \text{ s}$   
 Bij een scan ontvang je per seconde dus  $\frac{7200}{5,0} = 1,4 \cdot 10^3$  keer zo veel straling.  
**b** Op een vlucht van 1,5 uur ontvang je minder straling dan op een vlucht van 2,0 uur. Bij een PET-scan ontvang je dus minder straling dan bij een scan op het vliegveld.  
**c** Eigen antwoord

### 10.3 Radioactief verval

- 34 a** Een kleine halveringstijd (*veel reacties per seconde*).  
**b** Er vervallen veel kernen per seconde.
- 35 a** 8 dagen  
 De activiteit is na 40 dagen 5 keer gehalveerd ( $80 \times \left(\frac{1}{2}\right)^5 = 2,5$ ). 40 dagen komt dus overeen met 5 halveringstijden. De halveringstijd is daarom:  $\frac{40}{5} = 8$  d.  
**b** Tussen de 0,6 en 0,3 Bq  
 In 2 maanden zitten ongeveer 60 dagen. Er zitten 20 dagen tussen 60 en 40. In deze 20 dagen wordt de activiteit nog tussen de twee en drie keer gehalveerd ( $2 \times 8 = 16$  dagen,  $3 \times 8 = 24$  dagen).  
 De activiteit na 40 dagen is 2,5 Bq.  
 Twee keer halveren:  $2,5 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0,625 \text{ Bq}$   
 Drie keer halveren:  $2,5 \times \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0,3125 \text{ Bq}$   
 De activiteit na 2 maanden zit dus tussen de 0,6 en 0,3 Bq in.  
**c** Na 14 dagen  
 Met 70% afgenomen betekent dat de activiteit nog 30% van de beginactiviteit is.  $30\% \times 80 = 24 \text{ Bq}$ . Aflezen in de grafiek: 24 Bq komt overeen met 14 dagen.
- 36 a**  $A = 1,6 \cdot 10^9 \text{ Bq}$   
 75 uur is  $5 \times 15$  uur, dus 5 halveringstijden.  
 De activiteit is dan  $\left(\frac{1}{2}\right)^5 \times 5,0 \cdot 10^{10} = 1,6 \cdot 10^9 \text{ Bq}$   
**b** Na 30 uur.  
 De afname is 75%, er is nog 25% over, dat is  $\frac{1}{4}$  gedeelte.  
 Dit zijn twee halveringstijden dus  $2 \times 15 = 30$  uur.

- c Na ongeveer 150 uur.  
1000 is ongeveer  $2^{10}$  (= 1024), dus 1000 keer zo klein is ongeveer hetzelfde als 10 keer halveren. Dat is dus na 10 halveringstijden = 150 uur.  
*Als je het precies uitrekent komt er 149,5 uur uit.*
- 37 a** Overeenkomst: de vorm van de grafieken is hetzelfde. Verschil: in plaats van de activiteit staat de massa op de y-as.
- b** 8 dagen  
Afleren in de grafiek: na 2 dagen is de massa 8,0 g, na 10 dagen is de massa 4,0 g. In 8 dagen is de massa van de stof verminderd van 8,0 g naar 4,0 g.
- c** 8 dagen  
Afleren in de grafiek: na 18 dagen is de massa verminderd tot 2,0 g. Dus in 8 dagen.  
Dit kan je ook snel concluderen door het antwoord uit opdracht b te gebruiken. In 8 dagen is de massa gehalveerd van 8,0 g naar 4,0 g. Om van 4,0 g naar 2,0 g te gaan moet de massa weer gehalveerd worden. Dus duurt dit weer 8 dagen.
- 38 a** 8 s  
 $25\% \times 550 \cdot 10^6 = 138 \cdot 10^6$   
Afleren in de grafiek:  $138 \cdot 10^6$  kernen komt overeen met 8 s.
- b** 4 s  
Er is nog 25% over. Dit betekent dat er twee halveringstijden zijn geweest. De halveringstijd is daarom 4 s.
- c** De activiteit van het radon is groter dan de activiteit van het polonium. De grafiek van radon is op dat moment steiler dan die van polonium, dus heeft radon een grotere activiteit.
- 39** Bij verbranden vindt een reactie plaats van de buitenste elektronen van het atoom met de buitenste elektronen van een zuurstof-atoom. Dit heeft geen invloed op de reacties in de atoomkern. Het afval blijft dus net zo radioactief als het was.
- 40 a** Deze heeft een lange halveringstijd want de pacemaker moet z'n werk lang kunnen doen.
- b** Waarschijnlijk zendt de bron  $\alpha$ -straling uit, deze gaat niet door metalen heen.  
Meestal zendt zo'n bron ook  $\gamma$ -straling uit, die wel tot bestraling van binnen uit leidt, maar de hoeveelheid is zeer klein.
- 41 a** C, 16 uur  
 $1/8$  gedeelte is 3 halveringstijden, want  $(\frac{1}{2})^3 = \frac{1}{8}$ , dus  $48/3 = 16$  uur
- b** Als de activiteit afneemt vervallen er minder kernen en komt er minder straling vrij. Als er minder straling vrij komt is de intensiteit van de straling ook lager.
- 42** De hoeveelheid uraan vermindert niet merkbaar omdat de halveringstijd erg lang is (zie *Binas*).
- 43 a** De activiteit verandert in deze 12 s bijna niet. Het totale aantal deeltjes dat is vervallen is dan:  
 $1,48 \cdot 10^5 \times 12 = 1,8 \cdot 10^6$
- b**  $t_{1/2} = 0,022$  d  
 $A = 0,693 \frac{N}{t_{1/2}}$   
 $1,48 \cdot 10^5 = 0,693 \times \frac{400 \cdot 10^5}{t_{1/2}}$   
 $t_{1/2} = 0,693 \times \frac{400 \cdot 10^5}{1,48 \cdot 10^5} = 187 \text{ s} = 3,1 \text{ min}$   
 $t_{1/2} = \frac{187}{60 \times 60 \times 24} = 0,0022 \text{ d}$
- c**  $A = 3,36 \cdot 10^7 \text{ Bq}$   
Het aantal radon-kernen op  $t = 6,0 \text{ s}$  is (aflezen in grafiek)  $190 \cdot 10^5$ .  
 $A = 0,693 \frac{N}{t_{1/2}} = 0,693 \times \frac{190 \cdot 10^5}{3,92} = 3,36 \cdot 10^6 \text{ Bq}$
- d** Door de steilheid van de raaklijn te bepalen kun je de activiteit berekenen.  
 $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\frac{0 - 390 \cdot 10^5}{11,6 - 0} = 3,36 \cdot 10^6 \text{ Bq}$   
Dit is gelijk aan het antwoord bij c.
- e**  $A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\frac{190 \cdot 10^6 - 550 \cdot 10^6}{6,0 - 0} = 6,0 \cdot 10^7 \text{ Bq}$
- f** 23,5 s  
 $\frac{550 \cdot 10^6}{86 \cdot 10^3} = 64$ . Het aantal kernen is 64 keer zo klein geworden.  $64 = 2^6$ . Het aantal kernen is dus 6 keer gehalveerd. 6 halveringstijden betekent  $6 \times 3,92 = 23,5 \text{ s}$
- 44 a** Er staan 5 koolstofsotopen in de isotopenlijst.
- b**  $^{10}_6\text{C}$ ,  $^{11}_6\text{C}$  en  $^{14}_6\text{C}$  zijn radioactief.
- c** Het atoomnummer hoort bij de naam. Koolstof heeft altijd nummer 6. Dus symbool en massagetal zijn voldoende.
- 45 a** Uraan is het zwaarste natuurlijke element.
- b** Het atoomnummer is 92, dus het bevat 92 protonen.
- c** De kern van deuterium bevat 1 proton en 1 neutron.
- d**  $^3_1\text{H}$
- 46 a** Dat is radium.
- b** Het atoomnummer is 88 dus 88 protonen.
- c** Het massagetal is 228, dat is het aantal protonen + neutronen. Het aantal neutronen is  $228 - 88 = 140$
- 47 a** De atoomsoort is lood.
- b** De isotoop is  $^{210}_{82}\text{Pb}$
- 48** Pulsje

- 49 a** Tabel 25A  
**b** Als een stof radioactief is staat in tabel 25A de halveringstijd aangegeven. Stoffen die stabiel zijn hebben geen halveringstijd.
- 50** Zie tabel 25 *Binas*, dat zijn Pb-210 en N-16.
- 51** C. Een  $\alpha$ -deeltje is  ${}^4_2\text{He}$ ; dat wordt uitgezonden en niet opgenomen.  
*Het atoomnummer wordt dan 2 lager en het massagetal 4.*
- 52 a** 1  ${}^{216}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{212}_{82}\text{Pb}$   
 2  ${}^{216}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{216}_{85}\text{At}$   
**b** 1  ${}^{212}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{212}_{83}\text{Bi}$ , of:  
 2  ${}^{216}_{85}\text{At} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{212}_{83}\text{Bi}$   
 daarna:  ${}^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{208}_{81}\text{Tl}$   
 ${}^{208}_{81}\text{Tl} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{208}_{82}\text{Pb}$   
 of:  ${}^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{212}_{84}\text{Po}$   
 ${}^{212}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{208}_{82}\text{Pb}$
- 53 a** Bij  $\gamma$ -verval verandert het aantal deeltjes niet,  $\gamma$ -straling is elektromagnetische straling, dus pure energie.  
*Je kunt je voorstellen dat een kern door het uitzenden van een  $\alpha$ -deeltje instabiel geworden is en een stabielere positie met minder energie wil innemen. Dat gebeurt en de vrijkomende energie wordt uitgezonden in de vorm van  $\gamma$ -straling.*  
**b**  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{234}_{90}\text{Th} (+\gamma)$   
*De  $\gamma$ -straling hoeft er niet bij.*
- 54**  ${}^{135}_{53}\text{I} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{135}_{54}\text{Xe}$
- 55**  ${}^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{214}_{84}\text{Po}$   
 ${}^{218}_{85}\text{Rn} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{214}_{84}\text{Po}$
- 56 a**  ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{237}_{93}\text{Np} (+\gamma)$   
**b** In één seconde vervallen er  $3,0 \cdot 10^4$  kernen, er worden dus ook  $3,0 \cdot 10^4$   $\alpha$ -deeltjes uitgezonden.  
**c** De halveringstijd is 432 jaar, na 1 jaar is er dus nog weinig van het aanwezige materiaal vervallen.
- 57** Radioactieve isotopen met een korte halveringstijd ontstaan steeds opnieuw door verval van isotopen met een zeer lange halveringstijd (zoals  ${}^{232}_{90}\text{Th}$ , de halveringstijd is  $1,4 \cdot 10^{10}$  jaar).  
*Deze langlevende isotopen zijn sinds het ontstaan van de aarde, zo'n 5 miljard jaar geleden, nog steeds aanwezig.*
- 58 a**  ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{131}_{54}\text{Xe} (+\gamma)$   
**b** Na 24 dagen  
 Er is nog  $100\% - 87,5\% = 12,5\%$  van de activiteit over. Dat is  $1/8$  gedeelte. Dus 3 x gehalveerd.  
 De halveringstijd van I-131 is 8,0 dagen, dus na  $3 \times 8,0 = 24$  dagen.
- 59 a** Het aantal moederkernen wordt gehalveerd, er blijven dus 40 over. Maar de 40 moederkernen die zijn vervallen, zijn vervallen naar de dochterkernen. Er komen dus ook 40 dochterkernen bij. Dus zijn er totaal 60 dochterkernen.  
**b** Na 4x halveren zijn er nog  $(\frac{1}{2})^4 \times 80 = 5$  moederkernen over. Er zijn er dus  $80 - 5 = 75$  vervallen naar dochterkernen. Daarvan waren er al 20, dus zijn er nu  $75 + 20 = 95$ .  
**c** Isotopen zijn atomen met een verschillend massagetal en hetzelfde atoomnummer.  
**d** Samarium heeft het atoomnummer 62 (zie *Binas* tabel 99), neodymium heeft atoomnummer 60. Samarium moet dus 2 protonen kwijt raken, dit doet het door middel van  $\alpha$ -verval.  
**e** De halveringstijd van Nd-144 is zo groot dat de activiteit bijna nul is, het aantal deeltjes blijft dan vrijwel constant.  
**f** Doordat Sm-147 vervalt komt er steeds meer Nd-143 bij. De hoeveelheid Nd-144 verandert bijna niet. De verhouding Nd-143/Nd-144 wordt dus steeds groter.

#### 10.4 Straling en risico's

- 60 a** De weerstand wordt kleiner want de lucht wordt geïoniseerd en daardoor geleidend.  
**b** Een vonk bestaat uit snelle elektronen. Snelle elektronen kunnen de moleculen van de lucht ioniseren. Daarbij ontstaan positieve ionen en nieuwe losse elektronen die mee kunnen helpen de vonk in stand te houden.
- 61** Een Geiger-Müller-teller geeft direct de straling aan die je op dat moment ontvangt en is erg gevoelig, een badge telt de in totaal ontvangen hoeveelheid straling gedurende langere tijd op. De stralingsdosis is niet direct af te lezen.
- 62 a**  ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^3_2\text{He}$   
 Er ontstaat  ${}^3_2\text{He}$   
**b** De GM-teller zal een tikkend geluid voortbrengen.  
**c** De film in de badge zal zwart worden.  
**d** Na 3x halveren is er nog 12,5% over. Dat is na 37,5 jaar. De halveringstijd is dus  $37,5/3 = 12,5$  jaar.  
*Controleer je antwoord met *Binas* tabel 25.*  
**e** Niet alle straling zal de GM-teller bereiken.  
**f** De activiteit is dan nog  $1/10$  gedeelte. Dat duurt even lang als de afname in de grafiek van 100% tot 10%. Dus 40 jaar.

- 63 a** A en D  
**b** C, bij het bestralen van fruit ontstaan geen radioactieve atomen. Je staat dus niet aan straling bloot als je bestraald fruit eet. Er blijft ook geen straling achter in het fruit.  
**c** Nee, bij bestraling ontstaan geen radioactieve atomen en er blijft geen straling achter.
- 64** Pulsje
- 65 a** Een jodiumtablet bevat het stabiele I-127, dit wordt opgenomen door de schildklier. Het lichaam neemt niet meer jood op dan nodig is dus ook geen radioactief jood.  
**b** Er bevinden zich nog veel andere radioactieve elementen in de grond met een grotere halveringstijd dan de halveringstijd van jood.  
**c** De halveringstijd van Cs-137 is 35 jaar. Bij een lange halveringstijd vervalt de stof langzaam en is de activiteit klein.  
*(Misschien was er ook wel minder cesium dan jood.)*  
**d** De meeste straling in de spinazie komt van I-127. De halveringstijd is 8 dagen, na 1 week is de activiteit bijna gehalveerd en ligt dan onder de toegestane waarde van 1000 Bq.  
**e** Nog steeds krijgen mensen tumoren als gevolg van de straling die ze toen hebben opgelopen. Mensen hebben ook radioactieve stoffen binnengekregen waardoor ze nog steeds extra straling ontvangen. En er zijn kinderen geboren met aangeboren afwijkingen. Die overlijden vaak jonger dan normaal.
- 66 a** De scan en de röntgenfoto  
**b** De vliegreis en de skivakantie  
**c** In het geval van het voedsel raak je besmet met radioactief materiaal doordat je de bron opeet.
- 67 a** Voor  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling, de weegfactor is dan 1.  
**b**  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling dringen door de huid heen. Maar een groot deel van de  $\gamma$ -straling gaat ook gewoon door de rest van je lichaam heen en richt dan geen schade aan.  $\beta$ -straling wordt wel volledig geabsorbeerd door je lichaam. Dus van buitenaf is  $\beta$ -straling het schadelijkst.  
**c**  $\alpha$ -straling, omdat deze een groot ioniserend vermogen heeft, is de weegfactor 20, dus is deze straling zeer gevaarlijk als de stof die het uitzendt in je lichaam zit.  
*Natuurlijk is ook  $\beta$ - en in mindere mate  $\gamma$ -straling gevaarlijk in je lichaam.*
- 68 a** De stralingsdosis is  $\frac{5,0 \cdot 10^{-6} \times 0,6}{0,040} = 7,5 \cdot 10^{-5}$  Gy.  
**b** De weegfactor is 1 dus het dosisequivalent is ook  $7,5 \cdot 10^{-5}$  Sv =  $7,5 \cdot 10^{-2}$  mSv.
- 69 a** De totale energie per seconde is het aantal deeltjes per seconde  $\times$  de energie per deeltje.  
 $E = 2,5 \cdot 10^6 \times 2,2 \cdot 10^{-13} = 5,5 \cdot 10^{-7}$  J.  
 20% daarvan is  $1,1 \cdot 10^{-7}$  J  
**b** 0,22 mGy  
 De dosis =  $1,1 \cdot 10^{-7} / 0,3 = 3,7 \cdot 10^{-7}$  Gy per s,  
 dus  $3,7 \cdot 10^{-7} \times 600 = 0,22 \cdot 10^{-3}$  Gy per 10 min  
 = 0,22 mGy per 10 min.
- 70 a** C, besmetting en bestraling.  
**b** Dit is niet schadelijk omdat de hoeveelheid straling uiterst gering is. Het is *natuurlijke* straling en de hoeveelheid (0,4 mSv) is nog minder dan de limiet voor *kunstmatige* straling.
- 71 a** Het dosisequivalent is  $20 \times 0,3$  mSv = 6,0 mSv  
**b** De energie is:  
 dosis = energie/massa  $\rightarrow$   
 energie = dosis  $\times$  massa =  $0,30 \cdot 10^{-3} \times 0,50 = 0,15$  mJ
- 72 a** Zie figuur 10.31
- |                             |                      |           |
|-----------------------------|----------------------|-----------|
| een week wintersport        | 0,03                 | mSv       |
| 5 uur vliegen               | $0,5 \times 5/100 =$ | 0,025 mSv |
| röntgenfoto $2 \times 0,05$ | 0,1                  | mSv +     |
|                             | 0,155                | mSv       |
- b** Pim heeft niet te veel straling ontvangen. 0,155 mSv is nog veel lager dan de maximale toegestane dosis, deze is 1 mSv voor volwassenen. Bovendien is de gestelde dosislimiet exclusief medisch-radiologische toepassingen, dus de röntgenfoto telt niet eens mee.  
**c** Kinderen zijn nog in de groei, ze hebben een veel snellere celdeling. Eventuele schade aan het DNA kan dan veel erger uitpakken.
- 73 a** U-238 zendt  $\alpha$ - en  $\gamma$ -straling uit.  
**b** De halveringstijd is 4,47 miljard jaar.  
 Een jaar bevat 365,25 dagen, een dag 24 uur, een uur 3600 seconden  

$$A = \frac{0,693 \times 1,26 \cdot 10^{17}}{4,47 \cdot 10^9 \times 365,25 \times 24 \times 3600} = 0,619$$
 Bq  
**c**  $0,619 \times 3600 \times 6,69 \cdot 10^{-13} = 1,49 \cdot 10^{-9}$  J  
**d** De dosis is:  

$$\frac{1,49 \cdot 10^{-9}}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 7,45 \cdot 10^{-4}$$
 Gy  
 want  $2,0$  mg =  $2,0 \cdot 10^{-3}$  g =  $2,0 \cdot 10^{-6}$  kg  
 De weegfactor voor  $\alpha$ -straling is 20,  
 dus het dosisequivalent is  $20 \times 7,45 \cdot 10^{-4} = 0,0149$  Sv = 14,9 mSv = 15 mSv.  
**e** De jaarnorm is 1 mSv  
 Het aantal uren is dus:  $\frac{1}{14,9} = 0,067$  h, dus na vier minuten!



- 74 a Het gaat om Rn-222, immers, als Ra-226  $\alpha$ -straling uitzendt, dan vermindert het massagetal met 4;  $226 - 4 = 222$ .  
 b Rn-222 is een gas. Binnenshuis blijft het hangen, buitenshuis waait het weg.  
 c Rn-222 zendt  $\alpha$ -straling uit, de vervalproducten (dochters) zijn vaste stoffen en radioactief. Ze verdwijnen niet meer uit de longen.  
 d Zie c.  
 e De activiteit in je longen is  $4/1000 \times 250 = 1,0$  Bq  
 f Het dosisequivalent is:

$$\frac{1,0 \times 2 \times 3600 \times 8,78 \cdot 10^{-13} \times 20}{0,15} = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}$$

Hierbij is:

1,0 de activiteit  
 $2 \times 3600$  het aantal seconden  
 $8,78 \cdot 10^{-13}$  de energie per verval in J  
 20 de weegfactor voor  $\alpha$ -straling  
 0,15 de massa in kg  
*Natuurlijk kan de berekening ook in stappen gemaakt worden: eerst de stralingsdosis per seconde uitrekenen. Dan per twee uur en dan het dosisequivalent, of omgekeerd.*

- g De gevormde dochterkernen van het vervallen Rn-222 blijven in het longweefsel achter en zorgen veel later nog steeds voor bestraling. Daar zitten isotopen met korte halveringstijden bij.
- 75 a Als een neutron wordt geabsorbeerd door As-75 dan neemt het massagetal met 1 toe en ontstaat As-76.  
 b Eerst heb je:

$$\frac{820}{5 \times 60} = 2,73 \text{ Bq}, \text{ van het haar komt dus}$$

$$2,73 - 0,40 = 2,33 \text{ Bq}$$

Na 80 uur:

$$\frac{208}{5 \times 60} = 0,693 \text{ Bq}, 0,693 - 0,40 = 0,293 \text{ Bq}$$

De activiteit van de radioactieve stof in het haar is in 80 uur ongeveer 8 keer zo klein geworden, dus drie keer gehalveerd.

De halveringstijd is dus ongeveer  $80 : 3 = 27$  uur. Het kan heel goed As-76 zijn want dat heeft een halveringstijd van 1,08 dag = 25,9 uur. Dus de uitgangsstof kan As-75 zijn.

- c Arseen-75 is niet radioactief.

### Toepassing

#### Opgave 1 Polonium in sigaretten

- 1 Po-210 heeft een veel kleinere halveringstijd dan radium-226. Daardoor vervalt Po-210 veel sneller dan radium-226 (en is de activiteit ook veel groter dan die van een even grote hoeveelheid radium-226).

- 2 uitkomst: De persoon rookt gemiddeld 27 sigaretten per dag.  
 De stralingsenergie die de longen van deze persoon per seconde absorberen, is:

$$\frac{3,4 \cdot 10^{-4}}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 1,08 \cdot 10^{-11} \text{ J.}$$

Het aantal Po-210-kernen dat per seconde vervalt, is:

$$\frac{1,08 \cdot 10^{-11}}{8,6 \cdot 10^{-13}} = 12,5.$$

De activiteit van het Po-210 is dus 12,5 Bq. In de grafiek is af te lezen dat deze persoon gemiddeld 27 sigaretten per dag rookt.

- 3 uitkomst:  $H = 0,85$  Sv  
 Voor de equivalente dosis geldt:  $H = w_R \frac{E}{m}$ , waarin  $w_R = 20$ ,  $E = 3,4 \cdot 10^{-4}$  J en  $m = 8,0 \cdot 10^{-3}$  kg.  
 Hieruit volgt dat  $H = 20 \frac{3,4 \cdot 10^{-4}}{8,0 \cdot 10^{-3}} = 0,85$  Sv.
- 4 De dracht van  $\alpha$ -deeltjes is (heel) klein. (Daardoor kunnen ze maar een klein deel van de longen bestralen.)
- 5 Het verschil in massagetal tussen U-238 en Po-210 is 28. Het massagetal van een  $\alpha$ -deeltje is 4. Er zijn dus inderdaad  $\frac{28}{4} = 7$   $\alpha$ -deeltjes uitgezonden.
- 6 Wanneer er in de vervalreeks van U-238 zeven keer een  $\alpha$ -deeltje is uitgezonden, daalt het atoomnummer van 92 naar  $92 - 14 = 78$ . Bij het uitzenden van een  $\beta^-$ -deeltje neemt het atoomnummer met 1 toe. Het atoomnummer van Po-210 is 84. Er is dus inderdaad zes keer een  $\beta^-$ -deeltje uitgezonden.

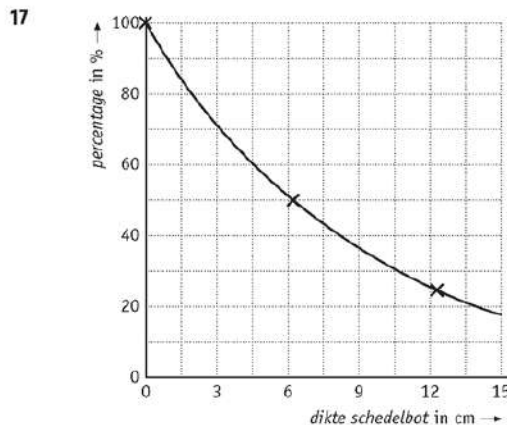
#### Opgave 2 Moord!

- 7 Bij besmetting ben je in direct contact met de radioactieve bron, terwijl dit bij bestraling niet het geval is. Litvinenko is besmet, want hij heeft de radioactieve stof in zijn lichaam.
- 8  ${}_{82}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{83}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He}$  Het gaat hier dus om een lood-isotoop.
- 9 Ioniserend betekent in deze context dat de straling lichaamscellen kan beschadigen.
- 10 Overeenkomst: ze hebben allemaal 84 protonen in de kern. Verschil: hun aantal neutronen.
- 11 Polonium-211 vervalt te snel. Het heeft een halveringstijd van 0,5 s. Het is dus onmogelijk om dit te produceren, te vervoeren, stiekem bij iemand in de thee te doen en dan nog steeds een *bruikbare* hoeveelheid over te houden.

- 12 De halveringstijd van Polonium-210 is 138 dagen. Tussen de aanslag en de productie van het Polonium zaten 69 dagen, de helft van de halveringstijd. In een halve halveringstijd vervalt meer dan 25% (en in de 2e halve halveringstijd minder dan 25%). Als je eindigt met 1,0 µg en het was precies een hele halveringstijd geleden, dan zou je 2,0 µg geproduceerd moeten hebben. Nu het een halve halveringstijd is, heb je minder dan 1,5 nodig.

**Opgave 3 Radiotherapie**

- 13 Je wordt niet radioactief van bestraling. De straling maakt alleen (zoveel mogelijk kwaadaardige) lichaamscellen kapot. Verder kom je zelf ook niet in aanraking met een radioactieve stof, dus ook op die manier zul je geen straling naar je omgeving uitzenden.
- 14 Bij een bestraling wordt ook altijd gezond weefsel geraakt. Door de behandeling in porties op te delen heeft dit gezonde weefsel tijd om te herstellen.
- 15  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}\text{e}$
- 16  $d_{\frac{1}{2} \text{ hersenen}} = 10,6 \text{ cm}; d_{\frac{1}{2} \text{ schedel}} = 6,15 \text{ cm}$



- 18 Aflezen uit de getekende doorlaatkromme bij 1,3 cm: inderdaad ongeveer 86%.
- 19 De halveringsdikte van de hersenen was 10,6 cm. Maar na het passeren van de schedel was er nog maar 86% van de straling over. Na één halveringsdikte in het hersenweefsel is dat percentage dus gehalveerd:  $\frac{1}{2} \cdot 86 = 43\%$ .
- 20 Bij een bestraling wordt ook altijd gezond weefsel rond de tumor bestraald. Door te draaien wordt niet steeds hetzelfde gezonde weefsel bestraald. Dit beperkt de kans op beschadiging. (Wanneer een tumor in de buurt zit van zeer kwetsbaar weefsel, wordt juist expres wel vanuit één richting bestraald.)

**Opgave 4 Protonentherapie**

- 21 Ons lichaam bestaat voor het grootste gedeelte uit water. Met een waterbak kun je daarom in dit geval het menselijk lichaam redelijk goed nadoen.
- 22 Het maximum (100%) ligt hier in de praktijk niet bij 0 maar bij 2,5 cm. Bij een dikte van ongeveer 19,8 cm is daar nog 50% van over en is er dus sprake van een halvering. Dat is een halveringsdikte van 19,8 - 2,5 = 17,3 cm. Dit komt overeen met een energie van ongeveer 3 MeV.
- 23 De massa van een proton is volgens *Binas*  
 $m = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $E_k = 200 \text{ MeV} = 200 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$   
 $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}}{1,67262 \cdot 10^{-27}}}$   
 $= 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- 24 In de grafiek kun je zien dat bij bestraling met protonen veruit de meeste dosis op de juiste plaats komt, terwijl er bij fotonenbestraling over een grote variatie in diepte een hoge dosis is. De bovenste figuur en de figuur links onder horen daarom bij fotonenbestraling en de andere afbeeldingen bij protonenbestraling.
- 25 Van bovenaf. Paars hoorde bij de hoogste dosis. Die is voor fotonenbestraling bij de kleinste diepte. Dus de bestraling was in de afbeelding van bovenaf.
- 26 Voor de totale dosis geldt:  
 $D = 44 \times 180 \cdot 10^{-2} = 79,2 \text{ Gy}$   
 Met de stralingsweefactor van 5,0 wordt de equivalente dosis dan:  
 $H = w_k \cdot D = 5,0 \times 79,2 = 396 \text{ Sv} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ Sv}$
- 27 Als er 70% minder straling wordt ontvangen, betekent dit dat ten opzichte van de piek nog 30% wordt ontvangen. De piek ligt bij een diepte van 26 cm. Op een diepte van 19 cm wordt 30% van de dosis ontvangen. De afstand is dus 26 - 19 = 7 cm.

**Opgave 5 Brand in Kernreactor**

- 28  ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + {}^0_{-1}\text{e}$  of  ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{53}\text{Xe} + \text{e}$
- 29  $A = 8,9 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$   
 De totale activiteit  $A$  van het I-131 in de wolk is gelijk aan het volume  $V$  van de wolk in  $\text{m}^3$  maal de activiteit per  $\text{m}^3$  lucht.  
 Hierin is:  $V = \ell b h$ , waarin  
 $\ell = vt = 5,0 \times 48 \times 3600 = 8,64 \cdot 10^5 \text{ m}$ ,  
 $b = 120 \cdot 10^3 \text{ m}$  en  $h = 900 \text{ m}$ .  
 Dus  $V = 8,64 \cdot 10^5 \times 120 \cdot 10^3 \times 900 = 9,33 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$ .  
 Hieruit volgt dat  
 $A = 9,33 \cdot 10^{13} \times 9,5 = 8,9 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$ .

- 30 Bij het consumeren van radioactieve melk is sprake van besmetting omdat het lichaam de ioniserende straling van binnenuit absorbeert/de bron zich in het lichaam bevindt.
- 31 De halveringstijd van plutonium-239 en van uranium-238 is (veel) groter dan die van de stof in het filter.
- 32 De halveringstijd van de stof in het filter ligt in de orde van grootte van een paar maanden. De enige isotoop van polonium die in aanmerking komt, is polonium-210.

**Opgave 6 Alfadetector**

- 33 Harry
- 34 De activiteit is groter dan  $\frac{24}{60} = 0,40$  Bq omdat niet alle alfadeeltjes de detector bereiken. Carla heeft dus gelijk.
- 35 De metaaldraad is met de plus van de spanningsbron verbonden en de metaalplaten met de min. Er loopt geen stroom: de spanning tussen de draad en de platen is nu gelijk aan de spanning van de bron: 4,0 kV. Harry heeft dus gelijk.
- 36 Er loopt nu wel stroom zodat er een spanning over de weerstand  $R$  staat. Hierdoor daalt de spanning over de metaalplaten. Carla heeft dus gelijk.
- 37 uitkomst:  $I = 2,50 \cdot 10^{-6}$  A  
Er geldt  $U = IR$  waarbij  $U = 250$  V en  $R = 100 \cdot 10^6 \Omega$ .  
Invullen geeft:  $I = \frac{250}{100 \cdot 10^6} = 2,50 \cdot 10^{-6}$  A
- 38  ${}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^4_2\text{He}$  (of  ${}^{241}\text{Am} \rightarrow {}^{237}\text{Np} + \alpha$ )
- 39 De halveringstijd van americium-241 is 432 jaar. De bron is 5 jaar oud, zodat de activiteit ervan nauwelijks is afgenomen.
- 40 De dracht in lucht is hier te bepalen door de bron zo te verschuiven tot er net (geen) vonkjes worden waargenomen. De dracht van de alfadeeltjes in lucht is dan de afstand van de detector tot de bron.

**Proefwerkgaven**

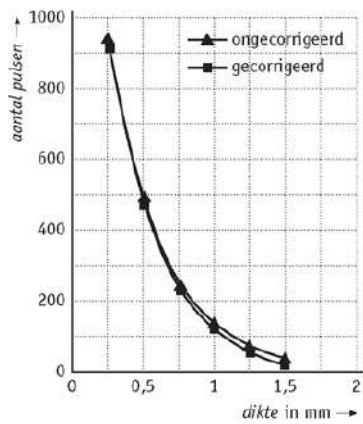
- 1 a 3 minuten  
Na 3 minuten zit de grafiek ongeveer op 50%, na 6 minuten op 25%.
- b De hoeveelheid lood is dan (heel even) constant: er ontstaan dan evenveel loodkernen per seconde (uit polonium) als er vervallen. Omdat uit één poloniumkern één loodkern ontstaat, vervallen er dan evenveel loodkernen als poloniumkernen per seconde.
- c Het aantal atomen Pb-214 is  $60 \cdot 10^9$  op  $t = 19$  min en  $30 \cdot 10^9$  op  $t = 46$  min  
De halveringstijd is  $46 - 19 = 27$  min  
*We meten de halveringstijd als Po-218 vrijwel geheel is vervallen en er dus geen nieuw Pb-214 wordt gevormd.*
- d Po-218 zendt  $\alpha$ -straling uit, anders kan het niet vervallen tot Pb-214.  
Pb-214 zendt  $\beta$ -straling uit volgens Binas.
- e Door een dun plaatje ervoor te zetten waar  $\alpha$ -straling niet doorheen gaat en  $\beta$ -straling wel; bijvoorbeeld papier.
- 2 a De halveringstijd van K-40 is  $1,28 \cdot 10^9$  jaar, dat is veel langer dan een mensenleven.
- b Achtergrondstraling komt uit de aarde en uit de ruimte. De straling uit spierweefsel is dus geen achtergrondstraling.  
*Maar: het K-40 is afkomstig uit de grond (in de vorm van mineralen in de voedselketen) en is daarmee een natuurlijke bron van straling.*
- c De weegfactor is 20 dus  $0,23$  mSv =  $1,15 \cdot 10^{-5}$  J/kg  
De totaal geabsorbeerde energie per jaar is:  
 $30 \times 1,15 \cdot 10^{-5} = 3,45 \cdot 10^{-4}$  J/jaar  
Per seconde is dat:  
$$\frac{3,45 \cdot 10^{-4}}{365,25 \times 24 \times 3600} = 1,1 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$
  
Het aantal  $\alpha$ -deeltjes/s is:  
$$\frac{1,1 \cdot 10^{-11}}{7,0 \cdot 10^{-14}} = 1,6 \cdot 10^2 \text{ s}^{-1}$$
  
 $A = 1,6 \cdot 10^2 \text{ Bq}$
- 3 a  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ , er komt een neutron vrij.
- b  ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^3_2\text{He}$
- c Er is dan nog 12,5% over, dat is  $\frac{1}{8}$  gedeelte.  
 $1/8 = (1/2)^3$ , dus er zijn 3 halveringstijden verlopen.  
De tijd is  $3 \times 12,3$  jaar = 36,9 jaar.
- d Nee,  $360 \text{ mSv} < 500 \text{ mSv}$   
De dosis is  $\frac{1,2 \cdot 10^9 \times 60 \times 2,0 \cdot 10^{-14}}{0,004} = 0,36 \text{ Gy}$ .
- Tritium zendt  $\beta$ -straling uit. Dus de weegfactor is 1 en het dosisequivalent is  $0,36 \text{ Sv} = 360 \text{ mSv}$ . Dat is minder dan de limiet van 500 mSv.

- 4 a Als je de GM-teller verschuift dan verandert de afstand tot de bron en daarmee de intensiteit van de straling.

b

dikte in mm	p/10s	gecorrigeerd p/10s
0,25	932	912
0,5	494	474
0,75	252	232
1	132	112
1,25	75	55
1,5	40	20

- c In de grafiek van vraag b is *ongecorrigeerd* de gemeten straling en *gecorrigeerd* het gecorrigeerd aantal pulsen (aantal pulsen – achtergrondstraling). De halveringsdikte bepaal je met het gecorrigeerd aantal pulsen.  
 Na 3 halveringsdikten is het gecorrigeerde aantal pulsen  $912/8 = 114$  p/10 s. Dit is zo bij ongeveer 1,0 mm. Dus  $1,0 - 0,25 = 0,75$  mm is 3 halveringsdikten. De halveringsdikte is 0,25 mm.



# Hoofdstuk 11 Krachten in evenwicht

## Introductie

- Bij een draaihoek van ongeveer 11 graden is de zwaarte-energie maximaal. Het zwaartepunt zit dan precies boven punt S.
- De maximale zwaarte-energie is 5495 J bij een draaihoek van 11 graden. Bij een draaihoek van 0 graden is de zwaarte-energie 5395 J. Er moet dus  $5495 - 5395 = 100$  J energie toegevoegd worden.
- Grafiek 1: Bij een hoek van 0 graden is de zwaarte-energie op zijn grootst. Dit komt overeen met situatie B.  
Grafiek 2: De maximale zwaarte-energie zit bij een hoek die groter is dan 0 graden. De situatie is dus niet heel anders dan in figuur 11.3. Dit komt overeen met situatie A.  
Grafiek 3: Bij een hoek van 0 graden is de zwaarte-energie al aan het afnemen. Dit komt overeen met situatie C.
- Voor de verplaatsing van het zwaartepunt geldt:  

$$\Delta x = \frac{m \cdot r}{M + m}$$
 Met  $M = 2000$  kg,  $m = 6$  kg en  $r = 2$  m:  

$$\Delta x = \frac{6 \times 2}{2000 + 6} = 0,006 \text{ m} = 6 \text{ mm}$$
 De auto kantelt dus niet als de arend op de motorkap gaat zitten.
- Voor de zwaarte-energie geldt:  

$$E_z = m \cdot g \cdot h = 2000 \times 9,81 \times 6,1 \cdot 10^{-3}$$

$$E_z = 1,2 \cdot 10^2 \text{ J}$$
- $$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

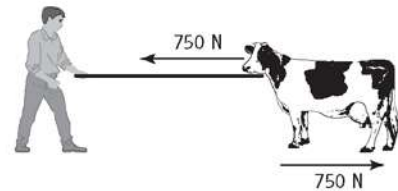
$$1,2 \cdot 10^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times v^2 = 3 \times v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{1,2 \cdot 10^2}{3}} = 6,32 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22 \text{ km/h (eigenlijk maar 1 s.c.)}$$

## 11.1 Krachten zijn vectoren

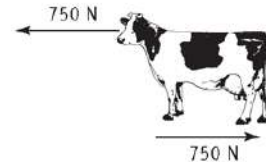
- Een scalar is een grootte met alleen een grootte, een vector is een grootte met een grootte en een richting.
  - temperatuur → scalar  
windkracht → vector  
snelheid → vector  
luchtdruk → scalar  
neerslaghoeveelheid → scalar  
Bij de vectoren is niet alleen de grootte, maar ook de richting van belang.

2 a



b  $1 \text{ cm} \triangleq 300 \text{ N}$

c Deze kracht is even groot als de trekkracht.



d 2,5 cm

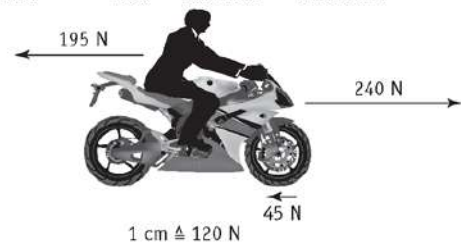
3 De krachten moeten op hetzelfde voorwerp werken.

4 a Ja. De snelheid is constant, dus er is geen netto-kracht.

b De luchtweerstand is kennelijk 195 N.

$$F_{\text{netto}} = 0 \rightarrow F_{\text{motor}} = F_{\text{rolweerstand}} + F_{\text{luchtweerstand}}$$

c



5 a Nee, er is geen evenwicht omdat er een nettokracht is.

b  $3,00 \cdot 10^6 \text{ N}$

$$F_{\text{netto}} = F_{\text{stuw}} - F_z$$

$$5,0 \cdot 10^5 = F_{\text{stuw}} - 2,50 \cdot 10^6$$

$$F_{\text{stuw}} = 0,50 \cdot 10^6 + 2,50 \cdot 10^6 = 3,00 \cdot 10^6 \text{ N}$$

c  $F_{\text{netto}}$  neemt toe doordat:

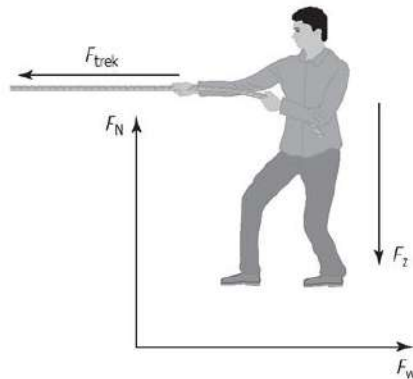
- de massa van de raket kleiner wordt: de brandstof wordt verbruikt;
- de gravitatieversnelling kleiner wordt op grotere afstand van de aarde.

Opmerking: De luchtweerstand speelt natuurlijk wel een rol bij grote snelheid; maar wanneer de raket opstijgt en versnelt, neemt de dichtheid van de lucht sterk af.

- 6 a  $6,4 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 $F_n = F_z = mg = 65 \times 9,81 = 6,4 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 b Even groot, want nog steeds is  $F_n = F_z$ .  
 c B  
 Op het laagste punt is de plank het meest vervormd.

7 Pulsje

8 a



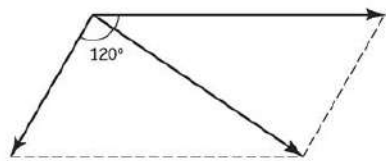
- 1  $F_{\text{trek}}$  door het touw op de man naar voren
  - 2  $F_w$  door de grond op de man naar achteren
  - 3  $F_z$  door de aarde op de man omlaag
  - 4  $F_n$  door de grond op de man omhoog
- b C is juist. (nog beter: na de laatste man).  
 Het touw staat daar strak door alleen de trekkracht van de laatste man.  
 A is onjuist. In het touw tussen de voorste mannen van beide teams is de kracht het grootst. Na iedere man aan weerszijden is de spankracht kleiner.  
 B is onjuist. Daar staat het touw strak door samenwerkende trekkrachten van 7 van de 8 teamleden. Tussen beide teams is de spankracht dus nog groter.

9 Pulsje

10 Pulsje

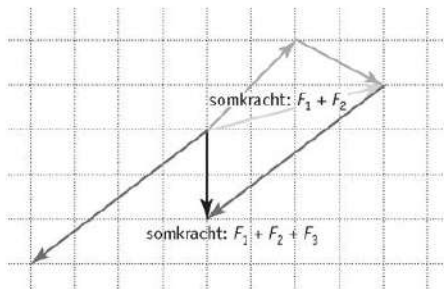
**11.2 Krachten onder een hoek**

11



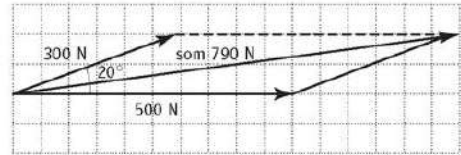
In het boek is de diagonaal 3,0 cm.  $F_{\text{som}} = 7,5 \cdot 10^2 \text{ N}$

12 a



- b Exact 2 N. Je kunt de constructie controleren door de hokjes in x-richting en y-richting te tellen. De netto kracht  $F_1 + F_2 + F_3$  wijst 2 hokjes naar beneden. De schaal van figuur 11.16: 1 N komt overeen met 1 cm. ( $F_3$  is 5 N en is een diagonaal,  $3^2 + 4^2 = 5^2$ )

13 a



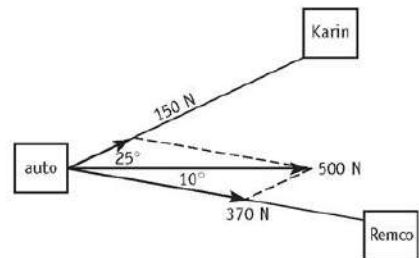
1 cm  $\triangleq$  2 hokjes  $\triangleq$  100 N

- b 7,9 cm lang, dus 790 N  
 c  $7,5^\circ$  (grootste kracht  $\rightarrow$  kleinste hoek)

- 14 a  $F_z = m \cdot g = 4500 \times 9,81 = 4,41 \cdot 10^4 \text{ N}$   
 b De pijl is 1,6 cm. Dus de schaal is  $2,8 \cdot 10^4 \text{ N}$  per cm.  
 c De pijl naar rechts is 2,4 cm lang dus  $6,6 \cdot 10^4 \text{ N}$ . Naar links is de pijl 2,4 cm, dus ook  $6,6 \cdot 10^4 \text{ N}$ .

15 Pulsje

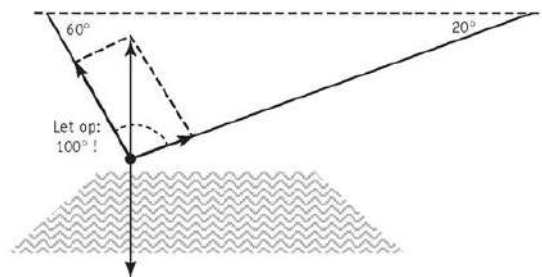
16 a/b



1 cm komt overeen met 100 N  
 Remco:  $F = 3,7 \cdot 10^2 \text{ N}$ ; Karin:  $F = 1,5 \cdot 10^2 \text{ N}$

- 17 a Bootje a neemt de kortste weg en komt ongeveer recht aan de overkant terecht. Als je de resultante van de beide snelheden neemt ga je recht naar de overkant.  
 b Bootje b is het snelst aan de overkant. Zijn voorwaartse snelheid is recht naar de overkant toe. Ondertussen drijft hij wel af met de stroom mee en komt dus niet recht aan de overkant terecht, maar een stukje stroomafwaarts.  
 c Bootje c gaat het hardst ten opzichte van de kant. De totale snelheid is hier het grootst.

- 18 De zwaartekracht op de padvinder is  
 $F_z = m \cdot g = 50 \times 9,81 = 490,5 = 4,9 \cdot 10^2 \text{ N}$ .

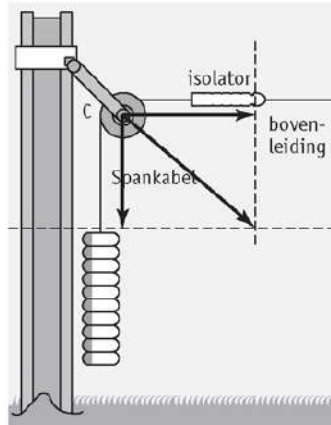


De zwaartekracht tekenen we als een vector van 2,0 cm. Het parallellogram dat ontstaat heeft links een vectorpijl van 1,9 cm en rechts eentje van 1,0 cm.  
 2,0 cm  $\Leftrightarrow 4,9 \cdot 10^2$  N

$$1,9 \text{ cm} \Leftrightarrow \frac{1,9}{2,0} \times 4,9 \cdot 10^2 = 4,7 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$1,0 \text{ cm} \Leftrightarrow \frac{1,0}{2,0} \times 4,9 \cdot 10^2 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ N}$$

19 2,9 kN

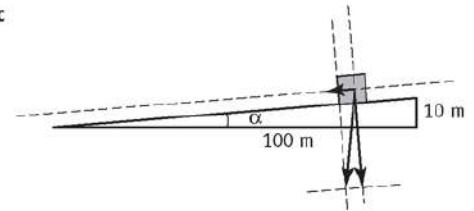


10 betonblokken van 21 kg  
 $F_{\text{vert}} = 10 \times 21 \times 9,81 = 2,06 \cdot 10^3 \text{ N}$   
 en  $F_{\text{horiz}} = 2,06 \cdot 10^3 \text{ N} \rightarrow F_{\text{diagonaal}} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ N}$

### 11.3 Krachten op de helling

- 20 a Voor de driehoek linksonder geldt:  
 $\alpha_1 + \beta + 90 = 180$   
 Hieruit volgt:  $\beta = 90 - \alpha_1$
- b Rechter driehoek:  $\alpha_2 + \beta + 90 = 180$   
 Hieruit volgt:  $\alpha_2 + \beta = 90 \rightarrow \beta = 90 - \alpha_2$   
 Voor de grote driehoek linksonder geldt:  
 $\beta = 90 - \alpha_1$  (zie a)  
 Als we beide resultaten combineren krijgen we:  
 $90 - \alpha_2 = 90 - \alpha_1$   
 $\alpha_1 = \alpha_2$
- c Een grotere hellingshoek betekent dat de component van de zwaartekracht evenwijdig aan de helling groter wordt; de zwaartekracht gaat meer in de richting van de helling werken. Automatisch wordt de component loodrecht op de helling (de normaalkracht) dan kleiner.  
*Je kan ook de extreme situaties bekijken: bij een horizontaal vlak is de normaalkracht gelijk aan de zwaartekracht en is er geen component van de zwaartekracht evenwijdig aan de "helling". Als de helling verticaal staat is de component evenwijdig aan de "helling" gelijk aan de zwaartekracht. De normaalkracht is dan nul; het voorwerp steunt niet op de "helling". Dus: hoe steiler de helling, hoe kleiner de normaalkracht.*

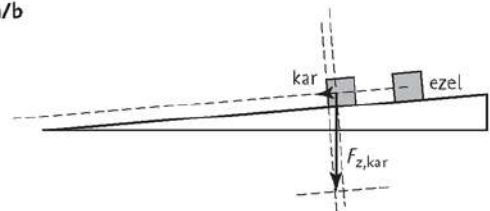
21 a/b/c



- a De hellingshoek is  $6^\circ$ .  
 b  $F_z = m \cdot g = 1020 \times 9,81 = 1,00 \cdot 10^4 \text{ N}$   
 c  $F_{\parallel} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ N}$ ,  $F_{\perp} = 9,9 \cdot 10^3 \text{ N}$   
 d Als de auto stilstaat is er geen nettokracht.  $F_{\parallel}$  is dus gelijk aan de tegenwerkende kracht. In dit geval is dat de remkracht.

- 22  $F_{\text{motor}} + F_{\parallel} - F_w = 0$  en  $F_N - F_{\perp} = 0$   
 De component van de zwaartekracht evenwijdig aan de helling werkt nu in dezelfde richting als de motorkracht. Alleen de wrijvingskracht werkt tegen. De tweede vergelijking blijft hetzelfde.

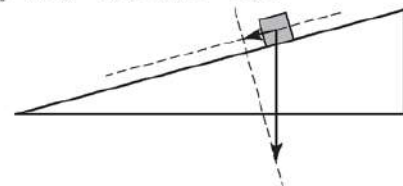
23 a/b



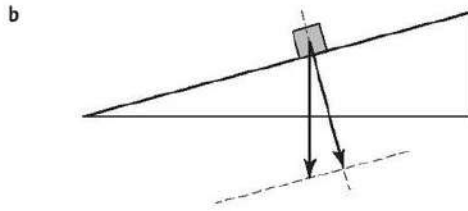
- b De grootte van  $F_{\parallel}$  is  $1,3 \cdot 10^2 \text{ N}$ .  
 c Bij constante snelheid is de netto kracht nul.  
 $F_{\parallel} = 1,3 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 $F_w = 25 \text{ N}$   
 Dus de trekkraft moet  $1,3 \cdot 10^2 + 25 = 1,5 \cdot 10^2 \text{ N}$  zijn.  
 d Nee. De schuifwrijvingskracht op de kar is maximaal 25 N aangezien hij 25 N is als de kar beweegt met constante snelheid.  $F_{\parallel}$  is (veel) groter dan de maximale schuifwrijvingskracht.

- 24 a groter  
 b kleiner  
 c kleiner
- 25 Een holle is moeilijker. Het steilste stuk is het moeilijkst te overwinnen. Als dat onderaan zit kun je je bewegingsenergie gebruiken om dat te overwinnen. Als de helling bovenaan het steilste is, is je bewegingsenergie al op als je zo ver bent.

26 a  $F_z = m \cdot g = 90,0 \times 9,81 = 883 \text{ N}$



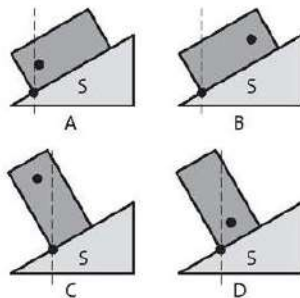
Uit de constructie volgt dat:  
 $F_{\parallel} = 2,3 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 $F_w = 48,4 \text{ N}$   
 $F_{\text{netto}} = 2,3 \cdot 10^2 - 48,4 = 1,8 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 $a = \frac{F_{\text{netto}}}{m} = \frac{1,8 \cdot 10^2}{90,0} = 2,0 \text{ m/s}^2$



$F_n = F_{\perp} = 8,5 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 Dit is kleiner dan  $8,6 \cdot 10^2 \text{ N}$ .  
 De slee zakt dus n t niet in de sneeuw. (Maar er moet geen oneffenheid of zwakke plek in de sneeuwlaag zitten, want d n...)

**11.4 Zwaartepunt en hefboom**

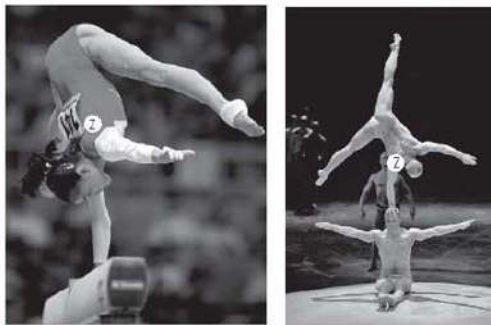
27 a



b Alleen doos C zal omvallen. Hier zit het zwaartepunt links van het steunpunt.

28 Pulsje

29



30 a De zwaartekracht op het contragewicht werkt links van het draaipunt, deze kracht probeer de slagboom linksom te draaien.

b  $F_2 = m \cdot g = 25 \times 9,81 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ N}$

c Er is een evenwicht, dus geldt  $F_1 r_1 = F_2 r_2$   
 $2,45 \cdot 10^2 \times 2,8 = F_2 \times 0,40$

$$F_2 = \frac{2,45 \cdot 10^2 \times 2,8}{0,40} = 1717 \text{ N}$$

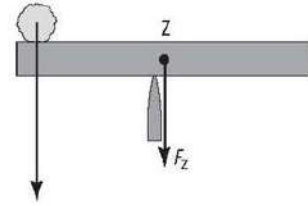
Dus de zwaartekracht op het contragewicht is 1,7 kN.

d  $F_2 = m \cdot g \rightarrow 1717 = m \times 9,81$

$$m = \frac{1717}{9,81} = 1,8 \cdot 10^2 \text{ kg.}$$

e De beide krachten in  $F_1 r_1 = F_2 r_2$  zijn de zwaartekracht. Er geldt dus  $m_1 \cdot g \cdot r_1 = m_2 \cdot g \cdot r_2$ . Aan beide kanten valt  $g$  dan weg.

31 a



b In de tekening ligt het zwaartepunt van de steen 18 mm links van het draaipunt en het zwaartepunt van de balk 1,5 mm rechts van het draaipunt.

De arm rechts is ongeveer  $12 \times 20$  kort als links, dus de zwaartekracht op de balk is  $12 \times 20$  groot als op de steen, dus  $19 \times 12 = 228 \text{ N}$ .

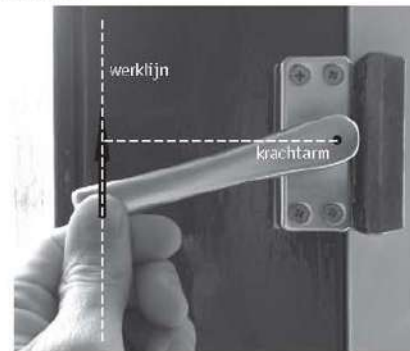
Je kunt dat niet precies zeggen, omdat de afstand rechts heel onnauwkeurig is. Je kunt dus het best opschrijven:  $2 \cdot 10^2 \text{ N}$ .

c  $F_z = m \cdot g \rightarrow 228 = m \times 9,81$

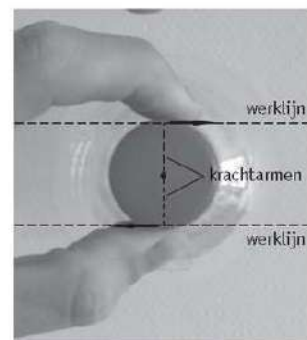
$$m = \frac{228}{9,81} = 23,2 \text{ kg.}$$

Vanwege de onnauwkeurigheid wordt dit  $2 \cdot 10^1 \text{ kg}$ .

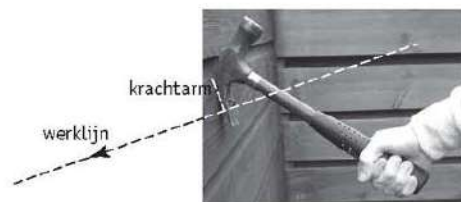
32 Situatie 1:



Situatie 2:

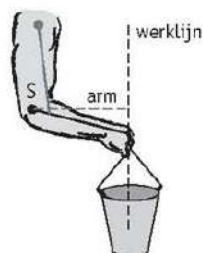


Situatie 3:





33 a



- b Zie de tekening in het boek.  
 $d = 15 \text{ mm}$   
 c De loodrechte afstand van S tot de werklijn van de spierkracht is in het boek 2,5 mm.  
 d De zwaartekracht op de emmer is:  
 $F_z = m \cdot g = 12 \times 9,81 = 118 \text{ N}$   
 Voor een evenwicht geldt  $F_1 r_1 = F_2 r_2$   
 $118 \times 15 = F_2 \times 2,5$   
 $F_2 = F_{\text{spier}} = \frac{118 \times 15}{2,5} = 7,1 \cdot 10^3 \text{ N}$

34 80 g

Het vogeltje zit  $2 \times z_0$  ver rechts van het kantelpunt als Z er links van ligt.  
 $m_{\text{balk}} = 2 \times m_{\text{vogeltje}} = 2 \times 40 = 80 \text{ g}$

35 a 5,6 cm

$$F_{z, \text{weger}} \cdot r_{\text{weger}} = F_{z, 20} \cdot r_{20}$$

$$m_{\text{weger}} \cdot r_{\text{weger}} = m_{20} \cdot r_{20}$$

$$\Rightarrow 18 \times r_{\text{weger}} = 20 \times 5,0$$

$$\Rightarrow r_{\text{weger}} = \frac{100}{18} = 5,55\dots = 5,6 \text{ cm}$$

- b 2,0 cm en 1,0 cm  
 massa 20 g  $\rightarrow$  50 g:  $2,5 \times z_0$  groot dan arm  $2,5 \times z_0$  klein, dus  $d_{50} = 2,0 \text{ cm}$   
 Evenzo  $d_{10} = 1,0 \text{ cm}$ .

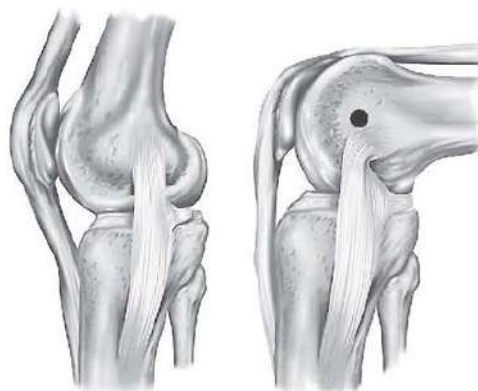
- c De weger van zwaarder karton maken. Dan kan het kantelpunt wat naar rechts; zo komt er ruimte voor een sleuf '200'. Of het zwaartepunt verder van het kantelpunt leggen.

36



Het zwaartepunt bevindt zich ergens in het grijze vlak.

37 a



- b Eigen antwoord  
 c Eigen antwoord.  
 d Gebruik:  $F_{\text{vert, kniepees}} \cdot r_{\text{pees}} = F_{z, \text{persoon}} \cdot r_{\text{persoon}}$

- 38 Stand 2, je hebt dan de eerste kwart slag gemiddeld de grootste arm. Stand 3 heeft de grootste arm bij de start, maar na een kwart slag is de arm nul geworden, gemiddeld is de arm dus kleiner.

- 39 We kunnen uitrekenen hoe zwaar de arend moet zijn om evenwicht te creëren.

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$m_{\text{auto}} \cdot g \cdot r_{\text{auto}} = m_{\text{vogel}} \cdot g \cdot r_{\text{vogel}}$$

$$2000 \times 9,81 \times 8 \cdot 10^{-2} = m_{\text{vogel}} \times 9,81 \times 2$$

$$m_{\text{vogel}} = \frac{2000 \times 9,81 \times 8 \cdot 10^{-2}}{9,81 \times 2} = 80 \text{ kg.}$$

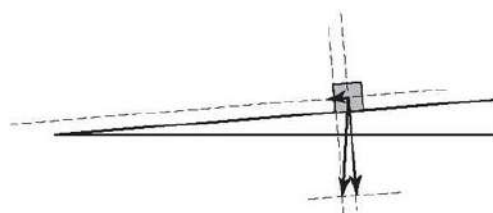
De vogel is slechts 6 kg, dus zal de auto niet kantelen.

### Toepassing

- Uit  $F = m \cdot a$  is de eenheid van kracht te halen.  
 $[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   
 $[kV^2] = [k] \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = [k] \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = [F] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   
 $[k] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \text{kg/m}$  (Je kunt de eenheid van kracht ook opzoeken in *Binas* tabel 4:  $\text{N} = \text{kgms}^{-2}$ )
- De topsnelheid is  $90,0 \text{ km/h} = 25,0 \text{ m/s}$ .  
 De luchtweerstand bij die snelheid is:  
 $F_{\text{lucht}} = kv^2 = 35,0 \times 25,0^2 = 21875 \text{ N}$   
 De rolweerstand is  $3000 \text{ N}$ . De totale weerstand is dan  $21875 + 3000 = 24875 \text{ N} = 24,9 \text{ kN}$

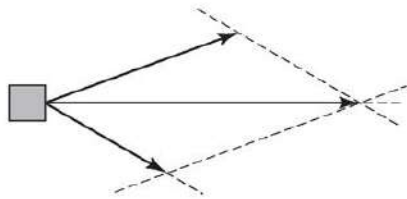
- 3 De hellingshoek is 4,5 graden.

- 4 Voor het vinden van de componenten van de zwaartekracht kan de volgende figuur gebruikt worden:



- 5 Uit de tekening is te halen dat  $F_{II}$  een waarde heeft van 23 kN.
- 6 De motorkracht is 30 kN. Deze wordt tegengewerkt door de rolweerstand, de luchtweerstand en  $F_{II}$ . De luchtweerstand heeft een waarde van  $30 \text{ kN} - 23 \text{ kN} - 3000 \text{ N} = 4 \text{ kN}$ .  
 Voor de luchtweerstand geldt  $F_{\text{lucht}} = kv^2$  met  $k = 35,0 \text{ kg/m}$ .  
 $4 \cdot 10^3 = 35,0 \times v^2$   
 $v = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3}{35,0}} = 10,7 \text{ m/s}$   
 Dit komt overeen met een snelheid van  $39 \text{ km/h} = 4 \cdot 10^1 \text{ km/h}$ . Moet in 1 s.c. (zie waarde  $F_{\text{lucht}}$ ).

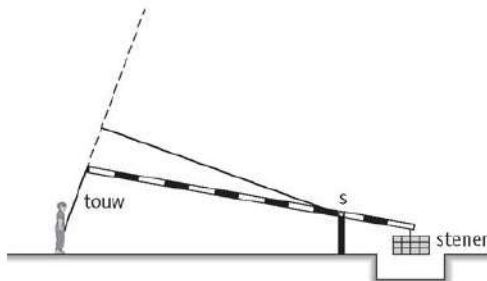
7



De somkracht van de twee sleepboten is gelijk aan 135 kN. De wrijvingskracht is gelijk aan deze somkracht, de wrijvingskracht is dus 135 kN. De kracht van de linker sleepboot is 90 kN.

- 8 De slagboom gaat omhoog als het touw wordt losgelaten. Dat betekent dat het zwaartepunt rechts van het draaipunt moet liggen.

9



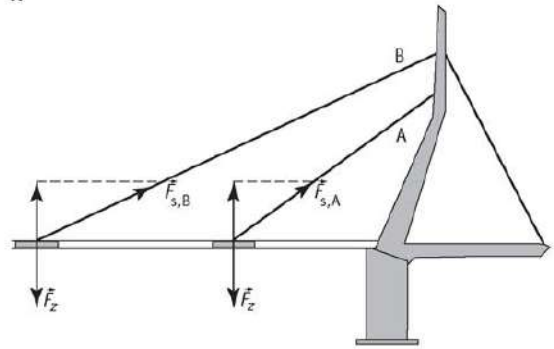
De lengte van de arm van de spankracht is in de tekening 7,8 cm. De lengte van de slagboom is in de tekening 10,2 cm; dit is in werkelijkheid 6,20 m.

Er geldt dan:  $\frac{6,20}{10,2} = \frac{r}{7,8}$  zodat  $r = 4,7 \text{ m}$ .

Bij evenwicht geldt:  $F_1 r_1 = F_2 r_2$   
 $690 \times 0,10 = F_{\text{span}} \times 4,7$  zodat  $F_{\text{span}} = 15 \text{ N}$ .

- 10  $m = 4,49 \cdot 10^5 \text{ kg}$   
 De totale zwaartekracht op het wegdek van de tuibrug is  $16 \times 2,75 \cdot 10^5 = 4,40 \cdot 10^6 \text{ N}$ .  
 $F_z = m \cdot g$ , waarin  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .  
 Dus  $m = \frac{F_z}{g} = \frac{4,40 \cdot 10^6}{9,81} = 4,49 \cdot 10^5 \text{ kg}$ .

11



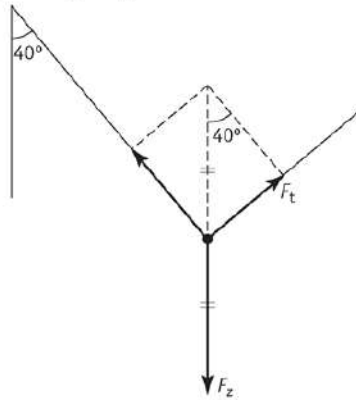
De spankracht in tui B is groter dan die in tui A.

- 12  $v = 4,1 \cdot 10^2 \text{ m/s}$   
 Bij de grondfrequentie is de golflengte van de golven in de tui:  $\lambda = 2l$  of  $l = \frac{1}{2}\lambda$ .  
 Voor de voortplantingssnelheid geldt:  $v = f \cdot \lambda$ , waarin  $f = 0,60 \text{ Hz}$  en  $\lambda = 688 \text{ m}$ .  
 Dus  $v = 0,60 \cdot 688 = 4,1 \cdot 10^2 \text{ m/s}$ .
- 13  $P_{\text{gem}} = 2,6 \cdot 10^6 \text{ W}$   
 Bij het opendraaien van de brug neemt de zwaarte-energie van het wegdek toe met  $m_1 \cdot g \cdot h_1$ , terwijl de zwaarte-energie van het contragewicht afneemt met  $m_2 \cdot g \cdot h_2$ .  
 $\Delta E_z = 1560 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 28 - 1050 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 11 = 3,15 \cdot 10^8 \text{ J}$   
 $P_{\text{gem}} = \frac{\Delta E_z}{\Delta t}$ , waarin  $\Delta t = 120 \text{ s}$   
 Hieruit volgt dat  $P_{\text{gem}} = \frac{3,15 \cdot 10^8}{120} = 2,6 \cdot 10^6 \text{ W}$ .
- 14 Voorbeelden van redenen:  
 In de situatie van figuur 11.51 bevindt de auto zich nog gedeeltelijk in het water en is daardoor (relatief) lichter dan in de situatie van figuur 11.52. In de situatie van figuur 11.51 is de arm van de kracht van de personenauto t.o.v. het draaipunt kleiner dan in de situatie van figuur 11.52.
- 15  $m_p = 1,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$   
 Als de takelwagen op het punt staat te kantelen geldt  $F_{zp} \cdot r_p = F_{zt} \cdot r_t$  waarin  $r_p = 49 \text{ mm}$ ,  $r_t = 10 \text{ mm}$ ,  $F_{zp} = m_p \cdot g$  en  $F_{zt} = m_t \cdot g$ .  
 Hieruit volgt dat  
 $m_p = \frac{10m_t}{49} = \frac{10 \times 7,9 \cdot 10^3}{49} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$ .
- 16 Het draaipunt wordt verplaatst naar de zijsteun bij de kadewand. Daardoor is de arm van de zwaarte-kracht op de tweede takelwagen (veel) groter dan zonder steun. Of: Daardoor is de arm van de zwaarte-kracht op de eerste takelwagen (veel) kleiner dan zonder steun.

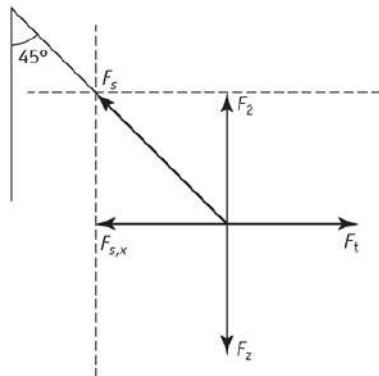
- 17  $P = 1,6 \cdot 10^3 \text{ W}$   
 Voor de toename van de zwaarte-energie geldt:  
 $\Delta E_z = m \cdot g \cdot \Delta h = 8,2 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 2,4$   
 $\Delta E_z = 1,93 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 Het vermogen dat de takelwagen minimaal moet leveren is dus:  
 $P = \frac{\Delta E_z}{\Delta t} = \frac{1,93 \cdot 10^5}{2,0 \times 60} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ W}$

**Proefwerkopgaven**

- 1 a Leeftijd en lengte zijn scalars, kracht is een vector.  
 b

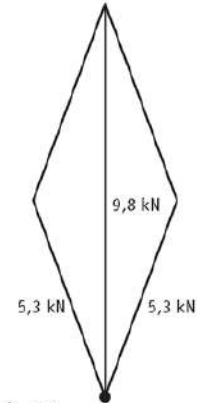


- c  $F_t = 167 \text{ N}$   
 $F_2 = 260 \text{ N}$



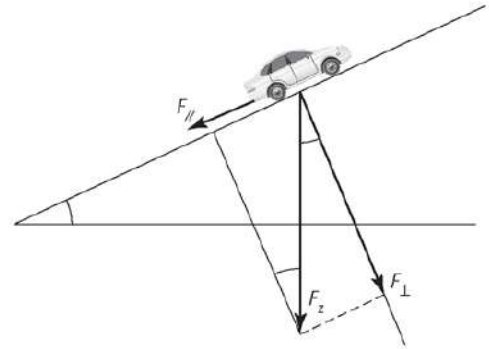
$F_2$  is net zo groot en tegengesteld gericht als  $F_z$ . De verticale component van  $F_s$  zorgt voor deze kracht. Als je  $F_s$  hebt gevonden kun je  $F_{s,x}$  vinden, de horizontale component van de spankracht. Deze is even groot als de trekkracht van vader. Omdat de hoek gelijk is aan  $45^\circ$ , is  $F_2$  gelijk aan  $F_{s,x}$ , wat betekent dat  $F_2 = F_t$   
 $F_t = 260 \text{ N}$

- 2 a



b  $a = \frac{F}{m} \rightarrow a = \frac{9,8 \cdot 10^3}{250} = 39 \text{ m/s}^2$

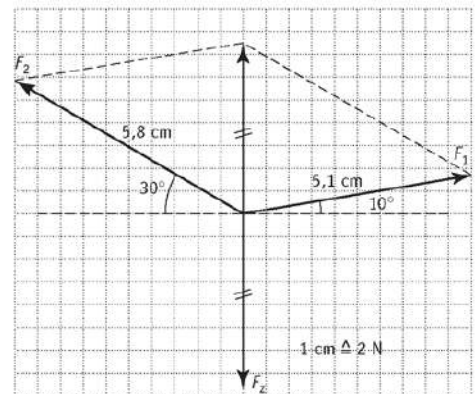
- 3 a



Opm: deze tekening is niet op schaal. Voor de duidelijkheid is de hellingshoek overdreven groot getekend

- b  $F_m = 1,6 \text{ kN}$   
 Bij constante snelheid is de netto kracht nul, dus  $F_m$  is even groot als  $F_{||}$  en  $F_w$  samen.  
 $F_z = m \cdot g = 800 \times 9,81 = 7,85 \text{ kN}$   
 Zie de tekening:  $F_{||} = 1,1 \text{ kN}$   
 $F_m = F_{||} + F_w = 1,1 + 0,500 = 1,6 \text{ kN}$

- 4 a



$F_z = m \cdot g = 0,780 \times 9,81 = 7,65 \text{ N}$   
 $F_1 = 5,8 \times 2 = 11,6 = 12 \text{ N}$   
 $F_2 = 5,1 \times 2 = 10,2 = 10 \text{ N}$

- b Beide krachten in de koorden, 10 N en 12 N, zijn (veel) kleiner dan 50 N. Zie tekening!

5 a



De krachtarm van de kracht van de brandweerman is gelijk aan 7,8 cm. De krachtarm van de kracht op de deur is gelijk aan 3,1 cm.

$$b \quad F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$150 \times 7,8 = F_2 \times 3,1$$

$$F_2 = 150 \times \frac{7,8}{3,1} = 3,8 \times 10^2 \text{ N}$$

c De krachtarm van de kracht op de deur wordt kleiner. Hierdoor wordt de kracht van de brandweerman sterker vergroot. Als we ervan uitgaan dat de deur nog niet opengebrouwen is als de punt waar de steel zit contact maakt met de deur, is de krachtarm ongeveer tweemaal zo klein. Het antwoord bij b wordt daarom tweemaal zo groot:  $7,6 \cdot 10^2 \text{ N}$ .

# Hoofdstuk 12

## Eigenschappen van stoffen en materialen

### Introductie

- Warmte is  $300 \text{ J/g} = 3,00 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ .  
De dichtheid =  $2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$   
Het volume =  $2,0 \text{ m} \times 5,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 5,0 \text{ m}^3$ .  
Warmte =  $3,00 \cdot 10^5 \times 2,3 \cdot 10^3 \times 5,0 = 3,45 \cdot 10^9 \text{ J}$   
(=  $3,45 \text{ GJ}$ !) =  $3,5 \cdot 10^9 \text{ J}$
- Vrijgekomen warmte =  $3,45 \cdot 10^9 \text{ J}$   
Benodigde warmte =  $3,3 \cdot 10^5 \text{ J/L}$   
Aantal L =  $3,45 \cdot 10^9 / 3,3 \cdot 10^5 = 1,0 \cdot 10^4 \text{ L}$   
( $\approx 10 \text{ m}^3$ !)
- L = B = H =  $150 \text{ mm} = 0,150 \text{ m} \rightarrow$   
Volume =  $0,150^3 = 3,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$   
Dichtheid =  $2,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  (zie opgave 1)  
Massa =  $2,3 \cdot 10^3 \times 3,38 \cdot 10^{-3} = 7,8 \text{ kg}$
- Kracht =  $562,5 \text{ kN}$   
Oppervlakte =  $150^2 = 2,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$   
Druk =  $562,5 \cdot 10^3 / 2,25 \cdot 10^4 = 25,0 \text{ N/mm}^2$
- $25,0 \text{ N/mm}^2 = 2,50 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$
- Dat is het antwoord van 5.  
De druksterkte =  $2,50 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$
- Treksterkte =  $2,3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$   
Oppervlakte =  $0,150^2 = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$   
 $\rightarrow$  Trekkraft =  $2,3 \cdot 10^5 \times 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 = 5,2 \cdot 10^4 \text{ N}$   
( $52 \text{ kN}$ )
- De kubus bezwijkt bij een trekkraft van  $900 \text{ kN}$  in plaats van  $52 \text{ kN}$ .  $\rightarrow$  Treksterkte is  $900/52 = 17$  keer zo groot.
- De druksterkte van beton =  $25000 \text{ kN/m}^2$  (vraag 6).  
De treksterkte =  $52 \text{ kN/m}^2$ , die is dus veel kleiner.  
Plaats daarom de bewapening waar de brug uitrekt: aan de onderkant. B dus.

### 12.1 Het deeltjesmodel

- a Juist. De moleculen zijn bij water niet geordend, bij ijs wel.  
b Onjuist. Er zit geen materie tussen de moleculen. Lucht bestaat immers zelf ook uit moleculen.  
c Onjuist. Wolken zijn zichtbaar; de watermoleculen moeten dan gecondenseerd zijn (samenhangend).
- A: rijpen; C: stollen; E: verdampen;  
B: *sublimeren*; D: smelten; F: condenseren.
- a Smeltpunt van lood =  $601 \text{ K}$ .  $601 - 273 = 328 \text{ }^\circ\text{C}$   
b Kookpunt olijfolie =  $570 \text{ K}$ .  $570 - 273 = 297 \text{ }^\circ\text{C}$   
c Kookpunt van He =  $4,2 \text{ K}$ .  $4,2 - 273 = -269 \text{ }^\circ\text{C}$
- a  $s = v \cdot t \rightarrow t = s/v = 10/500 = 0,020 \text{ s}$   
b Het molecuul beweegt niet in een rechte lijn. Het botst voortdurend tegen andere moleculen en legt dus veel meer afstand af.
- Dichtheid =  $0,60 \text{ kg/m}^3$  bij een temperatuur van  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  en een normale luchtdruk. Massa =  $1,0 \text{ kg}$   
 $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{1,0}{0,60} = 1,7 \text{ m}^3$
- a Bij de temperatuur waar de dichtheid het grootste is. Bij ongeveer  $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
b De dichtheid =  $999,5 \text{ kg/m}^3$ . De massa =  $1000 \text{ kg}$   
 $\rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{1,000}{999,5} = 0,001001 \text{ m}^3 = 1,001 \text{ L}$   
c Het water koelt af vanaf de bovenkant. Het wateroppervlak befrist als eerste. Bij de fase overgang is de temperatuur  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Het water dat tegen de ijslaag aanzit heeft ook een temperatuur van  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . De rest van het water is warmer. Water met de temperatuur van  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  zakt het meest naar beneden; het heeft de grootste dichtheid. Dat betekent dat de vijver pas gaat dichtvriezen wanneer de gemiddelde temperatuur van het water ongeveer  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  bedraagt. De temperatuur varieert dan van  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  op de bodem tot  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  bovenin.
- a Met de kinetische energie kun je de snelheid berekenen. De temperatuur is in Kelvin.  $T = 293 \text{ K}$   
 $E_{\text{kin}} = 2,07 \cdot 10^{-23} \times 293 = 6,07 \cdot 10^{-21} \text{ J}$   
 $\frac{1}{2}mv^2 = 6,07 \cdot 10^{-21} \rightarrow \frac{1}{2} \times 2,99 \cdot 10^{-26} \times v^2 = 6,07 \cdot 10^{-21}$   
 $\rightarrow v = 637 \text{ m/s}$   
b De kinetische energie hangt alleen af van de temperatuur. Dit geldt voor alle moleculen ongeacht hun massa. De snelheid voor een molecuul is dan:  
$$v = \sqrt{\frac{E_k}{\frac{1}{2}m}}$$
  
Inderdaad, hoe kleiner de massa hoe groter de snelheid.
- a  $m_{\text{watermolecuul}} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  (zie vraag 7a).  
 $m = 72,3 \text{ g} = 0,0723 \text{ kg}$ .  
 $\rightarrow$  aantal moleculen =  $\frac{\text{totale massa}}{\text{massa per molecuul}}$   
 $= \frac{0,0723}{2,99 \cdot 10^{-26}} = 2,42 \cdot 10^{24}$

- b De diameter van het molecuul =  $200 \cdot 10^{-12}$  m.  
 $l = 2,42 \cdot 10^{24} \times 200 \cdot 10^{-12} = 4,84 \cdot 10^{14}$  m
- c Ja, afstand<sub>aarde-zon</sub> =  $14,96 \cdot 10^{10}$  m
- 9 a  $m = 257$  g;  $V = 30$  cm<sup>3</sup>  
 $\rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{257}{30} = 8,57$  g/cm<sup>3</sup>. *Binas* tabel 9 geeft voor messing: 8,5 kg/dm<sup>3</sup>. Dat klopt dus redelijk.
- b Blokje messing met  $m = 257$  g en  $V = 30$  cm<sup>3</sup>. De percentages van koper en zink (75% en 25%) zijn massa percentages.  
 $\rightarrow m_{\text{koper}} = 192,75$  g en  $m_{\text{zink}} = 64,25$  g  
 $\rho_{\text{koper}} = 8,96 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \rightarrow V_{\text{koper}} = \frac{m}{\rho} = \frac{192,75}{8,96} = 21,5$  cm<sup>3</sup>  
 Blijft over voor zink:  $30,0 - 21,5 = 8,5$  cm<sup>3</sup>.  
 $\rightarrow \rho_{\text{zink}} = \frac{m}{V} = \frac{64,25}{8,5} = 7,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$   
*Binas* tabel 8 geeft: 7,2 kg/dm<sup>3</sup>.
- 10 a  $m_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24}$  kg.  $r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6$  m, zie *Binas* tabel 31.  
 b  $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 6,371^3 \cdot 10^{18} = 1,083 \cdot 10^{21}$  m<sup>3</sup>  
 $\rho_{\text{aarde}} = \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{1,083 \cdot 10^{21}} = 5,513 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>  
 Dat is een realistisch getal. Tussen de dichtheid van water en die van zware metalen in.
- 11 a In bron 4 lees je het volgende over de ijsmassa:  
 $A = 14 \cdot 10^{12}$  m<sup>2</sup>,  $d = 2200$  m  $\rightarrow V = 3,08 \cdot 10^{16}$  m<sup>3</sup>  
 Bij de opgave staat:  $\rho = 900$  kg/m<sup>3</sup>.  
 $\rightarrow m = \rho \cdot V = 900 \times 3,08 \cdot 10^{16} = 2,77 \cdot 10^{19}$  kg
- b Dichtheid van water:  $\rho = 998$  kg/m<sup>3</sup>.  
 $\rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,77 \cdot 10^{19}}{998} = 2,78 \cdot 10^{16}$  m<sup>3</sup>
- c Het volume van  $b$  verdeeld over  $335 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup> =  $335 \cdot 10^{12}$  m<sup>2</sup>  $\rightarrow \Delta h = 82,9$  m = 83 m.
- d Bij kamertemperatuur is het propaan gas in de fles gecondenseerd omdat het onder hoge druk staat. Buiten de fles, bij normale luchtdruk, is propaan gasvormig.  
 Het kookpunt van propaan = 231 K, = -42 °C. Bij een temperatuur van -89 °C zal er geen propaan gas ontstaan bij normale luchtdruk. Het verhaal klopt.
- e De zuidpool is het zuidelijkste punt op aarde. Lucht die daar naar toe stroomt, komt altijd uit het noorden.
- 12 a De warmte wordt gebruikt om de aantrekking tussen de moleculen te verbreken.  
 b I. Elke faseovergang zoals het smelten van ijs of het verdampen van een blikje benzine zonder deksel.  
 II. Het verwarmen van je huis in de winter, waarbij de warmte toevoert en de warmte afvoert gelijk zijn.
- 13 Pulsje
- 14 De aarde verliest warmte door straling. De ruimte buiten de aarde is vacuüm, dus geleiding en stroming zijn niet mogelijk.
- 15 Pulsje
- 16 Het maakt voor de thermoskan niet uit of de warmtestroom naar binnen toe is of naar buiten toe. In beide gevallen isoleert de thermoskan.
- 17 Pulsje
- 18 a Zilver  
 b Keukenzout als je dat een 'vaste stof' mag noemen. Kurk, polystyreen en polyvinylchloride hebben ook een warmtegeleidingscoëfficiënt kleiner dan  $0,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .  
 c  $0,024 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Let op de factor  $10^{-3}$  in tabel 12.
- 19 Het koper onder het papier voert de warmte snel af. Het piepschuim doet dat niet waardoor het papier in korte tijd veel warmte kan opnemen.
- 20 a  $P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{0,60 \times 8,0 \times 10}{0,20} = 2,4 \cdot 10^2$  W  
 $E = P t = 240 \times 3600 = 8,6 \cdot 10^5$  J  
 b De temperatuur is constant. De warmte die de gloeilampen produceren is daarom ook 240 W. Veronderstel dat een gloeilamp voor 100% warmte produceert. Er zijn dan 4 gloeilampen nodig.
- 21 a  $2,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  bij een temperatuur van -4 °C. Veronderstel dat deze constant is tussen 0 en -10 °C.  
 b Van beneden naar boven. Warmte gaat van een hoge naar een lage temperatuur.  
 c De warmtestroom gaat door een laag ijs van 10 cm.  
 $P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{2,1 \times 1,0 \times 10}{0,10} = 2,1 \cdot 10^2$  W  
 d Het waterlaagje dat bevroert, heeft een volume van  $V = 1,0 \times 1,0 \times 0,010 = 0,010$  m<sup>3</sup>. De massa van dit waterlaagje is  $0,010 \times 1000 = 10$  kg. Bij het bevriezen staat het water een warmte af van  $334 \cdot 10^3$  J/kg.  
 $\rightarrow Q = 10 \times 334 \cdot 10^3 = 3,3 \cdot 10^6$  J.  
 e De warmtestroom door het ijs is  $2,1 \cdot 10^2$  J/s (zie vraag c). Voor het bevroeren moet worden afgevoerd:  $3,3 \cdot 10^6$  J.  $\rightarrow t = 1,6 \cdot 10^4$  s = 4,4 uur.  
 f Ja, in de grafiek duurt het groeien van 10 naar 11 cm ook ruim 4 uur.  
 g De ijslaag wordt steeds dikker en daardoor de warmtestroom steeds kleiner ( $P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$ ). Het duurt dan steeds langer om de warmte af te voeren voor het aangroeien van 1 cm ijs.  
 h Een tweede aanname is dat de waterlaag overal een temperatuur heeft van 0 °C. In werkelijkheid heeft het water op enkele mm's van de ijslaag een iets hogere temperatuur. Een tweede aanname is dat de warmtegeleidingscoëfficiënt overal in het ijs even groot is. De gemiddelde waarde van  $\lambda$  tussen 0 en -10 °C kan wat kleiner zijn dan de waarde bij -4 °C.

- 22 a Dikte  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;  $A = 1,2 \text{ m}^2$ ;  $\Delta T = 13 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$   

$$P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{0,93 \times 1,2 \times 13}{5,0 \cdot 10^{-3}} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ W}$$
 90 dagen =  $7,78 \cdot 10^6 \text{ s} \rightarrow E = 2,26 \cdot 10^{10} \text{ J} = 2,3 \cdot 10^{10} \text{ J}$   
 b Binas tabel 5:  $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$   
 $2,26 \cdot 10^{10} \text{ J} = 6,27 \cdot 10^3 \text{ kWh} = 6,3 \cdot 10^3 \text{ kWh}$   
 c  $6,27 \cdot 10^3 \times 0,20 = \text{€} 1,25 \cdot 10^3$  (1250 euro) =  $\text{€} 1,3 \cdot 10^3$   
 d  $P = 112 \text{ W} \rightarrow E = 241 \text{ kWh} \rightarrow$  kosten zijn  $\text{€} 48$   
 (of:  $13/0,5 = 26 \rightarrow \text{€} 1250/26 = \text{€} 48$ )

- 23 a  $P = U \cdot I = 20,0 \cdot 2,60 = 52,0 \text{ W}$   
 b Ook  $52,0 \text{ W}$ . Alle elektrische energie komt in het water.  
 c Over  $18,1 \text{ cm}$  is de temperatuurdaling bekend.  
 $\Delta T = 61,3 - 34,2 = 27,1 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$   

$$52,0 = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{\lambda \times 9,15 \cdot 10^{-4} \times 27,1}{0,181}$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{0,181 \times 52,0}{9,15 \cdot 10^{-4} \times 27,1} = 3,80 \cdot 10^2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$
  
 d Koper komt in de buurt:  $\lambda = 390 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

- 24 a Maak eventueel een tekening.  
 $A = 0,20 \times 0,15 \times 3 + 0,15 \times 0,15 \times 2 = 0,090 + 0,045 = 0,14 \text{ m}^2$  ( $0,135 \text{ m}^2$ ).  
 b Wanneer de temperatuur constant geworden is:  $100 \text{ W}$ .  
 c Schat de eindtemperatuur op bijvoorbeeld  $78 \text{ }^\circ\text{C}$  en de begintemperatuur op  $15 \text{ }^\circ\text{C}$   

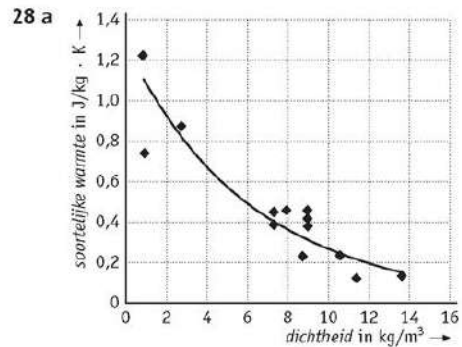
$$100 = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{\lambda \times 0,135 \times 63}{0,0040} \rightarrow \lambda = \frac{0,0040 \times 100}{0,135 \times 78}$$

$$= 4,7 \cdot 10^{-2} \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$
  
 d  $R_c = 0,135 \times 63/100 = 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$   
 e Warmtestroom =  $\frac{\text{oppervlakte} \times \text{temperatuurverschil}}{\text{warmteweerstand}}$   
 (warmteweerstand is  $= \frac{d}{\lambda}$ )  
 f Voor de uiteindelijke isolerende werking van het product is het handiger om de dikte te verpakken in de warmteweerstand in plaats van twee dingen te noemen: een materiaaleigenschap en een dikte.

25 
$$P = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} = \frac{0,014 \times 1,0 \times 90}{0,010} = 126 \text{ W} = 1,3 \cdot 10^2 \text{ W}$$

### 12.3 Warmteuitwisseling

- 26 a  $4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$   
 Alleen waterstof en helium hebben een soortelijke warmte die groter is.  
 b Omdat het per kg veel warmte kan opnemen en verplaatsen.  
 27 a  $V = 2,4 \cdot 10^2 \text{ m}^3$ .  $m = \rho \cdot V = 1,2 \times 2,4 \cdot 10^2 = 2,9 \cdot 10^2 \text{ kg}$   
 b De soortelijke warmte van lucht =  $1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$   
 Warmte:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 1,0 \cdot 10^3 \times 2,88 \cdot 10^2 \times 4,0 = 1,15 \cdot 10^6 \text{ J}$ . 25 Leerlingen produceren dit in 30 minuten =  $1800 \text{ s}$ . Per leerling:  $26 \text{ W}$ .



- 28 a Alleen het eerste punt (Kalium) valt sterk buiten het verband dat de grafiek weergeeft.  
 De vorm van de grafiek klopt redelijk. Als de dichtheid  $5 \times$  zo klein wordt, dan wordt de soortelijke warmte ongeveer  $5 \times$  zo groot.

- 29 a Waterstof is de stof met de lichtste atomen. Waterstof bestaat uit  $\text{H}_2$  moleculen en He bestaat uit enkelvoudige atomen. Wanneer je de meest voorkomende isotopen beschouwt ( $^1_1\text{H}$  en  $^4_2\text{He}$ ) is het waterstof molecuul toch nog veel lichter.  
 b De bewering klopt. De soortelijke warmte van waterstof is dan ook veel hoger. Overigens zal ook *binnen het  $\text{H}_2$  molecuul* thermische energie in de vorm van bijvoorbeeld trillingen opgeslagen zijn.

### 30 Pulsje

- 31 a (De warmtecapaciteit van de pan is bijna verwaarloosbaar ten opzichte van het water.)  
 $Q_{\text{water}} = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 2,5 \times \Delta T = 1,045 \cdot 10^4 \times \Delta T$   
 $Q_{\text{pan}} = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,88 \cdot 10^3 \times 0,200 \times \Delta T = 0,176 \cdot 10^4 \times \Delta T$  en  
 $Q_{\text{totaal}} = 1,0626 \cdot 10^4 \times \Delta T$  en  $Q_{\text{totaal}} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ J}$   

$$\Delta T = \frac{3,0 \cdot 10^3}{1,0626 \cdot 10^4} = 0,28 \text{ }^\circ\text{C}$$
 in de eerste seconde.  
 b  $\Delta T = 100 - 15 = 85 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow t = \frac{85}{0,28} = 3,0 \cdot 10^2 \text{ s}$

- 32 a  $\Delta T = 82 - 15 = 67 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$   
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 30 \times 67 = 8,40 \cdot 10^6 \text{ J}$   
 b  $P = \frac{Q}{t} = \frac{8,40 \cdot 10^6}{1,8 \cdot 10^3} = 4,7 \text{ kW}$

- 33 a  $\Delta T_{\text{melk}} = 76 - 4 = 72 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\rho_1 = 1,03 \text{ kg/l} \rightarrow$   
 $Q_{\text{melk}} = cm\Delta T = 3,9 \cdot 10^3 \times 0,010 \cdot 1,03 \times 72 = 2,9 \text{ kJ}$   
 b Ook het kopje neemt warmte op. Stel  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 $\Delta T_{\text{kopje}} = 76 - 20 = 56 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$   
 $Q_{\text{kopje}} = C \cdot \Delta T = 25 \times 56 = 1,4 \text{ kJ}$   
 Totaal opgenomen warmte =  $1,4 + 2,9 = 4,3 \text{ kJ}$   
 $Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}} = 4,3 \cdot 10^3 \text{ J}$ . De koffie is  $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$  afgekoeld.  
 $4,3 \cdot 10^3 = cm\Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times m \times 4,0 \rightarrow$   
 $m = 0,26 \text{ kg}$  ( $0,26 \text{ L}$ )

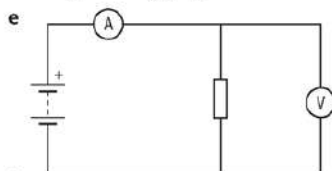
- 34 a In het begin is het temperatuurverschil  $\Delta T$  tussen onderkant en bovenkant  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . De warmtegeleiding door het blok komt langzaam op gang wanneer de onderkant opwarmt.

- b  $P = U \cdot I = 5,0 \times 3,6 = 18 \text{ J/s} \rightarrow 1,1 \cdot 10^3 \text{ J/min}$   
 c  $\Delta T/t = \frac{29,6 - 20,0}{4,50} = 2,1 \text{ }^\circ\text{C/min}$   
 d  $\Delta T/t = \frac{30,8 - 29,5}{3,50} = \frac{1,3}{3,50} = 0,37 \text{ }^\circ\text{C/min}$   
 e De temperaturodaling bij  $d$  geldt alleen bij hogere temperaturen. In het begin staat het blok minder warmte af. Als je dit verwaarloost, kun je  $0,40 \text{ }^\circ\text{C}$  optellen bij  $2,1 \rightarrow 2,5 \text{ }^\circ\text{C/min}$  wanneer er geen warmteverlies optreedt.  
 f  $Q_{\text{alu}} = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow 1,1 \cdot 10^3 \text{ J/min} = c \times 0,500 \times 2,5 \text{ }^\circ\text{C/min} \rightarrow c = \frac{1,1 \cdot 10^3}{1,25} = 8,6 \cdot 10^2 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$  (Binas:  $0,88 \cdot 10^3 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$ )  
 g De grafiek stijgt in  $6,0 \text{ min}$  tot  $35,0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $6 \times 2,5 = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en blijft dan op die temperatuur.

35 Pulsje

**12.4 Warmtegeleiding en elektrische geleiding**

- 36 a Binas:  $\rho_{\text{goud}} = 19,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$   
 $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = 1,0 \cdot \frac{10^{-3}}{19,3 \cdot 10^3} = 5,18 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$   
 $= 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$   
 b Volume  $5,18 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$   
 Dikte  $= 0,00010 \text{ mm} = 0,000010 \text{ cm} (1,0 \cdot 10^{-5} \text{ cm})$   
 $\rightarrow A = \frac{5,18 \cdot 10^{-2}}{1,0 \cdot 10^{-5}} = 5,18 \cdot 10^3 \text{ cm}^2 = 0,52 \text{ m}^2 (0,72 \times 0,72)$   
 c Er gaan theoretisch 52 velletjes in 1 g goud, praktisch gezien zijn het er 49.  $\rightarrow$  elk velletje kost  $\approx \text{€ } 0,80 (40/50)$   
 d Soortelijke weerstand  $= 22 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega\text{m}$ .  
 Dwarsdoorsnede oppervlakte  $= 1,0 \cdot 10^{-2} \times 1,0 \cdot 10^{-7} = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$   
 $R = \frac{\rho l}{A} = \frac{22 \cdot 10^{-9} \times 0,010}{1,0 \cdot 10^{-9}} = 0,22 \text{ } \Omega$

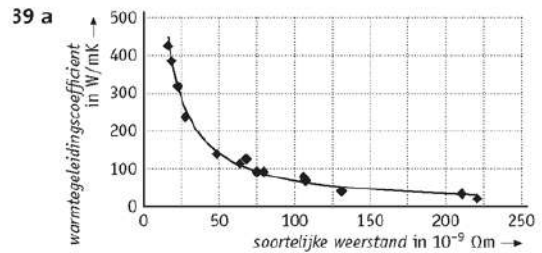


f D

- 37 Binas:  $\rho_{\text{aluminium}} = 27 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega\text{m} \rightarrow$   
 $R = 0,11 \text{ } \Omega = \frac{\rho l}{A} \rightarrow 0,11 = \frac{27 \cdot 10^{-9} \times 1,0}{A} \rightarrow A = \frac{27 \cdot 10^{-9}}{0,11}$   
 $A = 2,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \rightarrow d = \frac{2,45 \cdot 10^{-7}}{0,010} = 2,45 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,025 \text{ mm}$

- 38 a IJzer heeft de grootste soortelijke weerstand en daardoor bij gelijke afmetingen de grootste draadweerstand.  
 b De straal van de draad  $= 0,05 \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \rightarrow$  dwarsdoorsnede oppervlakte  $= 7,85 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 (\pi r^2)$   
 $R = \frac{\rho l}{A} = \frac{17 \cdot 10^{-9} \times 1,0}{7,85 \cdot 10^{-9}} = 2,16 \text{ } \Omega = 2 \text{ } \Omega (1 \text{ s.c.})$   
 c Geleidbaarheid  $= 1/R$ . Bij parallelschakeling tel je de geleidbaarheden op.

	ijzer	nikkel	alu	koper	parallelsch
$R$	13,4	9,93	3,44	2,16	
$1/R$	0,075	0,101	0,291	0,463	0,93 S



- b Ja, bij een kleine soortelijke weerstand is er een goede warmtegeleiding. Dat is wat je verwacht, want een kleine soortelijke weerstand betekent een goede elektrische geleiding.  
 c De soortelijke weerstand van kwik is zo groot dat deze ver buiten de schaalverdeling valt ( $960 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega\text{m}$ ). De warmtegeleidingscoëfficiënt is ook klein. Kwik is een vloeistof bij kamertemperatuur.

- 40 a De wet van Ohm geeft aan dat het verband tussen elektrische spanning en elektrische stroom vaak constant is. De constante noem je dan elektrische weerstand.  
 $R = \frac{U}{I} = \text{constant}$   
 Wanneer de weerstand niet constant is geldt de wet van Ohm niet.  
 Wanneer het oppervlak  $1 \text{ m}^2$  is, kun je bij warmtegeleiding schrijven:  
 $R_c = \frac{\Delta T}{P} = \text{constant}$   
 b Dat is eerder aan bod geweest ( zie opgave 24 ). Het zijn de dikte van de plaat  $d$  en materiaaleigenschap (warmtegeleidingscoëfficiënt)  $\lambda$ .  
 $R_c = \frac{d}{\lambda}$

- 41 a  $4,2 \text{ K}$  is het kookpunt dus ook het condensatiepunt ( $-269 \text{ }^\circ\text{C}$ ).  
 b Het kookpunt daarvan ligt veel hoger, bij  $77 \text{ K}$  ( $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Je zou zeggen dat is nog steeds heel koud; maar er is een groot verschil.  $77 \text{ K}$  ligt veel verder van het absolute nulpunt. En vooral in de buurt van het absolute nulpunt kunnen koelmachines heel moeilijk werken. Je hebt bewegende moleculen nodig om warmte af te voeren. Dus hoe doe je dat wanneer de moleculen bijna stilstaan? Daarbij komt dat de hoeveelheid stikstof op aarde veel groter is dan de hoeveelheid helium, waardoor stikstof goed koper is.

**12.5 Rekken en trekken.**

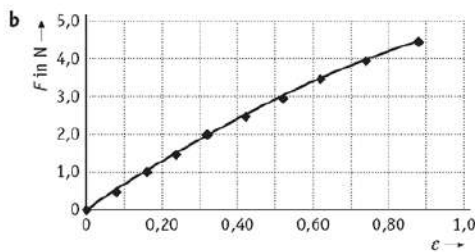
- 42 a  $A = \pi r^2 = \pi \times 0,0005^2 = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$   
 b De massa per meter  $= 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \rightarrow$   
 $m = 6,2 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0 \cdot 10^3 = 37,2 \text{ kg}$  en  $F_2 = 3,65 \cdot 10^2 \text{ N}$ .  
 $\rightarrow$  Trekspanning  $= 4,6 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$   
 c Daar hangt twee maal zo weinig massa onder  $\rightarrow$  Treksterkte is half zo groot.  
 43 B en D. De trekspanning is geen stoffeigenschap (kan allerlei waarden aannemen). De weerstand is ook geen stoffeigenschap; die hangt af van de afmetingen van de draad.



- 44 B. De lengtetoeename is even groot als de oorspronkelijke lengte.

45 a  $\varepsilon = \Delta l / \text{geedeeld door } l \rightarrow$

F in N	l in cm	$\Delta l$ in cm	$\varepsilon$
0	50	0	0
0,50	54	4	0,08
1,0	58	8	0,16
1,5	62	12	0,24
2,0	66	16	0,32
2,5	71	21	0,42
3,0	76	26	0,52
3,5	81	31	0,62
4,0	87	37	0,74
4,5	94	44	0,88



- c De kracht is recht evenredig met de rek tot een rek van ongeveer 0,32.

46 a bros

b elastisch

c Plastisch. Het elastische deel is veel kleiner dan het plastische deel. Zie bijvoorbeeld figuur 12.31.

47 a  $A = \pi r^2 = \pi \times (0,50 \cdot 10^{-3})^2 = 7,9 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$

b  $F_z = m \cdot g = 3,9 \times 9,81 = 38 \text{ N}$

Spanning =  $\frac{F}{A} = \frac{38,3}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 4,9 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

De draad breekt niet maar is wel plastisch vervormd.

48 Toelaatbare spanning =  $210 \text{ N/mm}^2$

$r = \frac{12 \text{ mm}}{2} = 6,0 \text{ mm} \rightarrow A = \pi r^2 = \pi \times 6,0^2 = 1,13 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$

Bij een schakel zit  $2 \times$  deze oppervlakte naast elkaar, dus  $A = 2,26 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$ .

Maximale kracht =  $210 \times 2,26 \cdot 10^2 = 4,75 \cdot 10^4 \text{ N}$ .

Massa =  $\frac{4,75 \cdot 10^4}{9,81} = 4,84 \cdot 10^3 \text{ kg} = 4,8 \text{ ton}$ .

49 a Treksterkte =  $400 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ . Het oppervlak, A, van de kabel doet er niet toe. Zowel de massa als de draagkracht van de kabel zijn evenredig met A.

Neem  $1 \text{ m}^2 \rightarrow$  Toegestane kracht =  $400 \cdot 10^6 \text{ N}$

$F_z = m \cdot g = 7800 \times 9,81 = 7,65 \cdot 10^4 \text{ N/m}$

$\rightarrow l_{\text{max}} = \frac{400 \cdot 10^6}{7,65 \cdot 10^4} = 5,2 \cdot 10^3 \text{ m} (5,2 \text{ km!})$

b Een kabel met een lengte 378 km breekt onder zijn eigen gewicht en de dichtheid =  $790 \text{ kg/m}^3$ . 378 km kabel, met een oppervlakte van  $1 \text{ m}^2$  heeft het volgende gewicht:

$F_z = m \cdot g = 790 \times 378 \cdot 10^3 \times 9,81 = 2,93 \cdot 10^9 \text{ N}$

Dat is ook de treksterkte in  $\text{N/m}^2$ .

50 a  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1,00 \cdot 10^{-2}}{3,00} = 3,33 \cdot 10^{-3}$

b Trekspanning  $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{315}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 4,01 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

$\rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{4,01 \cdot 10^8}{3,33 \cdot 10^{-3}} = 1,20 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

c Koper zou kunnen ( $E = 124 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ).

d  $F = \text{treksterkte} \times \text{oppervlakte} = 220 \cdot 10^6 \times 7,85 \cdot 10^{-7} = 173 \text{ N}$  (18 kg: voor dit koperdraadje is dit een realistisch antwoord)

51 a  $0,10\% = 0,0010$

b  $79 \cdot 10^3 = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{0,0010} \rightarrow \sigma = 79 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

c  $F = \sigma \cdot A = 79 \cdot 10^6 \times 7,85 \cdot 10^{-7} = 62 \text{ N} (6,3 \text{ kg})$

52 a  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{100}{7,9} = 12,7 \text{ cm}^3 \rightarrow d = \frac{12,7}{50 \times 3,0} = 0,084 \text{ cm}$

b  $F_z = 9,8 \times 0,100 = 0,98 \text{ N}$

c Ja, de redenering van Piet klopt. De kracht aan het uiteinde is de helft van de zwaartekracht.

d  $u = \frac{4 \cdot l^3}{E \cdot b \cdot d^3} F \rightarrow E \cdot b d^3 u = 4 l^3 F \rightarrow E = \frac{4 l^3 F}{b \cdot d^3 \cdot u}$

$= \frac{4 \times 0,50^3 \times 0,5}{0,030 \times 0,84^3 \cdot 10^{-9} \times 0,061} = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$

Dat klopt redelijk met de waarde uit *Binas*.

e Uit de formule hierboven blijkt het volgende: de linaal is half zo lang  $\rightarrow l^3$  is  $8 \times$  zo klein. Bovendien is de zwaartekracht de helft. De uitwijking is  $16 \times$  zo klein.

f  $C = F/u = 0,50/0,062 = 8,2 \text{ N/m}$

g De grafiek begin niet in de oorsprong omdat de zwaartekracht al zorgt voor een uitwijking wanneer er geen externe kracht is aangebracht.

Hellingsgetal =  $\frac{36}{2,0} = 18 \frac{\text{mm}}{\text{N}} = 0,018 \frac{\text{m}}{\text{N}}$

$\rightarrow \frac{4 \cdot l^3}{E \cdot b \cdot d^3} = 0,018 \rightarrow 4 l^3 = 0,018 \cdot E \cdot b d^3$

$E = \frac{4 \cdot l^3}{0,018 \cdot b \cdot d^3} = \frac{4 \times 0,5^3}{0,018 \times 0,050 \times 0,0020^3} = 6,9 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

h Aluminium komt het dichtst in de buurt ( $E = 71 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ), dichter dan zink ( $E = 93 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ).

i Snijpunt met horizontale as ligt bij  $-0,67 \text{ N}$ . De zwaartekracht is  $2 \times 0,67 \text{ N} = 1,34 \text{ N}$ . Dus  $m = 1,34/9,81 = 0,14 \text{ kg}$ . Dit komt goed overeen met  $m = \rho V$ , want  $\rho_{\text{aluminium}} = 2,7 \text{ g/cm}^3$  en  $V = 50 \text{ cm}^3$ . De massa is dus  $2,7 \times 50 = 135 \text{ g}$ .

53 a 35% uitrekking is een rek van 0,35.

b Oppervlakte =  $\pi \cdot r^2 = \pi \cdot (1 \cdot 10^{-5})^2$

Treksterkte =  $\frac{0,11}{\pi \cdot 1 \cdot 10^{-10}} = 4 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

Dat is ongeveer de treksterkte van staal ( $400 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ )

c  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{3,5 \cdot 10^8}{0,35} = 1 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ . Dat is veel kleiner dan die van staal ( $2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ ). Dat betekent dat spinnendraad veel elastischer is.

**Toepassing**

- Stroming, geleiding, straling
- $m = 1,4 \cdot 10^2 \text{ kg}$ ;  $\Delta T = 22,0 - 14,0 = 8,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $Q = 1,1 \cdot 10^6 \text{ J}$   
 $C = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{1,1 \cdot 10^6}{1,4 \cdot 10^2 \times 8,0} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$   
*Binas:*  $1,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Dus er gaat nog wel wat warmte verloren.
- $P = K \cdot A \cdot \Delta T = 6,0 \times (4,00 \times 1,50) \times (22 - 7) = 5,4 \cdot 10^2 \text{ J/s} = 1,94 \cdot 10^6 \text{ J/h}$   
 Voor twee ramen  $3,9 \cdot 10^6 \text{ J/h}$
- $\frac{(E_{\text{ramen}} + E_{\text{muren}})/\eta}{E_{\text{per m}^3 \text{ aardgas}}} = \frac{(1,7 + 3,9) \cdot 10^6 / 0,70}{30 \cdot 10^6}$   
 $= 0,27 \text{ m}^3$
- Het antwoord van opdracht 3 verandert met een factor  $3,5/6,0$ , dus het wordt  $2,3 \cdot 10^6 \text{ J}$ . Nieuw verbruik per uur:  
 $\frac{(E_{\text{ramen}} + E_{\text{muren}})/\eta}{E_{\text{per m}^3 \text{ aardgas}}} = \frac{(1,7 + 2,3) \cdot 10^6 / 0,70}{30 \cdot 10^6}$   
 $= 0,19 \text{ m}^3$   
 Bespaard:  $0,08 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- 
- $u = \frac{4}{E \cdot b} \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^3 F \rightarrow E \cdot b \cdot u = \left(\frac{l}{d}\right)^3 \cdot 4 \cdot F$   
 $E = \left(\frac{l}{d}\right)^3 \cdot \frac{4 \cdot F}{b \cdot u}$ ;  $\left(\frac{l}{d}\right)^3$  heeft geen eenheid.  
 $\rightarrow$  De eenheid van  $E = \text{N/m}^2$
- Het hellingsgetal van de getekende grafiek =  
 $13,4 \frac{\text{cm}}{\text{N}} = 0,134 \frac{\text{m}}{\text{N}} \rightarrow \frac{F}{u} = \frac{1}{0,134}$   
 $E = \left(\frac{l}{d}\right)^3 \cdot \frac{4 \cdot F}{b \cdot u} = \left(\frac{280}{0,60}\right)^3 \times \frac{4}{0,012} \times \frac{1}{0,134} = 2,5 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$  (*Binas:*  $E_{\text{ijzer}} = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ )
- $F = C \cdot u \rightarrow C = \frac{F}{u} = \frac{F}{\Delta l}$   
 $\frac{\Delta l}{F} = \frac{42,0 - 30,0}{3,00} = 4,0 \frac{\text{cm}}{\text{N}} = 0,04 \frac{\text{m}}{\text{N}} \rightarrow C = 25 \text{ N/m}$
- $C = \frac{E \cdot A_0}{l_0} \rightarrow \frac{\text{N}}{\text{m}} = \frac{E \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \rightarrow \text{N} = [E] \cdot \text{m}^2$   
 $\rightarrow [E] = \text{N/m}^2$

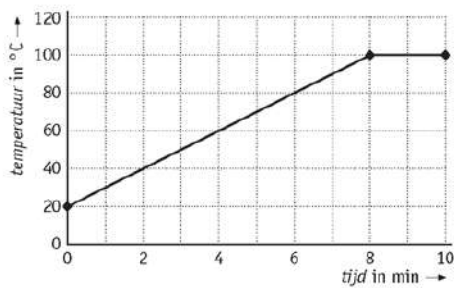
- $A = 1,0 \times 7,5 \text{ mm}^2$ ;  $l_0 = 30 \text{ cm}$ ;  $C = 25 \text{ N/m} \rightarrow$   
 $E = \frac{C \cdot l_0}{A_0} = \frac{25 \times 0,30}{7,5 \cdot 10^{-5}} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$   
*Binas:*  $E_{\text{rubber}} 10^5 - 10^6 \text{ N/m}^2$ . Ja, dat kan.
- $Q = c_{\text{RVS}} \cdot m_{\text{RVS}} \cdot \Delta T + c_{\text{w}} \cdot m_{\text{w}} \cdot \Delta T = 0,46 \cdot 10^3 \times 0,43 \times 50 + 4,18 \cdot 10^3 \times 1,1 \times 50 = 2,4 \cdot 10^5 \text{ J}$
- A: vloeibaar; B: vloeibaar en vast; C: vast.
- Er is warmteafgifte bij A, B en C. Bij A en C door afkoeling, en bij B door het stollen (bij smelten wordt warmte opgenomen, bij stollen wordt warmte afgestaan).
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  en  $m = \rho \cdot V \rightarrow Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$ .
- Het is handig de laatste formule te gebruiken, want de dichtheden van beide stoffen zijn bekend.
  - Het volume van beide kruiken is hetzelfde.
  - Uit de grafiek blijkt:  $\Delta T/t$  is even groot voor beide kruiken tijdens het eerste uur. Verder is gegeven dat  $Q/t$  in het eerste uur gelijk is.
    - en 2.  $\rightarrow Q/\Delta T$  is hetzelfde voor beide kruiken.
    - Dan blijkt uit de formule  $Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$  dat  $c \cdot \rho$  even groot moet zijn voor beide kruiken. Natriumacetaat heeft een grotere dichtheid, en dus een kleinere soortelijke warmte dan water.
- De kruikenmoeder is helemaal gevuld met water, dus stroming.
- Totaal is nodig:  $9 \times 7,0 \times 10^5 = 6,3 \times 10^6 \text{ J}$   
 $t = \frac{E}{P} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{1,2 \cdot 10^3} = 5250 \text{ s} = 88 \text{ minuten}$
- De warmtestroom  $Q$  is overal gelijk. Bij de vetlaag is  $\Delta T/d$  het kleinst (kleinste helling), dus bij de vetlaag is  $\lambda$  het grootst.
- vet:  $\Delta T/\Delta x = 1,4/2,0 \cdot 10^{-3} = 7,0 \cdot 10^2 \text{ }^\circ\text{C/m}$   
 vacht:  $\Delta T/\Delta x = 30,6/7,0 \cdot 10^{-3} = 4,37 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C/m}$   
 De helling is  $6,2 \times 20$  groot voor de vacht.  
 $\frac{P}{A} = \frac{\lambda \Delta T}{d}$   
 De warmtestroom  $P$  en het oppervlak  $A$  is constant (voor vet en voor vacht hetzelfde)  
 Wanneer  $\Delta T/\Delta x$  6,2 keer zo groot is, moet  $\lambda$  6,2 keer zo klein zijn.
- De vetlaag zou dan  $6,2 \times 7,0 = 43 \text{ mm}$  moeten zijn.
- $\rho_{\text{r}}/\rho_{\text{zco}} - 1 = \alpha \Delta T \rightarrow 118,5/106,1 - 1 = \alpha \times 30 \rightarrow 0,117 = \alpha \times 30 \rightarrow \alpha = 3,90 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $R = \rho/lA$  en de lineaire uitzettingscoëfficiënt van platina is  $8,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .  $lA$  zal daardoor afnemen met een factor  $8,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Dit is verwaarloosbaar vergeleken met  $3,90 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , dus  $R$  zal in dezelfde verhouding toenemen als  $\rho$ .

24  $\rho_1/\rho_{20} - 1 = \alpha\Delta T \rightarrow 186/160 - 1 = 3,9 \cdot 10^{-3} \times \Delta T \rightarrow$   
 $0,1625 = 3,9 \cdot 10^{-3} \times \Delta T \rightarrow \Delta T = 42 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow T = 62 \text{ }^\circ\text{C}$

**Proefwerkopgaven**

- 1 a  $m = \rho \cdot V$ ;  $V = A \cdot l$ ;  $A = \pi r^2$ ;  $\rightarrow$   
 $m = 8,96 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot (0,25 \cdot 10^{-6}) \cdot 1,0 = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$   
 b Dat is veel minder dan de 0,20 kg die aan de draad wordt gehangen.  
 $\rightarrow$  Trekspanning  $= \frac{F}{A} = \frac{0,20 \times 9,8}{\pi \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$   
*Binas:*  $E_{\text{koper}} = 124 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$   
 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{2,50 \cdot 10^6}{124 \cdot 10^9} = 2,0 \cdot 10^{-5}$   
 $\Delta l = 2,0 \cdot 10^{-5} \times 1000 \text{ mm} = 0,020 \text{ mm}$   
 c  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,387 \cdot 10^3 \times 7,0 \cdot 10^{-3} \times 20 = 54 \text{ J}$   
 d  $R = \frac{\rho l}{A} = 17 \cdot 10^{-9} \times \frac{1,0}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 0,022 \text{ } \Omega$

- 2 a  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,88 \cdot 10^3 \times 0,75 \times (100 - 20)$   
 $= 52800 = 5,3 \cdot 10^4 \text{ J}$   
 b  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 1,5 \cdot 0,998 \times 80$   
 $= 500597 = 5,0 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 c Wanneer er geen warmte wegkomt stijgt de temperatuur lineair van 20 °C tot 100 °C in 8,0 minuten tijd. Daarna blijft de temperatuur constant



- 3 a  $l = 1,2 \text{ m}$ ; uitrekking  $= 0,010 \text{ m}$ ;  $F = 10 \text{ N}$ ;  
 $A = 1,6 \text{ mm}^2 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ;  
 $\epsilon = \frac{0,010}{1,2} = 0,0083$   
 b  $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{10}{1,6 \cdot 10^{-6}} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$   
 c  $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{6,25 \cdot 10^6}{0,0083} = 7,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$

In vergelijking met waarden uit *Binas* is dit zeer laag.  
 $\rightarrow$  Nylon is zeer elastisch.

d treksterkte  $= \frac{F_{\text{max}}}{A}$ . De draad breekt bij  
 $F_{\text{max}} = 1,6 \cdot 10^{-6} \times 80 \cdot 10^6 = 1,3 \cdot 10^2 \text{ N}$

- 4  $b = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ;  $d = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;  $l = 1,2 \text{ m}$ ;  
 $R = \frac{\rho l}{A} = \frac{27 \cdot 10^{-9} \times 1,0}{0,12 \cdot 10^{-5}} = 0,0225 \text{ } \Omega$   
 $I = \frac{U}{R} = \frac{12}{0,0225} = 5,3 \cdot 10^2 \text{ A}$

- 5 a Volgorde: staal, bot, polystyreen.  
 Staal is dus niet zo'n elastisch materiaal! Bot is elastischer.

materiaal	polystyreen	bot	staal
$E$ ( $\cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ )	2,5	14	200

- b Kwik is een vloeistof bij kamertemperatuur.  
 c Het hellingsgetal geeft de elasticiteitsmodulus  
 $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{9,0 \cdot 10^8 - 0,0}{0,04} = 2,3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ .  
 d Chroom ( $E = 25 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ) komt in de buurt.

# Hoofdstuk 13 Functionele materialen

## ■ Introductie

- 1 a Van gewoon glas is de druksterkte 400 tot 1200 MPa.  
Van Gorillaglas is dat  $649 \times 9,81 = 6367 \text{ N/mm}^2$ .  
 $1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$ .  
 $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$ .  
De druksterkte van Gorillaglas is dus 6367 MPa en dat is 5 tot 16 maal zo groot als bij gewoon glas.  
De elasticiteitsmodulus van gewoon glas is 50 tot 100 GPa, en van Gorillaglas 69,3 GPa, dus daar is geen verschil.
- b 0,10%  
De zwaartekracht op 10 kg is 98 N.  
De trekspanning is dus  $98 \text{ N/mm}^2 = 98 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ .  
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \rightarrow 69,3 \cdot 10^9 = \frac{98 \cdot 10^6}{\epsilon}$$
  
 $\epsilon = 1,4 \cdot 10^{-3}$   
Dit is dus 0,14%.
- c Saffier is minder elastisch en heeft een kleinere druksterkte. Deze gegevens zeggen dus weinig over de toepasbaarheid van saffier boven Gorillaglas. Saffier is vooral meer krasvast.
- d 8,0  $\mu\text{m}$   
$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,0019}{2,39} = 7,95 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$$
  
Bij een oppervlak van  $1 \text{ cm}^2$  is de dikte dus met  $7,95 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 8,0 \mu\text{m}$  afgenomen in het loogbad.
- 2 Het glas van de lens van de camera. Het materiaal van de drukknopjes. Het materiaal waar de openingen van de microfoon en luidspreker zijn gemaakt. Het halfgeleidermateriaal van de chips. Enzovoort.
- 3 a Stenen tijdperk, bronstijd, ijzertijd.  
b In het stenen tijdperk wist men nog geen metalen uit erts te halen.  
Brons is een legering van koper en tin. Deze metalen hebben een lager smeltpunt dan ijzer.
- 4 De maximale trekspanning (treksterkte) en de elasticiteit zullen verbeteren door het ijzer.

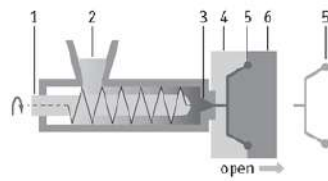
5



Opmerking: Er is ook trekspanning in de verticale stukken tegenover de plaatsen met drukspanning en drukspanning in de horizontale stukken onder de plaatsen met trekspanning.

- 6 plastic zakken → papieren zakken  
plastic legosteentjes → metalen blokjes  
plastic omhulsel rekenmachine → metaal enzovoort
  - 7 a aardolie  
b Aardolie raakt uitgeput door het gebruik als brandstof.  
c Plastic kan ook uit biologisch materiaal gemaakt worden.  
Brandstof kan ook uit alternatieve bronnen gehaald worden, waardoor aardolie als grondstof voor plastic bewaard blijft.
- ### ■ 13.1 Kunststoffen
- 1 a De doppen hebben felle kleuren terwijl de brug donkergrijs is.  
b De moleculen zijn niet identiek, ze verschillen in lengte.
  - 2 a 2  
b Bij 4 kun je verschillende matrijzen zetten met verschillende openingen waaruit de verschillende profielen komen.  
c 3  
d 1,5 kW  
200 g per 60 s is 3,33 g/s. Het plastic moet 160 graden warmer worden. Het verwarmen kost dus  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 2,2 \times 3,33 \times 160 = 1173 \text{ J}$  per seconde. Het smelten kost  $3,33 \times 100 = 333 \text{ W}$ .  
Totaal dus 1,5 kW.

3 a



Het eerste deel is gelijk aan de extruder. Alleen bij de spuitmond zit een vorm (5), die met plastic gevuld wordt. Als het plastic is afgekoeld gaat de vorm open en komt het voorwerp vrij. Vervolgens gaat de vorm weer dicht en is klaar voor het volgende product.

- b Een discontinu proces omdat de vorm steeds open en dicht moet.
- 4 De korrels zijn een tussenproduct die nog gesmolten moeten kunnen worden om het eindproduct te maken.
- 5 a De moleculen van een thermoharder kennen dwarsverbindingen. Het plastic is daardoor veel steviger en geschikt om een boot te maken.  
b Zie *Binas* tabel 10 B. De glasvezelmatten zorgen er voor dat vooral de treksterkte veel groter wordt, groter dan glas of thermoharder afzonderlijk. De druksterkte neemt ook toe, maar in mindere mate.
- 6 a Er gaan meerdere slangen naar het spuitstuk. De stof wordt dus ter plekke gevormd. PUR is een thermoharder. Er zijn geen plastic korrels die gesmolten worden.  
b Twee componenten worden gemengd.
- 7 a Zoek op 'plastic bekers of mok'. Het blijkt niet veel te verschillen.  
b Milieubewegingen zijn soms tegen plastic uit principe. Plasticfabrikanten zijn juist voorstander uit winstbejag. De waarheid blijkt in het midden te liggen.  
c Plastic moet verzameld worden en terug vervoerd naar de fabrikant. Dat is omslachtig en zal vaak niet gebeuren. Plastic kost aardolie waar maar beperkte voorraad van is. Mokken moeten gefabriceerd worden wat ook veel energie kost, maar ze gaan natuurlijk veel langer mee. Aardewerk moet wel steeds afgewassen worden. Dat kost energie, water en zeep.
- 8 PP is veel harder.
- 9 Alle kunststoffen waar druppels staan, zijn thermoplasten: PE, PP, PMMA, PA, POM.
- 10 Door extrusie, zie opdracht 2.
- 11 De doorzichtige omhulsels van autolampen zijn van PC. Deze moeten tegen barre omstandigheden kunnen en toch doorzichtig blijven.

- 12 Rubber is zeer elastisch. Het is gemakkelijk vervormbaar, maar komt door de dwarsverbindingen steeds weer in de oorspronkelijke vorm terug. Het is door deze extra bindingen ook zeer slijtvast.

### 13.2 Koolstof

- 13 a Diamant is alleen in klein formaat beschikbaar. Diamant is heel moeilijk te bewerken.  
b Diamant is erg duurzaam en krast niet.
- 14 a *Binas* tabel 18: 2,4  
b Omdat de ene kleur meer gebroken wordt dan de andere, komen verschillende kleuren gescheiden naar buiten.
- 15 Niets is harder dan diamant.
- 16 a Diamant geleidt de warmte wel, maar de stroom niet.  
b Grafiet geleidt de stroom en zou dus kortsluiting veroorzaken.
- 17 Voordelen: goedkoop te maken, licht en daardoor te verwerken in kleding, rugzakken e.d. Nadeel: het rendement valt nog tegen.
- 18 a houtskool, steenkool  
b De molecuulstructuur bevat lege ruimtes, een groot oppervlak waar veel aan kan adsorberen.  
c De koolstofatomen in diamant hebben vier bindingen waardoor er geen geleidingslektronen beschikbaar zijn.
- 19 a Buigzaam, sterk en licht.  
b De treksterkte van carbonfiber is 2390 MPa. Dat is veel groter dan hout (85–160), aluminium (310) of glasfiber (150). Ook de elasticiteitsmodulus is groter, maar in mindere mate.  
c De treksterkte is  $2390/120 = 20$  maal zo groot, dus de doorsnede kan 20 maal zo klein zijn.
- 20 Grafeen heeft dezelfde structuur als grafiet, alleen is de structuur dunner en groter.
- 21 Het touchscreen moet de signalen van je vinger makkelijk doorgeven en goed doorzichtig zijn.
- 22 Grafeen geleidt de stroom en de geleidbaarheid is te veranderen.
- 23 a De zwaartekracht op 6422 kg is  $6422 \times 9,81 = 63\ 000\ \text{N}$ .  
De treksterkte is dus  $63\ 000\ \text{N}/1 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2 = 63 \cdot 10^9\ \text{N}/\text{m}^2 = 63\ \text{GPa}$ .  
b De treksterkte van staal is 0,5 GPa. Dat is inderdaad ongeveer 100 maal zo groot.  
c De dichtheid van ijzer is 7,87 g/cm<sup>3</sup>, dat is inderdaad 6 maal 1,3 g/cm<sup>3</sup>. De bewering kloppen dus.

**13.3 Metalen**

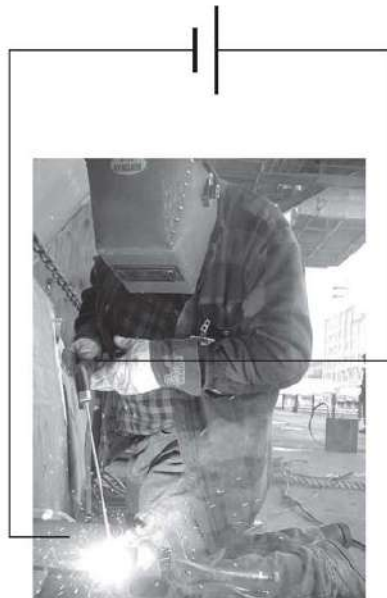
24 Aluminium is erg licht en toch sterk, zeker gemengd met andere metalen.

25 a 2,445 cm  
 In *Binas* tabel 8 vind je de uitzettingscoëfficiënt van ijzer:  $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Bij een temperatuurdaling van  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  krimpt het ijzer dus:  
 $180 \times 11,7 \cdot 10^{-6} \times 2,45 = 0,00516 \text{ cm}$   
 De lengte is dus  $2,450 - 0,005 = 2,445 \text{ cm}$ .

b  $4,5 \cdot 10^4 \text{ N}$   
 De rek  $\epsilon = \Delta L/L = 0,0052/2,445 = 2,11 \cdot 10^{-3}$ .  
 $E = \sigma/\epsilon \rightarrow 220 \cdot 10^9 = \sigma/2,11 \cdot 10^{-3}$   
 $\sigma = 220 \cdot 10^9 \times 2,11 \cdot 10^{-3} = 4,64 \cdot 10^8 \text{ Pa}$   
 $\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow 4,6 \cdot 10^8 = \frac{F}{10^{-4}} \rightarrow F = 4,6 \cdot 10^4 \text{ N}$

26 Bij het lassen van aluminium mag absoluut geen zuurstof betrokken worden, omdat anders de twee aluminiumdelen geen contact kunnen maken.

27 a



b  $R = U/I = 48/160 = 0,30 \text{ } \Omega$   
 c Smeltend ijzer reageert ook snel met zuurstof tot ijzeroxide (roest).  
 d 1 bekleding, 2 elektrode, 3 beschermgas, 4 smeltbad, 5 werkstuk, 6 lasrups, 7 slak.

28 a IJzer heeft atoomnummer 26, dus 26 protonen. Het massagetal is 56, er zijn dus 30 neutronen in de kern. Er is een elektron te kort, de atoomrest heeft dus nog 25 elektronen.

b Het Atomium is een gebouw bestaande uit grote stalen bollen verbonden met stangen waar je door kunt lopen. Het gebouw stelt het metaalrooster van ijzer voor. De bollen stellen de atoomresten voor.



29 a Beide hebben een smeltraject omdat het mengsel is. De smeltpunten zijn relatief laag. Bij verwarmen worden beide eerst zacht en zijn dan makkelijk te vervormen.

b Je kunt het metaal makkelijk in allerlei gewenste vormen maken, net als plastic. Alleen is het veel sterker dan plastic.

30 Metalen kunstheupen gaven kleine metaaldeeltjes af, waardoor vergiftigingsverschijnselen optraden en de kunstheupen vervangen moesten worden. Tegenwoordig wordt de kom van polyetheen gemaakt en de kop van keramisch materiaal. De kop zit via een metalen pen (bijvoorbeeld titanium) in het bot. Vroeger was het bewegend deel van roestvast staal.

**13.4 Silicium**

31 Er zit nu één elektron minder dan het aantal protonen, dus is de lading positief.

32 a  $R = \frac{\rho \cdot l}{A} \rightarrow 250 \cdot 10^3 = \frac{\rho \cdot 0,04}{1 \cdot 10^{-4}}$   
 $\rho = 6,25 \cdot 10^2 \text{ } \Omega\text{m}$

b In *Binas*:  $625 \text{ } \Omega\text{m}$

33 a Als de temperatuur stijgt, neemt de weerstand af.  
 b Als de temperatuur stijgt, neemt het aantal elektron-gat paren toe.

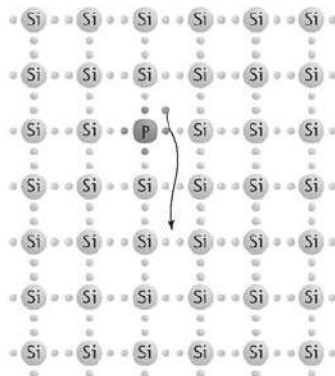
34 a Deze twee elementen zitten op het overgangsgedebied tussen metalen en niet-metalen.  
 b Je verwacht ook een kubische structuur zoals bij diamant (*Binas* tabel 67E).

35 a 28% (de aardkorst is het buitenste deel van de lithosfeer)  
 b zand, siliconen, allerlei halfedelstenen als kwarts e.d.

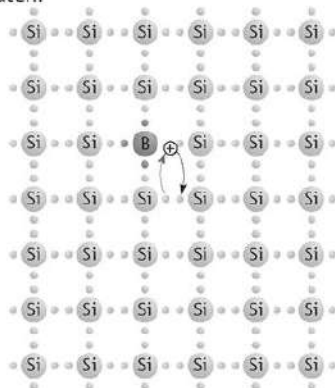
36 p staat voor positief en n voor negatief.

- 37 a** De weerstand van silicium is 6 miljard maal zo groot als die van de metalen. De geleiding van silicium vindt voor de helft plaats door de elektronen en de andere helft door de gaten. Het aantal vrije elektronen is dus 3 miljard maal zo klein. Dus 1 op de 3 miljard bindingselektronen in silicium is vrij.
- b** Er moeten 1000 maal zo veel geleidende deeltjes komen. Op 3 miljard siliciumatomen moeten dus 1000 fosforatomen komen. Dat is dus  $1000/3 \cdot 10^9 = 3 \cdot 10^7$  deel. (= 0,3 ppm)

**38** De elektronen:



De gaten:



- 39 a** De schakelingen in chips zijn zeer klein. Het beeld moet dus veel kleiner zijn dan het voorwerp.
- b** Bij een verkleining moet de beeldafstand dus ook veel kleiner zijn dan de voorwerpsafstand.

**40** Pulsje

**41** diode:



led:



- 42 a** Negatieve lading loopt van min naar plus, dus bij de grenslaag van rechts naar links. Positieve lading loopt dus naar rechts. De grenslaag loopt leeg, er is geen stroomgeleiding.
- b** De elektronen in de n-laag worden naar de pluspool getrokken en in gaten in de p-laag naar de minpool. Het grensvlak wordt breder, totdat de spanning die zo in de grenslaag ontstaat gelijk is aan de spanning van de bron.

**43** De grenslaag bevat geen vrije ladingen, er kan geen stroom lopen.

**44 a** Blauw licht heeft de kortste golflengte (zie *Binas* tabel 19A) dus de meeste energie.

- b** De rode, groene en blauwe leds zitten zo dicht bij elkaar dat je alleen dat je alleen de mengkleur ziet en dat is wit.
- c** Eigen antwoord.

**45 a** Bij lage spanning zijn er nog geen geladen deeltjes in de grenslaag.

- b** Als er eenmaal geladen deeltjes in de grenslaag zitten, dan worden deze constant aangevuld, zodat er stroom gaat lopen. De weerstand wordt erg klein, waardoor de stroom heel groot kan worden, zo groot dat de led doorbrandt.
- c** De extra weerstand zorgt er voor dat de stroom nooit boven een bepaalde waarde kan komen, afhankelijk van de grootte van de weerstand en de spanning van de bron.

**46 a**



**b** Eigen antwoord.

**47 a**  $1,1 \text{ eV} = 1,1 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

**b**  $E = hf \rightarrow 1,76 \cdot 10^{-19} = 6,6 \cdot 10^{-34} \times f$

$f = 2,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

**c** Vanaf het rode licht, nog een klein stukje IR.

**d** Nee, als het elektron en gat los is, gaat het bewegen. Het maakt niet uit hoe los ze zijn.

**48 a** 54 cellen in serie, daarvan moet je de spanningen optellen. De totale spanning is 33,20 V. Per cel is dat dus  $33,20/54 = 0,6148 \text{ V}$ .

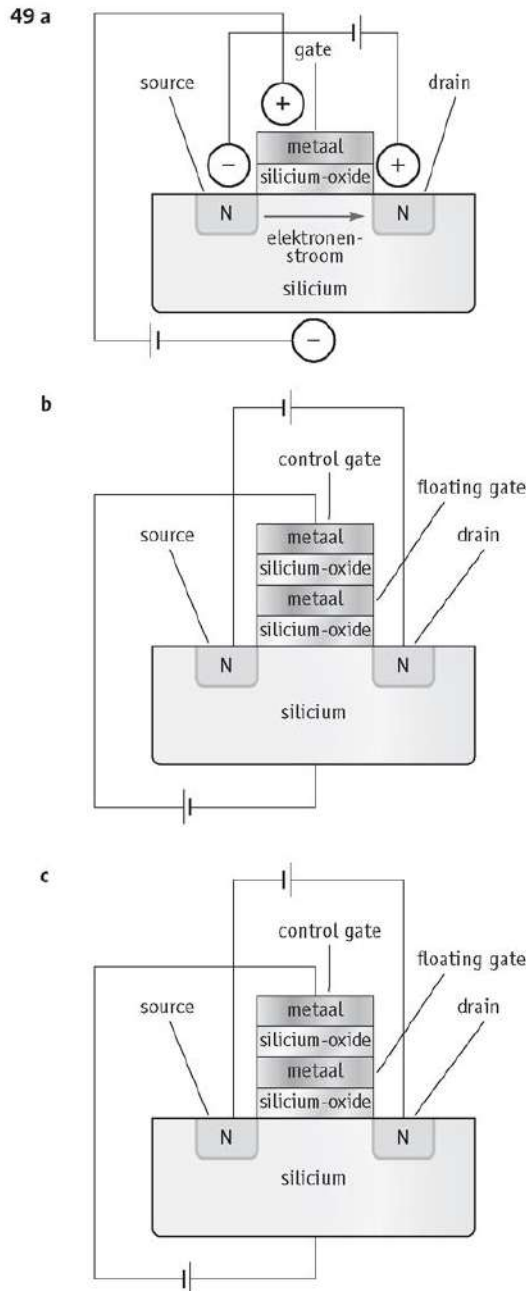
**b**  $P = U \cdot I \rightarrow 215 = 27,54 \times 7,81 \rightarrow$  klopt.

**c** Bij kortsluiting is de spanning (vrijwel) nul, omdat de weerstand nul is:  $U = IR = 8,50 \times 0 = 0 \text{ V}$

**d** Bij 30 °C is de temperatuur 5 °C gestegen, dat betekent een  $5 \times 0,488 = 2,44\%$  lager vermogen. Het vermogen is dan  $0,9756 \times 215 = 210 \text{ W}$ .

Bij -10 °C is de temperatuur 35 graden gedaald ten opzichte van 25°. Het vermogen stijgt met een percentage van  $35 \times 0,488 = 17\%$ .

Het vermogen wordt dan  $1,17 \times 215 = 252 \text{ W}$ .



### 13.5 Technisch ontwerpen

- 50 Voorbeeld van een eisenpakket:  
 Vaste eisen: personen herkennen, signaal geven als er een fout persoon langs komt, niet meer kosten dan € 10 000.  
 Variabele eisen: oponthoud voor leerlingen is niet meer dan 10 s, verbouwing moet minimaal zijn, het systeem moet foute personen fysiek tegenhouden, onderhoud moet eenvoudig.  
 Wensen: passen in de vormgeving van de school. Ge koppeld worden aan de aanwezigheidsregistratie. Van iedereen de binnenkomsttijd en vertrektijd vastleggen.

- 51 a Op een moderne en alternatieve manier van A naar B.  
 b Vaste eisen: het vervoermiddel moet één persoon kunnen vervoeren, geen uitlaatgassen.  
 Variabele eisen: zowel binnen als buiten te gebruiken, moet moderne uitstraling hebben, makkelijk te bedienen, max. snelheid minstens 25 km/h.  
 Wensen: snelheidsmeter, grootte wielen, enzovoort.

- 52 Eigen antwoord.
- 53 Concept 1: Systeem wordt actief als iemand over een vloer loopt bij de ingang. De persoon die recht op toegang heeft, draagt een pasje met rfid-chip. Het systeem draait het poortje open. Heeft de persoon geen pasje of een fout pasje dan gaat een rode lamp branden en gaat het hekje niet open.  
 Concept 2: Als een persoon binnen komt wordt een laser onderbroken. Hierop neemt de camera een foto en vergelijkt die met de database. Is de persoon bekend dan kan hij gewoon doorlopen. Is de persoon onbekend dan gaat een geluidssignaal af en grijpt de conciërge in.
- 54 De verhouding van neus, ogen en mond, kan in een code vastgelegd worden. Deze codes kunnen gemakkelijk in een computer worden opgeslagen en vergeleken.
- 55 Eigen antwoord.
- 56 Eigen antwoord.
- 57 Als na de test nog fouten bekend worden, moeten alle producten teruggeroepen worden voor herstel.
- 58 In eerste instantie zal in het bedrijf het systeem getest worden met een beperkt aantal personen. Vervolgens zal op de school eerst een testfase ingaan, waarbij de alarmering nog niet in werking wordt gezet. Getest moet worden of alle eigen leerlingen herkend worden en of vreemden als vreemde gesignaleerd worden. Vervolgens draait het systeem nog in een tijdje in een proeffase om de afregeling 100% te krijgen en fouten er uit te halen.

- 59 Bij het opstellen van het morfologisch overzicht moet goed gekeken worden welke oplossingen de concurrentie gekozen heeft om daar betere voor in de plaats te stellen.
- 60 Eigen antwoord.
- 61 Eigen antwoord.

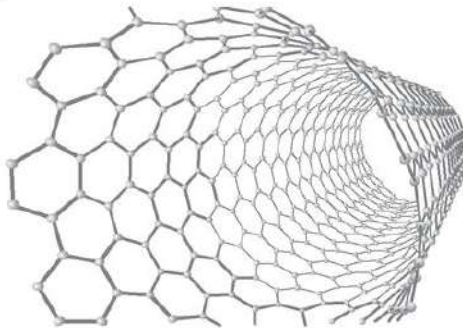


**Toepassing**

- 1 Bij beiden zetten de weerhaakjes uit als ze contact maken.
- 2 Bij gewoon klittenband zijn de weerhaakjes steeds aanwezig. Bij chirurgisch klittenband, zetten de weerhaakjes uit bij vocht en krimpen weer als het droog is.
- 3 Polymeren zijn stoffen waarbij kleine moleculen aan elkaar gekoppeld zijn tot een groot molecuul.
- 4 De basispolymeer is waterafstotend en de stekels zijn juist wateropnemend.
- 5 De wond droogt tijdens het helen uit. Hierbij geeft het polymeer het water weer af en krimpt. Zonder de weerhaakjes gaat de pleister gemakkelijk los.
- 6 De drempelspanning van de led moet tussen 1,57 V en 1,88 V liggen, want tussen die waarden begint de led stroom te geleiden.  
(Dat is dus niet in tegenspraak met de waarde van 1,7 V van de fabrikant.)
- 7 - Als de spanning van de spanningsbron lager is dan de drempelspanning, is de stroomsterkte in de schakeling 0 A.  
- De spanning over de weerstand is dan 0 V.  
- De spanning over de led is gelijk aan de spanning van de spanningsbron.
- 8 Voor het circuit geldt:  $U_{\text{bron}} = U_R + U_{\text{led}}$   
waarin bijvoorbeeld  $U_{\text{bron}} = 4,00 \text{ V}$  en  $U_{\text{led}} = 2,40 \text{ V}$ .  
Dus  $U_R = U_{\text{bron}} - U_{\text{led}} = 4,00 - 2,40 = 1,60 \text{ V}$ .  
Uit  $U_R = IR$  met  $I = 0,0523 \text{ A}$  volgt dat  
$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{1,60}{0,0523} = 30,6 \Omega$$
  
Marissa heeft een weerstand van  $30 \Omega$  gebruikt (want de berekende waarde ligt binnen de marge van 10%).
- 9 De led laat alleen stroom door als de spanning over de led groter is dan de drempelspanning van 1,7 V. Dat is tussen  $t = 0,0023 \text{ s}$  en  $t = 0,0076 \text{ s}$  dus gedurende  $0,0076 - 0,0023 = 0,0053 \text{ s}$ . Dat is  $0,0053/0,020 \times 100\% = 27\%$  van de tijd.
- 10 Eigen antwoord.
- 11 Eigen antwoord.
- 12 Eigen antwoord.
- 13 Eigen antwoord.
- 14 Latex verf bestaat uit een polymeeremulsie in water.
- 15 Nano koolstofbuisjes, polymeer en een enzym.
- 16 Het polymeer vormt opgedroogd de verf. De nano buisjes koppelen het enzym aan de verf. Het enzym doodt de bacteriën.
- 17 Bij andere verven verdwijnt de antibacteriële werking vrij snel. De nano buisjes zorgen voor de goede binding.  
De andere antibacteriële verven werken tegen een breed spectrum van bacteriën. Deze verf werkt specifiek tegen MRSA-bacteriën.
- 18 Tegen MRSA werkt gewone antibiotica nauwelijks meer. Deze verf is dus erg voordelig omdat die wel werkt en de MRSA bestrijdt.  
Het nadeel is, dat je nog wel last hebt van andere bacteriën.
- 19 De verf tast juist het systeem van de bacterie aan waarmee hij resistent kan worden.
- 20 Als de verlichtingssterkte groter is, is de afstand tussen de lamp en de LDR kleiner.  
Uit de grafiek blijkt dat de weerstand dan kleiner is.
- 21 Methode 1  
In een serieschakeling verhouden de spanningen over de weerstanden zich als de waarden van die weerstanden.  
(Omdat de LDR in beide gevallen dezelfde weerstand heeft,) is de spanning over de weerstand van  $500 \Omega$  het grootst.  
Methode 2  
Als de LDR in serie staat met  $500 \Omega$  is de stroomsterkte door de schakeling kleiner dan wanneer de LDR in serie staat met  $100 \Omega$ .  
(Omdat de LDR in beide gevallen dezelfde weerstand heeft,) is de spanning over de LDR dan ook klein.  
(Omdat de som van de spanning over R en LDR constant is,) is de spanning over R dan juist groot.
- 22  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ V/lux}$   
De gevoeligheid is gelijk aan de helling van het lineaire deel van de grafiek.  
Hierin is  $\Delta U = 1,2 \text{ V}$  en de bijbehorende verandering van de verlichtingssterkte  $600 \text{ lux}$ .  
Hieruit volgt dat de gevoeligheid gelijk is aan  $1,2/600 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ V/lux}$ .
- 23 Van het gefilterde licht wordt (ter hoogte van de LDR) steeds de verlichtingssterkte gemeten.  
De verlichtingssterkte wordt in alle drie de gevallen gelijk gemaakt door de sterkte van de lamp te variëren of door de hoogte van de lamp te veranderen. Steeds wordt de spanning over de sensor gemeten.
- 24 De fotonen maken in de halfgeleider extra elektron-gatparen. Hierdoor ontstaan er meer geleidende deeltjes en wordt de weerstand dus kleiner.

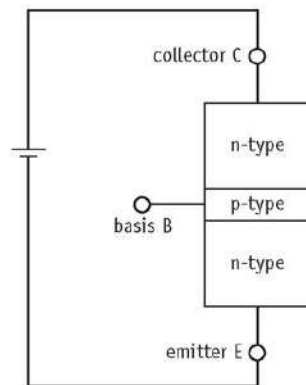
**Proefwerkgaven**

- 1 a Hergebruik wijst op een thermoplast. Je kunt het plastic opnieuw smelten.  
 b Het afval heeft niet de gewenste kleur, het afval is gemengd geraakt, de kwaliteit is achteruitgegaan door bijvoorbeeld ontleding door te hoge temperatuur.  
 c 2,7 g per 100 mL betekent 27 g per 1000 mL. In de grafiek lees je af:  $1021,5 \text{ kg/m}^3 = 1,0215 \text{ g/cm}^3$ .  
 $V = m/\rho = 4,3/1,0215 = 4,2 \text{ cm}^3$ .
- 2 a Je oefent met je benen veel kracht uit op de fiets. Dat kan alleen als het frame stijf genoeg is.  
 b De fiets moet oneffenheden in de weg opvangen. Te stijf is erg oncomfortabel.

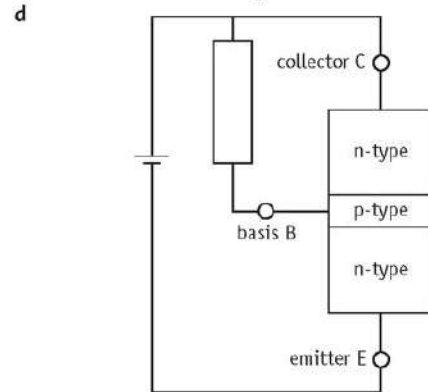


- c
- d De treksterkte van nanobuisjes is erg groot, het zal dus vooral aan de stijfheid bijdragen.  
 e Probleemstelling → eisenpakket → morfologisch overzicht → verschillende concepten beoordelen op het eisenpakket → ontwerp uitwerken.

3 a



- b p-type is halfgeleider waarbij de gaten de stroom geleiden, bij n-type geleiden de elektronen de stroom.  
 c In de bovenste grenslaag bewegen de elektronen naar de bovenkant (pluskant) en de gaten naar beneden (minkant). De isolerende grenslaag wordt nu breder waardoor er geen stroom kan lopen.



- d
- e Via de basis komen er extra gaten in de tussenlaag. Deze gaan naar beneden. Door de onderste grenslaag gaat nu stroom lopen. Hierdoor komen veel extra elektronen in de tussenlaag (deze bewegen vanuit de emitter omhoog), waardoor de bovenste grenslaag verdwijnt en er stroom van de collector naar de emitter gaat lopen.  
 f De stroom van C naar E is groter, want in de kring van B naar E zit een extra weerstand.  
 g Met een kleine stroom door de basis kun je een grote stroom via de collector naar de emitter laten lopen.

# Hoofdstuk 14 Communicatie en medische beeldvorming

## Introductie

- 1 Het morsealfabet geeft de codes voor letters, cijfers en leestekens. S O S wordt dan:

... --- ...

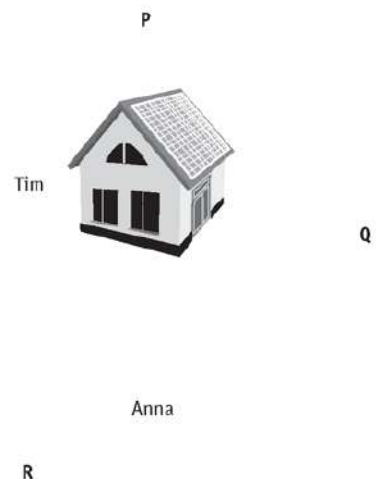
Het alfabet staat hieronder.

Letter	Morse	Letter	Morse
A	. -	N	- .
B	- . . .	O	- - - -
C	- . - .	P	. - - .
D	- . .	Q	- - . -
E	.	R	. - .
F	. . - .	S	. . .
G	- - - .	T	-
H	. . . .	U	. . -
I	. .	V	. . . -
J	. - - - -	W	. - -
K	- . -	X	- . . -
L	. - . .	Y	- . - -
M	- -	Z	- - . .

- 2 Een portofoon (in het Engels 'walkietalkie') is een draagbaar communicatiemiddel.
- 3
- Een portofoon maakt geen gebruik van tussenstations; je betaalt dus alleen het apparaat en geen kosten voor het gebruik.
  - Bij een portofoon is het normaal dat meerdere mensen kunnen meeluisteren op dezelfde frequentie. Bij mobiele telefonie is dat niet de bedoeling (het gebeurt wel eens).
  - Bij een portofoon kan één persoon tegelijk zenden, bij een mobiele telefoon kunnen mensen meestal door elkaar heen praten (niet altijd overigens).
- 4
1. In een afgelegen gebied is er misschien geen netwerk van tussenstations die noodzakelijk zijn voor mobiele telefonie.
  2. Het gebruik van portofoons is gratis.
- 5 Het bereik neemt af. Het signaal wordt gereflecteerd en geabsorbeerd in de grot.
- 6 Bij langzaam spreken is er minder overlap tussen de stemtrillingen van de lettergrepen. De klanken zijn dan beter herkenbaar.
- 7 Morsesignalen zijn veel simpeler dan stemtrillingen. Zij zijn minder snel vervormd.

- 8 a De antennes staan in de figuur geordend van links – heel goed richten – naar rechts – heel slecht richten. Dus met de drie antennes links in de figuur kun je goed richten.
- b De schotelantenne is geschikt voor satellietontvangst. De schotel reflecteert een bundel straling van de satelliet naar één punt (de sensor zit in het brandpunt van de parabool). De sensor ontvangt zo een sterker signaal dan wanneer het alleen rechtstreeks zou ontvangen van de satelliet.
- c De sprietantenne met een lengte van ongeveer 1 m (5e van links) is geschikt voor golflengtes van ongeveer 2 tot 4 m. FM-frequenties van 100 MHz voldoen hier aan. De golflengte daarvan is ongeveer  $\lambda = c/f = 3,0 \cdot 10^8 / 100 \cdot 10^6 = 3,0$  m.

9 a,b



- c In noordelijke richting. Anna en Tim ontvangen beiden zender Q met dezelfde sterkte, dus Anna hoeft niet oostwaarts of westwaarts te lopen. Tim ontvangt P goed en R slecht. Anna daarentegen ontvangt P slecht en R goed. Dus Anna moet van R weglopen en naar P toelopen. Dus Anna moet noordwaarts lopen.

10 a Je kunt de coördinaten als volgt invoeren:

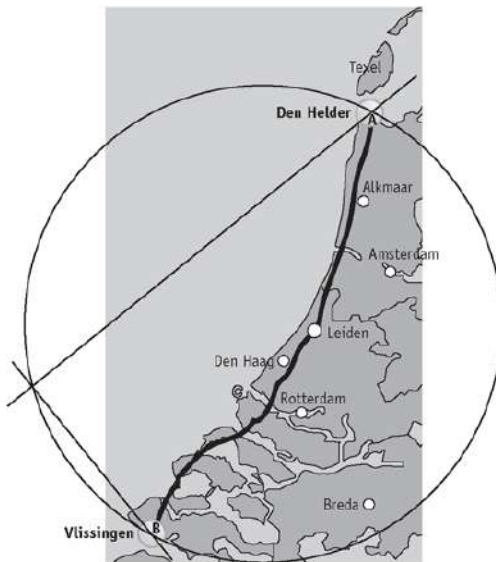
A

B

Add Destination - Show options

GET DIRECTIONS

- b Wanneer je de sterktes van de signalen niet weet zijn er heel wat mogelijkheden die samen een halve cirkel met middelpunt halverwege A (Den Helder) en B (Vlissingen) vormen. Zie de tekening hieronder.
- c Je begint dan met een lijn door A, onder  $45^\circ$ . Daarop plaats je een loodrechte lijn naar B. Daar waar de lijnen elkaar snijden, bevindt zich het schip.



#### 14.1 Zender en ontvanger

- De schotel is een parabolische spiegel die een bundel radiogolven terugkaatst naar één punt. Dat punt is de antenne. Die antenne zit in het uiteinde van de mast en heeft een lengte van een paar cm.
- Omdat anders de getallen moeilijk op een schaal weer te geven zijn, zo is bijvoorbeeld 30 kHz korter en beter leesbaar dan 0,030 MHz.
  - FM-zenders hebben een frequentie tussen 87,5 en 108 MHz.  $\rightarrow$ 

$$\lambda_{\min} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{108 \cdot 10^6} = 2,78 \text{ m}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{87,5 \cdot 10^6} = 3,43 \text{ m}$$
  - $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{538} = 558 \text{ kHz}$
  - Zoeken op internet: De huidige zender radio 538 zendt uit op ongeveer 102 MHz.
- De schotelantenne is geschikt voor zenders op grote afstand. De schotelantenne concentreert een stralingsbundel in 1 punt. Damping is een extra reden voor versterking door concentratie van de straling.

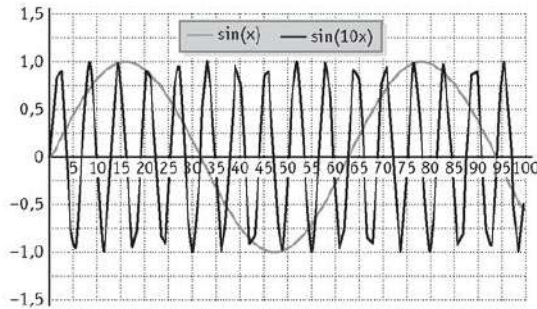
- b De benodigde versterkingsfactor is de demping van het signaal gedeeld door de maximale demping die ontvangers aankunnen, dus

$$\text{versterkingsfactor} = \frac{2,3 \cdot 10^{19}}{3,0 \cdot 10^5} = 7,7 \cdot 10^3$$

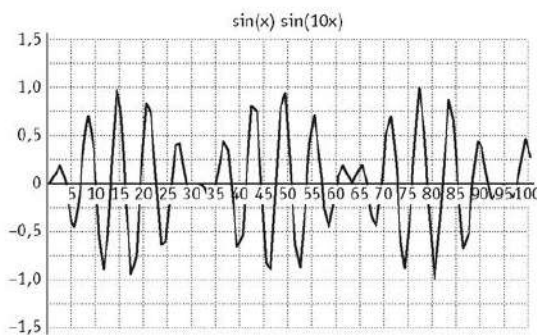
c  $7,67 \cdot 10^3 = \left(\frac{\pi d}{2}\right)^2 \rightarrow d = 56 \text{ m}$

- Door de versterking mag de dempingsfactor  $100 \times$  zo klein worden. Dus
 
$$3,3 \cdot 10^{-18} = 10^{-4} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^3}\right)^2$$
 Omschrijven geeft:
 
$$\lambda = 4\pi \cdot 5,868 \cdot 10^3 \times \sqrt{3,3 \cdot 10^{-14}} = 13 \text{ m}$$
 Met een golflengte groter dan 13 m is de afstand dus te overbruggen (oftewel  $< 22 \text{ MHz}$ ).
  - Bij lage frequenties ontstaan langere golven, wat leidt tot een hoger vermogen aan de kant van de ontvanger.
- Nee, er is geen draaggolf die wordt beïnvloed, alleen het signaal zelf.
  - Nee, want de drager en het signaal moeten allebei golven zijn. De rookproductie (het dragersignaal) is geen golf.
  - Ja, het lichtsignaal (een elektromagnetische golf) wordt gemoduleerd met informatie met een kleinere frequentie (draaibeweging). Voor een ontvanger lijkt het of de amplitude van het lichtsignaal aan en uit gaat.
- III. Lijkt het meest op AM. De amplitude van de fluittoon wordt gevarieerd door de morsecode. Bij I. is dat ook het geval maar dan abrupt. Bij II. is het signaal een 'blok golf'. Er is dus geen draaggolf.
  - II. Lijkt het meest op FM. De toonhoogte (frequentie) van de fluittoon wordt beïnvloed door de morsecode.
- Het verschil tussen streaming radio en gewone radio is dat de geluidsignalen gedigitaliseerd zijn. Er worden nu geen trillingen 'gemoduleerd' op een drager, maar een hele reeks codes. Overeenkomst is dat het dataverkeer continu doorloopt. Het is geen interactief dataverkeer, waarbij je met pauzes brokken informatie ophaalt en verstuurt.
  - Streaming radio is een continue datastroom, terwijl dit bij YouTube eindig is. M.a.w. een YouTube-filmpje stopt na bepaalde tijd terwijl dat bij streaming radio niet gebeurt.
  - Wanneer je gebruik maakt van draadloos internet binnenshuis of rond je huis (wifi), of wanneer je internetverbinding gebruik maakt van een satelliet. De gedigitaliseerde geluidstrillingen gebruiken dan een radiogolf als drager.

8 a

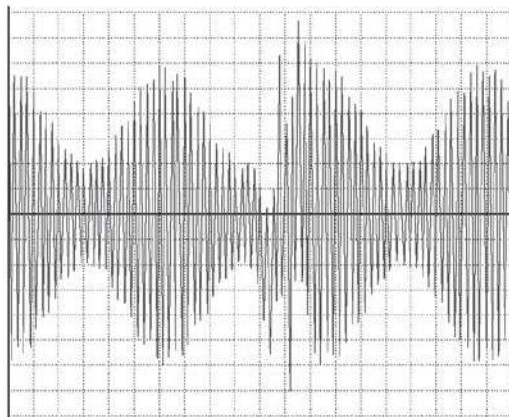


b Als je de twee functies met elkaar vermenigvuldigt.

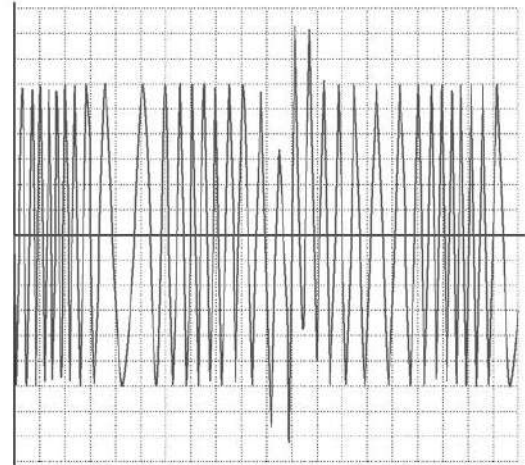


c In de bovenstaande functie zie je amplitudemodulatie.  
 d Kolom C:  $Y = \sin(10x)$  is de draaggolf (hoogste frequentie) en kolom B:  $Y = \sin(x)$  is de geluidstrilling.

- 9 De Sovjetautoriteiten wilden niet dat de mensen in de Sovjet-Unie naar zenders uit het Westen konden luisteren.
- 10 Er zitten 20 periodes van het draaggolfsignaal in 1 periode van het geluidssignaal (Een schaal op de x-as is niet nodig voor deze vraag). → De frequentie van de geluidsgolf is dus  $50/20 = 2,5$  kHz.
- 11 Een AM-siginaal dat door bliksem is verstoord zou er uit kunnen zien zoals hieronder. De amplitude informatie wordt hierdoor aangetast, want de amplitude is voor het AM-gemoduleerde signaal juist belangrijk.



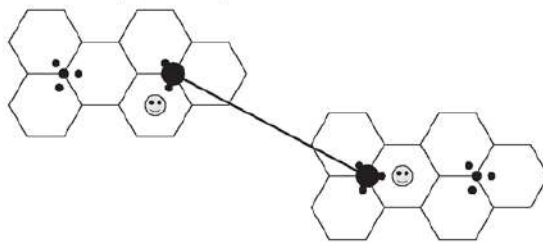
Een FM-siginaal dat door bliksem is verstoord zou er uit kunnen zien zoals hieronder. De frequentieinformatie wordt hierdoor niet aangetast, want de amplitude is voor het FM-gemoduleerde signaal niet zo belangrijk. Bij FM is een dergelijke uitschieter dus nauwelijks te horen.



- 12 Radiogolven met FM-signalen kunnen niet of nauwelijks verstoord worden. De kwaliteit van het signaal is beter bij FM-zenders.
- 13 Nee. Het is alleen een schaalverschil. AM-band is een stuk van het radiospectrum, maar wel een groot stuk. FM-band is een ander groot stuk. Bandbreedte is het stukje van de frequenties dat een radiozender nodig heeft. Bij een AM-zender is dat een klein stukje, bij een FM-zender 200 kHz.
- 14 a  $f_{\text{draaggolf}} = 9600$  kHz;  $f_{\text{geluid}} = 1$  kHz  
 b Uit opgave 14 (of uit de brontekst) blijkt: bandbreedte =  $2 \cdot f_{\text{geluid}} = 40$  kHz.  
 c 500 kHz voor de totale AM-band. Wanneer je geen marges neemt passen er 12,5 (12) zenders op met een bandbreedte van 40 kHz. In de praktijk beslaat het signaal van de AM-zender een veel kleiner stuk dan de 40 kHz.  
 d C. Dichtbij de middenfrequentie (de draaggolfrequentie) zitten de meeste signaalfrequenties. Aan de randen zitten schaarse en slecht hoorbare hoge tonen.
- 15 a Er kunnen veel draaggolffrequenties worden gebruikt op een kabel. De bandbreedte van de TV-signalen is ongeveer 6 MHz en van radiosignalen 200 kHz. De draaggolffrequenties variëren van 80 tot 3000 MHz. Dan kun je heel wat zenders verdelen.  
 b Voor het aantal zenders lijkt de kabel geen beperking te kennen. Maar hoe hoger de draaggolffrequentie des te groter is de demping per kilometer coax. Dus vanwege de demping is er wel een maximum.

**14.2 Mobiele telefonie**

- 16 a Ja, in stedelijke gebieden kunnen basisstations op afstanden van minder dan 3 km van elkaar staan.  
 b Ja, want het bereik van een basisstation is over het algemeen groter dan 3 km.
- 17 De bellers (de twee smileys) staan ieder in een cel te bellen. Deze twee cellen worden ieder bediend door een basisstation (de grote zwarte stippen). De basisstations zijn onderling verbonden met een kabel (of satelliet).



- 18 a  $800\ 000/500 = 1600$  basisstations zijn nodig.  
 b 220 vierkante kilometer voor 1600 cellen is  $0,138\text{ km}^2$  per cel. Oftewel  $1,38 \cdot 10^5\text{ m}^2$ .  
 c Wanneer er meer telefoongesprekken aangevraagd worden dan een mast kan afhandelen raakt een netwerk overbelast.
- 19 Door de snelheid bij te houden waarmee de mobiele telefoons de afstand afleggen tussen het ene grensvlak en het volgende tussen cellen, kan TomTom uitrekenen wat de snelheid op de snelweg is.
- 20 a Niet iedere telefonieaanbieder gebruikt beide banden om telefonieverkeer af te handelen. Dus als je een dual-band mobieltje hebt, kun je naar een andere aanbieder switchen als die wel dekking biedt.  
 b Met een dual-band heb je beide banden te pakken die in Europa gebruikt worden. Door een tri-band telefoon te kopen zit er minstens 1 band bij die buiten Europa in gebruik is.
- 21 FM-gemoduleerd, want je ziet de verandering tussen een 0 en een 1 in frequentie plaatsvinden en niet in amplitude.
- 22 a Een cd-speler begint een cd aan de binnenkant af te lezen en spiraliseert langzaam naar buiten toe waar het eindigt.  
 b Het eerste nummer heeft de beste kwaliteit omdat het de meeste 'meters' groef heeft om het signaal in vast te leggen.
- 23 a Uit 33 toeren per minuut en een totale speeltijd van 25 minuten volgt dat de plaat 825 keer ronddraait. De gemiddelde lengte van 1 rondje is  $(29 + 12)/2 = 20,5\text{ cm}$ . Dus de lengte van een complete groef op een LP is 169 m.  
 b Het spoor van een cd is dus veel langer.

- 24 De volgende technieken kun je opdelen naar 1G tot en met 4G. De G staat voor generatie.  
 1G: NMT  
 2G: GSM, GPRS, EDGE 2G: CDMA, EV-DO  
 3G: UMTS (W-CDMA), HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+  
 4G: LTE, LTE-Advanced, WiMax, WiMax 2  
 Er zijn verschillende cijfers voor bandbreedtes (eigenlijk wordt hier de transfersnelheid bedoeld) in omloop (hangt o.a. van de gebruikte techniek af). In onderstaande tabel staan maximale waarden.

Mbit/s	GSM	UMTS	3G	4G
Down	1,6	14,4	21	100
Up	0,5	5,76	5,8	50

- 25 a 1000 b/s betekent dat er iedere seconde 1000 bits worden verstuurd.  
 b  $2\text{ MB} = 2 \cdot 1024\text{ kB} = 2048 \cdot 1024\text{ byte} = 2\ 097\ 152\text{ bytes}$ . Er gaan 8 bits in 1 byte, dus het antwoord is 16 777 216 bits.  
 c  $2\text{ MB} = 2048\text{ kB} = 16\ 384\text{ kb}$   
 Upload: deel de data door de snelheden, bijvoorbeeld  $16\ 384\text{ kb}/9,6\text{ kb s}^{-1} = 1707\text{ s} \approx 1,7$

Upload	GSM	UMTS	LTE
seconden	1707	8	$5,2 \cdot 10^{-3}$

- Vergeleken met UMTS is LTE  $3/2 \times 1024$  keer zo snel, dus dat duurt  $8/1536 = 5,2 \cdot 10^{-3}\text{ s}$ .  
 d  $2^6 = 65\ 536$ , dus  $n = 16$ .  
 e Voor een stereosignaal zijn er twee kanalen, het linker- en het rechterkanaal. Voor ieder kanaal geldt: iedere bemonstering bestaat uit 16 bits en er zitten 44 100 bemonsteringen in 1 s. De bitrate per kanaal is dan  $705\ 600\text{ b/s} = 689\text{ kb/s}$ . Voor beide kanalen tegelijk is dat dan 1378 kb/s.  
 f  $1378\text{ kb/s} = 172\text{ kB/s}$  (b = bits en B = bytes). Er passen  $70 \cdot 60 = 4200$  seconden op een cd. Vermenigvuldig dit met de byte-rate om het aantal megabytes uit te rekenen die op een cd past, namelijk  $4200 \times 172/1024 = 707\text{ MB}$ .
- 26 Onder iedere letter, spatie en leesteken staat de decimale representatie volgens de ASCII-codetable.

H	e	l	l	o	
72	101	108	108	111	32

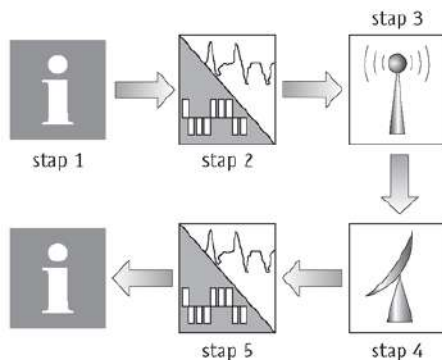
w	o	r	l	d	!
119	111	114	108	100	33

- 27 a De informatie is een link: een plek waar Robin de presentatie kan vinden.  
 b De link wordt omgezet in getallen volgens de ASCII-tabel. De informatiedrager is het telefoongegeugen waarin de rij getallen geschreven zijn.  
 c Het informatiekanaal zijn de elektronische pulsen tussen de mobiele telefoon en de mast, over de kabels tussen masten en van de laatste mast naar de ontvangende mobiele telefoon.

- 28
1. de te versturen informatie = een foto
  2. verpakken = digitaliseren en opslaan in een e-mail bestand
  3. verzenden = via internet als elektronische pulsen
  4. ontvangen = als e-mail bestand
  5. uitpakken = dubbelklikken op de bijlage
  6. eventueel bevestigen van ontvangst = een reply versturen

29 Geluid, zoals muziek, en film.

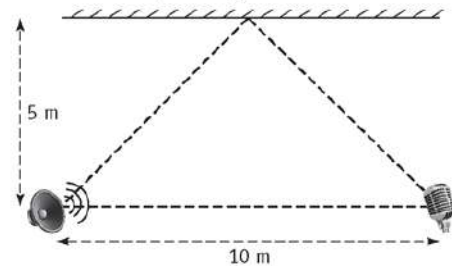
30



### 14.3 Medische beeldvorming met geluid

- 31
- mens: van 20 tot 20 000 Hz  
 hond: van 10 tot 35 000 Hz  
 vleermuis: van 100 tot 100 000 Hz  
 walvis: van 75 tot 150 000 Hz  
 Dus de hond neemt de laagste frequentie waar en de walvis de hoogste frequentie.
- 32 a De voortplantingssnelheid van geluid in lucht is 343 m/s.  $\lambda = \frac{v}{f}$
- Dan is de golflengte voor 40 kHz gelijk aan 8,6 mm. En 100 kHz komt overeen met een golflengte van 3,43 mm.
- b Een insect moet groter zijn dan 3,43 mm, want de geluidsgolven van 100 kHz buigen gemakkelijk om kleinere objecten heen.
- c De geluidssnelheid is onder water groter, dus heeft de vleermuis een hogere frequentie nodig voor dezelfde golflengte.
- 33 Voor de golflengte  $\lambda$  geldt  $\lambda = v/f$ , met  $v$  de voortplantingssnelheid van geluid in een medium en  $f$  de frequentie van de toon. Omdat de toonhoogte constant is, dat is dus  $f$ , hangt de golflengte lineair af van de voortplantingssnelheid. De voortplantingssnelheid in water is 1500 m/s en in lucht is dit 343 m/s. De voortplantingssnelheid in ijzer is 5100 m/s (zie *Binas* tabel 15A). Dus A hoort bij 2, B hoort bij 1 en C hoort bij 3.

- 34 a Echo slaat op het weerkaatsen van de ultrasonische geluidspuls op de bodem van het water waar de boot vaart. Lood slaat op de oude manier om de diepte te meten, namelijk met een stuk lood aan een touw.
- b Gebruik tabel 15A uit het *Binas*. De voortplantingssnelheid van geluid in water bij 20 °C (= 293 K) is 1484 m/s. Dan legt de puls in 53 ms een afstand af van  $1484 \cdot 0,053 = 79$  meter. De diepte van het water is de helft, namelijk 39 meter.
- c Als de diepte een nauwkeurigheid van minimaal 1 meter moet hebben, dan moet de afstand een nauwkeurigheid van minimaal 2 m hebben. Dus moet je de puls met een nauwkeurigheid van  $2 \text{ m}/1484 \text{ m/s} = 1,3 \text{ ms}$  kunnen meten.
- d Met behulp van ultrageluid is het ook mogelijk scholen vissen te lokaliseren. Je gebruikt ultrageluid dan als een radar. Deze vorm van gebruik beperkt zich dus niet tot loodrecht naar beneden meten, maar draait onder water in de rondte.
- 35 Bij 20 °C is de voortplantingssnelheid van geluid door lucht gelijk aan 343 m/s (zie *Binas* 15A). Een schets van de opstelling staat hieronder.



- De directe afstand tussen de zoemer en de microfoon is 10 meter, en het geluid reist deze afstand in  $10/343 = 29$  ms.
- De schuine afstand via de muur is:  
 $2 \cdot \sqrt{(5^2 + 5^2)} = 14,1$  m. Het geluid reist deze afstand in  $14/343 = 41$  ms  
 Het tijdsverschil is dus 12 ms.
- 36  $f = v/\lambda$   
 $1500 \text{ m/s} / 0,001 \text{ m} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} = 1,5 \text{ MHz}$ .
- 37 Geluid kaast terug op harde overgangen, d.w.z. een overgang tussen twee verschillende materialen met zeer verschillende voortplantingssnelheden. Een voorbeeld daarvan hebben we gezien in opdracht 35 waar geluid tegen een gladde muur kaast. Zonder gel gaat het geluid uit de transducer eerst door een dun laagje lucht heen en stuit dan op de buikwand. Het ultrasonische geluid weerkaast dan in plaats van de buik in te gaan. De gel voorkomt deze harde overgang voor geluid. Dus de gel wordt aangebracht omdat het ultrageluid anders zou reflecteren op de luchtspiegel tussen de transducer en de huid.

- 38 a** De witte kleur is waar het ultrageluid weerkaatst is. Het zwarte gebied is waar de transducer geen echo terug heeft ontvangen.  
Het verschil tussen lichtgrijs en donkergrijs is hoe hard, of hoe scherp, de overgang is. Hoe lichter de kleur hoe harder of scherper is de overgang, d.w.z. hoe groter het verschil tussen de voortplantings-snelheden van beide materialen is. Dus hoe meer weerkaatsing er is.
- b** Een weefsel–botovergang is een harde overgang en weerkaatst dus nagenoeg alle geluid. Het geluid dringt het bot niet in en er komt dan ook geen echo van achter het bot terug naar de transducer.
- 39 a** Na één golflengte is er nog 99% van het signaal over. Na twee golflengtes is er nog  $0,99 \cdot 0,99 = 0,98$  van het signaal over. Na drie golflengtes is er nog  $0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,97$  van het signaal over. Dus na 100 golflengtes is er nog  $(0,99)^{100} = 0,37$  van het signaal over. Het signaal is dan gedempt met 63%.
- b** Na 1000 golflengtes is er nog 0,004% over. Dus dan is de demping 99,996%.
- 40 a** De frequentie is hoger.
- b** Het dopplereffect treedt alleen op als de geluidsbron naar je toe of van je af beweegt. Verder is het zo dat een transducer een hele nauwe kijkhoek heeft; alsof je door een lange buis kijkt. Daarom ‘hoort’ de transducer niets wat er links of rechts gebeurt, alleen maar wat er direct voor hem gebeurt. Voor hem stroomt bloed van links naar rechts, maar niet naar de transducer toe of van de transducer af. Daarom meet de transducer geen verandering in de teruggekaatste frequentie.
- 14.4 Medische beeldvorming met straling**
- 41 a** Omdat röntgenstraling gevaarlijk is voor de gezondheid; het kan leiden tot kanker. Zeker als je aan hogere doses wordt blootgesteld.
- b** De metalen pennen laten de röntgenstraling niet door, dus de kleur is wit.
- c**  $E = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 1,0 \cdot 10^{18} = 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$
- d**  $E = hf$  en  $f = c/\lambda$ , dus  $E = hc/\lambda$ . De energie  $E$  is dus omgekeerd evenredig met de golflengte  $\lambda$ .
- e**  $E = hc/\lambda$ ;  $2,0 \cdot 10^{-12} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8/\lambda$ ;  
 $\lambda = 9,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ .
- 42 a** Er wordt drie keer een beetje tegengehouden, namelijk  $1,7\% + 1,7\% + 1,7\% = 5,1\%$ . Er wordt dan dus 94,9% doorgelaten.
- b** Stralingsafname betekent absorptie van straling. 1 mm water levert een absorptie van 1,7%. Dat wil zeggen dat er 98,3% doorgaat. Drie mm water levert een transmissie van  $0,983^3 = 0,950$ , dus 95,0%.
- c** Antwoord b is goed.  
Wat er fout gaat in antwoord a is dat er weliswaar bij iedere cel 1,7% wordt tegengehouden, maar dat er geen rekening is gehouden met het feit dat na iedere cel die het röntgensignaal aflegt er net een beetje minder signaal over is.
- d**  $0,983^x = 0,50 \rightarrow x = \log(0,50)/\log(0,983) = 40$
- e** Langs xz zijn er twee blokjes bot, dus dan is de totale stralingsafname  $1 - 0,95^2 = 1 - 0,90 = 0,10 = 10\%$ .  
In de y3 richting komt daar nog één blokje water bij en is de afname in totaal  $1 - 0,90 \cdot 0,983 = 1 - 0,89 = 0,11 = 11\%$ .
- f** Langs y2 hebben we 1 mm water, 1 mm bot en 1 mm bloed. De doorgelaten stralingen van water en bot per mm zijn 0,983 en 0,95. Dat is samen een doorgelaten straling van 0,934.  
De doorgelaten straling die langs y2 gemeten is, is 0,915. Dus de doorgelaten straling van 1 mm bloed is:  $0,934 \cdot S_{\text{bloed}} = 0,915$ . M.a.w.  $S_{\text{bloed}} = 0,980$ . De stralingsafname van 1 mm bloed is 2,0%. Dit is bijna gelijk aan die van water.
- 43 a** Het ligt eraan welk lichaamsdeel de stralingsdosis ontvangt. Zo is het bestralen van een voet minder erg dan het bestralen van een lever, want je kunt verder leven met maar één voet maar zonder lever is lastiger.
- b** 10 minuten is 1/6 uur, dus de medewerkers werden blootgesteld aan 27 tot 28 mSv.
- c** Medewerkers kunnen er een krappe 1,5 uur werken.  $250/160 = 1$  u 34 m en  $250/170 = 1$  u 28 m.
- 44 a** Echoscopie dringt niet zover door in het materiaal en de overgang in voortplantingssnelheid per materiaal is niet groot genoeg om tot een reflectie te leiden.
- b** De grijstinten zijn van zachter materiaal, zoals verhard modder.
- 45** Een piercing is van metaal. Door het sterke magneetveld van de MRI-scanner kan er aan deze piercing getrokken worden.
- 46 a** Het doordringend vermogen van een CT-scan is een voordeel en de gedetailleerdheid van een MRI-scan is een voordeel.
- b** Echoscopie maakt geen gebruik van ioniserende straling zoals CT-scans en kan dus onbepaald worden ingezet. Zacht weefsel kun je beter bekijken.  
Bij echoscopie is geen sterk magneetveld nodig, zoals bij MRI; dus metalen protheses zijn geen bezwaar.  
Echoscopie is veel goedkoper want de apparatuur is een stuk eenvoudiger.
- 47 a** Voordelen van een MRI-scan:
1. De gebruikte straling is niet schadelijk voor lichaamscellen.
  2. Zachter weefsel kun je beter bekijken met de MRI-scanner.
- b** Nadelen van de MRI-scan:
1. MRI is duur.
  2. Met MRI kun je niet in waterstofarme weefsels kijken, zoals bot.



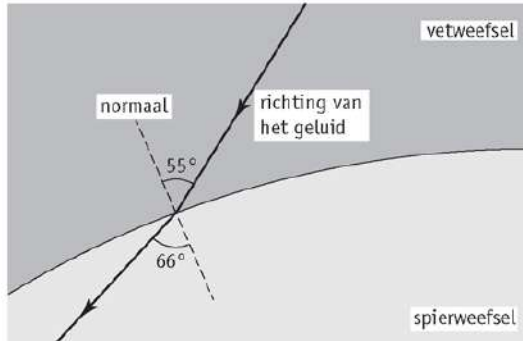
- 38 a** De witte kleur is waar het ultrageluid weerkaatst is. Het zwarte gebied is waar de transducer geen echo terug heeft ontvangen.  
Het verschil tussen lichtgrijs en donkergrijs is hoe hard, of hoe scherp, de overgang is. Hoe lichter de kleur hoe harder of scherper is de overgang, d.w.z. hoe groter het verschil tussen de voortplantings-snelheden van beide materialen is. Dus hoe meer weerkaatsing er is.
- b** Een weefsel–botovergang is een harde overgang en weerkaatst dus nagenoeg alle geluid. Het geluid dringt het bot niet in en er komt dan ook geen echo van achter het bot terug naar de transducer.
- 39 a** Na één golflengte is er nog 99% van het signaal over. Na twee golflengtes is er nog  $0,99 \cdot 0,99 = 0,98$  van het signaal over. Na drie golflengtes is er nog  $0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,97$  van het signaal over. Dus na 100 golflengtes is er nog  $(0,99)^{100} = 0,37$  van het signaal over. Het signaal is dan gedempt met 63%.
- b** Na 1000 golflengtes is er nog 0,004% over. Dus dan is de demping 99,996%.
- 40 a** De frequentie is hoger.
- b** Het dopplereffect treedt alleen op als de geluidsbron naar je toe of van je af beweegt. Verder is het zo dat een transducer een hele nauwe kijkhoek heeft; alsof je door een lange buis kijkt. Daarom ‘hoort’ de transducer niets wat er links of rechts gebeurt, alleen maar wat er direct voor hem gebeurt. Voor hem stroomt bloed van links naar rechts, maar niet naar de transducer toe of van de transducer af. Daarom meet de transducer geen verandering in de teruggekaatste frequentie.
- 14.4 Medische beeldvorming met straling**
- 41 a** Omdat röntgenstraling gevaarlijk is voor de gezondheid; het kan leiden tot kanker. Zeker als je aan hogere doses wordt blootgesteld.
- b** De metalen pennen laten de röntgenstraling niet door, dus de kleur is wit.
- c**  $E = hf = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 1,0 \cdot 10^{18} = 6,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$
- d**  $E = hf$  en  $f = c/\lambda$ , dus  $E = hc/\lambda$ . De energie  $E$  is dus omgekeerd evenredig met de golflengte  $\lambda$ .
- e**  $E = hc/\lambda$ ;  $2,0 \cdot 10^{-12} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8/\lambda$ ;  
 $\lambda = 9,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ .
- 42 a** Er wordt drie keer een beetje tegengehouden, namelijk  $1,7\% + 1,7\% + 1,7\% = 5,1\%$ . Er wordt dan dus 94,9% doorgelaten.
- b** Stralingsafname betekent absorptie van straling. 1 mm water levert een absorptie van 1,7%. Dat wil zeggen dat er 98,3% doorgaat. Drie mm water levert een transmissie van  $0,983^3 = 0,950$ , dus 95,0%.
- c** Antwoord b is goed.  
Wat er fout gaat in antwoord a is dat er weliswaar bij iedere cel 1,7% wordt tegengehouden, maar dat er geen rekening is gehouden met het feit dat na iedere cel die het röntgensignaal aflegt er net een beetje minder signaal over is.
- d**  $0,983^x = 0,50 \rightarrow x = \log(0,50)/\log(0,983) = 40$
- e** Langs xz zijn er twee blokjes bot, dus dan is de totale stralingsafname  $1 - 0,95^2 = 1 - 0,90 = 0,10 = 10\%$ .  
In de y3 richting komt daar nog één blokje water bij en is de afname in totaal  $1 - 0,90 \cdot 0,983 = 1 - 0,89 = 0,11 = 11\%$ .
- f** Langs y2 hebben we 1 mm water, 1 mm bot en 1 mm bloed. De doorgelaten stralingen van water en bot per mm zijn 0,983 en 0,95. Dat is samen een doorgelaten straling van 0,934.  
De doorgelaten straling die langs y2 gemeten is, is 0,915. Dus de doorgelaten straling van 1 mm bloed is:  $0,934 \cdot S_{\text{bloed}} = 0,915$ . M.a.w.  $S_{\text{bloed}} = 0,980$ . De stralingsafname van 1 mm bloed is 2,0%. Dit is bijna gelijk aan die van water.
- 43 a** Het ligt eraan welk lichaamsdeel de stralingsdosis ontvangt. Zo is het bestralen van een voet minder erg dan het bestralen van een lever, want je kunt verder leven met maar één voet maar zonder lever is lastiger.
- b** 10 minuten is 1/6 uur, dus de medewerkers werden blootgesteld aan 27 tot 28 mSv.
- c** Medewerkers kunnen er een krappe 1,5 uur werken.  $250/160 = 1$  u 34 m en  $250/170 = 1$  u 28 m.
- 44 a** Echoscopie dringt niet zover door in het materiaal en de overgang in voortplantingssnelheid per materiaal is niet groot genoeg om tot een reflectie te leiden.
- b** De grijstinten zijn van zachter materiaal, zoals verhard modder.
- 45** Een piercing is van metaal. Door het sterke magneetveld van de MRI-scanner kan er aan deze piercing getrokken worden.
- 46 a** Het doordringend vermogen van een CT-scan is een voordeel en de gedetailleerdheid van een MRI-scan is een voordeel.
- b** Echoscopie maakt geen gebruik van ioniserende straling zoals CT-scans en kan dus onbepaald worden ingezet. Zacht weefsel kun je beter bekijken.  
Bij echoscopie is geen sterk magneetveld nodig, zoals bij MRI; dus metalen protheses zijn geen bezwaar.  
Echoscopie is veel goedkoper want de apparatuur is een stuk eenvoudiger.
- 47 a** Voordelen van een MRI-scan:
1. De gebruikte straling is niet schadelijk voor lichaamscellen.
  2. Zachter weefsel kun je beter bekijken met de MRI-scanner.
- b** Nadelen van de MRI-scan:
1. MRI is duur.
  2. Met MRI kun je niet in waterstofarme weefsels kijken, zoals bot.

- 48 a** De RF spoel moet afgestemd worden op:  
 $42,57 \text{ MHz/T} \cdot 1,5 \text{ T} = 63,86 \text{ MHz} = 64 \text{ MHz}$
- b** De golflengte van de radiogolven is:  
 $\lambda = c/f = 3,0 \cdot 10^8 / 63,86 \cdot 10^6 = 4,7 \text{ m}$   
 De nauwkeurigheid van MRI-scans is dus niet vanwege een kleine golflengte. Bij MRI-scans worden aankomsttijden van pulsen gemeten. Hoe nauwkeuriger de aankomsttijden gemeten worden des te nauwkeuriger de herkomstpositie van de puls berekend kan worden. Met puls bedoelen we hier het signaal dat ontstaat als de tollende elektronspinspin terugvalt naar zijn rustpositie.
- c** Veel waterstof in een gebiedje (een stukje weefsel) betekent dat er veel signaal gemeten wordt uit dat gebiedje, dus grote intensiteit. Veel waterstof heeft geen invloed op de golflengte.
- 49 a** Nee, de contrastvloeistof hoeft geen straling uit te zenden.
- b** De contrastvloeistof moet rijk aan waterstofatomen zijn. In ieder geval veel meer waterstofatomen per volume-eenheid dan de omliggende weefsels.
- 50 a** Omdat bij fMRI iedere meting maar twee seconden duurt, is het moeilijker om te bepalen waar een puls vandaan kwam. Hoe langer je kan meten des te nauwkeuriger je kunt bepalen waar een puls vandaan komt.
- b** Er wordt over 4D gesproken, omdat de tijd als 4e dimensie wordt gezien. Je kunt zo filmpjes maken van de hersenactiviteit.
- c** Voor het bekijken van een plaatje, ongeacht wat voor plaatje, moeten de hersenen werken. Dus ten opzichte van niet kijken leidt wel kijken tot een verhoogde hersenactiviteit.
- 51** De tracer moet door het lichaam naar de gewenste locatie stromen. Dit kan deels bestaan uit het stromen door bijvoorbeeld bloedvaten maar ook via diffusie en osmose tussen cellen in een weefsel. Deze processen kosten tijd.
- 52** Reden 1: Bij een lange halveringstijd wordt het lichaam voor een (te) lange periode aan straling blootgesteld, wat slecht is voor de gezondheid. Reden 2: Vaak is de activiteit laag van een radioactieve stof met een lange halveringstijd. Met een lage activiteit moet je een hogere dosis gebruiken.
- 53 a** De halveringstijden voor I-131 en I-123 zijn respectievelijk 8,0 dagen en 13,2 uur.
- b** Met een halveringstijd van 8,0 dagen kun je de toestand van een patiënt meerdere opeenvolgende dagen meten.
- c** Een halveringstijd van 13,2 uur betekent dat de activiteit na een paar dagen geen nadelige gevolgen meer heeft voor de gezondheid.
- 54 a**  ${}^{18}_9\text{F}$ , want fluor heeft 9 protonen.
- b**  ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + {}^{18}_8\text{O}$
- c** Het fluor vervalt tot zuurstof, want zuurstof heeft 8 protonen.
- d** Fluor-19 komt 100% voor in de natuur. Dat betekent dus dat er geen enkele andere isotoop in de natuur voorkomt.
- e**  ${}^{18}_8\text{O} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{18}_9\text{F} + {}^1_0\text{n}$
- f** Er ontstaat ook een neutron.
- g** De massa van een positron is gelijk aan die van een elektron. De rustmassa van een elektron omgezet in energie is  $8,19 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ , zie tabel 7B in het *Binas*.  $2 \times$  de rustmassa wordt omgezet in twee fotonen, dus gebruik deze energie voor het bepalen van de frequentie van één foton. De frequentie van de twee fotonen is dan:  
 $8,19 \cdot 10^{-14} \text{ J} / (6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}) = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}$ .  
 Zoek deze frequentie op in tabel 19B van *Binas*. Het gaat dus om zachte gammastraling.
- 55 a** Botweefsel neemt geen (nauwelijks) glucose op. Bij een CT-scan blokkeert botweefsel juist de meeste straling, en is daarom juist goed te zien.
- b** Een tumor is snel delend weefsel. Om snel te kunnen delen heeft de tumor veel energie nodig. Een belangrijke energiebron is glucose. De tumor neemt meer radioactief gemerkt glucose op dan de omringende weefsels. Daarom is de tumor goed zichtbaar.
- c** 1. De nauwkeurigheid (gedetailleerdheid) van een MRI-scan is veel hoger dan van een PET-scan.  
 2. Een MRI-scan werkt zonder radioactieve stoffen.
- d** Met een PET-scan worden snel delende weefsels gemakkelijk zichtbaar. Dit is juist goed om bijvoorbeeld tumoren op te sporen.

### Toepassing

- 1** De geluidssnelheid in lucht bij  $20^\circ \text{C}$  is  $343 \text{ m/s}$ . De golflengte wordt gegeven door  
 $\lambda = v/f = 343 / (40 \cdot 10^3) = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- 2** Een trilling duurt  
 $T = 1/f = 1 / (40 \cdot 10^3) = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ .  
 Het aantal trillingen in een puls is dus  
 $700 \cdot 10^{-6} / (2,5 \cdot 10^{-5}) = 28$ .
- 3** De onzekerheid in de plaats wordt gegeven door  
 $x = v \cdot t = 343 \times 1 \cdot 10^{-6} = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  (met  $t$  de tijdsonzekerheid).  
 Dit is de onzekerheid in de totaal afgelegde weg. De onzekerheid in de afstand tot het karretje is dus half keer zo groot:  
 $0,5 \cdot 3,4 \cdot 10^{-4} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ .
- 4** Voor de golflengte van het geluid geldt  $\lambda = v \cdot T$ . In de figuur kan worden afgelezen dat  $T = 0,50 \mu\text{s}$ . Dus  
 $\lambda = 1,45 \cdot 10^3 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6} = 7,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ .
- 5** Voor de afstand die de golf aflegt geldt  $\Delta x = v \cdot \Delta t$ . Uit de figuur blijkt:  $\Delta t = 21,00 \mu\text{s}$ .  
 $\Delta x = 1,45 \cdot 10^3 \cdot 21,00 \cdot 10^{-6} = 3,045 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .  
 De dikte is hiervan de helft, dus  $1,52 \text{ cm}$ .

- 6 Alleen voor leerlingen die keuze SE hoofdstuk 6 hebben gedaan.  
 Uit de figuur blijkt dat  $i = 55^\circ$ .



Voor de breking geldt  $\sin i / \sin r = n$ .  
 Dus  $\sin r = \sin i / n = \sin 55^\circ / 0,90 = 0,910$ .  
 Hieruit volgt dat  $r = 66^\circ$ .

- 7 Röntgenstraling plant zich voort met de lichtsnelheid (en ultrageluid met de geluidssnelheid). Röntgenstraling heeft een (veel) hogere frequentie (dan ultrageluid). Röntgenstraling heeft ioniserend vermogen (en ultrageluid niet). Röntgenstraling is ten gevolge van zijn ioniserend vermogen veel schadelijker (dan ultrageluid).
- 8 D
- 9 A
- 10 A
- 11 A
- 12 C
- 13 Voor de equivalente dosis geldt:  $H = Q \cdot Elm$ .  
 De energie die de voet in 15 s ontving is gelijk aan  $E = 0,21/60 \cdot 15 = 5,25 \cdot 10^{-2}$  J.  
 Gegeven is:  $m = 0,350$  kg en  $Q = 0,95$ .  
 Invullen levert:  
 $H = 0,95 \cdot 5,25 \cdot 10^{-2} / 0,350 = 0,14$  Sv.
- 14 Ho
- 15 Om Holmium-166 te verkrijgen uit Holmium-165 moet het massagetal met één toenemen en het atoomnummer gelijk blijven. Holmium-165 moet dus beschoten worden met neutronen om holmium-166 te laten ontstaan.
- 16  ${}^{166}_{67}\text{Ho} \rightarrow {}^{166}_{68}\text{Er} + {}^0_{-1}\text{e}$

17  $A = \frac{D \cdot m}{15,87 \cdot 10^{-3}} = \frac{40 \cdot 2,0}{15,87 \cdot 10^{-3}} = 5,04 \cdot 10^9$  Bq

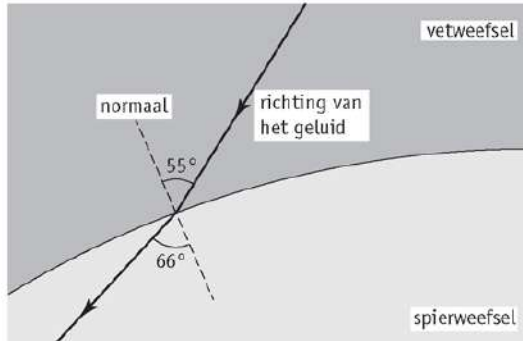
De activiteit van één bolletje holmium is 400 Bq. Er zijn dus  $5,04 \cdot 10^9 / 400 = 1,3 \cdot 10^7$  bolletjes holmium nodig.

- 18 De halveringstijd van holmium-166 is 1,0 dag. Na een week is de activiteit met een factor  $2^7$  gezakt. Dit is  $0,5^7 \cdot 100\% = 0,78\%$ .

### Proefwerkgaven

- 1 a De voortplantingssnelheid van geluid in water van  $40^\circ\text{C}$  (313 K) is 1529 m/s. Dan is de golflengte voor 1,0 MHz gelijk aan  
 $\lambda = v/f = 1529 / 1,0 \cdot 10^6 = 1,5$  mm  
 en voor 10 MHz gelijk aan  
 $\lambda = v/f = 1529 / 10 \cdot 10^6 = 0,15$  mm
- b We gaan er van uit dat een voorwerp pas zichtbaar is als het minimaal 1 golflengte groot is. Dus is de minimale frequentie om het embryo van 11 mm te zien  $f = v/\lambda = 1529 / 11 \cdot 10^{-3} = 139$  kHz  
 Dit is veel hoger dan de hoogste frequentie die we kunnen waarnemen.
- c De puls moet een weg afleggen van 24 cm = 0,24 m, namelijk heen en terug. Omdat de voortplantingssnelheid 1529 m/s is duurt dit  
 $0,24 \text{ m} / 1529 \text{ m s}^{-1} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s} \rightarrow$   
 $f = 1 / (1,6 \cdot 10^{-4}) = 6371 \text{ Hz} = 6,4 \text{ kHz}$
- d Geluid met een sterkte van 100 dB zit in de schadelijke zone.
- 2 a Dit is rood licht, zie tabel 19A in *Binas*.  
 b De golflengte van het gebruikte licht is:  
 $\lambda = c/f = 3,0 \cdot 10^8 / 4,6 \cdot 10^{14} = 6,5 \cdot 10^{-7}$  m.  
 Dus een spoor met een doorsnee van  $7,4 \cdot 10^{-7}$  m is groot genoeg.  
 c Er kunnen meer sporen op de disk en op één spoor passen meer putjes.
- 3 a De te overbruggen afstand is 180 km en de voortplantingssnelheid van radiogolven is gelijk aan de lichtsnelheid. Dan duurt het  $180 \cdot 10^3 / 3,00 \cdot 10^8 = 6,00 \cdot 10^{-4}$  s.  
 b De frequentie van de zender is  
 $f = c/\lambda = 3,00 \cdot 10^8 / 402 = 746$  kHz.  
 c Het is een AM-zender want de amplitude wordt gemoduleerd.  
 d Eén sinus heeft een tijd van 28 microseconden. Dat is gelijk aan  $1/28 \cdot 10^{-6} = 36$  kHz.  
 e Er passen 22 draaggolven in 1 gemoduleerde geluidsgolf. Dus de frequentie van de geluidsgolf is  $36 \text{ kHz} \cdot 22 = 792$  kHz. Dat ligt dicht bij het antwoord op b.  
 f De bandbreedte moet twee keer 36 kHz zijn, dus de bandbreedte is minimaal 72 kHz.

- 6 Alleen voor leerlingen die keuze SE hoofdstuk 6 hebben gedaan.  
 Uit de figuur blijkt dat  $i = 55^\circ$ .



Voor de breking geldt  $\sin i / \sin r = n$ .  
 Dus  $\sin r = \sin i / n = \sin 55^\circ / 0,90 = 0,910$ .  
 Hieruit volgt dat  $r = 66^\circ$ .

- 7 Röntgenstraling plant zich voort met de lichtsnelheid (en ultrageluid met de geluidssnelheid). Röntgenstraling heeft een (veel) hogere frequentie (dan ultrageluid). Röntgenstraling heeft ioniserend vermogen (en ultrageluid niet). Röntgenstraling is ten gevolge van zijn ioniserend vermogen veel schadelijker (dan ultrageluid).
- 8 D
- 9 A
- 10 A
- 11 A
- 12 C
- 13 Voor de equivalente dosis geldt:  $H = Q \cdot Elm$ .  
 De energie die de voet in 15 s ontving is gelijk aan  $E = 0,21/60 \cdot 15 = 5,25 \cdot 10^{-2}$  J.  
 Gegeven is:  $m = 0,350$  kg en  $Q = 0,95$ .  
 Invullen levert:  
 $H = 0,95 \cdot 5,25 \cdot 10^{-2} / 0,350 = 0,14$  Sv.
- 14 Ho
- 15 Om Holmium-166 te verkrijgen uit Holmium-165 moet het massagetal met één toenemen en het atoomnummer gelijk blijven. Holmium-165 moet dus beschoten worden met neutronen om holmium-166 te laten ontstaan.
- 16  ${}^{166}_{67}\text{Ho} \rightarrow {}^{166}_{68}\text{Er} + {}^0_{-1}\text{e}$

17  $A = \frac{D \cdot m}{15,87 \cdot 10^{-3}} = \frac{40 \cdot 2,0}{15,87 \cdot 10^{-3}} = 5,04 \cdot 10^9$  Bq

De activiteit van één bolletje holmium is 400 Bq. Er zijn dus  $5,04 \cdot 10^9 / 400 = 1,3 \cdot 10^7$  bolletjes holmium nodig.

- 18 De halveringstijd van holmium-166 is 1,0 dag. Na een week is de activiteit met een factor  $2^7$  gezakt. Dit is  $0,5^7 \cdot 100\% = 0,78\%$ .

### Proefwerkpogaven

- 1 a De voortplantingssnelheid van geluid in water van  $40^\circ\text{C}$  (313 K) is 1529 m/s. Dan is de golflengte voor 1,0 MHz gelijk aan  
 $\lambda = v/f = 1529 / 1,0 \cdot 10^6 = 1,5$  mm  
 en voor 10 MHz gelijk aan  
 $\lambda = v/f = 1529 / 10 \cdot 10^6 = 0,15$  mm
- b We gaan er van uit dat een voorwerp pas zichtbaar is als het minimaal 1 golflengte groot is. Dus is de minimale frequentie om het embryo van 11 mm te zien  $f = v/\lambda = 1529 / 11 \cdot 10^{-3} = 139$  kHz  
 Dit is veel hoger dan de hoogste frequentie die we kunnen waarnemen.
- c De puls moet een weg afleggen van 24 cm = 0,24 m, namelijk heen en terug. Omdat de voortplantingssnelheid 1529 m/s is duurt dit  
 $0,24 \text{ m} / 1529 \text{ m s}^{-1} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s} \rightarrow$   
 $f = 1 / (1,6 \cdot 10^{-4}) = 6371 \text{ Hz} = 6,4 \text{ kHz}$
- d Geluid met een sterkte van 100 dB zit in de schadelijke zone.
- 2 a Dit is rood licht, zie tabel 19A in *Binas*.  
 b De golflengte van het gebruikte licht is:  
 $\lambda = c/f = 3,0 \cdot 10^8 / 4,6 \cdot 10^{14} = 6,5 \cdot 10^{-7}$  m.  
 Dus een spoor met een doorsnee van  $7,4 \cdot 10^{-7}$  m is groot genoeg.  
 c Er kunnen meer sporen op de disk en op één spoor passen meer putjes.
- 3 a De te overbruggen afstand is 180 km en de voortplantingssnelheid van radiogolven is gelijk aan de lichtsnelheid. Dan duurt het  $180 \cdot 10^3 / 3,00 \cdot 10^8 = 6,00 \cdot 10^{-4}$  s.  
 b De frequentie van de zender is  
 $f = c/\lambda = 3,00 \cdot 10^8 / 402 = 746$  kHz.  
 c Het is een AM-zender want de amplitude wordt gemoduleerd.  
 d Eén sinus heeft een tijd van 28 microseconden. Dat is gelijk aan  $1/28 \cdot 10^{-6} = 36$  kHz.  
 e Er passen 22 draaggolven in 1 gemoduleerde geluidsgolf. Dus de frequentie van de geluidsgolf is  $36 \text{ kHz} \cdot 22 = 792$  kHz. Dat ligt dicht bij het antwoord op b.  
 f De bandbreedte moet twee keer 36 kHz zijn, dus de bandbreedte is minimaal 72 kHz.

# Hoofdstuk 15 Zonnestelsel en heelal

## Introductie

- 1 Het licht gaat met  $3,00 \cdot 10^8$  m/s. De afstand van de aarde tot de maan is  $3,84 \cdot 10^8$  m. Het licht doet er dan:  $\frac{3,84 \cdot 10^8}{3,00 \cdot 10^8} = 1,28$  s over om de aarde te bereiken.
- 2  $6 \text{ h} = 6 \cdot 3600 \text{ s} = 21\,600 \text{ s}$   
Het licht reist met de lichtsnelheid. De grens van het zonnestelsel (vanaf de zon gezien) ligt dan op:  
 $s = v \cdot t = 3,00 \cdot 10^8 \times 21\,600 = 6,48 \cdot 10^{11} \text{ m}$  = ongeveer 6,5 miljard km.
- 3 a De Melkweg heeft 200 miljard sterren, dat zijn  $2,00 \cdot 10^{11}$  sterren. Het totale volume van het zand is:  
 $V_{\text{tot}} = n_{\text{ster}} \cdot V_{\text{zand}} = 2,00 \cdot 10^{11} \times 0,016 = 3,2 \cdot 10^9 \text{ mm}^3 = 3,2 \text{ m}^3$ . Hierbij is  $V_{\text{zand}}$  het gemiddelde volume van een zandkorrel en  $n_{\text{ster}}$  het aantal sterren in de Melkweg.  
b Een cilinder heeft een inhoud van:  $V = \pi r^2 h$ . Een emmertje met een hoogte van 30 cm en een straal van 10 cm heeft dan een inhoud  $V = \pi \times 10^2 \times 30 = 9425 \text{ cm}^3 = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .  
We kunnen dan dus  $\frac{3,2}{9,4 \cdot 10^{-3}} = 3,4 \cdot 10^2$  emmertjes vullen.
- 4 a De afstand aarde – zon is volgens de schaal van Dijkgraaf 10 m. In werkelijkheid is dit 8,3 lichtminuut. De afstand Jupiter – zon is 50 m, 5 maal zo ver. In werkelijkheid is dit dan  $8,3 \times 5 = 42$  lichtminuut.  
b De afstand Proxima Centaurus – zon: 2000 km,  $200 \cdot 10^3$  maal zo ver. Dit is dan in werkelijkheid  $200 \cdot 10^3 \times 8,3 = 1,7 \cdot 10^6$  lichtminuut. Dit komt overeen met  
 $\frac{1,7 \cdot 10^6}{365 \times 24 \times 60} = 3,2$  lichtjaar.  
c *Binas* tabel 32B: afstand Proxima Centaurus – zon:  $4,0 \cdot 10^{16} \text{ m} = 4,23$  lichtjaar.  
*Binas* tabel 31: afstand Jupiter – zon:  $7,883 \cdot 10^{11} \text{ m} = 43,8$  lichtminuut.

## 15.1 Waarnemingen in de sterrenkunde

- 1 De wet van Wien geeft:  $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_w$  dus  
 $T = \frac{k_w}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{501 \cdot 10^{-9}} = 5784 \text{ K} = 5,8 \cdot 10^3 \text{ K}$
- 2 a De wet van Wien geeft:  $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_w$  dus  
 $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{25\,000} = 115,91 \text{ nm}$   
b Volgens *Binas* tabel 19A bestrijkt het zichtbare licht het golflengtegebied van 390 tot 760 nm. We kunnen de golflengte waarbij de intensiteit van de ster het hoogst is dus niet zien.
- 3 Elk atoom kan een aantal golflengtes absorberen, waardoor het totaal aantal lijnen veel hoger is dan het aantal elementen. Zie bijvoorbeeld *Binas* tabel 20.

- 4 Dit is Helium. Weetje: Helium is vernoemd naar Helios, het Griekse woord voor zon. Toen het element ontdekt werd dacht men dat het een metaal was en vandaar dat de uitgang ‘-ium’ voortaan is gebruikt.
- 5 a Het spectrum is afkomstig van Kwik. Zie *Binas* tabel 20.  
b  $E = hf = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times \frac{3,00 \cdot 10^8}{546 \cdot 10^{-9}}$   
 $E = 3,64 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   
c  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Dus:  $3,64 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{3,64 \cdot 10^{-19}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 2,27 \text{ eV}$   
d  $\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{2,15 \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 577 \text{ nm}$
- 6 a  $\lambda_{\text{max}} = 415 \text{ nm}$   
b  $E = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{415 \cdot 10^{-9} \times 1,602 \cdot 10^{-19}} = 2,99 \text{ eV}$   
c  $T = \frac{k_w}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{2,89777 \cdot 10^{-3}}{415 \cdot 10^{-9}} = 6,98 \cdot 10^3 \text{ K}$   
d *Binas* tabel 20: de stof die deze lijnen veroorzaakt is atomaire waterstof.
- 7 De hoeveelheid licht die een telescoop met een diameter van 10 meter ten opzichte van onze ogen per seconde kan opvangen, is gelijk aan de verhouding van de oppervlakten. Dus de verhouding is:  
 $\frac{A_{\text{spiegel}}}{2 \cdot A_{\text{pupil}}} = \frac{\pi R_s^2}{2\pi R_p^2} = \frac{R_s^2}{2 \times R_p^2} = \frac{5,0^2}{2 \times (5 \cdot 10^{-3})^2} = 5 \cdot 10^5$ .
- 8 a De luchtvochtigheid is in Nederland groot en er is veel infrastructuur. Hierdoor is er veel lichtvervuiling doordat het vocht in de lucht het licht verstrooit. Bovendien is Nederland laag, hierdoor moeten we door een dikke atmosfeer kijken, waardoor we meer last hebben van de atmosfeer. Bovendien is het vaak bewolkt waardoor een groot deel van de tijd geen waarnemingen te doen zouden zijn in het optische gebied.  
b Radiotelescopen opereren ver buiten het zichtbare gebied, waardoor een radiotelescoop geen last heeft van lichtvervuiling. Bovendien hebben radiogolven veel minder last van de atmosfeer dan zichtbaar licht. Bovendien komen radiogolven makkelijk door de wolken heen. Ook in Nederland kun je dan dus altijd waarnemingen doen.
- 9 a Zichtbaar licht loopt van 390 tot 760 nm.  
b Infrarood licht gaat van 760 nm tot 1 mm.  
c Röntgenstraling loopt van 0,03 nm tot 7 nm.

10 a  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{3,50 \cdot 10^8} = 0,857 \text{ m}$

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{8,3 \cdot 10^9} = 0,036 \text{ m}$

b Ja. 21 cm zit tussen de beide golf lengtes uit a in.

11 Antennes zijn veel gemakkelijker te construeren dan een grote telescoop. Bovendien hangt de resolutie van het beeld af van de grootte van de telescoop, door alle antennes via software te koppelen kan een gigantische telescoop gemaakt worden die men nooit uit één stuk zou kunnen maken.

- 12 A – CHANDRA  
 B – Hubble  
 C – VLT  
 D – ALMA  
 E – WSRT  
 F – LOFAR  
 De informatie is te vinden op [www.astronomie.nl](http://www.astronomie.nl).

**15.2 De beweging van hemellichamen**

13 a Een polaire satelliet ziet in een dag het hele aardoppervlak.

b  $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot (6,37 \cdot 10^3 + 670)}{1,5 \times 3600} = \frac{2\pi \times 7,04 \cdot 10^3}{5400} = 8,2 \text{ km/s}$

14 a Nieuwe maan. De maan moet tussen de aarde en de zon in staan.

b Volle maan. De aarde moet tussen de maan en de zon in staan.

15 a Een satelliet in geostationaire baan gaat in precies een dag rond de aarde en staat daardoor stil ten opzichte van de grond. Hierdoor is het gemakkelijk mogelijk om vanaf de grond op de satelliet te richten, zonder de hele tijd voor de baan te moeten corrigeren of van satelliet te moeten wisselen. Eén satelliet kan een groot grondgebied bestrijken.

b  $v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow r = \frac{vT}{2\pi} = \frac{3,07 \cdot 24 \cdot 3600}{2\pi} = 42 \text{ 215,5 km}$ .

De satelliet staat dus 42 215,5 km van het middelpunt van de aarde. Hij hangt dus 42 215,5 – 6371 = 35,8 · 10<sup>4</sup> km boven het aardoppervlak.

16 a  $F_g = \frac{GmM}{r^2} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,972 \cdot 10^{24} \times 1,9884 \cdot 10^{30}}{(1,496 \cdot 10^{11})^2}$   
 $F_g = 3,54 \cdot 10^{22} \text{ N}$

b  $F_g = \frac{GmM}{r^2} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,972 \cdot 10^{24} \times 1,9884 \cdot 10^{30}}{(1,496 \cdot 10^{11})^2}$   
 $F_g = 3,54 \cdot 10^{22} \text{ N}$

c Omdat in de formule mM staat, zodat het niet uitmaakt welke van de twee krachten je uitrekt. Ze zijn toch gelijk.

17 a  $F_{mpz} = F_g \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = F_{grav}$

$v = \sqrt{\frac{F_g \cdot r}{m}} = \sqrt{\frac{780 \times (6,371 \cdot 10^6 + 4,00 \cdot 10^5)}{90}}$

$= 7,7 \text{ km/s}$

b  $v = \sqrt{\frac{F_g \cdot r}{m}} = \sqrt{\frac{780 \times (6,371 \cdot 10^6 + 4,00 \cdot 10^5)}{180}} = 5,4 \text{ km/s}$

18 a We stellen de middelpuntzoekende kracht gelijk aan de gravitatiekracht:  $\frac{mv^2}{r} = \frac{GmM}{r^2} \Rightarrow \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}$

$v^2 = \frac{GM}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

b  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \cdot 10^{30}}{1,50 \cdot 10^{11}}} = 29,7 \text{ km/s}$

19 a  $g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,972 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6)^2} = 9,819 \text{ m/s}^2$

b De maan heeft een straal van  $r = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$  en een massa van  $m = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ . De valversnelling op het oppervlak van de maan is dan:

$g_{maan} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 7,35 \cdot 10^{22}}{(1,738 \cdot 10^6)^2} = 1,624 \text{ m/s}^2$

$\frac{g_{maan}}{g_{aarde}} = \frac{1,624}{9,819} = 0,165 = \frac{1}{6}$

c Op de maan kun je hoger springen, omdat de versnelling naar beneden veel lager is. Je raakt de snelheid omhoog van je sprong dus minder snel kwijt.

d Saturnus heeft een massa van  $5,68 \cdot 10^{26} \text{ kg}$  en een straal van  $58,2 \cdot 10^6 \text{ m}$ .

Dus:  $g_{Saturnus} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,68 \cdot 10^{26}}{(58,2 \cdot 10^6)^2} = 11,2 \text{ m/s}^2$

e De massa van Saturnus is ongeveer honderd maal zo groot als de massa van de aarde. Als Saturnus even groot was als de aarde, dan zou de valversnelling dus honderd maal zo groot zijn aan de oppervlakte. De straal van Saturnus is echter tien keer zo groot als de straal van de aarde. De valversnelling neemt kwadratisch af met de straal, dus een tien keer zo grote straal verzwakt de valversnelling met honderd keer. Zo heft de tien keer zo grote straal dus bijna de honderd keer grotere massa op.

20 a Op het ISS werkt alleen de zwaartekracht.

$F_{netto} = m \cdot a$

$F_{netto} = F_g = \frac{GmM}{r^2}$

$F_{netto} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 4,5 \cdot 10^6 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6 + 3,55 \cdot 10^5)^2}$

$F_{netto} = 3,96 \cdot 10^7 \text{ N}$

$a = \frac{F_{netto}}{m} = \frac{3,96 \cdot 10^7}{4,5 \cdot 10^6} = 8,81 \text{ m/s}^2$

b Voor de versnelling geldt:  $a = \frac{F_{netto}}{m}$ . Als de netto-kracht gelijk is aan de gravitatiekracht geldt er dus:

$a = \frac{GmM}{r^2}$ . Hieruit blijkt dat de massa van het ISS ( $m$ ) eruit valt.

c  $F_{mpz} = F_{grav} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  (zie opgave 18a)

$v = \sqrt{\frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,972 \cdot 10^{24}}{(6,371 \cdot 10^6 + 3,55 \cdot 10^5)^2}} = 7698 = 7,698 \text{ km/s}$

d  $v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(6,371 \cdot 10^6 + 3,55 \cdot 10^5)}{7698}$

$T = 5490 \text{ s} = 91,5 \text{ min}$

**15.3 Het zonnestelsel**

- 21 a De hoeveelheid zonnewarmte die de aarde ontvangt hangt af van de afstand tot de zon. Als de aarde dus dichterbij staat, neemt de hoeveelheid ontvangen zonnewarmte toe. Als de aarde verder weg staat, neemt de hoeveelheid ontvangen zonnewarmte af.
- b Nee, alleen de gekantelde stand van de draai-as kan voor zo'n groot effect zorgen. Bedenk ook dat als de aarde verder van de zon staat het op een deel van de aarde winter is, maar op het andere halfrond zomer.
- c De maan Io is het meest vulkanisch actieve hemellichaam van ons zonnestelsel. Dit komt doordat de sterke zwaartekracht van Jupiter gecombineerd met de elliptische baan (waardoor Io een veranderlijke gravitatiekracht ondervindt) een enorme getijdekracht uitoefent op Io waardoor Io inwendig vloeibaar is en vaak een uitbarsting heeft doordat de maan als het ware uitgewrongen wordt.

- 22 a Werkblad.
- b Doordat de aarde dichterbij de zon staat dan Mars, zal de aarde een kleiner rondje maken en bovendien sneller bewegen dan Mars. Daardoor zal de aarde Mars dus ergens in het Mars-jaar inhalen. Door deze beweging zien wij Mars bij de punten 1 t/m 3 naar links bewegen, aangenomen dat figuur 15.25 een aanzicht vanaf een punt boven de Noordpool is, in punt 4 'hangt' Mars stil in de lucht, en bij de punten 5 t/m 7 beweegt Mars de andere kant op doordat we haar voorbij zijn. Dit kun je vergelijken met een gelaagde draaimolen waarin de stoelen dicht bij het centrum sneller gaan dan de buitenste (bij normale draaimolens is dit niet het geval). Wanneer een stoel die meer naar binnen zit een buitenste stoel inhaalt, lijkt de andere stoel de andere kant op te gaan terwijl dit in werkelijkheid niet het geval is.

- 23 a Op Mercurius duurt een jaar het kortst: 87,97 dagen. Op Neptunus duurt een jaar het langst: 164,8 jaar.
- b Op Jupiter duurt een dag het kortst: 9,89 h. Op Venus duurt een dag het langst: 243 dagen.

- 24 Botsingen tussen hemellichamen in het begin van het zonnestelsel, tijdens de vorming van de planeten, kunnen voor afwijkingen in de richting van de rotatieassen zorgen.

- 25 Bij Mercurius is die het grootst: 7,0 graden.

- 26 a  $m_{\text{planeten}} = 2,669 \cdot 10^{27} \text{ kg}$   
 $m_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$   
 $m_{\text{tot}} = 2,669 \cdot 10^{27} + 1,9884 \cdot 10^{30} = 1,9911 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
- b  $\frac{m_{\text{planeten}}}{m_{\text{tot}}} = \frac{2,669 \cdot 10^{27}}{1,9911 \cdot 10^{30}} = 0,00134 = 0,134\%$

27 a  $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$   
 $v = \frac{2\pi r}{T}$   
 Dit levert:  $F_{\text{mpz}} = \frac{m}{r} \left( \frac{2\pi r}{T} \right)^2 = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$

b  $F_{\text{mpz}} = F_G \Rightarrow \frac{4\pi^2 mr}{T^2} = \frac{GmM}{r^2} \Rightarrow \frac{4\pi^2 mr^3}{T^2} = GmM$   
 $\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2 m} \Rightarrow \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$

c  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 \times (7,883 \cdot 10^{11})^3}{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 1,9884 \cdot 10^{30}}}$   
 $T = 3,82 \cdot 10^8 \text{ s} = 12,1 \text{ jaar}$

- 28 Het aantal lichtseconden is het aantal seconden dat licht er over doet om een afstand af te leggen. Licht reist met de lichtsnelheid.

$1 \text{ AE} = 1,49598 \cdot 10^{11} \text{ m}$   
 $\frac{1,49598 \cdot 10^{11}}{2,99792458 \cdot 10^8} = 499,005 \text{ lichtseconden}$

- 29  $4,22 \text{ lichtjaar} = 4,22 \times 365 \times 24 \times 3600 = 1,33 \cdot 10^8 \text{ lichtseconden}$ .  
 Er gaan 499 lichtseconden in een AE (zie opdracht 28).  
 $\frac{1,33 \cdot 10^8}{499} = 2,67 \cdot 10^5 \text{ AE}$

- 30 Zowel Mercurius als de maan hebben vrijwel geen atmosfeer en zijn vulkanisch inactief. Hierdoor kunnen alle objecten op ramkoers ook daadwerkelijk inslaan. Dus alle objecten die op aarde meteorieten zouden zijn, zijn daar ook meteorieten. Bovendien vernieuwt het oppervlak zich niet, vanwege de vulkanische inactiviteit. Ten slotte heeft het oppervlak geen last van erosie door water en weer, doordat er geen atmosfeer is en ook geen vloeibaar water.

- 31 Die buitenplaneet heeft dus een dichtheid van  $1000 \text{ kg/m}^3$  en een massa van  $5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ . Het volume is  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{1000} = 5,972 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$ . Voor het volume van een bol geldt:  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ .

Dus:  $r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 5,972 \cdot 10^{21}}{4\pi}}$   
 $= 1,125 \cdot 10^7 \text{ m} = 1,77 \cdot R_{\text{aarde}}$

- 32 a Pluto: 1930, Clyde Tombaugh. Ceres: 1801, Giuseppe Piazzi.
- b Ceres' baan ligt in de planetoïdengordel tussen Mars en Jupiter, terwijl Pluto aan de rand van de Kuiper gordel ligt. Pluto ligt dus veel verder weg dan Ceres en gezien zijn grootte is hij dus veel lichtzwakker dan Ceres.

- 33 a Een volume van  $4,5 \cdot 10^8 \text{ km}^3$  komt overeen met  $4,5 \cdot 10^{17} \text{ m}^3$ .

$M_{\text{ceres}} = \rho V = 2100 \times 4,5 \cdot 10^{17} = 9,5 \cdot 10^{20} \text{ kg}$

b  $M_{\text{tot}} = 3 \cdot M_{\text{ceres}} = 2,8 \cdot 10^{21} \text{ kg}$

c  $M_{\text{maan}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg} \Rightarrow \frac{M_{\text{tot}}}{M_{\text{maan}}} = \frac{2,84 \cdot 10^{21}}{7,35 \cdot 10^{22}} = 0,0386$ . Dit komt overeen met ongeveer  $\frac{1}{26}$ .

**34 a** Eens in de 50 jaar. Het aantal inslagen per jaar is dan gelijk aan  $\frac{1}{50 \text{ jaar}} = 0,020$  per jaar.

**b** Er zijn 0,020 inslagen per jaar op aarde. 2,0% van de aarde is bewoond gebied. In dat gedeelte zijn dus  $0,020 \times 0,020 = 0,00040$  inslagen per jaar. Tussen elke inslag zit dus gemiddeld

$$\frac{1}{0,00040} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ jaar.}$$

*Bij deze berekening is aangenomen dat het percentage bewoond gebied gelijk blijft in de loop van de tijd.*

**c** We moeten hiervoor eerst weten wat de verhouding is van het oppervlak van Nederland tot het totale oppervlak van de aarde. Deze verhouding vermenigvuldigen we met het aantal inslagen per jaar op aarde.

Het oppervlak van Nederland is gelijk aan ongeveer  $40\,000 \text{ km}^2 = 4,00 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$ .

$$A_{\text{aarde}} = 4\pi r^2 = 4\pi \times (6,4 \cdot 10^6)^2 = 5,15 \cdot 10^{14} \text{ m}^2,$$

$$0,02 \times \frac{4,00 \cdot 10^{10}}{5,15 \cdot 10^{14}} = 1,55 \cdot 10^{-6} \text{ inslagen per jaar.}$$

$$\text{Tussen elke inslag zit dan } \frac{1}{1,55 \cdot 10^{-6}} = 6,44 \cdot 10^5 \text{ jaar.}$$

*Bij deze berekening is aangenomen dat de plek waar een inslag kan plaatsvinden puur willekeurig is.*

**35 a** Per definitie hebben langperiodieke kometen een omloopbaan van meer dan 200 jaar, dus Halley is een kortperiodieke komeet.

**b** Vanwege de periode van Halley is de komeet waarschijnlijk afkomstig uit de Kuiper gordel.

**c** Tussen 1758 en 1066 zit  $1758 - 1066 = 692$  jaar. Als we uitgaan van een periode van 77 jaar voor Halley, dan zijn dit:  $\frac{692}{77} = 9$  periodes. De afgebeelde komeet kan dus de komeet van Halley zijn geweest.

### 15.4 Zon en sterren

**36**  $E = mc^2 = 4,27 \cdot 10^9 \times (3,0 \cdot 10^8)^2 = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ J.}$

**37** De hoeveelheid waterstof die in de kern is omgezet is  $0,14 \times 0,70 \times 1,9884 \cdot 10^{30} = 1,95 \cdot 10^{29} \text{ kg}$ . Elke seconde wordt daarvan  $6,00 \cdot 10^{11} \text{ kg}$  omgezet. De totale voorraad van  $1,95 \cdot 10^{29} \text{ kg}$  is dan dus na  $\frac{1,95 \cdot 10^{29}}{6,00 \cdot 10^{11}} = 3,25 \cdot 10^{17} \text{ s}$  op. Dit is  $\frac{3,25 \cdot 10^{17}}{365 \times 24 \times 3600} = 1,03 \cdot 10^{10} \text{ jaar.}$

**38 a** De massa van de zon is  $1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ . De straal van de zon is  $6,963 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

$$\text{Voor het volume van de zon geldt: } V_{\text{zon}} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$V_{\text{zon}} = \frac{4}{3}\pi \times (6,963 \cdot 10^8)^3 = 1,414 \cdot 10^{27} \text{ m}^3. \text{ De}$$

$$\text{dichtheid is dan: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{1,9884 \cdot 10^{30}}{1,414 \cdot 10^{27}} = 1406 \text{ kg/m}^3.$$

**b** De massa van de zon is dan gehalveerd, dus  $m = 0,9942 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ . Het volume kan berekend worden aan de hand van de straal van 7000 km.  $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \times (7000 \cdot 10^3)^3 = 1,437 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$ . De dichtheid van de witte dwerg is:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,9942 \cdot 10^{30}}{1,437 \cdot 10^{21}} = 6,920 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^3.$$

**c** De inhoud van het luciferdoosje is:

$$V = 37 \times 58 \times 17 = 36,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 = 3,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

Als het doosje de dichtheid van een witte dwerg heeft dan is de massa van het doosje:

$$m = \rho \cdot V = 6,92 \cdot 10^8 \times 3,65 \cdot 10^{-5} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

**39 a** In de kern van sterren en bij supernova-explosies.

**b** De materialen waarvan wij gemaakt zijn komen uit de kernen van de allerzwaarste sterren, waar ze gemaakt zijn uit de fusie van waterstof. Hieruit ontstaat helium. Later fuseert helium tot koolstof. Daarna wordt koolstof met behulp van helium omgezet in zuurstof en neon. Ten slotte wordt neon met behulp van helium omgezet in magnesium, silicium, zwavel, calcium en als allerlaatste ijzer. Tijdens een Supernova worden zelfs nog zwaardere elementen gemaakt en dankzij de supernova worden al deze materialen verspreid door het universum. Hieruit kunnen weer nieuwe sterren en planeten gevormd worden die dan verrijkt zijn met deze materialen. Aangezien we voor 9,5% uit waterstof bestaan en voor de rest uit elementen zwaarder dan helium, bestaan we dus voor 90,5% uit sterrenstof en 9,5% oerkaalstof.

**40 a** Kortere aangezien het slechts 30 keer meer energievoorraad heeft, maar dit in verhouding 100 000 keer sneller opbrandt.

**b** De ster van 30 zonsmassa's heeft 30 keer meer voorraad dan de zon, dus als die ster evenveel verbruikt als de zon kan deze er 30 keer zo lang mee doen:  $30 \times 10^{10} \text{ jaar} = 3 \cdot 10^{11} \text{ jaar}$ . Maar de ster verbruikt haar brandstof 100 000 keer sneller, dus de ster zal na een periode van  $\frac{3 \cdot 10^{11}}{100\,000} = 3 \cdot 10^6 \text{ jaar}$  door de brandstof heen zijn.

**41** We nemen aan dat de zon op 28 000 lichtjaar van het middelpunt van de Melkweg staat. Dit is een afstand van  $28\,000 \times 365 \times 24 \times 3600 \times 3,00 \cdot 10^8 = 2,649 \cdot 10^{20} \text{ m}$ . De zon draait eens in de 250 miljoen jaar één rondje. Een rondje duurt dus  $250 \cdot 10^6 \times 365 \times 24 \times 3600 = 7,884 \cdot 10^{15} \text{ s}$ . De snelheid waarmee de zon om het middelpunt draait is dan gelijk aan:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 2,649 \cdot 10^{20}}{7,884 \cdot 10^{15}} = 211 \text{ km/s.}$$

**42** Een galactisch jaar duurt 250 miljoen jaar. Indien de zon  $10^{10}$  jaren oud zal worden, dan zal zij  $\frac{1 \cdot 10^{10}}{2,50 \cdot 10^8} = 40$  galactische jaren oud worden.

**43** Dinosauriërs. Het centrum van het Virgo-cluster bevindt zich 78 miljoen lichtjaar van ons. Licht doet er dus 78 miljoen jaar over om van ons naar het Virgo-cluster te gaan. In het Virgo-cluster zie je dus licht dat 78 miljoen jaar geleden is vertrokken van aarde. In die tijd leefden er nog dinosauriërs op aarde.



- 44 a Afstand tot Deneb:  $R_D = 1,3 \cdot 10^{19}$  m. Afstand tot Mizar:  $R_M = 8,1 \cdot 10^{17}$  m. Dus Deneb staat  $\frac{R_D}{R_M} = \frac{1,3 \cdot 10^{19}}{8,1 \cdot 10^{17}} = 16$  keer zo ver als Mizar.
- b Deneb is een superreus, zijn straal is veel groter dan de straal van Mizar, waardoor de helderheid dus ook veel groter is. De effectieve temperatuur (oppervlaktetemperatuur) heeft geen invloed, want die is voor beide sterren hetzelfde.

### 15.5 Het Heelal

- 45  $\lambda = 689,1$  nm  
De snelheid  $v$  waarmee de bron van ons af beweegt is  $15\ 000$  km/s. De golflengte van het uitgezonden licht is  $656,3$  nm. Voor de golflengteverandering geldt dan:  
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$
$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{v}{c} = 656,3 \cdot 10^{-9} \times \frac{15\ 000 \cdot 10^3}{2,998 \cdot 10^8} = 32,84 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$
Dit is gelijk aan  $32,84$  nm. Dit betekent dat de golflengte die waargenomen is  $32,84$  nm groter is. De waargenomen golflengte is dan  $\lambda = 689,1$  nm.
- 46 Aflezen uit de figuur bij  $35\ 000$  km/s geeft een afstand van ongeveer  $1,6 \cdot 10^9$  lichtjaar.
- 47 Wat je ziet is ongeveer het volgende: Zodra de twee sterrenstelsels door elkaar heen gaan, zullen ze het grootste deel van hun spiraalarmen verliezen. Deze blijven als waaiers achter terwijl de kernen compacter worden. Tussen de twee kernen zal een stroom van gas, stof en sterren zijn die de kernen met elkaar verbindt. Vervolgens zal de zwaartekracht haar werk doen: de kernen zullen samensmelten. Gedurende deze versmelting zal het grootste deel van het gas uitgestoten worden in een serie 'shocks'. Wat achter blijft is een elliptisch stelsel dat veel armer aan gas en stof is dan de twee voorgangers, met daaromheen mogelijk een deel van het gas dat overgebleven is.
- 48 a Een uur komt overeen met  $3600$  s. Voor de snelheden geldt dan:  
$$v_A = \frac{(10-5)}{3600 \text{ s}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ mm/s}$$
$$v_B = \frac{(20-10)}{3600 \text{ s}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ mm/s}$$
- b Conclusie: hoe verder de krent, hoe sneller hij van ons afgaat. De snelheid is dus recht evenredig met de afstand, dit is feitelijk hetzelfde als de wet van Hubble.
- 49 Een miljoen lichtjaar komt overeen met:  
 $10^6 \times (365 \times 24 \times 3600) \times 2,998 \cdot 10^8 = 9,46 \cdot 10^{18}$  km. Per miljoen lichtjaar wordt de ruimte  $21,7$  km/s groter. De hoeveelheid tijd die dan nodig is om een miljoen lichtjaar te maken is:  $\frac{9,46 \cdot 10^{18}}{21,7} = 4,36 \cdot 10^{17}$  s =  $1,38 \cdot 10^{10}$  jaar. Dit komt overeen met  $13,8$  miljard jaar.
- 50 a Indien  $65\%$  van de sterren minstens 1 planeet heeft, zijn er minstens  $200 \times 0,65 = 130$  miljard planeten.
- b Als  $17\%$  van de sterren een planeet van aardachtige grootte heeft, dan zijn dat er  $34$  miljard in de Melkweg.

- 51 a Als er 1 ster per elke  $250$  lichtjaar<sup>3</sup> (kubieke lichtjaar) is, dan betekent dat dat elke ster  $250$  lichtjaar<sup>3</sup> rond om zich heeft, waar geen andere ster in voorkomt. Als we aannemen dat dit volume als een bol rond de ster zit, dan is de gemiddelde afstand tussen twee sterren:  
$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{750(\text{lichtjaar}^3)}{4\pi}} = 3,9 \text{ lichtjaar.}$$
Als  $65\%$  van de sterren een planeet heeft, dan is het gemiddelde volume waarin zich een ster met planeet bevindt:  $\frac{250}{0,65} = 384,6$  lichtjaar<sup>3</sup>.

De afstand tot de dichtstbijzijnde ster met een planeet is

$$\text{dan: } r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{1153,85}{4\pi}} = 4,5 \text{ lichtjaar.}$$

- b Als  $17\%$  van de sterren een planeet van aardachtige grootte heeft, dan betekent dat, dat er  $0,17/250 = 6,8 \cdot 10^{-4}$  sterren per lichtjaar<sup>3</sup> zijn met een planeet van aardachtige afmetingen. Elke ster heeft dan dus een volume van:  $V = \frac{1}{6,8 \cdot 10^{-4}} = 1470,6$  lichtjaar<sup>3</sup> rond om zich waarin geen ster is die een planeet heeft met aardachtige afmetingen. De gemiddelde afstand tussen sterren met zo'n planeet is dan:  
$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4411,8}{4\pi}} = 7,1 \text{ lichtjaar.}$$
- c De berekening is hetzelfde als bij b maar nu met  $1\%$ . De gemiddelde afstand is nu  $18$  lichtjaar.
- d Als op één van de duizend aardachtige planeten leven ontstaat en één op de honderd sterren heeft een aardachtige planeet, dan heeft dus één op de  $10^5$  sterren een bewoonde planeet. Dus er zijn dan:  $\frac{1}{250} \times 0,01 \times 0,001 = 4 \cdot 10^{-8}$  sterren per lichtjaar<sup>3</sup> met een bewoonde planeet. Dus elke ster heeft dan een volume van:  $\frac{1}{4 \cdot 10^{-8}} = 2,5 \cdot 10^7$  lichtjaar<sup>3</sup>. Dus ze staan dan gemiddeld:  $r = \sqrt[3]{\frac{75 \cdot 10^7}{4\pi}} = 1,8 \cdot 10^2$  lichtjaar van elkaar af. Dit is voor onze huidige techniek onoverbrugbaar, maar in feite is dit heel dichtbij. De Melkweg barst dus van het leven als deze aannames kloppen.

- 52 a Bij  $1$  bar:  $0 - 100$  °C =  $273,15 - 373,15$  K.
- b Aarde, Mars en Jupiter.
- c Het Kepler-11 systeem is het meest compacte systeem tot nu toe gevonden (2013), de buitenste planeet zit slechts vlak buiten de baan van Mercurius terwijl de ster een G type ster is die erg op de zon lijkt, het is dus op geen van de planeten mogelijk om vloeibaar water te hebben.
- 53 a Gliese b en c liggen in die zone.
- b Aangezien het gasreuzen zijn, lijkt het onwaarschijnlijk dat er leven op deze planeten kan voorkomen.
- c Ja, in principe zou daarop vloeibaar water kunnen voorkomen.

54  $15,3 \text{ lichtjaar} = 15,3 \times 2,998 \cdot 10^8 \times 3600 \times 24 \times 365 = 1,45 \cdot 10^{17} \text{ m} = 1,45 \cdot 10^{14} \text{ km.}$

$\frac{1,45 \cdot 10^{14}}{58536} = 2,473 \cdot 10^9 \text{ h} = 2,82 \cdot 10^5 \text{ jaar.}$

55 a De theorie is dat een inslag op Mars 15 miljoen jaar geleden het stuk steen de ruimte in heeft geslingerd, en dat deze 13 000 jaar geleden op aarde is ingeslagen.

b Dit is minder waarschijnlijk, de aarde heeft een grotere aantrekkingskracht, het is daardoor veel moeilijker een stuk steen in de ruimte te krijgen. Bovendien hielp de aantrekkingskracht van de zon de steen in de richting van de aarde, andersom kan dat niet omdat de aarde dichterbij de zon staat dan Mars.

c Nee, aangezien we weten dat 65 miljoen jaar geleden een grote meteoriet op aarde insloeg, kan het toch zo zijn dat een stuk van de aarde op Mars is gekomen. Als op dat stuk steen wat microben leefden en die de reis overleefden, kan aards leven van 65 miljoen jaar geleden zich op Mars verspreid hebben.

**Toepassing**

1 Er geldt dus:  $T_p \cdot \sqrt{r} = \text{constante}$ , volgens *Binas* tabel 31 is op aarde de gemiddelde oppervlakte temperatuur overdag:  $T_p = 295 \text{ K.}$   
 $r = 0,1496 \cdot 10^{12} \text{ m} = 1 \text{ AE.}$  Dus:  
 constante =  $295 \cdot \sqrt{1} = 295 \text{ K} \sqrt{\text{AE.}}$

2 Volgens *Binas* tabel 31 staat Mars op een afstand  $r = 0,228 \cdot 10^{12} \text{ m}$  van de zon.  
 Dat is:  $r = \frac{0,228}{0,1496} = 1,52 \text{ AE.}$   
 Dus: constante =  $T \cdot \sqrt{r} \Rightarrow 295 = T \cdot \sqrt{1,52}$   
 Hieruit volgt:  $T = \frac{\text{constante}}{\sqrt{1,52}} = \frac{295}{\sqrt{1,52}} = 239 \text{ K} = -34 \text{ }^\circ\text{C.}$

3  $\frac{T^2}{P} = \frac{4\pi^2}{GM} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$ ,  $T = 4,2 \text{ dagen} = 4,2 \times 24 \times 3600 = 3,63 \cdot 10^5 \text{ s.}$  Verder is gegeven dat  $M = M_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ , dus:

$$r = \sqrt{\frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 1,9884 \cdot 10^{30} \times (3,63 \cdot 10^5)^2}{4\pi^2}}$$

$$r = 7,63 \cdot 10^9 \text{ m} = \frac{7,63 \cdot 10^9}{1,496 \cdot 10^{11}} = 0,051 \text{ AE}$$

4 De oppervlaktetemperatuur zal duizend tot enkele duizenden graden Kelvin zijn, er kan dus zeker geen leven voorkomen op basis van water.

5 De straal van de zon is nu  $r_{\text{zon}} = 6,963 \cdot 10^8 \text{ m}$ , de uiteindelijke straal wordt dan:  
 $r_{\text{einde}} = 256 \times 6,963 \cdot 10^8 = 1,783 \cdot 10^{11} \text{ m} = 1,19 \text{ AE.}$

6  $L = m \cdot v \cdot r \Rightarrow r = \frac{L}{m \cdot v}$   
 Met  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  levert dit:  
 $r = \frac{L}{m \cdot \sqrt{\frac{GM}{r}}} \Rightarrow r = \frac{L \cdot \sqrt{r}}{m \cdot \sqrt{GM}}$   
 $\frac{r}{\sqrt{r}} = \sqrt{r} = \frac{L}{m \cdot \sqrt{GM}} \Rightarrow r = \frac{L^2}{m^2 \cdot G \cdot M}$

7  $\frac{r_{\text{oud}}}{r_{\text{nieuw}}} = \frac{\frac{L^2}{m^2 MG}}{\frac{L^2}{m^2 \cdot 0,668 M \cdot G}}$   
 $= \frac{m^2 \cdot 0,668 M \cdot G}{L^2} \cdot \frac{L^2}{m^2 \cdot M \cdot G} = 0,668$   
 $r_{\text{nieuw}} = \frac{r_{\text{oud}}}{0,668} = 1,50 \text{ AE}$

8  $\frac{r_{\text{oud}}}{r_{\text{nieuw}}} = \frac{\frac{L^2}{m^2 MG}}{\frac{L^2}{(0,85L)^2}} = \frac{m^2 \cdot 0,668 M \cdot G}{(0,85L)^2} \cdot \frac{L^2}{m^2 \cdot M \cdot G} =$   
 $0,925 r_{\text{nieuw}} = \frac{r_{\text{oud}}}{0,925} = 1,08 \text{ AE}$

Helaas zal de aarde tóch opgeslokt en verpulverd worden!

9 De diameter van Jupiter op de bijlage is 13,7 cm; de diameter van het litteken is 1,2 cm. Volgens *Binas* tabel 31 is de straal van Jupiter gelijk aan  $69,9 \cdot 10^6 \text{ m}$ , de diameter is dan  $1,398 \cdot 10^8 \text{ m.}$

Er geldt:  $\frac{13,7}{1,2} = \frac{1,398 \cdot 10^8}{d_{\text{litteken}}}$  zodat  $d_{\text{litteken}} = 1,225 \cdot 10^7 \text{ m.}$

De straal van de aarde is  $6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$ ; de diameter is dan  $1,274 \cdot 10^7 \text{ m}$ . Het litteken van de inslag is dus net iets kleiner dan de diameter van de aarde.

10 Voor de kinetische energie geldt:  
 $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \cdot 10^{12} \times (3,0 \cdot 10^4)^2 = 9,0 \cdot 10^{20} \text{ J}$   
 Dit is  $\frac{9,0 \cdot 10^{20}}{3,6 \cdot 10^6} = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh.}$

Een gezin gebruikt per jaar gemiddeld 4500 kWh aan elektrische energie. Er zijn  $6 \cdot 10^6$  huishoudens die totaal  $2,7 \cdot 10^{10} \text{ kWh}$  elektrische energie verbruiken. Met de energie van het object zouden de Nederlandse huishoudens  $\frac{2,5 \cdot 10^{14}}{2,7 \cdot 10^{10}} = 9 \cdot 10^3$  jaar toe kunnen.

11 Voor de snelheid van een punt op de evenaar geldt:  
 $v = \frac{2\pi r}{T}$ . De straal van Jupiter is  $\left(\frac{69,91 \cdot 10^6}{6,371 \cdot 10^6}\right) = 10,97$  maal zo groot als de straal van de aarde.  
 De (siderische) rotatieperiode van Jupiter is  $\frac{0,413}{1} = 0,413$  maal zo klein als die van de aarde.  
 De snelheid van een punt op de evenaar van Jupiter is daarom  $\frac{10,97}{0,413} = 26,6$  maal zo groot als de snelheid van een punt op de evenaar van de aarde. Inge heeft dus gelijk.

12 Voor de snelheid van een planeet die om de zon draait, geldt:  $v = \frac{2\pi r}{T}$ .  
 De (gemiddelde) afstand van Jupiter tot de zon is  $0,7883 \cdot 10^{12} \text{ m}$ ; de (gemiddelde) afstand van de aarde tot de zon is  $0,1496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ .  
 Jupiter staat dus 5,269 maal verder weg.  
 De omlooptijd van Jupiter om de zon is 11,86 jaar.  
 De omlooptijd van de aarde is 1 jaar. De snelheid van Jupiter om de zon is dus  $\frac{5,269}{11,86}$  maal de snelheid van de aarde. Alex heeft dus geen gelijk.

- 13 C
- 14 Voor de gravitatiekracht geldt:  $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ .  
 De verhouding  $\frac{m_{\text{jupiter}}}{m_{\text{aarde}}} = \frac{1900 \cdot 10^{24}}{5,972 \cdot 10^{24}} = 318,2$ .  
 De verhouding  $\left(\frac{r_{\text{jupiter-zon}}}{r_{\text{aarde-zon}}}\right)^2 = \frac{(0,7883 \cdot 10^{12})^2}{(0,1496 \cdot 10^{12})^2} = 27,77$ .  
 De gravitatiekracht van de zon op Jupiter is dus  $\frac{318,2}{27,77} = 11,46$  maal zo groot als de gravitatiekracht van de zon op aarde.
- 15 De eerste vraag is een strikvraag, de massa van Inge is hetzelfde als de massa van Inge op aarde, omdat massa een maat voor de hoeveelheid materie is. De valversnelling op Jupiter is  $24,9 \text{ m/s}^2$ . De aanwijzing op de weegschaal is  $\frac{24,9}{9,81} = 2,54$  maal zo groot als  $62 \text{ kg}$ . De weegschaal geeft dan  $157 \text{ kg}$  aan.
- 16 Omdat deze manen om Jupiter draaien en niet om de aarde, wordt het geocentrisch wereldbeeld onderuitgehaald. In het geocentrisch wereldbeeld draaien alle planeten en manen om de aarde en dat is hier niet zo.
- 17 Uit *Binas* blijkt: 1 parsec =  $3,08572 \cdot 10^{16} \text{ m}$  en 1 lichtjaar =  $9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$ . Hieruit volgt dat de afstand tussen ons en de ster  $\frac{140 \times 3,08572 \cdot 10^{16}}{9,461 \cdot 10^{15}} = 457$  lichtjaar is.
- 18 Voor de dichtheid geldt:  $\rho = \frac{m}{V}$ . Het volume van de planeet, uitgedrukt in dat van de aarde, is:  $(1,8)^3 V_{\text{aarde}} = 5,8V_{\text{aarde}}$ . Als de dichtheid van de planeet gelijk is aan die van de aarde moet zijn massa gelijk zijn aan  $5,8m_{\text{aarde}}$ .
- 19 Een 'jaar' op de planeet is gelijk aan de tijd tussen twee transits. De tijd tussen vijf passages is  $242 - 143 = 99 \text{ h}$ . Een omloop duurt dus  $\frac{99}{5} = 19,8 \text{ h}$ . Dat is  $\frac{19,8}{24} = 0,83$  dagen en dat klopt met de waarde in de tabel.
- 20 straal planeetbaan:  $r = 2,54 \cdot 10^9 \text{ m}$   
 omlooptijd:  $0,83 \text{ dag} = 19,92 \text{ uur}$   
 Dus:  $v_{\text{Corot-7b}} = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \cdot 2,54 \cdot 10^9 \text{ m}}{19,92 \cdot 3600 \text{ s}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$   
 $= 2,2 \cdot 10^2 \text{ km/s}$
- 21 Neem aan dat de snelheid waarmee de 'donkere vlek' langs de ster beweegt bij benadering gelijk is aan de baansnelheid van de planeet. Dan geldt:  $s = vt$ , waarin  $s$  gelijk is aan de diameter van de ster,  $v = 2,2 \cdot 10^2 \text{ km/s}$  en  $t$  de tijd dat de ster wordt verduisterd =  $1,1 \text{ h}$ . Hieruit volgt dat de diameter van de ster ongeveer gelijk is aan  $2,2 \cdot 10^2 \times 1,1 \times 3600 = 9 \cdot 10^5 \text{ km}$ .
- 22 De kleur van de ster is roder, want volgens de wet van Wien geldt:  $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_w$ . Dus:  $\lambda_{\text{max}} = \frac{k_w}{T}$ , als  $T$  kleiner is, dan wordt  $\lambda_{\text{max}}$  groter. De ster zal zijn maximale intensiteit bij een langere golflengte hebben en daardoor is hij roder.
- 23 C
- 24 De effectieve temperatuur van de zon is  $5780 \text{ K}$  (*Binas* tabel 32B). De absolute effectieve temperatuur van zonnevlekken is  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  lager. Deze temperatuur is dus  $5780 - 1250 = 4530 \text{ K} = 4,53 \times 10^3 \text{ K}$ .
- 25 De temperatuur van een zonnevlek is lager dan de temperatuur van de directe omgeving. Volgens de wet van Wien:  $\lambda_{\text{max}} T = \text{constant}$ , is  $\lambda_{\text{max}}$  van het uitgezonden licht dan groter. De kleur van het licht van de zonnevlek is daarom roder dan de kleur van het licht uit de directe omgeving.
- 26 Uit de grafiek op de uitwerkbijlage is af te lezen dat de periode van zonnevlekken circa 11 jaar is. Als de grafiek naar rechts wordt uitgebreid blijkt dat er in 2011 een maximum in het aantal zonnevlekken zou moeten zijn. In 2012 moeten er dus veel zonnevlekken te zien zijn.
- 27 Voor de rotatiesnelheid geldt:  $v = \frac{2\pi r}{T}$  waarin  $r$  de straal van de zon is en  $T$  de rotatieperiode van de zonnevlek. De straal van de zon is  $0,696 \cdot 10^9 \text{ m}$ , de rotatieperiode van de zonnevlek is  $2 \times 11 = 22$  dagen. Invullen levert  $v = \frac{2\pi \times 0,696 \cdot 10^9}{22 \times 24 \times 3600} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ .

**Proefwerkgaven**

- 1 a Als we vanuit de richting van de interessante ster naar de aarde zouden kijken, zouden we de telescopen op de grond onder ons door zien schuiven doordat de aarde om haar as draait. Als de telescoop meteen bij zonsondergang zou gaan waarnemen en dit tot zonsopkomst kon doen, dan zou je nog zo'n telescoop aan de andere kant van de aarde nodig hebben om dit ook te doen. Je hebt dan dus minimaal twee telescopen nodig om de hele dag te kunnen waarnemen. Maar omdat objecten dicht bij de horizon slecht te zien zijn, en bij schemering niet goed waar te nemen is, zijn minstens 3 telescopen nodig die elk op één derde van de omtrek van de aarde van elkaar af staan.
- b Chili ligt op het Zuidelijke halfrond, de ster is dus te zien op het zuidelijke halfrond. Je zou dan een observatorium kunnen bouwen in Zuid-Afrika en Australië of Nieuw-Zeeland.
- 2 a  $f = \frac{c}{\lambda}$ , dus  
 $f = \frac{2,998 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^6} = 30 \text{ m}$  en  
 $f = \frac{2,998 \cdot 10^8}{240 \cdot 10^6} = 1,25 \text{ m}$ .

- b Volgens *Binas* tabel 30E absorbeert de atmosfeer alle golflengtes langer dan ongeveer 30 m, het heeft dus geen zin.
- 3 De zon beschijnt de aarde altijd van één kant, de kant die naar de zon is gericht. Op de nachtkant zitten we dus altijd van de zon af gekeerd. Doordat de aarde om de zon draait, verloopt de grens tussen dag en nacht feitelijk dus geleidelijk. Hiervan merken we niks omdat de aarde toch elke dag rond haar as draait. Het effect hiervan is wel dat we dus van de hemelbol rond de zon telkens een ander deel zien, omdat we dus bij het waarnemen altijd van de zon af kijken.
- 4 Zoals bekend hebben binnen- en buitenplaneten in ons zonnestelsel verschillende dichtheden omdat de binnenplaneten voor het grootste deel uit rots bestaan en de buitenplaneten voor het grootste deel uit gas bestaan. Als de straal en de massa bekend zijn, is de dichtheid ook bekend. Je kunt er dus wat over zeggen.
- 5 De ster heeft een maximale intensiteit bij ongeveer:  $\lambda_{\text{max}} = 450 \text{ nm}$ . Volgens de verschuivingswet van Wien is de temperatuur dan:
- $$T = \frac{k_w}{\lambda_{\text{max}}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{4,50 \cdot 10^{-7}} = 6,44 \cdot 10^3 \text{ K.}$$
- 6 a  $F_{\text{mpz}} = F_{\text{grav}} \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = \frac{GmM}{r^2}$
- $$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 4,2 \cdot 10^{16}}{1,08 \cdot 10^5}} = 5,1 \text{ m/s}$$
- b  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 1,08 \cdot 10^5}{5,1} = 133\,056 \text{ s} = 1,5 \text{ d}$
- 7 a Straal aarde:  $r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$   
 Hoogte baan:  $h_{\text{sat}} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$   
 Straal baan:  $r_{\text{aarde}} + h_{\text{sat}} = 1,28 \cdot 10^7 \text{ m}$ .
- b  $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$
- $$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 1,28 \cdot 10^7}{4,0 \times 3600} = 5585 \text{ m/s}$$
- $$F_{\text{mpz}} = \frac{194 \times (5585)^2}{1,28 \cdot 10^7} = 473 \text{ N}$$
- c  $F_{\text{grav}} = \frac{GMm}{r^2} = \frac{6,67384 \cdot 10^{-11} \times 194 \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{(1,28 \cdot 10^7)^2} = 474 \text{ N}$
- Dit is ongeveer gelijk aan de middelpuntzoekende kracht.
- 8 De oppervlakte van Nederland is ongeveer 40 duizend km<sup>2</sup>. Voor het oppervlak van de aarde geldt:
- $$A_{\text{aarde}} = 4\pi r_{\text{aarde}}^2$$
- Er vallen  $\frac{365}{1,5} = 243$  meteorieten per jaar op aarde met een massa van ongeveer 1 kg. De hoeveelheid die in Nederland valt is dan:
- $$\frac{A_{\text{Nederland}}}{A_{\text{aarde}}} \times 243 = \frac{4,0 \cdot 10^{10}}{4\pi \times (6,371 \cdot 10^6)^2} \times 243 = 0,01906 \text{ inslagen per jaar.}$$
- Het inslag interval is dan  $\frac{1}{0,01906} = 52 \text{ jaar.}$

# Hoofdstuk 16 Aarde en klimaat

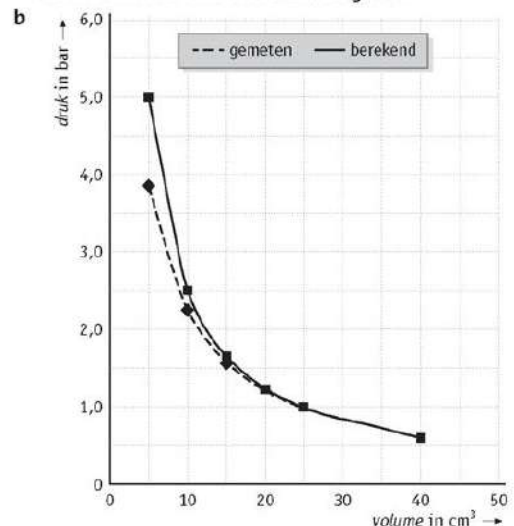
## ■ Introductie

- Eigen antwoord.
- A. De pluim zelf bestaat uit waterdruppeltjes die ontstaan door condensatie van de waterdamp in het eerste stukje.
- $E_z = mgh = 23\,000 \times 9,81 \times 44 = 9,9 \cdot 10^6 \text{ J}$
  - $E_{z(\text{boven})} = E_{k(\text{beneden})} = \frac{1}{2}mv^2$   
 $9,9 \cdot 10^6 = \frac{1}{2} \times 23\,000v^2$   
 $v = 29 \text{ m/s}$
- Je gaat nu 23 000 L verwarmen over een temperatuurverschil van  $119 - 15 = 104 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
De warmte is dus  $23\,000 \times 104 \cdot 4,2 \cdot 10^3 = 1,0 \cdot 10^{10} \text{ J}$ .
- Het koude water wordt door verwarming aan de kook gebracht. De dampbellen bewegen naar boven, dus naar rechts. Daarbij nemen de bellen het hete water mee naar boven. Vervolgens druppelt het hete water op de koffie.
  - In het rechter buisje zit een mengsel van dampbellen en water. Dat heeft een kleinere dichtheid dan het koude water links.
- Het water staat onder hoge druk. Door de kookvertraging is er ineens heel veel damp waardoor de druk nog verder oploopt.
- C. De Strokur heeft een kleiner ondergronds waterreservoir, waardoor er minder water opgewarmd hoeft te worden totdat de temperatuur genoeg opgelopen is.
- Als je het oververhitte water uit de magnetron haalt, kan het plotseling heftig gaan koken.

## ■ 16.1 luchtdruk

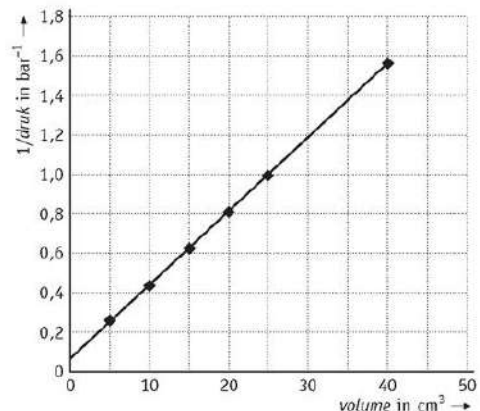
- Op de maan is geen lucht dus ook geen luchtdruk.
  - De zwaartekracht op 7 kg is  $7 \times 9,81 = 69 \text{ N}$ .  
De druk is dus  $69/8 = 8,6 \text{ N/cm}^2 = 8,6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .  
*Ofwel 69 N delen door 0,0008 m<sup>2</sup> is 8,6 · 10<sup>4</sup> Pa.*
  - De druk kan natuurlijk ook hoger zijn, je weet alleen dat hij niet kleiner is, want dan zou de 7,0 kg niet blijven hangen.
- De lucht drukt met 10 N op elke cm<sup>2</sup>. De oppervlakte van de deksel is  $\pi r^2 = \pi \times 2,9^2 = 26,4 \text{ cm}^2$ .  
De totale kracht van de lucht is dus  $10 \times 26,4 = 264 \text{ N} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ N}$ .
  - Op de onderkant van de jampot werkt dezelfde kracht omhoog.

- Aan de onderkant van de deksel is de druk veel lager: daar zit alleen waterdamp. Bij de tweede keer zit er ook lucht in de pot.
- Als de druk niet verandert en de kracht wordt veel groter, moet het oppervlak dus ook groter worden. Het contactoppervlak met de weg wordt ook bijna viermaal zo groot, doordat de band daar een stukje indeukt.
- Als het volume tweemaal zo klein wordt, dan wordt de druk minder dan tweemaal zo groot.



c

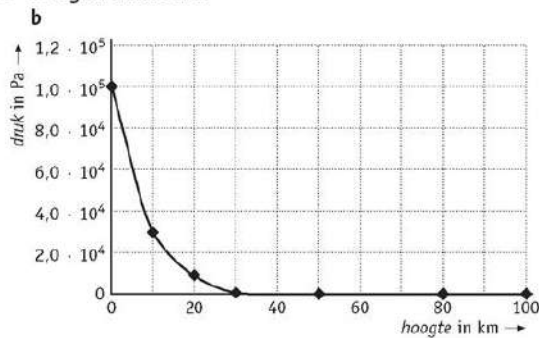
volume in cm <sup>3</sup>	druk in bar	1/druk in 1/bar
40	0,64	1,56
25	1,00	1,00
20	1,23	0,81
15	1,59	0,63
10	2,25	0,44
5	3,86	0,26



d Als je rekening houdt met de lucht in de manometer, gaat de grafiek van vraag c wel door de oorsprong. De grafiek schuift een stukje naar rechts.

- 5 a  $\Delta p = 9,8 \times 130 = 1274 \text{ Pa} = 0,013 \text{ bar}$ .  
De nieuwe druk is dus 1,03 bar.  
b Het volume is evenredig met de hoogte van de luchtkolom en het volume is ook omgekeerd evenredig met de druk, dus is de hoogte omgekeerd evenredig met de druk.  
c  $h \times 1,03 = 16,0 \times 1,02$   
 $h = 15,8 \text{ cm}$   
d De temperatuur en het aantal moleculen zijn waarschijnlijk niet constant.

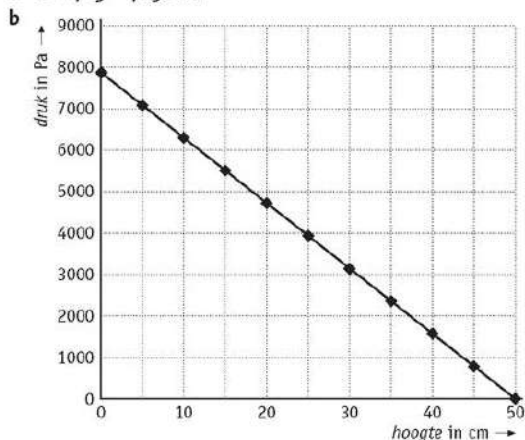
6 a Eigen antwoord.



- 7 a  $19 \times 9 \times 5 = 855 \text{ cm}^3 = 8,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$   
b massa = dichtheid  $\times$  volume  
massa =  $1,60 \cdot 10^3 \times 8,55 \cdot 10^{-4} = 1,37 = 1,4 \text{ kg}$   
c  $F_z = 1,37 \times 9,81 = 13,4 \text{ N}$   
d  $p = F/A = 13,4 / (19 \times 9) = 0,0785 \text{ N/cm}^2 = 785 \text{ Pa}$   
e De steen is ruw zodat de luchtdruk ook aan de onderkant op de steen drukt. Zo blijft alleen de druk van de steen zelf over.

- 8 a Ook 785 Pa.  
b Een tweemaal zo grote massa drukt op hetzelfde oppervlak. Dus 1570 Pa.

9 a  $10 \times 785 = 7850 \text{ Pa}$



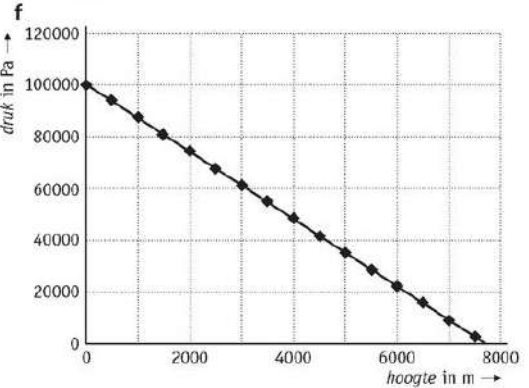
10 a Het volume is 1 m<sup>3</sup>. Dus de massa is 1,29 kg.

b  $F_z = 9,81 \times 1,29 = 12,7 \text{ N}$

c  $p = F/A = 12,7/1 = 13 \text{ Pa}$

d  $10^3/13 = 7692 = 7,7 \cdot 10^3$

e Dus  $7,7 \cdot 10^3 \text{ m}$ .



g De druk daalt in dit model veel sneller. De dampkring is zo nog geen 8 km hoog.

11 a Computer de grafiek laten tekenen.

b Computer de grafiek laten tekenen. De getallen komen nu aardig overeen met de tabel uit *Binas*.

c 100 000 is de druk waarbij de dichtheid gelijk is aan 1,29.

12 Als in een liter gas twee maal zo veel moleculen zitten, is de dichtheid tweemaal zo groot. Maar je hebt ook tweemaal zo veel botsingen van de moleculen. Dus de druk is ook tweemaal zo groot.

13 a De druk neemt geleidelijk af als je hoger komt, dat geldt ook over een afstand van 1 m.

b Het verschil over één meter is erg klein. In het begin is het verschil het grootste, en dan is het nog maar 13 Pa op de 100 000 Pa. Dat is een te verwaarlozen verschil.

14 De dichtheid van de lucht neemt toe als de temperatuur daalt. Hierdoor zal de druk sneller afnemen naarmate je omhoog gaat. Het model zal op grote hoogte een te hoge waarde aangeven.

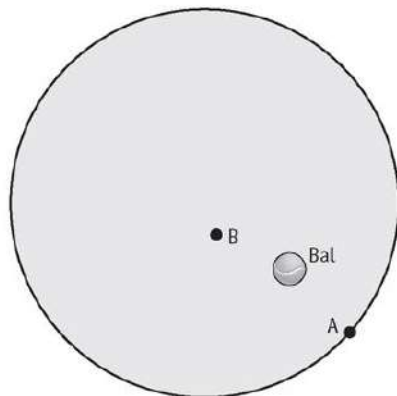
15 Het zwaardere zuurstof zakt meer naar beneden. In hogere luchtlagen is het zuurstofpercentage daardoor lager dan beneden.

16 De zwaartekracht is op de maan zesmaal zo klein als op aarde. En waar de zon schijnt is de temperatuur vele malen hoger, vooral omdat een dag op de maan bijna twee weken duurt. De hogere temperatuur betekent snellere moleculen. Moleculen die snel genoeg zijn om in de ruimte te ontsnappen.

**16.2 Regen en wind**

- 17 B. De dampdruk is maximaal op het moment dat er condensatie plaats vindt. Dat is het geval bij regen.
- 18 a 2488 Pa  
 b  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  is  $21 + 273 = 294\text{ K}$   
 Volgens *Binas* is dan de verzadigingsdruk 2488 Pa.  
 60% is dan  $0,60 \times 2488 = 1,5\text{ kPa}$ .  
 c  $4\text{ }^{\circ}\text{C} = 277\text{ K}$   
 De verzadigingsdruk is dan 814 Pa = 0,814 kPa. Het blikje beslaat, want 1,5 is groter 0,814.
- 19 In de zomer is de temperatuur binnen meestal ongeveer gelijk aan de temperatuur buiten. De relatieve vochtigheid is dan binnen en buiten ook gelijk. In de winter is de temperatuur binnen veel hoger dan buiten. Warme lucht kan veel meer waterdamp bevatten dan koude lucht. Dus is bij dezelfde hoeveelheid waterdamp de relatieve vochtigheid binnen een stuk lager. In de zomer is de luchtvochtigheid binnen het grootst.
- 20 Wolken ontstaan bij opstijgende lucht. Boven land begint de lucht dus op te stijgen. Voordat de lucht voldoende hoogte bereikt heeft, is deze door de wind al een eind landinwaarts geblazen. Aan de kust blijft het dus zonniger. Het westen van de provincie Zeeland is de plek met het grootste aantal zonnuren van Nederland.
- 21 Pulsje
- 22 a Ja want de lucht is veel warmer dan de lucht op de omringende bergen.  
 b Omdat de zeelucht al vier bergruggen over is, is vrijwel alle regen al neergeslagen.

23 a



- b Hoe verder de bal naar binnen komt, hoe groter het verschil in draaisnelheid met de punten die de bal passeert, dus hoe sterker de bal naar rechts afbuigt ten opzichte van de lijn AB.
- c C, als je de luchtweerstand verwaarloost.
- d Er is geen sprake van een echte kracht zoals een zwaartekracht, spankracht of een wrijvingskracht.
- e Zoek een video met als zoekwoord corioliseffect.

- 24 Het lagedrukgebied ligt ten noordwesten van Nederland en het hogedrukgebied ten zuidoosten.
- 25 a Naar het oosten. Rond een hogedrukgebied beweegt de lucht met de wijzers van de klok mee.  
 b Bij een front horen temperatuurswisselingen, met opstijgende luchten vooral bij een lagedrukgebied, waarbij dus gemakkelijk regen ontstaat.  
 c Zuidwestenwind.  
 d Het is in het zuiden meestal warmer dan hier, warmtefronten komen daarom meestal uit het zuiden. Fronten vanuit de noordpool zijn meestal koufronten.
- 26 a  $3 \cdot 10^4\text{ Pa}$   
 b  $1 \times 1,03 \cdot 10^5 = V \times 3 \cdot 10^4$   
 $V = 3,4\text{ m}^3$   
 c Door de temperatuurdaling zal de lucht krimpen. In werkelijkheid zal het minder dan  $3,4\text{ m}^3$  zijn. Het antwoord op vraag b is dus te groot.  
 d  $3,4/306 = V/223$   
 $V = 2,5\text{ m}^3$   
 e  $p = 6,65 \cdot 10^4\text{ Pa}$   
 $\Delta V = 2,5 - 1 = 1,5\text{ m}^3$   
 arbeid =  $1,5 \times 6,65 \cdot 10^4 = 1,0 \cdot 10^5\text{ J}$   
 f De gemiddelde druk is lager, dus de arbeid ook. Het antwoord van e is dus te hoog.  
 g  $1,0 \cdot 10^5 = 1,0 \cdot 10^3 \times 1,18 \times \Delta T$   
 $\Delta T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$

27 a  $F = \frac{4\pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sin(52^{\circ})}{24 \times 3600} = 1,1 \cdot 10^{-4}\text{ N}$

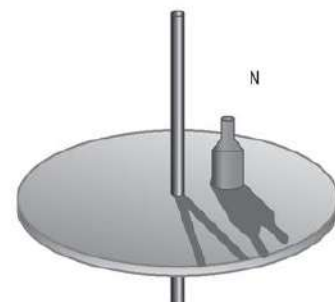
b Deze kracht is te klein om enig effect te veroorzaken.

28 Eigen antwoord.

**16.3 Zomer en winter**

- 29 De zon komt op in het oosten en gaat onder in het westen. De foto is dus in de avond genomen.

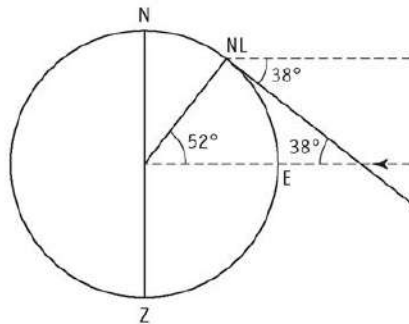
30 a, b



Om 4 en 5 uur 's middags staat de zon in het westen (nog iets zuidelijker), dus het noorden ligt aan de rechterkant van de figuur.

- b De schaduw is niet alleen een stukje gedraaid, maar ook langer geworden. Dat zie je niet aan de parasolschaduw, maar wel aan de schaduw van het flesje.

- 31 a De hoek van  $23,5^\circ$  is de rode hoek en die van  $52^\circ$  de blauwe.  
 b De kleinste hoek is  $52 - 23,5 = 28,5^\circ$ . De andere scherpe hoek is  $90 - 28,5 = 61,5^\circ$ .  
 c De gevraagde hoek is een Z-hoek met  $61,5^\circ$ , dus ook  $61,5^\circ$ .  
 d De grootste scherpe hoek is  $23,5 + 52 = 75,5^\circ$ . De kleinste scherpe hoek is dus  $90 - 75,5 = 14,5^\circ$ .  
 e De gevraagde hoek is weer een Z-hoek met  $14,5^\circ$ . Het antwoord is dus ook  $14,5^\circ$ .  
 f De zon schijnt nu recht op de evenaar, dus de aardas staat loodrecht op de evenaar. De kleine hoek van de rechthoekige driehoek is nu  $38^\circ$ , dus dat is ook de hoek die de zon met de horizon maakt.



- 32 Er zijn geen wolken die de straling absorberen en weer warmtestraling terugstralen.
- 33 a Ja, de uitgezonden straling hangt alleen af van de temperatuur van de bodem. Alleen is overdag de ingestraalde energie groter dan de uitgestraalde.  
 b C. Om 18:00 uur heeft de bodem de hoogste temperatuur en is de uitstraling ook maximaal.
- 34 a Het volume van de bodem is  $1 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^3$ .  
 $m = \rho V = 1,5 \cdot 10^3 \times 0,1 = 1,5 \cdot 10^2 \text{ kg} = 150 \text{ kg}$   
 b  $E = P \cdot t = 600 \times 6 \times 3600 = 1,3 \cdot 10^7 \text{ J}$   
 c  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 2,0 \cdot 10^3 \times 150 \times \Delta T = 1,296 \cdot 10^7$   
 $\Delta T = 43^\circ \text{C}$   
 d Er vindt ook afkoeling plaats door straling en stroming.  
 e De massa =  $1 \times 998 \text{ kg}$ .  
 $Q = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow$   
 $0,7 \times 1,296 \cdot 10^7 = 4,18 \cdot 10^3 \times 998 \times \Delta T$   
 $\Delta T = 2,2^\circ \text{C}$ .
- 35 De dampkring zorgt voor gematigde temperaturen op aarde.  
 Een etmaal duurt op de maan 27 dagen. Het is dus veel langer achter elkaar licht en donker, waardoor de temperatuurverschillen veel groter zijn.
- 36 a  $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4\pi(1,47 \cdot 10^{11})^2} = 1,42 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$   
 b  $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3,85 \cdot 10^{26}}{4\pi(1,52 \cdot 10^{11})^2} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$   
 c Extra energie is  $0,09/1,33 \times 100\% = 7\%$ .  
 d In de zomer staat de zon veel langer en hoger aan de hemel, waardoor er meer warmte wordt ingestraald.

37 a



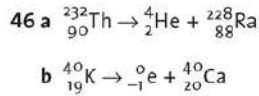
- b Ten zuiden van  $30^\circ$  heb je de wind mee als je naar Amerika zeilt en tussen  $30^\circ$  en  $60^\circ$  heb je de wind mee als je terug zeilt.
- 38 a Het lage stukje in de ochtend is korter dan in de avond. Dat wijst op een richting meer naar het oosten.  
 b De gemiddelde hoogte van de zon in februari past beter bij de tamelijk steile helling dan die in mei. In februari staan de zonnestrallen dus meer loodrecht op de panelen waardoor het maximum hoger is.  
 c Elk piekje is het vermogen per 10 minuten. Je hebt dus 6 piekjes met waarde 1 nodig voor 1 kWh. Het totaal aantal kWh is  $186/6 = 31 \text{ kWh}$ .  
 d Kennelijk valt er in de ochtend schaduw op een deel van de panelen waardoor de opbrengst kleiner is.

### 16.4 Aardbevingen

- 39 Geluidsgolven zijn longitudinaal, net als de primaire golven. Dat zijn dus geluidsgolven.
- 40 Het gewicht is traag, zodat de naald niet mee beweegt met de aarde.
- 41 De secundaire golven komen niet door de buitenkern omdat deze vloeibaar is. De primaire golven veranderen van richting aan de overgang van de buitenkern naar de binnenkern.
- 42 a De geluidssnelheid in ijzer is  $5,1 \text{ km/s}$  en in marmer  $3,8 \text{ km/s}$ . De geluidssnelheid in het binnenste van de aarde varieert tussen de  $8$  en bijna  $14 \text{ km/s}$ , dat is dus veel groter.  
 b Hoe dieper je komt des te hoger de druk en ook de snelheid.  
 c Daar dempen de secundaire golven en neemt de snelheid van de primaire golven af.  
 d In de buurt van de kern neemt de druk nauwelijks meer toe.
- 43 Eigen antwoord.
- 44 a Bijvoorbeeld Recife in Brazilië en Mount Cameroon in Afrika.  
 b Deze liggen  $4380 \text{ km}$  uit elkaar.  
 c snelheid = afstand/tijd  
 $\text{snelheid} = 4380 \cdot 10^5 \text{ cm} / 210 \cdot 10^6 = 2,1 \text{ cm/jaar}$



- 45 a Op  $t = 0$  is de energie  $12 \cdot 10^{12}$  W/kg en op 1,3 miljard jaar is de energie gehalveerd.  
 b *Binas* tabel 25A:  $1,28 \cdot 10^9$  jaar. Dat klopt dus.

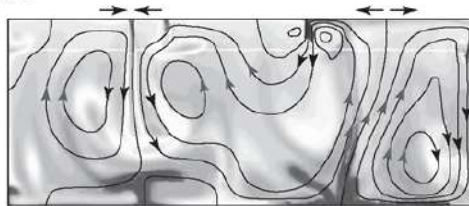


- 47 De straling levert nu  $6,5 \cdot 10^{12}$  W/kg aan vermogen. De massa van de aarde is  $5,972 \cdot 10^{24}$  kg (*Binas*). Het totale vermogen is dus  $6,5 \cdot 10^{12} \times 5,972 \cdot 10^{24} = 3,9 \cdot 10^{13}$  W.  
 $E = P \cdot t = 3,9 \cdot 10^{13} \times 24 \times 3600 \times 365 = 1,2 \cdot 10^{21}$  J

- 48 a Aardbevingen vinden vooral plaats op de grenzen van de tektonische platen.  
 b Hetzelfde geldt voor vulkanische activiteiten.

- 49 In 2015 is er  $2015 - 930 = 1045$  jaar verstreken. Dat komt dus overeen met een verschuiving van ruim 10 meter.

50 a, b



- 51 a Op de grens van de Nazcaplaat en de Zuid-Amerikaanse plaat.  
 b De aarde onder de korst is mee omhoog bewogen, zodat ondanks de hoogte de korst toch dun is. Door de dunne aardkorst is vulkanische activiteit mogelijk.
- 52 a De platen botsen en door de gelijke dichtheid schuift de ene plaat niet zo gemakkelijk onder de andere. Hierdoor wordt het grensvlak steeds meer opgestuwd.  
 b De grens heeft eerst op zeeniveau gelegen. Toen hebben de schelpdieren geleefd. In de loop de miljoenen jaar zijn ze de hoogte ingedreven door de botsende platen.
- 53 In de eerste tekening zie je hoe de rechter plaat naar links beweegt ten opzichte van de linker plaat. Bij het rode contactoppervlak zitten de platen echter aan elkaar vast.  
 In de tweede figuur zie je hoe de rechterplaat onder een steeds grotere spanning komt te staan. In het derde plaatje schiet de plaat los, waarbij de platen een heel stuk over elkaar schuiven. Hierbij ontstaat een aardbeving en een tsunami.

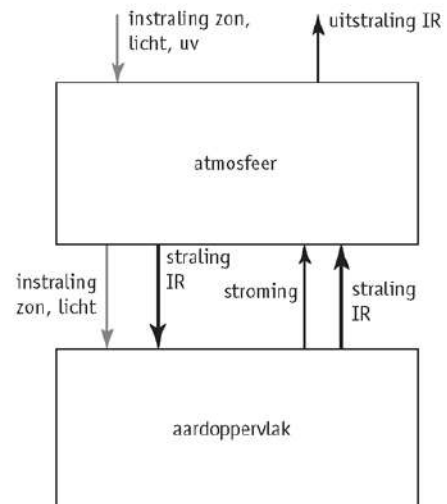
### 16.5 De temperatuur op aarde

- 54 a De loodrechte oppervlakte is de doorsnede van de aarde en dat is een cirkel met straal  $R$ .  
 b  $A = \pi R^2 = \pi \times (6,371 \cdot 10^6)^2 = 1,275 \cdot 10^{14}$  m<sup>2</sup>.

- c De zonneconstante is  $1,368 \cdot 10^3$  W/m<sup>2</sup>. Het vermogen is dus  $1,368 \cdot 10^3 \times 1,275 \cdot 10^{14} = 1,74 \cdot 10^{17}$  W  
 d 38% wordt weerkaatst, dus 62% van  $1,74 \cdot 10^{17} = 1,1 \cdot 10^{17}$  W ontvangt de aarde.  
 e  $15^\circ\text{C} = 288$  K  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 288^4 = 390$  W/m<sup>2</sup>  
 f Het oppervlak van een bol is  $4\pi r^2$ . Dus bij de aardbol  $4\pi \times (6,371 \cdot 10^6)^2 = 5,101 \cdot 10^{14}$  m<sup>2</sup>. Als je dit getal met 390 vermenigvuldigt krijg je:  $1,99 \cdot 10^{17}$  W.  
 g Het netto vermogen dat uitgezonden wordt is het verschil tussen antwoord f en antwoord d:  $1,99 \cdot 10^{17} - 1,1 \cdot 10^{17} = 9 \cdot 10^{16}$  W.  
 h  $I = 1,1 \cdot 10^{17} / 5,101 \cdot 10^{14} = 216$  W/m<sup>2</sup>. De temperatuur die hierbij hoort vind je met de wet van Stefan-Boltzmann:  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times T^4 = 216$  W/m<sup>2</sup>  
 $T = 248$  K ( $= -25^\circ\text{C}$ )

- 55 a 390 W  
 b  $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 2734 = 315$  W/m<sup>2</sup>  
 Voor 0,5 m<sup>2</sup> is dat dus 157,5 W.  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times 3034 = 478$  W/m<sup>2</sup>  
 Voor 0,5 m<sup>2</sup> is dat dus 239 W.  
 Het totale vermogen rechts is dus 396 W/m<sup>2</sup>.  
 c De fout is relatief klein (6/396), nog geen 2%. Als je de bijbehorende temperatuur uitrekent kom je op 16 °C uit.  
 d Nee, zie opdracht c. En als je rekt zoals opdracht b, wordt het verschil met opdracht 54h nog groter.

56 a, b, c



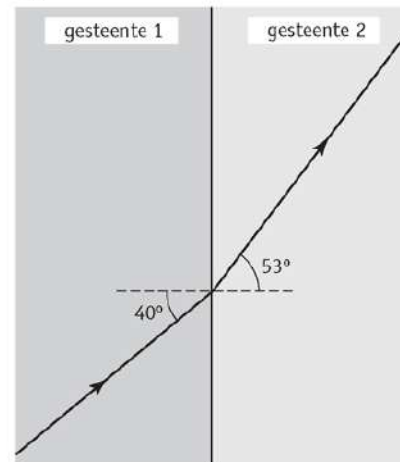
Door het versterkte broeikas effect wordt er meer uitgezonden straling geabsorbeerd. De lucht wordt hierdoor warmer en zendt meer infrarood naar de aarde, die opwarmt en weer meer warmte uitzendt. Uiteindelijk ontstaat een nieuw evenwicht waarbij alleen de uitwisseling van infrarood tussen aarde en atmosfeer is toegenomen, behorende bij een hogere temperatuur aan het aardoppervlak.

- 57 Versterking van het klimaatprobleem: a, c, g.  
Verzwakking van het probleem de andere punten.
- 58 Het ijs op de Noordpool drijft in het zeewater. Als het ijs smelt, krimpt het tot het volume dat onder water zit. Het watervolume neemt dus niet toe. Het ijs op Groenland is landijs. Als dit smelt, komt het in zee en stijgt de zeespiegel wel.
- 59 a Toen Groenland ontdekt werd was de gemiddelde temperatuur op aarde hoger dan nu, waardoor er veel minder ijs was. Het land zag er groen uit.  
b A is dus het juiste antwoord.

**Toepassing**

- 1  $p \cdot V = \text{constant}$   
 $1 \cdot 10^5 \times V = 1 \cdot 10^3 \times 8,5 \cdot 10^5$   
 $V = 8,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
- 2 Beneden is  $T = 288 \text{ K}$  en boven  $230 \text{ K}$ .  
Het volume is dus een factor  $288/230$  groter.  
 $288/230 \times 8,5 \cdot 10^3 = 1,1 \cdot 10^4 \text{ m}^3$
- 3 De massa van het helium is  $1,14 \cdot 10^4 \times 0,188 = 2,14 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . De totale massa van de ballon met helium is dus  $2143 + 1682 + 1315 = 5,1 \cdot 10^3 \text{ kg}$ .  
De verplaatste lucht heeft een massa van  $1,14 \cdot 10^4 \times 1,364 = 1,55 \cdot 10^4 \text{ kg}$ . Deze massa is groter en dus ook de zwaartekracht op de verplaatste lucht. De ballon stijgt dus.
- 4  $F = F_{\text{z(lucht)}} - F_{\text{z(ballon)}} = (1,55 \cdot 10^4 - 5,1 \cdot 10^3) \times 9,81 = 1,1 \cdot 10^5 \text{ N}$   
 $a = F/m = 1,1 \cdot 10^5 / 5,1 \cdot 10^3 = 22 \text{ m/s}^2$
- 5 Nee, de luchtweerstand is veel te groot.
- 6 De arbeid is gelijk aan  $p\Delta V$ .  
 $W = 2 \cdot 10^3 \times (8,5 \cdot 10^5 - 1,1 \cdot 10^4) = 1,7 \cdot 10^9 \text{ J}$ .
- 7 De massa van het helium is  $2143 \text{ kg}$ . (vraag 3)  
 $Q = cm\Delta T$ .  
Binas:  $c(\text{helium}) = 5,1 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$   
 $1,7 \cdot 10^9 = 5,1 \cdot 10^3 \times 2143 \times \Delta T$   
 $\Delta T = 156 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T = 15 - 156 = -141 \text{ }^\circ\text{C}$
- 8 De omgeving is een stuk warmer. Waarschijnlijk neemt de ballon warmte op van de omgeving.
- 9 De relatieve vochtigheid van de lucht op die hoogte is groter dan  $100\%$ . Er heeft nog geen condensatie plaats gevonden door gebrek aan condensatiekernen. Het vliegtuig levert deze kernen, waarna er net zo veel waterdamp bevriest tot de waterdampconcentratie  $4 \text{ Pa}$  is geworden.
- 10 De extra wolken weerkaatsen een gedeelte van de uitstraling vanuit het aardoppervlak waardoor de temperatuur stijgt (vooral 's nachts). De wolken weerkaatsen zonlicht, waardoor de temperatuur juist daalt, vooral overdag.

- 11 Het  $\text{CO}_2$  dat de motoren produceren, versterkt het broeikaseffect.
- 12 Vliegtuigstrepen ontstaan als de temperatuur en de luchtvochtigheid bepaalde waarden hebben.
- 13 Bij longitudinale golven is de trillingsrichting en de voorplantingsrichting gelijk. Bij transversale golven staan die loodrecht op elkaar.
- 14  $\lambda = v/f$   
 $\lambda = 3400/1,2 = 2833 \text{ m} = 2,8 \text{ km}$
- 15  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$   
 $T = \frac{4\pi^2 m}{C}$   
 $T = 1/0,37 = 2,7 \text{ s}$   
 $2,7^2 = 4\pi^2 \cdot 4,2/C$   
 $C = 23 \text{ N/m}$
- 16 Het tijdverschil tussen de L en T is met de schaal van 1 minuut te bepalen:  $3,5$  minuut =  $210 \text{ s}$ .  
De transversale golf heeft de afstand afgelegd in een tijd van:  $2300/3,4 = 676 \text{ s}$ .  
De longitudinale golf heeft er  $210 \text{ s}$  korter over gedaan, dus  $466 \text{ s}$ .  
De snelheid van de longitudinale golf is dus:  
 $v = s/t = 2300/466 = 4,9 \text{ km/s}$ .
- 17  $\frac{\sin 40}{\sin r} = 0,80$   
 $\sin r = 0,64/0,8 = 0,80$   
 $r = 53^\circ$



- 18  $6,3\%$  per eeuw betekent dat je na  $100/6,3 = 16$  eeuwen =  $1,6 \cdot 10^3$  jaar een omkering krijgt.
- 19 Het aardmagneetveld houdt kosmische straling tegen. Het stralingsgevaar zal dus sterk toenemen zonder aardmagneetveld.
- 20 Tegelijkertijd komt er lava uit de aarde die naar links gaat en naar rechts. Dat betekent dus dat dan het aardmagneetveld ook dezelfde richting heeft, of je nu naar links of naar rechts kijkt.

- 21 Onnauwkeurigheden links en rechts middel je tegen elkaar uit.
- 22 8,9 miljoen jaar geleden werd het breedste stuk omgepold (figuur 16.59). Dat komt in figuur 16.61 uit op ongeveer 170 km.
- 23  $170 \text{ km} = 17\,000\,000 \text{ cm}$   
De snelheid is dus  $17\,000\,000 / 8\,900\,000 = 1,9 \text{ cm/jaar}$ .

### Proefwerkopgaven

- 1 a  $A = \pi r^2 = \pi \times 2^2 = 12,6 \text{ cm}^2 = 0,00126 \text{ m}^2$   
 $p = F/A \rightarrow F = pA = 0,00126 \times 1 \cdot 10^5 = 1,3 \cdot 10^2 \text{ N}$   
b  $a = F/m = 126 / 0,20 = 6,3 \cdot 10^2 \text{ m/s}^2$
- 2 a De luchtdruk neemt in die richting af, dus een lagedrukgebied.  
b De lucht beweegt door het drukverschil. Hoe dichter de isobaren bij elkaar liggen, des te groter het drukverschil en dus ook de windsnelheid.  
c De wind waait bijna evenwijdig aan de isobaren met een kleine afwijking richting lagedrukgebied, dus een zuidoostenwind.  
d Er is een hogedrukgebied in de buurt, en de wind waait uit het zuidoosten, niet over zee. Er is dus weinig kans op regen.
- 3 a De pijl staat loodrecht op het vlak van de cirkelboog die de zon langs de hemel aflegt. Dus de pijl wijst naar het noorden.  
b Op 21 maart staat de zon in zijn hoogste stand onder een hoek van  $38^\circ$  met de horizon (zie §16.3 opdracht 31f). De wijzer staat hier loodrecht op:  $90 - 38 = 52^\circ$ , de breedtegraad van Nederland.
- c  $360^\circ$  komt overeen met 24 uur.  $6^\circ$  dus met  $1/60$ e deel =  $24 \text{ uur} / 60 = 24 \text{ min}$ . De klok staat een uur verder dus,  $60 - 24 = 36$  minuten voor.
- d Daar komt in de zomer nog een uur bij: 1 uur en 36 minuten. De zonnewijzer geeft dus 12 uur aan als je horloge op 10:24 staat.
- 4 a De afstand van Venus tot de zon is  $0,1496 / 0,1082 = 1,38$  maal zo klein en het vermogen daarom  $1,38^2$  maal zo groot:  $1,91 \times$   
 $1,91 \times 1,386 = 2,65 \text{ kW/m}^2$ .  
b Er is veel bewolking, die de zonnestralen terugkaatst.  
c 70% wordt teruggekaatst, dus 30% opgenomen:  $0,79 \text{ kW/m}^2$ .  
d Er wordt in alle richtingen warmte uitgezonden. Het oppervlak waar warmte uitgezonden wordt is het oppervlak van een bol:  $4\pi r^2$ . Het loodrechte oppervlak van de planeet dat warmte opvangt is  $\pi r^2$ . Dat scheelt een factor 4.  
e Per  $\text{m}^2$  wordt dus  $0,79 / 4 = 0,20 \text{ kW/m}^2$  uitgezonden. Stefan-Boltzmann:  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times T^4 = 198 \text{ W/m}^2$   
 $T = 243 \text{ K. } (= -30^\circ \text{ }^\circ\text{C})$   
f Het broeikaseffect is veel sterker dan op aarde.

# Hoofdstuk 17 Menselijk Lichaam

## ■ Introductie

- De duikreflex treedt op als je gezicht in aanraking komt met koud water. Op dat moment stopt je ademhalingsreflex en je hartslag vertraagt.  
*Met name jonge kinderen hebben hierdoor een hogere overlevingskans als ze in het water vallen.*
- Als je heel diep duikt (=90 m) wordt de druk op je longen zo groot dat ze zo ver samengeperst worden dat ze loskomen van de binnenkant van je borstkas. Dit veroorzaakt hevige pijn.  
Dit wordt voorkomen doordat er bloedplasma (het doorzichtige deel van je bloed) in je longblaasjes stroomt. De longen worden opgevuld met vloeistof en kunnen daarom niet verder samengeperst worden. Het bloedplasma is afkomstig uit de kleine vaten in je ledematen.
- Valsalva: je neus dichtdrukken en vervolgens proberen via je neus uit te ademen.  
Frenzel: je neus dichtdrukken, tong tegen de bovenkant van je mond aandrukken (zo ver mogelijk naar voren), de achterkant van de tong voorzichtig omhoog bewegen (alsof je aan het slikken bent).  
BTV: je onderkaak tegelijkertijd naar onder en naar voren bewegen terwijl de mond gesloten is (een soort overdreven geeuw).  
Toynbee: je slikt met gesloten mond en neus.
- Eigen antwoord.
- Eigen antwoord.
- Je kunt bijvoorbeeld een schaalverdeling aanbren- gen op de open reageerbuis.

## ■ 17.1 Spraak en gehoor

- De twee knopen zitten aan de beide uiteinden van de stembanden.
  - Dit is een transversale golf.
  - Geluid is een longitudinale golf.
- In de figuur komt 1,7 cm overeen met 1,4 cm. In de figuur is het oppervlak te bepalen met behulp van de driehoek die de opening vormt. De afmetin- gen daarvan zijn  $b \times h = 0,7 \text{ cm} \times 1,4 \text{ cm}$ . Als je rekening houdt met de schaal van de figuur ( $\frac{1,7}{1,4}$ ) komt dit neer op een afmeting van  $b \times h = 0,85 \times 1,7$ . Het oppervlak is dan:  $\frac{1}{2}b \cdot h = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 1,7 = 0,72 \text{ cm}^2 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ .

- Om deze opgave op te lossen moet je ervan uit gaan dat er geen plateau fase is (de lucht staat nooit stil in je longen) en dat je even snel inademt als uitademt.  
Omdat je 0,50 liter inademt én uitademt gaat er per minuut  $2 \times 0,50 \times 14 = 14$  liter lucht door je luchtpijp. Dat is gelijk aan 0,233 liter per seconde.  
 $0,233 \text{ liter} = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
- 3,24 m/s  
De lucht gaat door een opening van  $0,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ .  
Voor de stroomsnelheid geldt dan:  
 $\frac{2,33 \cdot 10^{-4}}{0,72 \cdot 10^{-4}} = 3,24 \text{ m/s}$
- 0,66 liter  
De stroomsnelheid is  $\frac{4,3}{3,24} = 1,33$  maal zo groot. Dat betekent dat er in dezelfde tijd 1,33 maal zo veel lucht moet worden ingeademd.  $1,33 \times 0,50 = 0,66$  liter per inademing.

- Die van mannen is veel groter.
  - Hoe kleiner de adamsappel, hoe hoger de toon.
- De glij- en vloeiklanken zijn al gegeven. Bij de neusklanken komt er geen lucht uit je mond en bij de plofklanken bouw je luchtdruk op in je mond. De rest is wrijfklank. De c kan op twee manieren uitgesproken worden. Voor een u, o of a spreek je de c uit als k.

glij	vloei	plof	neus	wrijf
j,w	l,r	b, c (voor u/o/a), d, k, p, q, t, x	m, n (ng)	c (niet voor u/o/a), f, g, h, s, v, z (sch, ch)

- Er ontstaat extra luchtwrijving omdat je lucht door een kleine opening perst.
  - Een wrijfklank is een medeklinker die geproduceerd wordt met een gedeeltelijke afsluiting in het spraakkanaal. Hierdoor ontstaat hoorbare luchtwrij- ving.
- Het gaat om de verhouding tussen de frequenties. Door de verhouding te vergelijken met de verhou- dingen van de frequenties in de tabel kun je de klinker bepalen.
    - De verhouding tussen de twee formanten met de laagste frequentie is  $1020 : 680 = 1,5$ . Dit komt het best overeen met de a.

- c a en i  
Bovenste plaatje:  $1100 : 800 = 1,4$ ; dus a.  
Onderste plaatje:  $2250 : 250 = 9,0$ ; dus i.
- 6 De samengestelde klinkers. Zoals de 'oe', 'ie', 'eu', 'ei', 'ij' en 'aa'.
- 7 a zo groot  
b De gehoorbeentjes versterken dit drukverschil met een factor 1,3. Het drukverschil is nu  $30 \times 1,3 = 39$  maal zo groot.  
c  $39^2 = 1521 = 1,5 \cdot 10^3$  maal zo groot.  
d Omdat achter het ovale venster vloeistof zit weerkaatst het geluid voor een groot gedeelte. De geluidsintensiteit wordt dus 875 maal zo klein. Deze is nu dus  $\frac{1521}{875} = 1,7$  maal zo groot.  
e Het middenoor dient om het verlies in geluidsintensiteit door de overgang van lucht naar vloeistof te compenseren.
- 8 De versnelling wordt bepaald met behulp van het verschil in traagheid. Dit is onafhankelijk van de zwaartekracht en wordt dus niet beïnvloed door de gewichtloze situatie.
- 9 a 94 dB  
De intensiteit van één toeter is vier maal zo klein als die van vier toeters. De intensiteit halveert dus twee maal, dus het geluidsniveau neemt met  $2 \times 3 = 6$  dB af.  $100 - 6 = 94$  dB.  
b 106 dB  
16 toeters betekent 4 maal zo veel, oftewel 2 maal 2 maal zo veel. Het geluidsniveau neemt dus toe met 6 dB.  
c  $4,1 \cdot 10^3$   
130 dB is 30 dB meer dan 100 dB. 30 dB is 10 maal 3 dB extra. De hoeveelheid toeters moet dus 10 maal verdubbelen.  $2^{10} = 1024$ . Er zijn dus  $1024 \times 4 = 4096 = 4,1 \cdot 10^3$  toeters nodig.
- 10 a 0,50 m  
 $102 - 84 = 18$  dB. Het geluidsniveau moet dus met 18 dB toenemen. Dit is  $\frac{18}{6} = 3$  maal een toename van 6 dB. Bij elke toename van 6 dB halveert de afstand. De afstand moet dus driemaal halveren.  $\frac{4,0}{2^3} = 0,50$  m.  
b 64 keer zo hoog  
Het verschil is 18 dB. Dat is  $6 \times 3$  dB. De geluidsintensiteit is dus zes keer verdubbeld.  $2^6 = 64$  keer zo hoog.
- 11 a Nee, die toon kun je niet horen. Dit punt ligt onder de rode lijn.  
b Een geluidsniveau van ongeveer 40 dB.
- 12 Een demping van 15 dB betekent 5 maal een 3 dB demping, oftewel 5 maal een halvering van de geluidssterkte. Dit is een factor  $2^5 = 32$ .  $\frac{100\%}{32} = 3,1\%$ . Dus  $100 - 3,1 = 97\%$  van het geluid wordt niet doorgegeven.
- 13 a Opmerking: *Binas* tabel 27C1 is beter af te lezen. De daar gevonden getallen staan hierna tussen haakjes. Het geluidsniveau bij 1000 Hz is 2(0) dB en het geluidsniveau bij 200 Hz is ongeveer 12(10) dB. 10 dB verschil is meer dan drie maal 3 dB verschil, dus meer dan drie maal een verdubbeling van de geluidsintensiteit.  $2^3 = 8$  dus het geluid is meer dan acht maal zo hard.  
b Een toon van een bepaald aantal foen klinkt voor elke frequentie even hard. De schaal is geijkt op een frequentie van 1 kHz, dus 80 dB is bij 1 kHz gelijk aan 80 foen.
- 14 a Bij een man van 30 jaar moet een toon van 200 Hz een geluidsniveau hebben dat 0 dB hoger moet liggen dan de geluidsdrempel. De geluidsdrempel voor deze toon is 12(10) dB. Dat betekent dat deze man een toon van 200 Hz en 5 dB niet kan horen.  
b Een 70-jarige vrouw heeft voor een toon van 1000 Hz een geluidsniveau nodig dat 14 dB hoger ligt dan de geluidsdrempel. De geluidsdrempel voor deze toon ligt op 2(0) dB. De toon moet dus een geluidsniveau hebben van  $14 + 2(0) = 16(14)$  dB. De vrouw kan de toon dus niet horen.
- 15 a Meet zelf de afstand  $s$  tussen je oren.  
 $t = \frac{s}{v} = \frac{s}{343} = 2,92 \cdot 10^{-3} \times s = \dots$  seconde  
Voor bijvoorbeeld  $s = 0,20$  m is het 58 ms.  
b In water van 293 K heeft het geluid een snelheid van 1484 m/s. De snelheid in lucht is bij deze temperatuur 343 m/s.  
Onder water gaat geluid  $\frac{1484}{343} = 4,33$  maal zo snel.  
c Deel je antwoord op onderdeel a door 4,33. Bij ons voorbeeld is het 13 ms.  
d Voor een toon van 200 Hz is de golflengte:  
 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{200} = 1,72$  m. Dit is veel groter dan je oorschelp, dus je hoort nauwelijks verschil tussen voor en achter. Omdat lage tonen een relatief klein verschil in geluidsniveau hebben over een afstand van 20 cm (de afstand tussen je oren) hoor je ook weinig verschil tussen links en rechts.  
e Door de grotere geluidssnelheid is volgens  $\lambda = \frac{v}{f}$  de golflengte ook groter dan boven water. Dat maakt het moeilijker om het verschil tussen voor en achter te bepalen.
- 16 a Het geluid dat in je oren komt wordt vervormd door de weerkaatsing op je hoofd en demping door je hoofd. Omdat deze weerkaatsing niet op dezelfde manier plaatsvindt bij het afspelen met meerdere luidsprekers moet deze informatie er tijdens het opnemen al ingestopt worden.  
b Bij katten zitten de oren dicht bij elkaar dan bij mensen. Katten zijn dus kortere tijdverschillen gewend dan mensen. Het is daarom mogelijk dat het geluid voor katten nog meer 3D klinkt dan voor mensen.  
Aan de andere kant hebben katten een andere vorm van kop en oorschelp, dus missen ze misschien informatie die wij wel als 3D interpreteren.

**17.2 Afbeeldingen en zicht**

17 Een duimbreedte is 25,4 mm (1 inch (Binas tabel 5)).

$$\frac{\text{duimbreedte}}{\text{afstand tot duim}} = \frac{\text{hoogte brandaris}}{\text{afstand tot brandaris}}$$

$$\frac{2,54 \text{ cm}}{54 \text{ cm}} = \frac{54 \text{ m}}{\text{afstand tot brandaris}}$$

De afstand tot de brandaris is dus:  $54 \text{ m} \times \frac{54 \text{ cm}}{2,54 \text{ cm}} = 1148 \text{ m} = 1,1 \text{ km}$

Met een snelheid van 3,0 km/h duurt dat

$$t = \frac{x}{v} = \frac{1148}{3,0/3,6} = 1378 \text{ s} = 23 \text{ min.}$$

18 a De letters van lijn 8 zijn 1,2 mm hoog. De hoek moet 5 boogminuten zijn, dus:

$$\alpha = 5 \times \frac{1}{60} = \frac{5}{60} \text{ graden}$$

Voor de hoek geldt:  $\tan \alpha = \frac{\text{hoogte}}{\text{afstand}}$

$$\tan \frac{5}{60} = \frac{1,2}{\text{afstand}} \rightarrow \text{afstand} = \frac{1,2}{\tan \frac{5}{60}} = 825 \text{ mm} = 83 \text{ cm}$$

b Eigen antwoord.

19 a Eigen antwoord.

b Dit komt doordat de staafjes in groepjes werken. Zo zijn ze in staat om ook weinig licht waar te nemen, maar kun je minder details zien.

20 a Je ogen zijn gevoeliger voor de kleuren in het midden van het spectrum. De kleuren aan de rand worden nog maar net waargenomen en zien er daarom donkerder uit.

b Dit komt doordat de gevoeligheid van de rode en groene kegeltjes voor deze golflengte juist heel erg goed is.

c De figuur in Binas laat de relatieve gevoeligheid zien, oftewel de gevoeligheid ten opzichte van de maximale gevoeligheid voor dat kegeltje. Voor de top van elke grafiek geldt dus dat de relatieve gevoeligheid gelijk is aan 1. Figuur 17.20 laat de absolute gevoeligheid zien, hier kun je dus het ene soort kegeltje ook vergelijken met het andere soort.

21 a Voor een golflengte van ongeveer 560 nm.

b De wet van Wien:  $\lambda_{\text{max}} \cdot T = k_w$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{k_w}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{5780} = 5,01 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad \lambda_{\text{max}} = 501 \text{ nm}$$

c Je ogen zijn het gevoeligst voor een golflengte die ongeveer overeenkomt met de golflengte die door de zon het meest wordt uitgestraald.

22 Als je kegeltjes helemaal niet meer werken ben je heel slecht in het waarnemen van details.

23 a Ja, de blokken lijken even hoog. De bovenkant van de blokken ligt op dezelfde perspectieflijn.

b De voorkant van het middelste blok is twee maal zo groot als de voorkant van het rechter blok. Het rechter blok staat dus twee maal zo ver weg.

c Je krijgt alleen informatie over de hoogte ten opzichte van een ander voorwerp in de buurt en de afstand relatief tot een ander voorwerp. Je krijgt geen informatie over hoe hoog een voorwerp werkelijk is en hoe ver een voorwerp werkelijk bij je vandaan staat.

24 a Je ogen zitten ongeveer 6,5 cm uit elkaar. Met behulp van je geodriehoek kan je de convergentiehoeken in de figuur bepalen. Deze zijn van links naar rechts 6, 11, 20 en 35 graden.

De afstand voor de linker figuur wordt dan:

$$s = \frac{6,5}{2 \tan 3} = 62 \text{ cm. Voor de andere figuren wordt}$$

$$\text{dit } s = \frac{6,5}{2 \tan 5,5} = 34 \text{ cm, } s = \frac{6,5}{2 \tan 10} = 18 \text{ cm en}$$

$$s = \frac{6,5}{2 \tan 17,5} = 10 \text{ cm.}$$

b In figuur 17.23 is de afstand tussen de ogen 4,0 mm. De schaal is  $65/4 = 16$ . De afstanden in figuur 17.23 zijn (van links naar rechts) 34, 20, 11 en 3,9 mm. Dit is in werkelijkheid 55, 32, 19 en 10 cm. Bij een grotere convergentiehoek wordt het procentuele verschil tussen de formuleberekening en de schaalberekening groter. De formule geldt het best voor kleine hoeken.

25 De linker foto is vanaf een andere positie gemaakt dan de rechter foto. Bij de linker foto stond de camera meer naar rechts. De afstand tussen de plekken waar de foto's gemaakt zijn, is gelijk aan de afstand tussen je ogen.

**17.3 Warmte en lichaamstemperatuur**

26 a Voor het warmteverlies geldt  $P_{\text{verlies}} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$ . Met een lichaamstemperatuur van 37,0 °C is het temperatuurverschil  $\Delta T = 37 - -18 = 55$  °C. Voor het oppervlak

$$\text{geldt: } A = \frac{\sqrt{lm}}{6} = \frac{\sqrt{1,60 \times 50}}{6} = 1,49 \text{ m}^2.$$

De thermische weerstand  $R = R_v + R_h$  met

$$R_v = 2,5 \cdot 10^{-2} \times 10 = 2,5 \cdot 10^{-1} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_h = 3,4 \cdot 10^{-2} \times 0,35 = 1,19 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R = 2,5 \cdot 10^{-1} + 1,19 \cdot 10^{-2} = 2,619 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$P_{\text{verlies}} = \frac{1,49 \times 55}{2,619 \cdot 10^{-1}} = 3,1 \cdot 10^2 \text{ W}$$

b Het temperatuurverschil is  $\Delta T = 30 - -18 = 48$  °C.

$$\text{Voor het oppervlak geldt: } A = \frac{\sqrt{lm}}{6} = \frac{\sqrt{1,82 \times 83}}{6} = 2,05 \text{ m}^2.$$

De thermische weerstand  $R = R_v + R_h$  met

$$R_v = 4,8 \cdot 10^{-2} \times 21 = 1,008 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_h = 3,4 \cdot 10^{-2} \times 2,55 = 8,67 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = 1,008 + 8,67 \cdot 10^{-2} = 1,0947 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$P_{\text{verlies}} = \frac{2,05 \times 48}{1,0947} = 90 \text{ W}$$

27 a  $7440 \frac{\text{kJ}}{\text{dag}} = \frac{7440 \cdot 10^3 \text{ Joule}}{24 \times 60 \times 60 \text{ seconde}} = 86,11 \text{ W}$

b Nee, alleen al het warmteverlies door geleiding is in het meest gunstige geval ongeveer gelijk aan je ruststofwisseling. Er zijn ook nog andere vormen van warmteverlies, namelijk stroming (ademhaling) en straling (infrarood).

- c Straling en stroming.  
 d Dit onderdeel is bedoeld voor degene die in onderdeel b nog niet aan stroming en straling gedacht heeft. Het juiste antwoord staat al bij onderdeel b.
- 28 a** Het temperatuurverschil is  $37 - 28 = 9 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 Noem de lengte van je arm  $\ell$  (m) en de omtrek  $b$  (m).  
 De straal van de arm is  $r = \frac{b}{2\pi}$ , dus het oppervlak is  $A = \pi r^2 = \frac{b^2}{4\pi}$ . De thermische weerstand is gelijk aan  $R = 1000\ell \times 1,7 \cdot 10^{-2} = 17\ell$ . Invullen van  $P_{\text{verlies}} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$  geeft  $P_{\text{verlies}} = \frac{b^2 \cdot 9}{4\pi \cdot 17\ell} = 0,042 \frac{b^2}{\ell}$ .  
 Een gemiddelde arm heeft  $b = 0,25$  m en  $\ell = 0,65$  m.  
 Met ons voorbeeld komt het neer op  $P_{\text{verlies}} = 0,042 \frac{0,25^2}{0,65} = 4,0$  mW.
- b Een gemiddeld been heeft  $b = 0,40$  m en  $\ell = 0,80$  m. Let op want het temperatuurverschil is kleiner. Dat verandert met een factor 6:9. Met ons voorbeeld komt het neer op  $P_{\text{verlies}} = \frac{6 b^2 \cdot 9}{9 \cdot 4\pi \cdot 17\ell} = 0,028 \frac{0,40^2}{0,80} = 5,6$  mW.
- c Met ons voorbeeld komt het neer op  $2 \times 4 + 2 \times 5,6 = 19,2$  mW. Het warmteverlies door geleiding in je ledematen kun je in de praktijk dus verwaarlozen.
- 29 a** Per minuut stroomt de helft van 5,0 liter door je ledematen. Dit komt overeen met  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . De dichtheid van bloed is  $1060 \text{ kg/m}^3$ .  
 $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 1060 = \frac{m}{2,5 \cdot 10^{-3}} \rightarrow$   
 $m = 1060 \times 2,5 \cdot 10^{-3} = 2,7$  kg.
- b 67 kJ  
 Het koelt daarbij  $7,0 \text{ }^\circ\text{C}$  af. De warmte die het verliest is:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 3,6 \cdot 10^3 \times 2,7 \times 7,0$   
 $Q = 6,7 \cdot 10^4 \text{ J}$ .  
 Zoveel energie moet je lichaam ook leveren om het bloed weer op te warmen.
- c 1,1 kW  
 Er moet  $6,7 \cdot 10^4 \text{ J}$  geleverd worden in een minuut.  
 Het vermogen is dan  $P = \frac{6,7 \cdot 10^4}{60} = 1,1$  kW.
- d 60 W  
 De massa verandert met een factor 0,75 en  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  in plaats van  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  is een factor  $1/14$ .  
 $1113 \times 0,75 \times \frac{1}{14} = 60 \text{ W}$
- 30 a** Stroming, straling en geleiding zijn alle drie goed te berekenen. Opmerking: Verdamping hoort bij geen van drieën.  
 b Tabel 12:  $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$   
 c 0,319 L  
 Via transpiratie moet je  $200 \text{ J/s}$  aan warmte afvoeren. Per uur is dit  $200 \times 60 \times 60 = 720 \text{ } 000 \text{ J}$ . Voor het verdampen van een kg water is  $2,26 \cdot 10^6 \text{ J}$  nodig. Per uur moet er  $\frac{720 \text{ } 000}{2,26 \cdot 10^6} = 0,319$  kg water verdampt worden. Dit komt overeen met  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,319}{0,998} = 0,319 \text{ L}$ .
- 31 a**  $Q = \text{constante} \cdot \Delta p \cdot r^4$   
 Als je de eenheden invult van elke grootheid dan krijg je:  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{N}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^4$   
 $= \frac{\text{m}^5 \cdot \text{N}}{\text{s} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ . De eenheid van de constante klopt dus.
- b Voor een verdubbeling van het bloedstroomvolume moet  $r^4$  verdubbeld worden.  
 $(nr)^4 = 2 \times r^4 \Rightarrow n^4 = 2 \Rightarrow n = \sqrt[4]{2}$   
 Dit betekent dat de straal een factor  $2^{1/4} = 1,19$ x zo groot moet worden.
- c Als de straal halveert dan neemt het bloedstroomvolume af met een factor  $2^4$ . Om hetzelfde bloedstroomvolume te houden moet het drukverschil dus met dezelfde factor toenemen. Het drukverschil moet dus  $2^4 = 16$  maal zo groot worden.
- 32 a** Het kind heeft op de rug de hoogste temperatuur en straalt daardoor veel warmte uit. Het oppervlak is echter veel kleiner dan dat van de man en vrouw. De vrouw lijkt meer warmte uit te stralen dan de man door de hogere temperatuur op de rug met een vergelijkbaar oppervlak.  
 b Het kind zal het snelst onderkoeld raken omdat de verhouding tussen zijn volume en oppervlak het meest ongunstig is. Hierdoor straalt het kind in verhouding (met zijn massa) veel warmte uit.
- 33 a**  $491 \text{ W/m}^2$   
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 32)^4 = 491 \text{ W/m}^2$
- b 1,0 kW  
 Voor het vermogen hebben we het oppervlak nodig.  
 Er geldt:  $A = \frac{\sqrt{Im}}{6} = \frac{\sqrt{1,93 \times 83}}{6} = 2,11 \text{ m}^2$ .  
 $P = I \cdot A = 491 \times 2,11 = 1036 = 1,0$  kW.
- c 0,88 kW  
 $P = I \cdot A = \sigma \cdot T^4 \cdot A$   
 $P = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 20)^4 \times 2,11 = 0,88$  kW
- d 0,15 kW  
 Het verschil in vermogen tussen uitgezonden en ontvangen straling is  $1,04 - 0,88 = 0,15$  kW.  
*Het is hier belangrijk dat je doorrekent met de onafgeronde getallen.*
- e De ruststofwisseling van  $86,1 \text{ W}$  is lager dan het warmteverlies door straling. Je moet dus kleding dragen in je huiskamer om niet onderkoeld te raken.
- f Je kleding heeft aan de binnenkant een veel hogere temperatuur dan de kamerlucht waardoor je bijna net zoveel warmtestraling ontvangt als uitstraalt. De buitenkant van je kleding is een stuk koeler dan je lichaam, waardoor je minder warmtestraling verliest aan je huiskamer.  
 Het grote temperatuurverschil tussen de binnenkant en buitenkant van je kleding is mogelijk door de slechte warmtegeleiding (goede isolatie). Als je kleding goed afsluit stroomt er geen koude lucht tussen jou en je kleding, waardoor de binnenkant lekker warm blijft.

- 34 a** Er geldt:  $I = \sigma T^4$ .  
 Voor de binnenkomende straling heb je de temperatuur van de kamer nodig:  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 20)^4$   
 $I = 418 = 4,2 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$   
 Voor de straling die je lichaam verlaat gebruik je de temperatuur van je huid:  
 $I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 35)^4$   
 $I = 510 = 5,1 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$
- b** 5,1 h  
 Het vermogen dat in je kwijtraakt door straling is gelijk aan:  
 $P = (I_{\text{uit}} - I_{\text{in}}) \cdot A = (5,10 \cdot 10^2 - 4,18 \cdot 10^2) \cdot 1,25$   
 $P = 115 \text{ W}$   
 $t = \frac{2100 \cdot 10^3}{115} = 18\,261 \text{ s} = 5,1 \text{ h}$

### 17.4 Druk in je lichaam

- 35 a**  $A = \pi r^2 = \pi \times (0,50 \cdot 10^{-2})^2 = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$   
**b**  $F = P \cdot A = 2,5 \cdot 10^5 \times 7,9 \cdot 10^{-5} = 20 \text{ N}$   
**c**  $F = P \cdot A = 2,5 \cdot 10^5 \times 21 \cdot 10^{-4}$   
 $F = 525 \text{ N} = 5,3 \cdot 10^2 \text{ N}$   
 Het is de vraag of dit lukt. Je kunt het uitproberen met je hand op een weegschaal tegen de voorkant van een open deur, en je andere hand tegen de achterkant van de deur. Je moet er zo hard op drukken dat hij tenminste 54 kg aangeeft. Deze schrijver redt 30 kg.
- 36 a** De dichtheid van kwik is  $13,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . De druk onderaan het buisje is:  
 $p = \rho \cdot g \cdot h = 13,5 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 1 \cdot 10^{-3} = 132 \text{ Pa}$   
*(De dichtheid van kwik bij 273 K is gelijk aan  $13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Dit geeft een druk van 133 Pa.)*
- b** 120 torr  
**c**  $120 - 80 = 40 \text{ torr}$   
**d** 1 torr komt overeen met 133 Pa.  
 $40 \times 133 = 5,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
- e** Er geldt  $P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P \cdot A$   
 $F = P \cdot A = 5,3 \cdot 10^3 \times 5,0 \cdot 10^{-4} = 2,7 \text{ N}$
- f** Ten eerste de bovendruk verhogen, zodat de klep harder/strakker dichtslaat. Helaas verhoogt dit de kracht op de klep en verslechtert de werking ervan uiteindelijk hierdoor.  
 Ten tweede de hartslag verhogen, zodat er minder bloed terug lekt en hetzelfde bloedpompvolume gehaald kan worden als normaal. Helaas is dit vermoeiend en het hart slijt hierdoor sneller.
- 37 a**  $p = \rho \cdot g \cdot h = 1,06 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 1,20 = 12\,478$   
 $p = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
- b**  $p = \frac{1,25 \cdot 10^4}{133,3} = 93,8 \text{ torr}$
- c** De onderdruk moet dan afnemen met 80 torr. Dit is  $80 \times 133,3 = 10\,664 \text{ Pa}$ .  
 $p = \rho \cdot g \cdot h \rightarrow 10\,664 = 1,06 \cdot 10^3 \times 9,81 \times h$   
 $h = \frac{10664}{1,06 \cdot 10^3 \times 9,81} = 1,03 \text{ m}$

- d**  $p = \rho \cdot g \cdot h = 1,06 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 2,5 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$   
 Dit komt overeen met 195 torr.
- e** Giraffen hebben stevige banden om hun poten die dezelfde functie hebben als steunkousen.
- 38** Vanwege de zwaartekracht is op aarde de onderdruk in je hoofd veel lager dan in je voeten. In het ISS heeft de zwaartekracht geen invloed. Hierdoor is de onderdruk in het gezicht hoger dan je gewend bent en daarom zijn de aderen (en lymfevaten) beter gevuld. Daarom ziet het gezicht van astronauten er roder en opgezwollen uit.  
*Tijdens je slaap in horizontale positie is dit ook zo, maar dan is je lichaam in rust en heb je een lagere bloeddruk (en temperatuur), je krijgt dan geen rood gezicht.*
- 39 a** Het oppervlak van je longen is  $80 \text{ m}^2$ . Voor het oppervlak van een bol geldt  $A = 4\pi r^2$ .  
 $80 = 4\pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{80}{4\pi}} = 2,52 \text{ m}$ .  
 Voor het volume van een bol geldt  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ :  
 $V = \frac{4}{3} \times \pi \times 2,52^3 = 67 \text{ m}^3$ .
- b** 2,5 L  
 Elke bol heeft dan een oppervlakte van:  
 $A = \frac{80}{700 \cdot 10^6} = 1,14 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ .  
 De straal van elke bol is dan:  
 $1,14 \cdot 10^{-7} = 4\pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{1,14 \cdot 10^{-7}}{4\pi}} = 9,54 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ .  
 Dit geeft een volume per bol van:  
 $V = \frac{4}{3} \times \pi \times (9,54 \cdot 10^{-5})^3 = 3,63 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ .  
 Het totale volume is dan:  
 $V = 3,63 \cdot 10^{-12} \times 700 \cdot 10^6 = 0,0025 \text{ m}^3$ .  
 Dit is gelijk aan 2,5 L.
- 40** Door de zwaartekracht is de bloeddruk onderin je longen groter dan bovenin je longen. Hierdoor is de doorbloeding ook beter.
- 41 a** sneller  
 Als je op je handen staat komt er in verhouding meer lucht in de onderkant van je longen, omdat lucht nu eenmaal stijgt in een omgeving met een hogere dichtheid. Dit zou een argument kunnen zijn dat de uitademing langer duurt, maar het effect van de toegenomen druk is veel groter.  
 Doordat je op je handen staat heb je een veel hogere druk in je longen (je middenrif drukt naar beneden op je longen). Inademen kost meer moeite, maar uitademen gaat veel sneller.
- b** borstademhaling  
 Vanwege het gewicht van je organen op je middenrif beweegt je middenrif moeilijker omhoog (naar beneden ten opzichte van je lichaam). De ribben worden dankzij de zwaartekracht al iets omlaag getrokken (omhoog ten opzichte van je lichaam) waardoor je aan borstademhaling doet. Het juiste antwoord is dus: borstademhaling.



- 42 Elke 10 m neemt de druk toe met 1 bar. De luchtdruk boven het wateroppervlak is 1,0 bar. De druk op 10 m diepte is dus 2,0 bar. De totale druk is dus  $2,0 \cdot 10^5$  Pa. Voor de kracht op een vierkante centimeter geldt dan:  $F = P \cdot A = 2,0 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-4} = 20$  N.
- 43 a De luchtdruk wordt 230 maal zo klein, het volume wordt dan 230 maal zo groot.  
 $230 \times 12 = 2760$  L =  $2,8 \cdot 10^3$  L.
- b  $\frac{2760}{6} = 460$  minuten = bijna 8 uur
- c De luchtdruk is op 10 m diepte ongeveer 2 bar. Dit is twee maal zo veel als boven water, het volume is dan ook twee maal zo klein.  $2760/2 = 1380$  L. Als je 6 L per minuut blijft inademen dan doe je 230 minuten = bijna 4 uur met een fles.
- 44 a Als je stijgt neemt de luchtdruk af. De lucht in je longen zet dan uit. Vooral de laatste meters is dit effect sterk. Als je van 10 meter diepte naar het oppervlak gaat halveert de druk, dus verdubbelt je longinhoud. Je longen kunnen niet zoveel uitzetten zonder dat je longweefsel beschadigt (scheurt).
- b Als je van 5 m naar 0 m gaat dan neemt de druk af van 1,5 bar tot 1,0 bar. Dit is een factor 1,5. Als je van 40 naar 35 m gaat, neemt de druk af van 5,0 bar tot 4,5 bar. Dit is slechts een factor  $5,0/4,5 = 1,1$ . Het risico is dan kleiner.
- 45 a Lucht in het pak kan er dan niet uit. Omdat je stijgt daalt de luchtdruk en de lucht zet uit. Je pak verandert in een opzwellende ballon. Je stijfkracht blijft hierdoor toenemen waardoor je steeds sneller stijgt tot het moment dat de ballon knapt. Het risico op caissonziekte en barotrauma is zeer groot.
- b De lucht in het pak wordt er door de grote druk onder water uit geperst.
- c Onder water is de druk 2,0 bar, in het pak is de druk 1,0 bar. Het drukverschil is dus 1,0 bar.
- d Een pak dat geheel van metaal of geheel van rubber is gemaakt. De metalen variant is beter, want in de rubberen variant zou je direct zonder ademlucht komen te zitten als de slang knapt.
- 4 Omdat de hoge tonen niet ver komen (de demping per m is heel sterk) moeten deze vroeg in het orgaan worden waargenomen. Het orgaan past zich aan de natuurkundige werkelijkheid aan.
- 5  $\eta = 20\%$   
 Voor het rendement geldt:  $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\%$ , waarin  $E_{\text{nuttig}} = 0,30$  kJ/(s) en  $E_{\text{in}} = 1,50$  kJ/(s).  
 Hieruit volgt dat  $\eta = \frac{0,30 \cdot 10^3}{1,50 \cdot 10^3} \times 100\% = 20\%$ .
- 6 Er komt per L zuurstof 20,6 kJ vrij.  
 De hoeveelheid energie die door verbranding vrijkomt bij de opname van 1,00 L zuurstof is gelijk aan  $\frac{\text{de energie die in een minuut geproduceerd wordt}}{\text{het aantal L zuurstof dat dan wordt opgenomen}}$ .  
 In een minuut produceert de atleet  $60 \times 1,50 \cdot 10^3 = 9,00 \cdot 10^4$  J.  
 Er komt dus per L zuurstof  $\frac{9,00 \cdot 10^4}{4,36} = 20,6$  kJ vrij.
- 7  $t = 9,4$  minuten  
 De te produceren warmte is gelijk aan  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 3,47 \cdot 10^3 \times 74,8 \times 2,6 = 6,75 \cdot 10^5$  J  
 Voor het vermogen waarmee warmte wordt geproduceerd, geldt  $P = \frac{E}{t} = \frac{Q}{t}$ . Hieruit volgt dat hij minimaal  $t = \frac{Q}{P} = \frac{6,75 \cdot 10^5}{1,20 \cdot 10^3} = 563$  s = 9,4 min moet inlopen.
- 8 4,1 kg vocht  
 De hoeveelheid vocht die hij verliest is gelijk aan  $\frac{\text{de tijdens de marathon geproduceerde warmte}}{\text{de warmte nodig voor het verdampen van 1,0 kg vocht}}$ .  
 Tijdens de marathon produceert de loper  $(2 \times 60 \times 60 + 10 \times 60) \times 1,20 \cdot 10^3 = 9,36 \cdot 10^6$  J warmte.  
 Tijdens de marathon verliest de loper  $\frac{9,36 \cdot 10^6}{2,3 \cdot 10^5} = 4,1$  kg vocht. Zoveel moet hij dus drinken om het verlies door zweten te compenseren.
- 9 De grondtoon van Maarten is lager, dus dat is een aanwijzing dat de stembanden van Maarten langer zijn (lagere frequentie  $\rightarrow$  grotere golfengte).
- 10 Voor de golfengte van de grondtoon van een buis met een gesloten en een open uiteinde geldt  $\frac{1}{4} \lambda = L$   
 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{354}{750} = 0,472$   
 $\frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{4} \times 0,472 = 0,118 = 0,12$  m. Dit komt overeen met 12 cm.
- 11 Als de geluidsintensiteit 128 keer zo laag wordt, dan halveert de geluidsintensiteit dus 7 maal ( $2^7 = 128$ ). Het geluidsniveau neemt dan af met  $3 \times 7 = 21$  dB.  $79 - 21 = 58$  dB, dus als de geluidsintensiteit 128 maal zo klein wordt kun je het geluid nog net horen.

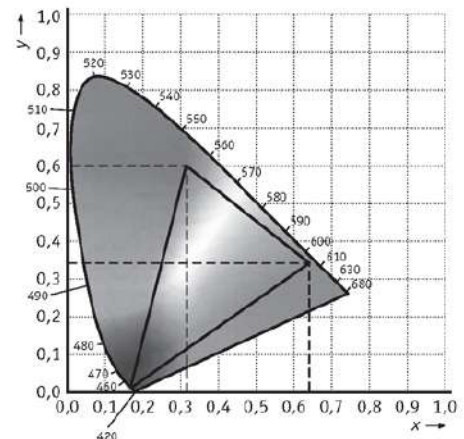
### Toepassing

- 1 De golven met de lage frequenties moeten de grootste afstand afleggen. De afstand tot het ovaal venster is het grootst.
- 2 De absorptie bij deze frequentie is 39 dB/m. Het orgaan van Corti heeft een lengte van 30 mm. De absorptie is dan:  $39 \times 30 \cdot 10^{-3} = 1,2$  dB.
- 3 De geluidsabsorptie voor een toon van 15 kHz (39 dB) is iets meer dan  $2 \times 20$  groot als de geluidsabsorptie voor een toon van 10 kHz (18 dB). Er zit een verschil van 21 dB tussen. Een verschil van 3 dB betekent een halvering van de geluidsintensiteit. Sjoerd heeft dus gelijk, de toon van 15 kHz wordt veel meer van  $2 \times 20$  veel verzwakt als de toon van 10 kHz.

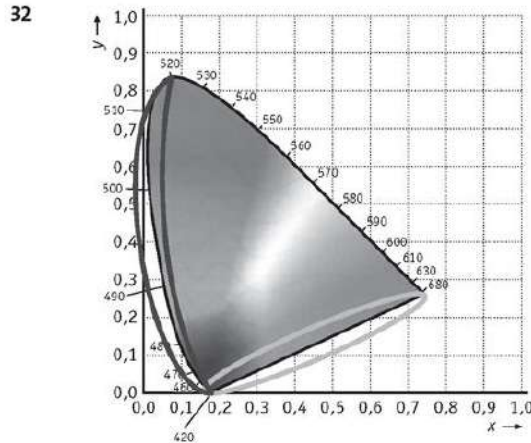
- 12 De geluidsintensiteit moet een factor 128 kleiner worden. De afstand moet dus een factor  $\sqrt{128}$  groter worden.  $\sqrt{128} \times 3,0 = 34$  cm.
- 13 Boventonen hebben een hogere frequentie. Het oor is gevoeliger voor hogere frequenties (zolang ze niet te hoog zijn). Hierdoor is het spinnen over een grote afstand te horen.
- 14 De lengte van de bulrug in figuur 17.40 is 11,5 cm, de lengte van de duiker is 1,5 cm. Een gemiddelde man is 1,7 m lang. De bulrug heeft een lengte van  $(11,5/1,5) \times 1,7$  m = 13 m.
- 15 8,3 m/s  
Tijdens het omhoog gaan wordt de kinetische energie van het water omgezet in zwaarte-energie. Op het hoogste punt is de zwaarte-energie gelijk aan de kinetische energie in het spuitgat.  
 $\frac{1}{2}mv^2 = m \cdot g \cdot h \rightarrow \frac{1}{2}v^2 = g \cdot h$   
 $v^2 = 2 \cdot g \cdot h \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$   
 $v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,5} = 8,3$  m/s
- 16 Elke 10 m neemt de druk met 1,0 bar toe. Op 200 m is de druk dus toegenomen met 20 bar. De druk op zeeniveau is echter al 1,0 bar. De totale druk op 200 m diepte is dus 21 bar. Dit komt overeen met  $21 \cdot 10^5 = 2,1 \cdot 10^6$  Pa.
- 17 Er geldt  $p = \frac{F}{A}$  oftewel  $F = p \cdot A$ . Het oppervlak van het spuitgat is te berekenen met  $A = \pi r^2$ .  
 $A = \pi \times 0,125^2 = 0,0491$  m<sup>2</sup>  
 $F = 2,1 \cdot 10^6 \times 0,0491 = 103$  kN
- 18 De grote omvang zorgt ervoor dat ze een groot oppervlak hebben. Er geldt  $P_{\text{verlies}} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$ . Hoe groter het oppervlak, hoe meer warmte er verloren gaat. Om de hoeveelheid warmte te verminderen moet de  $R$  dus zo groot mogelijk zijn, dit betekent een dikke isolatielaag.
- 19 Voor de hoeveelheid straling die wordt uitgezonden door het water geldt  $I = \sigma T^4$ . Het gaat hier dus niet om het temperatuurverschil met de omgeving, maar om de absolute temperatuur. Voor de absolute temperatuur geldt dat 297 K (24 °C) niet twee keer zo hoog is als 284 K (11 °C). Daarnaast gaat het in dit geval om een vierde-macht functie:  $297^4/284^4 = 1,2$ , dus het verandert met een factor 1,2.
- 20 Uit *Binas* tabel 11 en 12 is te halen dat de warmtegeleidingscoëfficiënt van water ( $0,60$  W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>) veel groter is dan die van lucht ( $24 \cdot 10^{-3}$  W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>).
- 21 Het aantal hartslagen per minuut is 12. De tijd  $\Delta t$  tussen twee hartslagen is 5,0 s. Het aantal hartslagen per minuut is  $\frac{60}{\Delta t} = \frac{60}{5,0} = 12$ .

- 22 Omdat de warmteafgifte per tijdseenheid klein moet zijn, moet  $k$  zo klein mogelijk zijn.
- 23 Voorbeelden van eigenschappen:  
- de dikte en/of aard van zijn vacht  
- de dikte van de (vet)laag onder de vacht  
- de grootte van het uitstralingsoppervlak/heeft de beer zich wel/niet opgerold  
- zo min mogelijk bewegen
- 24 De beer valt 94 kg af.  
Voor de energieproductie geldt:  $P = \frac{E}{t}$ , waarin  $P = 3,0 \cdot 10^2$  W en  $t = 120 \times 24 \times 60 \times 60 = 1,04 \cdot 10^7$  s. In die periode is zijn energieproductie dus  $E = P \cdot t = 3,0 \cdot 10^2 \cdot 1,04 \cdot 10^7 = 3,11 \cdot 10^9$  J. Het aantal kg dat de beer afvalt is:  
 $\frac{\text{de energieproductie}}{\text{de energie die per kg vet vrijkomt}} = \frac{3,11 \cdot 10^9}{33 \cdot 10^6} = 94$  kg
- 25  $k = 15$  W/°C  
Uit  $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \Delta T$ , waarin  $\Delta Q = 3,0 \cdot 10^2$  J/s en  $\Delta T$  gelijk is aan het verschil tussen de constante lichaamstemperatuur en de temperatuur van de grot, volgt dat  $k = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{3,0 \cdot 10^2}{20} = 15$  W/°C.
- 26 5,1 keer zo klein.  
De wet van Hagen-Poiseulle luidt:  
 $Q = \text{constante} \cdot \Delta p \cdot r^4$ . Als een ader een factor 1,5 kleiner wordt, dan wordt het bloedstroomvolume een factor  $1,5^4 = 5,1$  maal zo klein.
- 27 rood : groen : blauw  
3 : 3 : 1
- 28 Alle kleuren die op de rand van de driehoek liggen kun je krijgen door twee kleuren te mengen. Alleen de kleuren in de hoeken krijg je met één kleur.
- 29 Uit *Binas* tabel 27A2 blijkt dat je kegeltjes het gevoeligst zijn voor licht met een golflengte van 422 nm, 535 nm en 568 nm.

30



- 31 Nee, je kunt alleen bepalen of er sprake is van rood-groen kleurenblindheid. Als één van beide kegeltjes niet werkt dan is de 2 in de figuur niet te onderscheiden van de achtergrond. Dit is echter het geval wanneer de rode niet werken, maar ook als de groene niet werken.



**Proefwerkopgaven**

- 1 a Als  $F_s$  groter wordt (je spant je spieren) wordt de golfsnelheid groter. De golflengte wordt bepaald door de lengte van de stembanden en blijft gelijk.  $f = \frac{v}{\lambda}$ , dus een grotere  $v$  betekent een hogere toon.
- b  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{4,0}{100} = 0,040$  m. Voor een snaar die aan twee kanten is ingeklemd geldt voor de grondtoon  $\lambda = 2L$ . De lengte van de stembanden is dan dus 2,0 cm.
- 2 a Volgens *Binas* tabel 27C1 is de gehoordrempel voor een toon van 500 Hz lager. Dit betekent dat de toon van 500 Hz beter hoorbaar is. Vanaf 60 foon komt het aantal foon bij 500 Hz overeen met meer decibel, dus dan is een toon van 375 Hz beter te horen. Als het aantal foon hoger ligt op de dB-schaal, klinkt een toon juist zachter (er is meer dB geluidsniveau nodig om dezelfde geluidsstrekte te ervaren).
- b Van 2,0 m naar 16 m is  $\frac{16}{2,0} = 8$  maal zo ver. De geluidsstrekte neemt dan af met een factor  $8^2 = 64$ . Dit betekent dat de geluidsstrekte 6 maal gehalveerd is ( $2^6 = 64$ ). Bij elke halvering van de geluidsstrekte wordt het geluidsniveau 3 dB lager.  $110 - 6 \times 3 = 92$  dB

- c Voor convergentie heb je beide ogen nodig, dit is een binoculaire aanwijzing.
- d Monoculair: grootteperspectief, lijnperspectief, de verticale hoogte in het totaalbeeld, accommodatie  
Binoculair: verschilbeeld
- e Als de uiterste punten minder dan 1 boogminuut van elkaar verwijderd zijn is de auto niet meer te onderscheiden van de achtergrond.
- $$\tan \frac{1}{60} = \frac{1,70}{afstand} \rightarrow afstand = \frac{1,70}{\tan \frac{1}{60}} = 5844 \text{ m}$$
- Dus op een afstand van 5,8 km is de auto niet meer te zien.

- 3 a Per 10 m diepte neemt de druk toe met 1,0 bar. Op 5,0 m diepte is de druk toegenomen met 0,50 bar. De druk op zeeniveau is 1,0 bar, dus op 5,0 m diepte is de druk 1,5 bar, oftewel  $1,5 \cdot 10^5$  Pa.
- b Vanuit het middenoor wordt ook tegen het trommelvlies gedrukt. De lucht in het middenoor oefent een kracht uit op de andere kant van het trommelvlies.
- c De verschuldruk is 0,2 bar.  $p = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{p}$
- $$A = \frac{9,6}{0,2 \cdot 10^5} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$
- 4 a  $1,8 \cdot 10^2$  W  
Er geldt  $P_{\text{verlies}} = \frac{A \cdot \Delta T}{R}$ . Het oppervlak is te berekenen met  $A = \sqrt{\frac{l m}{6}} = \frac{\sqrt{1,83 \times 65}}{6} = 1,82 \text{ m}^2$ .  
Voor de thermische weerstand geldt  $R = R_{\text{h}} + R_{\text{v}} = 2,5 \times 3,4 \cdot 10^{-2} + 10 \times 2,5 \cdot 10^{-2}$   
 $R = 0,335 \text{ m}^2 \text{ K/W}$   
Het temperatuurverschil is  $\Delta T = 37 - 4,0 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$
- $$P_{\text{verlies}} = \frac{1,82 \times 33}{0,335} = 1,8 \cdot 10^2 \text{ W}$$
- b  $l = \sigma T^3 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 37)^4$   
 $l = 523,6 \text{ W/m}^2$   
Voor de hoeveelheid warmte die per seconde wordt uitgestraald geldt  $P = l \cdot A = 523,6 \times 1,82 = 9,5 \cdot 10^2 \text{ W}$
- c De wet van Hagen-Poiseuille luidt:  
 $Q = \text{constante} \cdot \Delta p \cdot r^4$   
Als de straal van een ader een 1,2 maal zo klein wordt, dan wordt het bloedstroomvolume  $1,2^4 = 2,1$  maal zo klein.