



Uitwerkingen opgaven leerboek

3.1 INTRODUCTIE

Opgave 1

- b Waar
- c Niet waar: De dichtheid van een stof is de massa (in kg) per kubieke meter van die stof.
- d Niet waar: In een opgepompte band botsen er per s en per cm^2 meer moleculen tegen de binnenkant van de band dan dat er per s en per cm^2 moleculen tegen de buitenkant botsen.
- e Niet waar: Tussen de moleculen van een gas zit helemaal niets.

Opgave 2

- a Een molecuul is opgebouwd uit atomen. Een atoom bestaat uit een kern met daaromheen elektronen.
- b Er zijn met de ruim 100 verschillende atomen heel veel combinaties te maken, en dus heel veel verschillende moleculen te bouwen.

Opgave 3

- a De fasen waarin een stof kan voorkomen zijn vast, vloeibaar en gasvormig.
- b Bij wolken zie je de vloeibare fase (waterdruppels) en de vaste fase (ijs- en sneeuw kristallen).
- c Voorbeelden uit de natuur waarbij water in vaste toestand aanwezig is zijn ijs, sneeuw en rijp.

Opgave 4

- a Een dichtheid van bijvoorbeeld $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ betekent dat 1 m^3 van die stof een massa van 2 kg heeft, $0,5 \text{ m}^3$ een massa van 1 kg, enzovoort.
- b $1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$. Je deelt nu de gewogen massa in kg door $0,001 \text{ m}^3$.
- c Dat geldt alleen als de atomen even zwaar zijn. Als zware atomen even dicht op elkaar zitten als lichte atomen, is de dichtheid ook groter.
- d Bijvoorbeeld: lengte lokaal 10 m, breedte lokaal 10 m, hoogte lokaal 2,5 m.
Het volume van het lokaal is dan $10 \times 10 \times 2,5 = 250 \text{ m}^3$.
En de massa van de lucht in het lokaal is $m = \rho \cdot V = 1,2 \times 250 = 3,0 \cdot 10^2 \text{ kg}$.
- e Deze massa oefent een kracht op de vloer uit van $F_z = m \cdot g = 3,0 \cdot 10^2 \times 9,81 = 2,94 \cdot 10^3 \text{ N}$
en de oppervlakte van het lokaal is $A = 10 \times 10 = 100 \text{ m}^2$.
De extra druk op de vloer door het gewicht van de lucht in het lokaal is dan $p = \frac{F_z}{A} = \frac{2,94 \cdot 10^3}{100} = 29 \text{ Pa}$.

Opgave 5

- a $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,200}{600} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 333 \text{ cm}^3$
- b Het totale volume is 928 cm^3 en daarvan is 333 cm^3 chips.
Dan zit er $928 - 333 = 595 \text{ cm}^3$ lucht, dat is $\frac{595}{928} \times 100\% = 64\%$.
- c Het volume van de chips is: $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,300}{600} = 5,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 500 \text{ cm}^3$.
Dan zit er $5000 - 500 = 4500 \text{ cm}^3$ lucht in de zak, dat is $\frac{4500}{5000} \times 100\% = 90\%$.
- d In de bus Pringles hebben de chips allemaal dezelfde vorm en zitten ze netjes op elkaar gestapeld. De chips zitten daardoor veel compacter dan in de gewone zak chips.



Opgave 6

- a $\rho_{\text{aluminium}} = 2,70 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ en $\rho_{\text{goud}} = 19,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
- b $\frac{m_{\text{goud}}}{m_{\text{aluminium}}} = \frac{197}{27} = 7,3$ en $\frac{\rho_{\text{goud}}}{\rho_{\text{aluminium}}} = \frac{19,3}{2,70} = 7,1$ dat is bijna gelijk dus is de dichtheid in dit voorbeeld evenredig met de atoommassa.
- c De dichtheid van goud is ongeveer 7 × zo groot als die van aluminium, dus weegt 1 cm³ goud ongeveer 7 × zo veel als 1 cm³ aluminium. Omdat een goudatoom ook ongeveer 7 × zo zwaar is als een aluminiumatoom, bevat een cm³ goud ongeveer evenveel atomen als een cm³ aluminium.

3.2 DEELTJESMODEL

Opgave 7

- a Waar
- b Niet waar: Als een gas wordt samengeperst, komen de deeltjes dichter op elkaar te zitten.
- c Niet waar: Met een metaalmanometer kun je de druk in een fietsband meten. Een barometer meet de atmosferische luchtdruk.
- d Waar
- e Niet waar: Als de temperatuur stijgt, stijgt de gemiddelde snelheid van de deeltjes in een gas.
- f Waar
- g Niet waar: Overall in die ruimte oefent het gas druk uit (op een denkbeeldig oppervlak).

Opgave 8

- a Als je een pak koffie openknipt, stroomt er lucht het pak in. Eerst was het pak (vrijwel) luchtdicht, waardoor de buitenlucht het pak in elkaar drukte. Na het openknippen komen de koffiekorrels verder van elkaar af te zitten en zijn daardoor makkelijker te verschuiven. Het pak voelt dan zachter aan.
- b Als je een fietsband oppompt, komen er meer deeltjes in hetzelfde volume. Hierdoor botsen er per seconde en per cm² meer deeltjes tegen de binnenkant van de band. De druk in de fietsband neemt toe en de band voelt harder aan.
- c Als je de fles in het vriesvak legt, daalt de temperatuur van de lucht in de fles. Hierdoor daalt ook de druk in de fles en de buitenlucht zal de fles een beetje in elkaar drukken.

Opgave 9

- a Je moet de dichtheid van de vloeistof in de buis weten, want daarmee kun je het gewicht van de vloeistofkolom berekenen.
- b De vloeistofdruk is gelijk aan het gewicht per m² van de bovenliggende vloeistof. Dit gewicht bepaal je met behulp van de massa van de bovenliggende vloeistof volgens $F_{\text{gewicht}} = F_z = m \cdot g$. De massa bepaal je met behulp van de dichtheid en het volume van de vloeistofkolom: $m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot h$, waarbij A de oppervlakte van de doorsnede van de buis is. De vloeistofdruk is dan: $p = \frac{F_{\text{gewicht}}}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$ en het drukverschil is gelijk aan de vloeistofdruk.
- c De oppervlakte van de doorsnede van de buis komt in deze formule niet voor, dus doet de diameter van de buis er niet toe.

Opgave 10

- a Doordat op grote hoogte de atmosferische luchtdruk lager is, is er het risico dat de banden klappen. (Dat beweren de mensen van de luchtvaartmaatschappij tenminste. Maar het verschil in atmosferische luchtdruk kan nooit meer zijn dan de 1 atmosfeer die het op zeeniveau is. En een fietsband kan makkelijk 5 tot 6 atmosfeer drukverschil aan. Een beetje lucht uit de banden laten lopen zou dus meer dan genoeg moeten zijn.)
- b De lage temperatuur op grote hoogte verkleint het risico, omdat de luchtdruk in de banden daalt bij een lagere temperatuur.



Opgave 11

Door het verwarmen van de lucht in de ballon zullen de deeltjes vaker en harder tegen elkaar botsen. Hierdoor neemt het volume van de lucht toe en zal er lucht uit de ballon stromen. Omdat er dan minder lucht in de ballon zit, is de ballon lichter dan de lucht eromheen en zal deze als het ware naar boven 'drijven'.

Opgave 12

- a Als je naar buiten gaat, daalt de temperatuur in de ballon. De deeltjes in de ballon zullen minder vaak en hard tegen de wand van de ballon botsen, dus neemt ook de druk in de ballon af. De buitenluchtdruk zal de ballon een beetje in elkaar drukken, totdat de druk in de ballon weer even groot is als de buitenluchtdruk. Het volume van de ballon is dan dus kleiner.
- b Als de lucht rondom de ballon wordt weggezogen, zijn er veel minder luchtdeeltjes die van buitenaf tegen de ballon aan botsen, dus neemt de druk rondom de ballon af. De druk in de ballon zorgt er dan voor dat de ballon groter wordt.
- c Het volume is omgekeerd evenredig met de druk en het volume neemt toe, dus zal de druk in de ballon afnemen. In woorden is dit te verklaren doordat de luchtdeeltjes grotere afstanden afleggen tussen botsingen tegen de binnenkant van de ballon en dus minder vaak tegen de ballonwand botsen. En doordat de oppervlakte van de ballon toeneemt, zullen er minder botsingen per s per cm² zijn.

Opgave 13

Doordat de temperatuur van (de lucht in het) glas daalt, neemt ook de druk in het glas af. Door dit drukverschil drukt de buitenlucht de lucht het glas in. De naar binnen bubbelende belletjes laten zien dat er meer moleculen in het glas komen, totdat de druk weer gelijk is aan de buitenluchtdruk.

Opgave 14

Eigen antwoord.

Opgave 15

- a $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ met n en V constant geeft $\frac{p}{T} = \text{constant}$. Dus als T wordt verdubbeld, wordt p ook tweemaal zo groot.
- b $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ met n en p constant geeft $\frac{V}{T} = \text{constant}$. Dus als V wordt gehalveerd, wordt T ook tweemaal zo klein.
- c $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ met V constant geeft $\frac{p}{n \cdot T} = \text{constant}$. Dus als T wordt verdubbeld, terwijl n gehalveerd wordt, zal p niet veranderen.

Opgave 16

- a Algemene gaswet: $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ met $p = 1,0 + 6,5 = 7,5 \text{ bar} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $V = 2,5 \text{ L} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ en $T = 273 + 20 = 293 \text{ K}$ geeft: $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{7,5 \cdot 10^5 \times 2,5 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times 293} = 0,77 \text{ mol}$
- b $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met V en T constant: $\frac{p_1}{n_1} = \frac{p_2}{n_2} \rightarrow \frac{7,5}{0,77} = \frac{9,5}{n_2} \rightarrow n_2 = 0,98 \text{ mol}$.
Er is dus $0,975 - 0,77 = 0,205 \text{ mol}$ lucht bijgekomen $\rightarrow m = 0,205 \times 29 = 6,0 \text{ g}$
- c $T_2 = 273 + 40 = 313 \text{ K}$
 $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met V en n constant: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{7,5}{293} = \frac{p_2}{313} \rightarrow p_2 = 10 \text{ bar}$

Opgave 17

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_2 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \text{ met } n \text{ constant: } \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow \frac{1,02 \cdot 10^5 \times 8,0}{(273 + 12)} = \frac{0,50 \cdot 10^5 \times V_2}{(273 - 23)} \rightarrow V_2 = 14 \text{ m}^3$$



Opgave 18

a In de band zit aanvankelijk $\frac{170}{29} = 5,86$ mol lucht $\rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ geeft

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{5,86 \times 8,31 \times (273 + 24)}{3,2 \cdot 10^5} = 0,045 \text{ m}^3$$

b $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met V en n constant: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{3,2 \cdot 10^5}{(273 + 24)} = \frac{p_2}{(273 + 48)} \rightarrow p_2 = 3,46 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

c $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met V en T constant: $\frac{p_1}{n_1} = \frac{p_2}{n_2}$. Het aantal mol gas is recht evenredig met de massa van het gas dus je kunt voor n ook de massa van het gas invullen $\rightarrow \frac{3,46 \cdot 10^5}{170} = \frac{3,2 \cdot 10^5}{m_2} \rightarrow m_2 = 157 \text{ g}$.

Er is dus $170 - 157 = 13 \text{ g}$ gas ontsnapt.

Opgave 19

$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ geeft $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,3 \cdot 10^5 \times 30 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times (273 + 15)} = 1,63 \text{ mol}$. Dat is $1,63 \times 28 = 45,6 \text{ g}$ gas, die moet ontstaan in 25 ms. Er moet dus per ms: $\frac{45,6}{25} = 1,8 \text{ g}$ gas ontstaan.

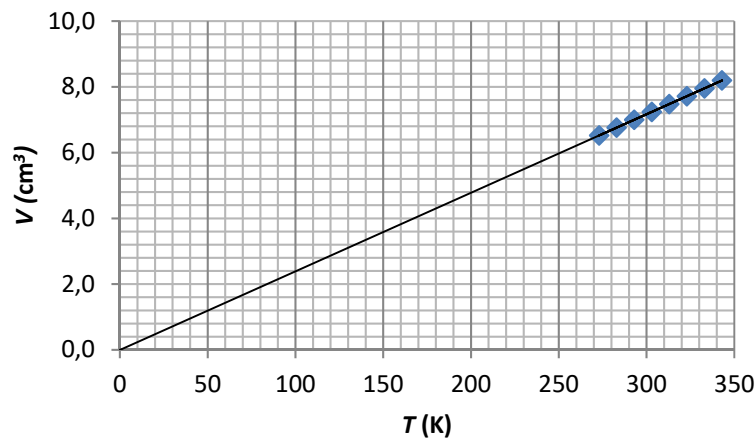
Opgave 20

a Het water verwarmt de lucht in de spuit, waardoor de luchtdeeltjes vaker en harder tegen de zuiger botsen. De druk onder de zuiger neemt toe, maar erboven niet, want daar is de spuit open. De zuiger wordt netto naar boven geduwd en het volume onder de zuiger neemt toe. Door die toename van het volume neemt de druk onder de zuiger weer af. Deze toename van het volume gaat door tot de druk onder de zuiger de oude waarde heeft.

b $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met p en n constant: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{7,0}{(273 + 20)} = \frac{V_2}{(273 + 50)} \rightarrow V_2 = 7,7 \text{ cm}^3$

c Zie tabel en diagram.

$T \text{ (K)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$
273	6,5
283	6,8
293	7,0
303	7,2
313	7,5
323	7,7
333	8,0
343	8,2



Opgave 21

Oriëntatie:

Bij een toename van het volume 2,4% geldt dat $V_2 = 1,024 \times V_1$. Gebruik dit in de vergelijking van de algemene gaswet en deel V_1 weg. Neem voor de buitenluchtdruk 1,0 bar.

Uitwerking:

a $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_2 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met n constant $\rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow \frac{(2,1 + 1,0) \times V_1}{(273 + 18)} = \frac{p_2 \times 1,024 \times V_1}{(273 + 60)} \rightarrow p_2 = 3,5 \text{ bar}$

Het drukverschil dat de automobilist direct na de rit meet is 2,5 bar.

b In koude toestand is de druk lager. Wanneer je de bandenspanning zou meten na een autorit, meet je een hogere druk. Je zou dan lucht uit de band laten ontsnappen om de druk te verlagen, maar in koude toestand zou de bandenspanning dan te laag zijn.



Opgave 22

- a De temperatuur en het volume blijven gelijk, dus alleen de druk en de hoeveelheid lucht veranderen. De druk wordt $2 \times$ zo groot, dat betekent dat er $2 \times$ zoveel lucht in moet zitten als eerst. Er moet dus nog 3,5 L lucht bij. Je kunt dit ook met de gasvergelijking oplossen. Omdat de toegevoerde lucht wordt samengedrukt, verandert V niet, maar n wel. Dus vul bij n de hoeveelheid (niet samengedrukte) lucht in: $\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$ met V en T constant:

$$\frac{p_1}{n_1} = \frac{p_2}{n_2} \rightarrow \frac{1,00 \cdot 10^5}{3,5} = \frac{2,00 \cdot 10^5}{n_2} \rightarrow n_2 = 7,0 \text{ L}$$

Er is dus $7,0 - 3,5 = 3,5$ L lucht bijgekomen in de tank.

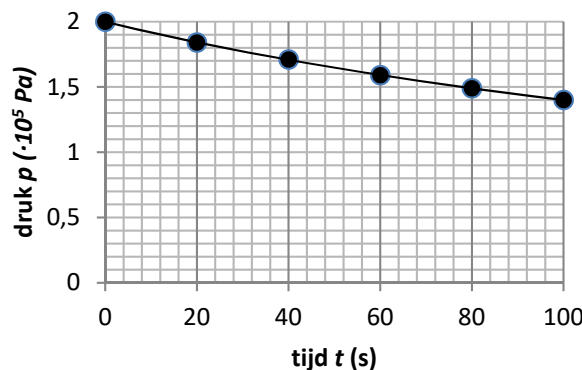
Met iedere pompslag komt er 150 mL = 0,150 L lucht bij. Dit betekent dat er $\frac{3,5}{0,150} = 23,3$ keer gepompt moet worden. Omdat we er vanuit gaan dat je alleen maar hele pompbewegingen maakt, moet je het antwoord afronden naar boven: 24 pompslagen.

- b Iedere seconde spuit er 15 mL water uit de tank, dus neemt het luchtvolume V_{lucht} iedere seconde toe met 15 mL. Iedere 20 s neemt het luchtvolume dus toe met $20 \times 0,015 = 0,30$ L. De druk is telkens te berekenen met

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \rightarrow 2,00 \cdot 10^5 \times 3,50 = p \cdot V_{\text{lucht}} \rightarrow p = \frac{7,00 \cdot 10^5}{V_{\text{lucht}}} \text{ met } V_{\text{lucht}} \text{ in liter.}$$

Maak eerst een tabel. Teken daarna het diagram en verbind de punten met een vloeiende lijn.

t (s)	V_{lucht} (L)	p ($\times 10^5$ Pa)
0	3,50	2,00
20	3,80	1,84
40	4,10	1,71
60	4,40	1,59
80	4,70	1,49
100	5,00	1,40



- c Als de temperatuur iets daalt, daalt de druk in de tank ook iets. Je moet dan meer keren pompen om de tank weer op de juiste druk te brengen.

Opgave 23

- a A – C – B – D

- b Gebruik de algemene gaswet met n constant: $\frac{p \cdot V}{T} = c$. Een toename van de massa betekent een toename van de druk en dus een afname van het volume. Een toename van de temperatuur betekent een toename van het volume. De massa (en dus de druk) is bij A en C $1,5 \times$ zo groot als bij B en D. De temperatuur is bij C en D $\frac{350}{290} = 1,2 \times$ keer zo groot als bij A en B. Vooraan komt dus de grootste massa met de laagste temperatuur (A), en achteraan de kleinste massa met de hoogste temperatuur (D). Omdat de factor van de massa groter is dan de factor van de temperatuur, komt C eerder dan B.

Opgave 24

- a B – C – A – E – D

- b Gebruik de algemene gaswet met n constant: $\frac{p \cdot V}{T} = c$. Hoe groter druk en volume, hoe hoger de temperatuur.

Bereken voor elke situatie $p \cdot V$ en zet ze op volgorde:

A: $3p_0V_0$, B: $12p_0V_0$, C: $4p_0V_0$, D: p_0V_0 , E: $2p_0V_0$.



3.3 ENERGIE EN WARMTETRANSPORT

Opgave 25

- a Niet waar: Warmte van een voorwerp of hoeveelheid stof is de optelsom van alle bewegingsenergie van de deeltjes van het voorwerp of de hoeveelheid stof.
- b Niet waar: De eenheid van soortelijke warmte is joule per kg per kelvin (of per °C).
- c Waar
- d Niet waar: Bij metalen zijn het onder andere de **vrije** elektronen die voor warmtegeleiding zorgen.
- e Waar
- f Waar
- g Niet waar: Afkoelen betekent dat er warmte aan onttrokken wordt.

Opgave 26

- a Bij stroming bewegen de deeltjes zelf en nemen zo de energie mee. In een vaste stof kunnen de deeltjes zich niet verplaatsen.
- b Bij geleiding wordt de trilling doorgegeven van het ene deeltje aan het andere. In de lucht zitten de deeltjes zo ver van elkaar dat ze geen contact maken en dus de trilling niet door kunnen geven.

Opgave 27

- a Sneeuw smelt sneller in de zon.
- b De temperatuur van een pan kokend water blijft 100 °C terwijl je energie blijft toevoeren.
- c Als je water in een open pan aan de kook brengt, duurt dat langer dan wanneer je een deksel op de pan doet. Zonder deksel verdwijnt er waterdamp uit de pan met medeneming van verdampingswarmte. Met deksel op de pan condenseert het verdampte water weer binnen de pan en keert de verdampingswarmte ook weer terug in het water in de pan.
- d Fruittelers beregenen hun bloeiende fruitbomen als er nachtvorst op komst is. Het bevriezen van de buitenkant van het waterlaagje om de bloesem en de beginnende vruchtjes levert dan de energie die ervoor zorgt dat de binnenkant niet afkoelt tot onder het vriespunt.

Opgave 28

- a De temperatuur van een materiaal is een maat voor de gemiddelde bewegingsenergie van de deeltjes van het materiaal. Als de temperatuur van het materiaal daalt, neemt de bewegingsenergie van de deeltjes af. Die energie moet worden afgevoerd.
- b Als de gemiddelde bewegingsenergie van de deeltjes blijft afnemen, zullen op een gegeven moment de deeltjes helemaal stil staan. Dan is het absolute nulpunt (0 K) bereikt.
- c Als de temperatuur (in kelvin) van een voorwerp of hoeveelheid materiaal $2 \times$ zo groot wordt, wordt de gemiddelde bewegingsenergie van de deeltjes waaruit dat voorwerp of die hoeveelheid materiaal bestaat ook $2 \times$ zo groot.

Opgave 29

- a Een soortelijke warmte van 4180 J/(kg·K) betekent dat je per kg water 4180 J energie moet toevoeren voor een temperatuurstijging van 1 K.
- b Meet de begintemperatuur van het water, schakel het verwarmingselement in en start de stopwatch. Blijf op de thermometer kijken en stop de stopwatch als de temperatuur 10 graden is gestegen. Noteer die tijdsduur en schakel ook het verwarmingselement uit.
- c Bereken uit de gemeten tijd en het vermogen (300 J/s) de toegevoerde warmte (met $E = P \cdot t$). De soortelijke warmte is de toegevoerde warmte gedeeld door de massa (0,5 kg voor 0,5 L water) en gedeeld door de temperatuurstijging (10 graden).



Opgave 30

- a Het materiaal van de koelbox is een slechte warmtegeleider.
- b Het materiaal van het dekbed is een slechte warmtegeleider.
- c In lucht zitten de deeltjes ver van elkaar, waardoor ze de warmte moeilijk doorgeven. Lucht is dus een goede isolator, die voorkomt dat de warmte wordt doorgegeven.
- d Je kunt deze materialen het best vergelijken met de vacht van een ijsbeer, daar zit ook veel lucht in.

Opgave 31

- a Je tong kan vastvriezen aan de ijzeren brugleuning door de grote warmtegeleidingscoëfficiënt van ijzer. Hierdoor wordt de warmte van je tong zo snel afgevoerd dat het water in en op je tong bevroert. De bloedvaten in je tong kunnen de warmte niet snel genoeg aanvoeren om je tong te ontdooien.
- b Je tong zal niet snel aan een stenen brugleuning vastvriezen, doordat de warmtegeleidingscoëfficiënt van steen veel kleiner is. In steen zijn geen vrije elektronen, zoals wel in metaal.

Opgave 32

- a Bij een heteluchtoven is stroming de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- b Bij een magnetron is (radio)straling de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- c Bij een broodrooster is (warmte)straling de belangrijkste vorm van warmtetransport.
- d Bij een pan met een dikke aluminium bodem is geleiding de belangrijkste vorm van warmtetransport.

Opgave 33

- a Het koper geleidt de warmte van de processor goed. De processor kan zo zijn warmte afstaan aan de heatsink en zal niet te heet worden.
- b Er is sprake van geleiding van de warmte van de processor naar de heatsink en van de heatsink naar de lucht. Er is sprake van stroming van warmte, doordat de verwarmde lucht opstijgt door convectie en/of van de heatsink weggeblazen wordt door een klein ventilatortje.
- c Ja, als de heatsink warm wordt zal deze ook warmtestraling afgeven.

Opgave 34

Eigen antwoord.

Opgave 35

- a Waar
- b Niet waar: De soortelijke warmte geeft aan hoeveel energie je nodig hebt om de temperatuur van 1 kg van een stof 1 °C te verhogen.
- c Niet waar: Een stof met een grotere dichtheid bestaat uit minder deeltjes per kg stof en heeft een dus kleinere soortelijke warmte doordat alle deeltjes van elke stof gemiddeld evenveel bewegingsenergie hebben bij dezelfde temperatuur.
- d Niet waar: Het gaat hier niet om de soortelijke warmte maar om de warmtegeleidingscoëfficiënt. Een goede thermosfles is gemaakt van materialen met een slechte warmtegeleidingscoëfficiënt.
- e Niet waar: De warmtegeleidingscoëfficiënt geeft aan hoeveel energie er per seconde door een vierkante meter van die stof wordt getransporteerd **als die stof 1 m dik is** en het temperatuurverschil tussen beide kanten van die stof 1 K is.
- f Waar

Opgave 36

- a $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 15 \times (38 - 20) = 1,1 \cdot 10^6 \text{ J}$
- b Bij gebruik van een energiezuinige douche is de besparing $15 - 4,0 = 11 \text{ L/min}$. Bij 3,0 uur douchen per week is de jaarlijkse besparing:
 $4180 \times (11 \times 3,0 \times 60 \times 52) \times (38 - 20) = 7,75 \cdot 10^9 \text{ J}$.
 Dat scheelt: $\frac{7,75 \cdot 10^9}{32 \cdot 10^6} = 242 \text{ m}^3 \text{ gas}$ en $242 \times 0,60 = \text{€ } 145$ per jaar.



Opgave 37

- a $Q_{\text{staal}} = c_{\text{staal}} \cdot m \cdot \Delta T = 0,50 \cdot 10^3 \times 0,80 \times (100 - 20) = 32 \cdot 10^3 \text{ J} = 32 \text{ kJ}$
- b De soortelijke warmte van water is $4180 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ en $1,8 \text{ L}$ water heeft een massa van $1,8 \text{ kg}$ water.
 $Q_{\text{water}} = c_{\text{water}} \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 1,8 \times (100 - 20) = 6,0 \cdot 10^5 \text{ J}$
- c Totaal geleverde warmte is $Q_{\text{staal}} + Q_{\text{water}} = 32 \cdot 10^3 + 6,0 \cdot 10^5 = 6,32 \cdot 10^5 \text{ J}$
 Het percentage warmte dat in het staal is gaan zitten is: $\frac{32 \cdot 10^3}{6,32 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 5,1\%$.
- d Bij het verwarmen van de pan wordt ook de lucht eromheen verwarmd. Bovendien straalt de warme pan water ook warmte uit naar de omgeving en verdampt er al water terwijl het water nog niet kookt. Dit alles zal ervoor zorgen dat niet alle energie in de pan en het water terecht komt.
- e Als je een deksel op de pan doet, kan de waterdamp niet ontsnappen uit de pan. Het condenseert tegen het deksel, zodat de warmte in de pan blijft.

Opgave 38

- a De dichtheid van ijzer is $7,87 \text{ kg/dm}^3$ en $V = 0,010 \text{ dm}^3$ dus $m = 7,87 \times 0,010 = 0,0787 \text{ kg} = 79 \text{ g}$.
- b De soortelijke warmte van ijzer is $460 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ en $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ geeft $\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{113}{460 \times 0,0787} = 3,1 \text{ }^\circ\text{C}$.
 De temperatuur van het plaatje daalt $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Opgave 39

- a Een koud voorwerp van een stof met een kleinere warmtegeleidingscoëfficiënt geleidt de warmte die het aan je warmere hand onttrekt, slechter naar binnen. Het oppervlak van dat voorwerp kan daardoor sneller opwarmen dan het oppervlak van een voorwerp van een stof met grotere warmtegeleidingscoëfficiënt. En daardoor dus warmer aanvoelen. Maar....een voorwerp van een stof met een grotere soortelijke warmte zal in zijn geheel minder snel opwarmen.
 Het is dus niet zonder meer duidelijk wat overheerst. Ook de massa en de vorm van het voorwerp spelen een rol in deze 'wedstrijd'. Bij twee voorwerpen met een grote massa en een klein oppervlak zal de warmtegeleidingscoëfficiënt de doorslag geven. Maar bij twee heel lichte voorwerpen met een groot contactoppervlak met de hand kan het verschil in soortelijke warmte het winnen.
- b De warmtegeleidingscoëfficiënt van rubber is erg klein, dus zal de warmte van het water maar langzaam worden afgestaan aan de omgeving en blijft de kruik lang warm. Bovendien zal de kleine warmtegeleidingscoëfficiënt ervoor zorgen dat je je niet zult branden aan deze kruik.
- c De temperatuur van het water in de kruik daalt in de loop van de nacht, dus wordt het temperatuurverschil tussen de binnenkant en de buitenkant van het rubber steeds kleiner. De warmtestroom is evenredig met dit temperatuurverschil en zal dus ook afnemen.

Opgave 40

- a De warmtegeleidingscoëfficiënt van baksteen is $0,6 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$,
 dus $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,6 \times 8,5 \times \frac{14}{0,12} = 6 \cdot 10^2 \text{ W}$.
- b Met $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$ volgt $\lambda = \frac{P \cdot d}{A \cdot \Delta T} = \frac{140 \times 0,18}{8,5 \times 14} = 0,21 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$.

Opgave 41

- a De warmtegeleidingscoëfficiënt van glas is $0,93 \text{ W/(K} \cdot \text{m)}$, de oppervlakte van het raam is $2,5 \times 1,0 = 2,5 \text{ m}^2$, het temperatuurverschil is $15 - 12 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ en de dikte is $0,0040 \text{ m}$.
 $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,93 \times 2,5 \times \frac{3}{0,0040} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ W} = 2 \text{ kW}$
- b Nee, het vermogen van het kacheltjes is niet genoeg, want het kacheltje levert maar $1,0 \text{ kW}$ terwijl er bijna 2 kW aan warmte verdwijnt.



- c De warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht is $0,024 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$. De oppervlakte van het raam is $2,5 \text{ m}^2$, het temperatuurverschil is $6 \text{ }^\circ\text{C}$ en de dikte is $0,010 \text{ m}$.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,024 \times 2,5 \times \frac{6}{0,010} = 36 \text{ W} = 4 \cdot 10^1 \text{ W}$$
- d De warmtegeleidingscoëfficiënt λ van lucht is $0,024 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ en die van glas $0,93 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$, bijna $40 \times$ zo groot. Bovendien is de dikte van de luchtlaag ook nog eens $2,5 \times$ zo groot als de dikte van een ruit. De luchtlaag isoleert bijna $100 \times$ beter dan een enkele ruit.
- e Ja, het straalkacheltje kan de kamer nu wel op temperatuur houden want er wordt nu veel meer warmte door het kacheltje geleverd dan er verdwijnt door het raam.

Opgave 42

- a De soortelijke warmte van water is erg groot, dus kan water veel warmte opslaan per kg.
- b De soortelijke warmte van steen is kleiner dan van water, maar de beddensteen zal een hogere temperatuur hebben dan warm water, dat hoogstens $100 \text{ }^\circ\text{C}$ zal zijn. Daardoor zit er toch veel warmte in de steen opgeslagen. De steen zal heel lang warm blijven door de kleine warmtegeleidingscoëfficiënt. Maar het duurt ook heel lang om een beddensteen eerst op te warmen.
 De stoof bevat geen warmte in opgeslagen vorm maar produceert warmte door het gloeien van kooltjes. Om te voorkomen dat je je verbrandt moet je dus de stoof uit bed halen zodra je zelf in bed gaat liggen. Je kunt het bed dus wel voorverwarmen met een stoof, maar als je erin ligt wordt het niet meer verwarmd.
- c Door het aluminiumfolie wordt de warmtestraling van de gewonde direct gereflecteerd naar de gewonde toe. Zo verliest de gewonde geen warmte door straling. Bovendien moet in de ambulance vaak al medische hulp verleend worden en is er geen plaats voor dikke dekens.

Opgave 43

- a $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 1,5 \times 80 = 5,02 \cdot 10^5 \text{ J} = 0,50 \text{ MJ}$
- b Per seconde gaat er $1,5 \text{ kJ}$ warmte door de bodem van de pan en er is $5,02 \cdot 10^5 \text{ J}$ nodig, dus dat duurt minstens $\frac{5,02 \cdot 10^5}{1,5 \cdot 10^3} = 334 \text{ s} = 5,6 \text{ min}$.
- c Dan is de warmtestroom $P_{\text{gem}} = \frac{5,02 \cdot 10^5}{8,5 \times 60} = 9,8 \cdot 10^2 \text{ W} = 0,98 \text{ kW}$.
- d De oppervlakte van de bodem van de pan is: $A = \pi \cdot r^2 = \pi \times 0,115^2 = 0,0415 \text{ m}^2$, de dikte van de bodem is $4,5 \text{ mm}$ en de warmtegeleidingscoëfficiënt van ijzer is $80,4 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$.

$$P_{\text{gem}} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \rightarrow \Delta T = \frac{P_{\text{gem}} \cdot d}{\lambda \cdot A} = \frac{9,8 \cdot 10^2 \times 0,0045}{80,4 \times 0,0415} = 1,3 \text{ K} = 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$$
- e In een waterkoker komt praktisch alle door de gloeispiraal ontwikkelde warmte in het water terecht. Het vermogen van de waterkoker is $1,5 \times$ zo groot als de gemiddelde warmtestroom door de bodem van de pan, dus zal het $1,5 \times$ zo snel gaan om het water in de waterkoker aan de kook te brengen.

Opgave 44

- a De laag lucht bij een spouwmuur heeft een heel lage warmtegeleidingscoëfficiënt. Hierdoor wordt de warmte moeilijk doorgegeven. Maar omdat de lucht nog wel kan stromen ontstaat er warmteverlies door stroming. Door het aanbrengen van isolatiemateriaal staat de lucht stil en wordt het warmteverlies nog verder tegengegaan. Bovendien is de warmtegeleidingscoëfficiënt van de isolatiematerialen zelf erg klein, zodat er ook door geleiding weinig warmte verloren gaat.
- b Het glaswol heeft dezelfde functie als de korrels piepschuim maar de metaalfolie tegen de buitenmuur reflecteert de warmtestraling van de binnenmuur van het huis weer terug zodat het totaal (nog) beter isoleert.



Opgave 45

- a** De warmtegeleidingscoëfficiënt van graniet is groter dan van baksteen. Voor dezelfde isolatie heb je dus een dikkere muur nodig.
- b** Bij dezelfde oppervlakte en hetzelfde temperatuurverschil hangt de warmtestroom alleen af van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte. Stel dat de oppervlakte 1 m^2 is en het temperatuurverschil 1°C .

Dan is de warmtestroom bij de $0,50 \text{ m}$ dikke granieten muur:

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 3,5 \times 1 \times \frac{1}{0,50} = 7 \text{ W}$$

en die van de $0,1$ meter dikke houten muur:

$$P = 0,4 \times 1 \times \frac{1}{0,10} = 4 \text{ W}$$

De houten muur isoleert dus beter.

- c** Voor een bakstenen muur met een dikte van 1 dm geldt bij een temperatuurverschil van 1°C :

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,6 \times 1 \times \frac{1}{0,1} = 6 \text{ W}$$

Beide muren geleiden bijna dezelfde hoeveelheid warmte. Maar beide muren moeten ook zelf opwarmen. De granieten muur, die veel dikker is, een grotere soortelijke warmte heeft en een grotere dichtheid zal veel meer warmte zelf opnemen dan de bakstenen muur. Hierdoor blijft het huis overdag langer koel en zodra het buiten kouder wordt, blijft het binnen nog langer warm.

3.4 STERKTE EN VERVORMBAARHEID VAN MATERIALEN

Opgave 46

- a** Niet waar: Als de temperatuur van een voorwerp of een hoeveelheid stof stijgt, wil dat zeggen dat de deeltjes waaruit dat voorwerp of die stof bestaat, sneller gaan bewegen. Dit geldt voor elke fase.
- b** Waar
- c** Niet waar: Bij elastische materialen werkt de aantrekkende kracht tussen de deeltjes ook op grotere onderlinge afstand, waardoor het materiaal de oorspronkelijke vorm terugkrijgt als je het uitrekt
- d** Niet waar: Beton zet wel uit als het warmer wordt.
- e** Waar
- f** Waar
- g** Waar
- h** Waar

Opgave 47

- a** In het deeltjesmodel van een vaste stof is er een (sterke) wisselwerking tussen de deeltjes. Op zeer korte onderlinge afstand stoten de deeltjes elkaar af, waardoor een vaste stof moeilijk of niet is samen te drukken. Op iets grotere afstand trekken de deeltjes elkaar juist aan. De aantrekkende kracht is afhankelijk van de afstand tussen de deeltjes van de stof. In een ideaal gas is de onderlinge afstand van de deeltjes zo groot dat er geen sprake is van aantrekking.
- b** Met het deeltjesmodel van een ideaal gas kun je niet verklaren dat sommige vaste stoffen stevig zijn terwijl andere stoffen zacht zijn en dat stoffen elastisch kunnen zijn.

Opgave 48

- a** Bij het uitrekken van het rubber wordt de onderlinge afstand van de deeltjes vergroot. Bij het vergroten van die afstand wordt de aantrekkende kracht tussen de deeltjes in de trekrichting groter. Jouw trekkracht maakt dan evenwicht met die extra aantrekkende krachten tussen de deeltjes.
- b** In elke dwarsdoorsnede wordt de totale nettokracht tussen de moleculen in de trekrichting net zo groot als jouw kracht (zie ook antwoord bij **a**).



- c Bij een dikker stuk rubber zijn er meer rubbermoleculen in een dwarsdoorsnede en dus zijn er meer onderling parallelle krachten in de trekrichting.
- d Bij een langer stuk rubber wordt voor dezelfde uitrekking de onderlinge afstand tussen twee deeltjes juist minder vergroot, dus is daar minder kracht voor nodig.

Opgave 49

- a Als je even hard trekt, is over een dwarsdoorsnede de totale nettokracht tussen de 'rubberdeeltjes' even groot als tussen de 'touwdeeltjes'.
- b De trekkracht is gelijk en de dikte ook, dus is de spanning ook gelijk.
- c Bij de touwdeeltjes neemt de aantrekkende kracht tussen de deeltjes sneller toe, want de uitrekking van het touw is veel kleiner.

Opgave 50

Eigen antwoord.

Opgave 51

- a De eenheid van spanning, druk, treksterkte én elasticiteitsmodulus is newton per vierkante meter (N/m²).
- b De treksterkte is een spanning, dus de trekkracht gedeeld door de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het materiaal. De treksterkte is de maximale spanning die het materiaal kan hebben.

Opgave 52

- a Om de treksterkte te kunnen berekenen moet je behalve de maximale trekkracht F ook de oppervlakte A van de dwarsdoorsnede meten.
- b De treksterkte σ is dan: $\sigma = \frac{F}{A}$ (met σ in Pa of N/m², F in N en A in m²).

Opgave 53

- a $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{52 - 10}{10} = 4,2 = 4,2 \cdot 100\% = 4,2 \cdot 10^2\%$
- b $\sigma = \frac{F}{A}$ dus $A = \frac{F}{\sigma} = \frac{30}{15 \cdot 10^6} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$. Dit is de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het dubbele elastiek.
- c De elasticiteitsmodulus is een stoffeigenschap, die wordt bepaald door de aantrekkende krachten tussen de deeltjes. Deze eigenschap verandert niet als je het elastiekje in tweeën knipt.
- d Door het openknippen wordt het elastiekje $2 \times$ zo lang en wordt de oppervlakte van de dwarsdoorsnede $2 \times$ zo klein. Omdat de oppervlakte $2 \times$ zo klein is geworden, is de kracht waarbij het elastiekje breekt ook $2 \times$ zo klein geworden: $F = 15 \text{ N}$.
Omdat de beginlengte $2 \times$ zo groot is geworden en de relatieve rek bij breuk gelijk blijft, wordt de toename van de lengte ook $2 \times$ zo groot: $\Delta l = 2 \times 42 = 84 \text{ cm}$. Het elastiekje is dan $l = l_0 + \Delta l = 2 \times 10 + 84 = 104 \text{ cm}$ lang.

Opgave 54

- a De oppervlakte van de dwarsdoorsnede is: $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \times (0,30 \cdot 10^{-3})^2 = 7,07 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$.
 $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{3,0}{7,07 \cdot 10^{-8}} = 4,2 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 0,042 \cdot 10^9 \text{ Pa}$. Dat is minder dan de treksterkte, dus de lijn zal niet breken.
- b Als de lijn breekt, is de treksterkte bereikt. De trekkracht is nu: $F = \sigma \cdot A = 0,075 \cdot 10^9 \times 7,07 \cdot 10^{-8} = 5,3 \text{ N}$.



Opgave 55

- a De personen zijn even zwaar, dus de (gewichts-)kracht op beide koorden is even groot. De oppervlakte van de dwarsdoorsnede is groter bij het dikke koord, dus de spanning $\sigma = \frac{F}{A}$ is in het dikke koord kleiner dan in het dunnere koord.
- b De relatieve rek is $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$. Het dikke koord zal door de kleinere spanning minder uitrekken dan het dunnere koord. Bij dezelfde kracht is de relatieve rek bij het dikke koord dus kleiner dan bij het dunnere koord.
- c De elasticiteitsmodulus is een materiaaleigenschap en niet afhankelijk van de lengte of de dikte van het koord. Beide koorden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt dus is de elasticiteitsmodulus bij beide koorden even groot.

Opgave 56

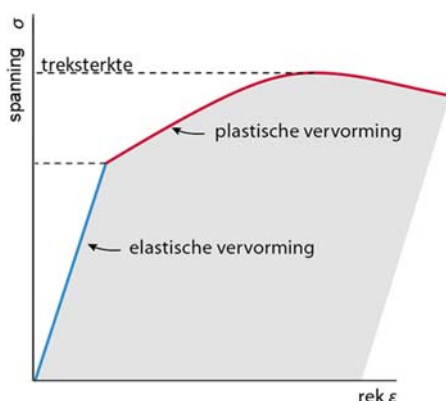
- a $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{15 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 3,0 \cdot 10^9 \text{ Pa} = 3,0 \text{ GPa}$
- b $\sigma = \frac{F}{A}$ dus $A = \frac{F}{\sigma} = \frac{10}{15 \cdot 10^6} = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$
- c $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ dus $l_0 = \frac{\Delta l}{\varepsilon} = \frac{2,0 \cdot 10^{-2}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 4,0 \text{ m}$

Opgave 57

- a De relatieve rek kan bij rubber oplopen tot wel 400% en dan veert het weer terug naar de oorspronkelijke toestand. De relatieve rek bij nylon in het elastische gebied is nog geen 10%. Hieraan zie je dat rubber veel rekbaarder is dan nylon.
- b Bij nylon neemt de spanning vrijwel evenredig toe met de rek, totdat de trekkracht (maximale spanning) is bereikt. Rek je het nog verder uit, dan vervormt het nylon plastisch waarbij de spanning afneemt. Bij rubber blijft de spanning alsmaar toenemen als de relatieve rek toeneemt. De toename van de spanning is niet evenredig met de rek. De vervorming blijft elastisch (want de stippellijn geeft aan dat het materiaal bij ontlasten naar zijn oude vorm teruggaat) en de spanning blijft toenemen, totdat het rubber breekt.
- c Volgens figuur 48 breekt het elastiekje bij een rek boven de 400%. Het elastiekje is dan 5 × zo lang geworden en heeft dus een lengte van 50 cm.

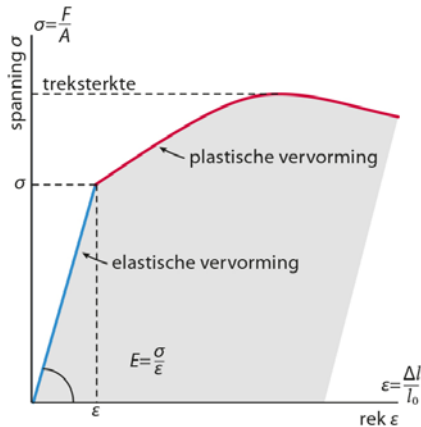
Opgave 58

- a Bij de blauwe lijn moet staan: 'elastische vervorming'. Bij de rode lijn moet staan: 'plastische vervorming'.
- b Zie figuur.





- c Zie figuur. Waar 'elastische vervorming' staat, is de elasticiteitsmodulus geldig. Hier neemt de spanning evenredig toe met de relatieve rek.



Opgave 59

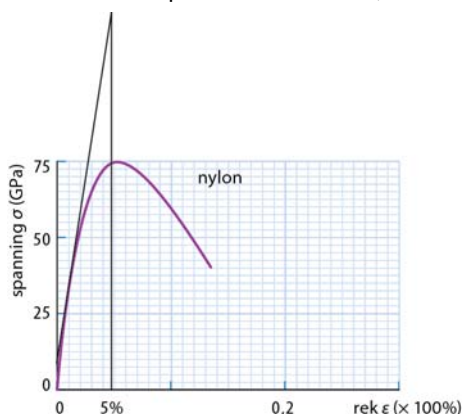
- a Dit heeft met de elasticiteitsmodulus van het materiaal te maken: voor een klein beetje extra rek is veel spanning nodig, dus de elasticiteitsmodulus is hoog.
- b Dit heeft te maken met de treksterkte van het materiaal: op een gegeven moment komt de spanning boven de treksterkte en gaat het materiaal insnoeren of breekt, zoals bij de snaar van de basgitaar.

Opgave 60

- a De treksterkte van staal is 0,4 GPa (zie de tabel in figuur 46). Dus de treksterkte van de koolstof nanobuisjes is veel groter dan die van staal. Even dikke kabels van koolstof nanobuisjes zijn dus moeilijker kapot te trekken dan die van staal.
- b De elasticiteitsmodulus van staal is 200 GPa (zie de tabel in figuur 48). De koolstof nanobuisjes hebben een veel grotere elasticiteitsmodulus en hebben dus voor eenzelfde uitrekking veel meer spanning nodig; ze rekken dus moeilijker uit dan staal.
- c $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ dus $\sigma = E \cdot \epsilon = 1,22 \cdot 10^3 \times 0,1\% = 1,22 \text{ GPa}$. De treksterkte van de koolstof nanobuisjes is 63 GPa, dus het buisje zal niet breken.
- d Bereken daarvoor de rek die optreedt bij de maximale treksterkte: $\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{63}{1,22 \cdot 10^3} = 0,0516 = 5,2\%$.

Opgave 61

Raaklijn tekenen in het gebied waar de grafiek nog praktisch recht is. Gebruik de raaklijn om de (theoretische) spanning bij 5% rek af te lezen: 125 GPa. Vermenigvuldig deze uitkomst met 20 om de (theoretische) spanning bij 100% rek te bepalen: $20 \times 125 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ GPa}$ (of met $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{125}{0,05} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ GPa}$).





3.5 VERDIEPING

Opgave 62

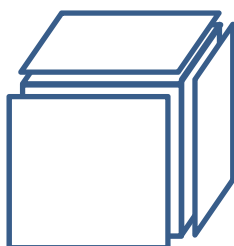
- a De bal zal naar rechts rollen tot hij op dezelfde hoogte is als bij B, maar dat punt ligt (horizontaal) verder van A af dan punt B. Links van A is de helling steiler en zal de bal sneller op gang komen dan dat hij rechts van A weer afremt bij het omhoog rollen. En op de terugweg zal hij rechts van A minder snel op gang komen dan dat hij links van A weer afremt bij het omhoog rollen. Per hele beweging is de bal dus langer rechts van punt A dan links, waardoor hij zich in de tijd gemiddeld rechts van A bevindt.
- b Naarmate je de bal hoger loslaat, komt hij aan de rechterkant ook hoger en dus steeds verder naar rechts. De gemiddelde horizontale positie van de bal zal dan ook steeds verder naar rechts komen te liggen.
- c Als een metaal warm wordt, bewegen de trillende deeltjes verder om hun evenwichtspositie heen en weer. Door de holle vorm die in figuur 52b wordt weergegeven, neemt de afstotende kracht sneller toe als de deeltjes dichter bij elkaar komen dan dat de aantrekkende kracht toeneemt als de deeltjes verder van elkaar komen. Hierdoor komt de gemiddelde positie van een trillend deeltje iets verder naast de evenwichtspositie te liggen, net als bij de bal in figuur 53. De onderlinge afstand tussen de deeltjes wordt (in de tijd) gemiddeld iets groter.

Opgave 63

- a Als het warm is, zet het staal uit. De rails worden dan langer en zullen in zijdelingse richting uitbuigen (spoorspatting).
- b $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T = 12 \cdot 10^{-6} \times 30 \times 60 = 0,0216 \text{ m} = 2,2 \text{ cm}$.

Opgave 64

- a Zowel een vloeistof als een vaste stof zet naar alle kanten uit. Bij een vaste stof kun je de uitzetting in één richting meten, maar dat lukt niet bij een vloeistof.
- b Bij vloeistoffen zal gelden: $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$.
- c Een uitzetting van het volume ΔV is een uitzetting in drie richtingen, dus zal gelden dat de kubieke uitzettingscoëfficiënt 3 × zo groot is als de lineaire uitzettingscoëfficiënt.



Meer precies kun je dit afleiden dat voor een rechthoekig blokje met afmetingen l , b en h en $V = l \cdot b \cdot h$.

Uit $l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$, $b = b_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$ en $h = h_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$ volgt dat:

$$\Delta V = V - V_0 = l \cdot b \cdot h - V_0 = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot b_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot h_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) - V_0$$

$$\Delta V = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)^3 - V_0 = V_0 \cdot (1 + 3\alpha \cdot \Delta T + 3\alpha^2 \cdot \Delta T^2 + \alpha^3 \cdot \Delta T^3) - V_0$$

$$\Delta V = V_0 \cdot (3\alpha \cdot \Delta T + 3 \cdot \alpha^2 \cdot \Delta T^2 + \alpha^3 \cdot \Delta T^3) \approx 3\alpha \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

De verwaarlozing van de kwadratische en de derdemachts termen volgt uit het feit dat de uitzettingscoëfficiënt α heel klein is, waardoor het kwadraat en de derde macht ervan een verwaarloosbare bijdrage leveren, zelfs in het product met ΔT^2 en ΔT^3 .

Opgave 65

- a De verdampingswarmte van helium is $0,021 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.
- b De benodigde hoeveelheid energie is $E = P \cdot t = 60 \cdot 10^{-3} \times 2 \times 365 \times 24 \times 3600 = 3,78 \cdot 10^6 \text{ J}$.
Dus is de benodigde hoeveelheid helium $\frac{3,78 \cdot 10^6}{0,021 \cdot 10^6} = 1,8 \cdot 10^2 \text{ kg}$.



Opgave 66

- a Bij condensatie komt warmte vrij en deze warmte verwarmt de omringende koude lucht.
- b Tropische cyclonen worden bij hun oversteek over de warme Atlantische oceaan voortdurend gevoed met waterdamp uit warm oceaanwater. Daardoor groeien ze uit van storm tot cycloon. Een storm die over de Noordzee naar ons toekomt reist over koud water. Hieruit zal veel minder water verdampen, zodat de storm nooit kan uitgroeien tot een cycloon.
- c Als een tropische cycloon 'aan land komt' wordt de cycloon niet meer gevoed met verdampt water dat bovenin condenseert.

3.7 AFSLUITING

Opgave 67

- a Eigen antwoord.
- b Wat we nog niet kunnen verklaren met behulp van atomen of moleculen is de sterkte van vezels en composietmaterialen, waarom sommige materialen meer interactie met hun omgeving aangaan dan andere materialen, de werking van smart materials en vloeibare kristallen en de nanotechnologie.

Opgave 68

- a Bij verwarming van een gas gaan de deeltjes gemiddeld sneller bewegen, botsen harder en vaker tegen elkaar en tegen een wand, de druk in het gas neemt toe. Als de verwarming plaatselijk is, zet het gas daar uit doordat de druk daar groter wordt dan in de omgeving. Door het uitzetten neemt de druk weer af, tot de druk in de omgeving, doordat de deeltjes van het verwarmde gas dan minder vaak botsen.
- b Als de temperatuur van een gas daalt, neemt de gemiddelde snelheid van de deeltjes af. De deeltjes botsen dan minder hard en minder vaak tegen de wanden, waardoor de druk van het gas daalt.
- c Om het gedrag van vloeistoffen en vaste stoffen te verklaren moeten de deeltjes kracht uitoefenen op elkaar. De sterkte van de onderlinge aantrekking is afhankelijk van de afstand tussen de deeltjes in de stof.
- d Bij 0 K staan alle deeltjes stil.
- e Stoffen zijn opgebouwd uit moleculen en atomen.
- f De massa van een atoom wordt bepaald door de massa van de kern.
- g Bij elastische vervorming krijgt het materiaal de oorspronkelijke vorm terug, als er geen uitwendige kracht meer op werkt. Bij plastische vervorming is de vervorming blijvend.
- h De treksterkte van een materiaal wordt bepaald door de aantrekkende krachten tussen de deeltjes.
- i De maximale trekkracht van een kabel is te berekenen door de treksterkte van het materiaal van de kabel te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de kabel.
- j De deeltjes van een materiaal blijven bij elkaar door de aantrekkende krachten tussen de deeltjes. De grootte van die krachten bepaalt dus de sterkte van het materiaal. Hoe steviger de deeltjes aan elkaar vast zitten, des te heftiger moet de trillende beweging worden om los te kunnen komen. Dat betekent dat sterke materialen ook een hoog smelt- en kookpunt hebben.
- k De dichtheid is de massa gedeeld door het volume van de hoeveelheid stof. Dichtheid is een stoffeigenschap, massa niet.
- l Als een materiaal 2 × zo lang is geworden, is de relatieve rek 100%.
- m Als een kabel 2 × zo dik wordt (of eigenlijk: als de oppervlakte van de dwarsdoorsnede 4 × zo groot wordt), en de kracht op de kabel gelijk blijft, wordt de spanning 4 × zo klein.
- n De formule voor de elasticiteitsmodulus is $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$. Hierin is E de elasticiteitsmodulus (in Pa = N/m²), σ de spanning (in Pa = N/m²) en ϵ de relatieve rek (zonder eenheid). Dit geldt alleen in het gebied waar de spanning (bij benadering) evenredig is met de relatieve rek.
- o Om een temperatuur in graden Celsius om te rekenen naar kelvin, moet je er 273 bij optellen.
- p Als de temperatuur van een stof stijgt, verandert de bewegingsenergie van de deeltjes van die stof.



- q** De formule voor soortelijke warmte is $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$. Hierin is c de soortelijke warmte (in $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), Q de warmte (energie) (in J), m de massa (in kg) en ΔT de temperatuurstijging (in K of $^{\circ}\text{C}$).
- r** De drie vormen van warmtetransport zijn geleiding, stroming en straling.
- s** Als je een vloeistof lokaal verwarmt, gaan de deeltjes daar sneller bewegen, waardoor ze vaker en harder tegen elkaar botsen en de stof daar uitzet. Hierdoor wordt de dichtheid van de stof daar kleiner en wordt de vloeistof daar opgetild door de koelere omgeving. De warme stof zal naar boven bewegen.
- t** De vrije elektronen kunnen vrij door het metaal bewegen (goede elektriciteitsgeleider) en zo bewegingsenergie meenemen en doorgeven (goede warmtegeleider).
- u** De zes faseovergangen zijn: stollen en smelten, verdampen en condenseren, rijpen en sublimeren.
- v** De formule voor warmtestroom door een wand is $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$. Hierin is P de warmtestroom (in $\text{W} = \text{J/s}$), λ de warmtegeleidingscoëfficiënt (in $\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m})$), A de oppervlakte van de wand (in m^2), ΔT het temperatuurverschil (in K of $^{\circ}\text{C}$) over de wand en d de dikte van de wand (in m).
- w** Voor veel vaste stoffen en vloeistoffen geldt: hoe groter de dichtheid des te kleiner is de soortelijke warmte.
- x** De algemene gaswet luidt: $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$. Hierin is p de druk van het gas (in Pa), V het volume van het gas (in m^3), T de absolute temperatuur van het gas (in K), n het aantal mol gas en R de gasconstante ($8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$).

Opgave 69

Oriëntatie:

1 PSI = $6,89 \cdot 10^3$ Pa en 1 inch is $2,54 \cdot 10^{-2}$ m (Binas).

Uitwerking:

- a** $120 \text{ PSI} = 120 \times 6,89 \cdot 10^3 = 8,27 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 8,27 \text{ bar}$. De druk van 8,0 bar is lager dan de voorgeschreven maximale druk dus de racefietser houdt zich aan het voorschrift.
- b** Algemene gaswet: $\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$ met $V = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot R$ en
 $R = \frac{28}{2} = 14 \text{ inch} = 14 \times 2,54 \cdot 10^{-2} = 0,356 \text{ m} \rightarrow$
 $V = 2 \times \pi \times 0,020^2 \times 0,356 = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow$
 $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{8,0 \cdot 10^5 \times 2,81 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times (273 + 23)} = 0,913 \text{ mol lucht}$
 1 mol lucht heeft een massa van 29 g dus $m = 0,913 \times 29 = 26 \text{ g}$.
- c** De druk in de band is gelijk aan de druk op de grond, dus het gewicht van de fiets (al dan niet met fietser) is gelijk aan de contactoppervlakte maal de druk: $m \cdot g = p \cdot A \rightarrow$
 $A = \frac{m \cdot g}{p} = \frac{(85+12) \times 9,81}{8,27 \cdot 10^5} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 12 \text{ cm}^2$
- d** Bij een druk van 150 PSI is de druk $\frac{150}{120} = 1,25 \times$ zo groot. De temperatuur is dan ook $1,25 \times$ zo hoog, want druk en temperatuur zijn evenredig volgens de algemene gaswet: $T = 1,25 \times (273 + 23) = 370 \text{ K} = 97^{\circ}\text{C}$. Die temperatuur zal niet snel worden bereikt bij het remmen, dus nee, hij hoeft daar niet op te letten.

Opgave 70

- a** Het verband tussen spanning en relatieve rek is: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ waarbij $E_{\text{staal}} = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$.
 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0,12}{50} = 2,4 \cdot 10^{-3} \rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon = 200 \cdot 10^9 \times 2,4 \cdot 10^{-3} = 4,8 \cdot 10^8 \text{ Pa} (= 0,48 \text{ GPa})$
- b** $A = \pi \cdot r^2 = \pi \times 0,10^2 = 0,0314 \text{ m}^2 \rightarrow F = \sigma \cdot A = 4,8 \cdot 10^8 \times 0,0314 = 1,5 \cdot 10^7 \text{ N}$
- c** De kabel is kennelijk iets plastisch vervormd. Dat is natuurlijk niet de bedoeling, want dan is de sleepkabel niet meer betrouwbaar. Misschien had de sleper wel een groter cruiseschip kunnen trekken, maar het had vast niet gemogen. Als een sleepkabel breekt, kan hij nog wel voor een (groot) deel elastisch zijn. En dan kunnen de gevolgen dramatisch zijn. Het is wel gebeurd dat het hele stuurhuis van een sleepboot eraf is geslagen door het terugzwiepende deel van een gebroken sleepkabel.



- d Voor de dichtheid van de kabel geldt: $\rho = \frac{m}{V}$ waarbij $\rho_{\text{staal}} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ en $V = A \cdot l = 0,0314 \times 50 = 1,57 \text{ m}^3 \rightarrow m = \rho \cdot V = 7,8 \cdot 10^3 \times 1,57 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ kg}$
- e De Dyneema kabels bevatten vezels die zorgen voor een veel grotere treksterkte, waardoor de Dyneema kabel veel meer kracht kan verdragen. Dat de elasticiteitsmodulus kleiner is dan die van staal betekent wel dat de Dyneema kabel wat meer zal uittrekken tijdens het slepen.

Opgave 71

- a De formule voor warmtestroom is $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$. Een grote ijsbeer zal relatief meer inhoud hebben ten opzichte van de oppervlakte van zijn vacht (oppervlakte groeit kwadratisch en inhoud tot de macht 3). Hij verliest dus door zijn grootte relatief minder van de door hem geproduceerde warmte via zijn huid en vacht.
- b De warmtegeleidingscoëfficiënt van water is groter dan die van lucht. Water zal de warmte dus beter afvoeren. Een ijsbeer die het warm heeft moet dus gaan zwemmen.

Opgave 72

- a In de eerste 200 s stijgt de temperatuur met $90 - 24 = 66 \text{ }^\circ\text{C}$.
De toegevoerde warmte is dan: $E = P \cdot t = 1800 \times 200 = 3,6 \cdot 10^5 \text{ J}$.
Voor de totale warmte geldt: $Q = c_{\text{vet}} \cdot m_{\text{vet}} \cdot \Delta T + C_{\text{pan}} \cdot \Delta T \rightarrow$
 $3,6 \cdot 10^5 = c_{\text{vet}} \times 2,00 \times 66 + 1,6 \cdot 10^3 \times 66 \rightarrow c_{\text{vet}} = 1,9 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- b De temperatuurdaling na het uitzetten kan bepaald worden door naar de steilheid van de grafiek te kijken in het dalende stuk van de 'zaagtand'. Dit levert de temperatuurdaling per seconde. Het warmteverlies per seconde is dan:
 $Q = (c_{\text{vet}} \cdot m_{\text{vet}} + C_{\text{pan}}) \cdot \text{'temperatuurdaling per seconde'}$
Hierbij is C_{pan} al gegeven en is c_{vet} de in vraag a bepaalde soortelijke warmte van het frituurvet.

Opgave 73

- c Het toegevoerde vermogen door het verwarmingselement moet gelijk zijn aan het warmtestroom door de wanden en de bovenkant van het aquarium. (De warmtestroom door de onderkant is verwaarloosbaar, want die is perfect geïsoleerd.) De oppervlakte A van alle wanden is te berekenen als de som van de oppervlakte van de lange zijanten, de oppervlakte van de korte zijanten en de oppervlakte van de bovenkant:
 $A = 1,0 \times 0,40 \times 2 + 0,50 \times 0,40 \times 2 + 1,0 \times 0,50 = 1,7 \text{ m}^2$, $\Delta T = 35 - 20 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ en λ_{glas} is: $0,93 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$:
 $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} = 0,93 \times 1,7 \times \frac{15}{0,040} = 593 \text{ W}$
Dit is minder dan het vermogen van het verwarmingselement, dus het vermogen van het verwarmingselement is voldoende om het aquarium op temperatuur te houden.
- b $V_{\text{water}} = 1,0 \times 0,50 \times 0,40 = 0,20 \text{ m}^3 \rightarrow$
 $m = \rho \cdot V_{\text{water}} = 1,0 \cdot 10^3 \times 0,20 = 200 \text{ kg}$ en $\Delta T = 35 - 5,0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.
 $Q = c_{\text{water}} \cdot m \cdot \Delta T = 4180 \times 200 \times 30 = 2,5 \cdot 10^7 \text{ J} = 25 \text{ MJ}$
- c Het verwarmingselement levert 800 J per seconde dus dat duurt $\frac{2,5 \cdot 10^7}{800} = 3,1 \cdot 10^4 \text{ s} = 8,7 \text{ h}$.
In het begin is het water $15 \text{ }^\circ\text{C}$ kouder dan de omgeving en op het einde is het water juist $15 \text{ }^\circ\text{C}$ warmer dan de omgeving, dat is gemiddeld $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Dus is de gemiddelde warmtestroom naar en van de omgeving 0 J en hoeven we in onze berekening geen rekening te houden met deze warmtestroom.



Opgave 74

Oriëntatie:

De totale massa is minimaal $8,5 \cdot 10^6 + 2,5 \cdot 10^6 = 11,0 \cdot 10^6$ kg en de treksterkte van staal is $0,4 \cdot 10^9$ Pa (zie figuur 46). Bereken aan de hand van de zwaartekracht op de kabels en de treksterkte de minimaal benodigde oppervlakte van de 26 kabels samen. Bereken daaruit de oppervlakte per kabel en vervolgens de diameter per kabel.

Uitwerking:

$$F_z = m \cdot g = 11,0 \cdot 10^6 \times 9,81 = 1,08 \cdot 10^8 \text{ N en } \sigma = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\sigma} = \frac{1,08 \cdot 10^8}{0,4 \cdot 10^9} = 0,27 \text{ m}^2.$$

$$\text{Dat is per kabel: } \frac{0,27}{26} = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2.$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,04 \cdot 10^{-2}}{\pi}} = 0,11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

Opgave 75

Oriëntatie:

$$P = k \cdot A \cdot \Delta T \text{ met } \Delta T = 21 - 10,1 = 10,9 \text{ °C en } A = 1,0 \text{ m}^2.$$

$$\text{Voor enkelglas is } k = 5,7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \text{ en voor HR++-glas is } k = 1,2 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}.$$

Het verschil in warmtestroom P wordt dus bepaald door het verschil in k :

$$\Delta P = \Delta k \cdot A \cdot \Delta T \text{ met } \Delta k = 5,7 - 1,2 = 4,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Uitwerking:

$$\Delta P = 4,5 \times 1,0 \times 10,9 = 49 \text{ W per vierkante meter.}$$

$$\text{De energiebesparing per jaar is dus } \Delta E = \Delta P \cdot t = 49 \times 365 \times 24 \times 3600 = 1,55 \text{ GJ per vierkante meter.}$$

$$\text{De kostenbesparing per jaar is } 1,55 \cdot 10^3 \times 0,019 = \text{€ } 29 \text{ per vierkante meter.}$$

De vervangingskosten zijn € 82 per vierkante meter dus dat is terugverdiend in minder dan 3 jaar.