

Hoofdstuk 4 Eigenschappen van stoffen en materialen

4.1 Het molecuulmodel

Opgave 1

► Of een uitspraak natuurkundig gezien goed of fout is, leid je af met molecuulmodel en de begrippen warmte en temperatuur.

a Fout

Er is warmte de kamer uitgegaan.

Toelichting: kou is geen energievorm.

b Fout

De moleculen in de lucht bewegen overdag sneller dan 's nachts.

Toelichting: de temperatuur is overdag hoger dan 's nachts. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de moleculen bewegen.

c Goed

d Goed

e Fout

De gemiddelde afstand tussen de moleculen in de lucht is 's nachts even groot als overdag.

Toelichting: de ruimte is afgesloten. Het aantal moleculen lucht verandert dus niet tijdens afkoelen.

Opgave 2

► Een temperatuur reken je om met de formule voor temperatuur.

$$T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$$

a $25 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$

$$T_{\text{kelvin}} = 298,15 \text{ K}$$

Afgerond: 298 K.

b $-4 = T_{\text{kelvin}} - 273,15$

$$T_{\text{kelvin}} = 269,15 \text{ K}$$

Afgerond: 269 K.

c $T_{\text{Celsius}} = 4 - 273,15$

$$T_{\text{Celsius}} = -269,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Afgerond: $-269 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

d $T_{\text{Celsius}} = 293 - 273,15$

$$T_{\text{Celsius}} = 19,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Afgerond: $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Opgave 3

► Dat je de deodorant na een tijdje ruikt, leg je uit door het molecuulmodel toe te passen op fasen en faseovergangen.

De deodorant verdampt en is dan gasvormig. De moleculen bewegen vrij in alle richtingen. Na een tijdje bereiken de moleculen je neus en dan ruik je ze.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 4

- a ► Het ontstaan van ijs verklaar je met de aanwezigheid van waterdamp in de lucht.
Als je het vriesvak opent, gaat er warmere lucht met waterdamp naar binnen. Als je het vriesvak weer sluit, koelt de waterdamp in het vriesvak zo snel af dat de waterdamp direct overgaat in de vaste stof ijs.
- b Twee van de volgende manieren:
- De deur zo kort mogelijk openen.
 - De deur zo min mogelijk openen.
 - Warm voedsel eerst laten afkoelen voor je het in de vriezer doet: warme lucht bevat meer waterdamp dan koude lucht.

Opgave 5

- a ► Wat er gebeurt met de gemiddelde kinetische energie van de moleculen, leg je uit met het verband tussen de gemiddelde snelheid van de moleculen en de temperatuur.
De temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen. Als de temperatuur daalt, daalt de (gemiddelde) snelheid van de moleculen. Dus neemt de gemiddelde kinetische energie af.
- b $\Delta T_{\text{Celsius}} = 63 - (-80) = 143 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- c ► Bij omrekenen van temperaturen gebruik je de formule voor temperatuur.

$$T_{\text{Celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273,15$$
 Hieruit volgt: $T_{\text{kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273,15$

$$\Delta T_{\text{kelvin}} = (63 + 273,15) - (-80 + 273,15) = 143 \text{ K}$$
- d ► Dat een temperatuur van -80 K niet mogelijk is, leg je uit met het begrip absolute nulpunt.
Als de temperatuur daalt, dan daalt de snelheid van de moleculen.
Bij het absolute nulpunt staan de moleculen stil. Dan is de temperatuur 0 K .
Een lagere temperatuur dan 0 K is dus niet mogelijk.

Opgave 6

- a ► Of de spleten smaller of breder worden, beredeneer je met de gevolgen van warmtetoevoer aan een stof.
Stijgt de temperatuur, dan wordt de afstand tussen de deeltjes in het wegdek groter. De brug zet uit. De spleten worden smaller.
- b ► Waarom het wegdek niet aan de pijlers vastzit, beredeneer je met de gevolgen van het uitzetten van het wegdek.
Bij temperatuurstijging zet het wegdek uit. Zit het wegdek vast aan een pijler, dan duwt het wegdek de bovenkant van de pijlers naar rechts. Dan kan een pijler breken.
- c ► Waardoor rol B niet in het midden ligt, leg je uit met het verschil in uitzetten van stukken wegdek.
Als het wegdek uitzet, dan wordt de rol naar rechts verplaatst.
Hoe groter de afstand tot het beginpunt, hoe meer het bijbehorende wegdek uitzet.
Bij de rechterpijler is de afstand tot het beginpunt van de brug groter dan bij de linker pijler. Dus bij de rechterpijler moet de rol zich meer kunnen verplaatsen dan bij de linker pijler.
Daarom ligt rol B wat meer naar links.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 7

- a ► Dat de as dunner is, leg je uit met het molecuulmodel en het verschil in temperatuur. Bij een lage temperatuur is de afstand tussen de moleculen kleiner dan bij een hoge temperatuur. Een kleinere afstand tussen de moleculen betekent een dunnere as.
- b ► Dat je de methode niet kunt toepassen op elke plaats in de wereld leg je uit met de plaatselijke temperatuur en het temperatuurverschil met de as.
Is de plaatselijke temperatuur laag (bijv. op de polen), dan is het gat in het wiel kleiner dan bij bijvoorbeeld 20 °C. De as heeft dan ook al een lagere temperatuur. De as krimpt bij het afkoelen dan minder en past dan niet in het gat van het wiel.

Opgave 8

- a ► Het volume bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = 1,00 \text{ kg}$$

IJs

$$\rho = 0,917 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$\text{Invullen levert: } 0,917 \cdot 10^3 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,917 \cdot 10^3} = 1,0905 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Water

$$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$\text{Invullen levert: } 0,9982 \cdot 10^3 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,9982 \cdot 10^3} = 1,0018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Waterdamp

$$\rho = 0,598 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$\text{Invullen levert: } 0,598 = \frac{1,00}{V}$$

$$V = \frac{1,00}{0,598} = 1,6722 \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,67 \text{ m}^3.$$

- b ► Wat er gebeurt met de toegevoerde warmte, beredeneer je met het gevolg voor de inwendige energie van de stof.
Door de warmtetoevoer neemt de inwendige energie van de stof toe. De kinetische energie blijft gelijk omdat de temperatuur niet verandert. Dus neemt de potentiële energie toe. Dat betekent dat de warmte wordt gebruikt om de afstand tussen de moleculen te vergroten.
- c Bij 100 °C gaat water over in waterdamp, maar tegelijkertijd gaat ook waterdamp over in water. Dat kan alleen als de moleculen elkaar nog steeds (een beetje) aantrekken.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 9

- a ► De grotere dichtheid van het vaste kaarsvet beredeneer je met het verschil in afstand tussen de moleculen.

In de vaste fase is de afstand tussen de moleculen kleiner dan in de vloeibare fase. Hierdoor heeft 1 cm^3 vaste stof een grotere massa dan 1 cm^3 vloeistof.

De dichtheid van vast kaarsvet is groter dan die van vloeibaar kaarsvet.

- b ► Of de kinetische energie verandert, leg je uit met het verband tussen de kinetische energie van de moleculen en de temperatuur van de stof.

De gemiddelde kinetische energie van de moleculen is een maat voor de temperatuur van de stof.

In gebied A en C stijgt de temperatuur en neemt de kinetische energie dus toe.

In gebied B verandert de temperatuur niet, dus de kinetische energie ook niet.

- c ► Of de potentiële energie van de moleculen verandert, leg je uit met het verband tussen de potentiële energie en de afstand.

In elk gebied wordt energie toegevoerd. In gebied A en C neemt de temperatuur toe en gaan de moleculen sneller bewegen. Hierdoor wordt de gemiddelde afstand tussen de moleculen groter.

In gebied B wordt de energie gebruikt om alleen de afstand tussen de moleculen te vergroten.

Dus in elk gebied neemt de potentiële energie toe.

- d ► Wat er in elk traject gebeurt met de inwendige energie, leg je uit met het begrip inwendige energie en de antwoorden op de vragen b en c.

De inwendige energie is de som van de kinetische energie en de potentiële energie.

Bekijk je de antwoorden op de vragen b en c, dan is de conclusie dat de inwendige energie in elk gebied toeneemt.

- e ► Of de temperatuur van het kaarsvet na 19 minuten verandert, leg je uit met het verschil in temperatuur van het kaarsvet en de temperatuur van de omgeving.

De temperatuur van het kaarsvet zal na 19 minuten afnemen, omdat de omgevingstemperatuur lager is dan 71°C .

4.2 Transport van warmte

Opgave 10

- a ► Waardoor je onder het dekbed warm blijft, leg je uit met de eigenschappen van de lucht in het dekbed.

Lucht is een slechte warmtegeleider.

Door de vulling is nauwelijks stroming van lucht mogelijk.

De buitenkant van het dekbed heeft een glanzend oppervlak, waardoor een deel van de warmtestraling teruggekaatst wordt richting je lichaam.

- b ► Waardoor een dekbed met compartimenten je beter warm houdt dan een dekbed zonder compartimenten, verklaar je met een verschil in warmtetransport.

In een dekbed zonder compartimenten kunnen de veertjes zich verplaatsen, als je je bijvoorbeeld omdraait in je slaap. Daardoor verplaatst ook de lucht tussen de veertjes zich en is er warmtestroming mogelijk. In een dekbed met compartimenten is geen warmtetransport door stroming mogelijk. Daardoor houdt zo'n dekbed je beter warm.

Opgave 11

- 1 In het water is er warmtetransport door stroming.
- 2 In het glas is er warmtetransport door geleiding.
- 3 In de lucht is er warmtetransport door straling en stroming.

Opgave 12

- a ► Dat de koeling beter is, leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De oppervlakte A van een koellichaam met ribben is veel groter dan dat van een massief blok (met dezelfde massa).

Bij een grotere oppervlakte A en dezelfde waarden voor λ , ΔT en d is de warmtestroom P groter en daardoor de koeling ook.

- b ► Dat de koeling beter is, leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De warmtegeleidingscoëfficiënt λ van aluminium is veel groter dan die van ijzer.

Bij een grotere warmtegeleidingscoëfficiënt λ en dezelfde waarden voor A , ΔT en d is de warmtestroom P groter en daardoor de koeling ook.

- c ► Dat de koeling beter is, leg je uit met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Door te ventileren vervang je de opgewarmde lucht door lucht met een lagere temperatuur. Het temperatuurverschil tussen het koelelement en de omgeving blijft dan het grootst.

Bij een groter temperatuurverschil ΔT en dezelfde waarden voor λ , A en d is de warmtestroom P groter en daardoor de koeling ook.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 13

- a ► De thermische geleidbaarheid bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$P = 110 \text{ J s}^{-1}$$

$$A = 1,8 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 37 - 26 = 11 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$d = 5,0 \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 110 = \lambda \cdot 1,8 \times \frac{11}{5,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda = \frac{110 \times 5,0 \cdot 10^{-3}}{1,8 \times 11} = 2,777 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } \lambda = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

- Of je huid een goede warmtegeleider is vergeleken met metalen, leg je uit door gegevens in Binas te vergelijken met het antwoord op vraag a.

De λ van metalen is meer dan 100 keer groter dan $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Zie Binas tabel 8.

De huid is geen goede warmtegeleider vergeleken met metalen.

- b Bij verdampen ontsnappen de snelste moleculen uit het zweet. Daardoor daalt de temperatuur van het zweet. De warmte die nodig is om te verdampen, wordt onttrokken uit de omgeving en dat is dus je lichaam. Daardoor wordt het lichaam gekoeld.

Opgave 14

- a ► De eenheid van R_{therm} leid je af met de eenheden van de andere grootheden in de formule voor de thermische weerstand.

$$[R_{\text{therm}}] = \frac{[d]}{[\lambda] \cdot [A]}$$

$$[d] = \text{m}$$

$$[\lambda] = \text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$[A] = \text{m}^2$$

$$\text{Invullen levert: } [R_{\text{therm}}] = \frac{\text{m}}{\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \times \text{m}^2}$$

$$[R_{\text{therm}}] = \text{K W}^{-1}$$

- b ► De formule leid je af met de formule voor warmtestroom en de formule voor thermische weerstand.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \text{ en } R_{\text{therm}} = \frac{d}{\lambda \cdot A}$$

$$\text{Uit } R_{\text{therm}} = \frac{d}{\lambda \cdot A} \text{ volgt } \lambda = \frac{d}{R_{\text{therm}} \cdot A}$$

- Invullen in de formule $P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$:

$$P = \frac{d}{R_{\text{therm}} \cdot A} \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$P = \frac{\Delta T}{R_{\text{therm}}}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- c ► De warmtestroom door het dubbelglas bereken je met de afgeleide formule voor de warmtestroom en de thermische weerstand van dubbelglas.

$$P = \frac{\Delta T}{R_{\text{therm,dubbel glas}}}$$

$$\Delta T = 12,4 - (-4,2) = 16,6 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De thermische weerstand van dubbelglas bereken je met de thermische weerstand van twee glasplaten en de thermische weerstand van de lucht tussen de glasplaten.

$$R_{\text{therm,tot}} = R_{\text{therm,glas}} + R_{\text{therm,lucht}}$$

$$R_{\text{therm,glas}} = \frac{d}{\lambda \cdot A}$$

$$d = 6,0 \text{ mm} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 0,93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$A = 0,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Invullen levert: } R_{\text{therm,glas}} = \frac{6,0 \cdot 10^{-3}}{0,93 \times 0,28} = 2,30 \cdot 10^{-2} \text{ K W}^{-1}$$

$$R_{\text{therm,lucht}} = \frac{d}{\lambda \cdot A}$$

$$d = 12,0 \text{ mm} = 12,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$A = 0,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Invullen levert: } R_{\text{therm,lucht}} = \frac{12,0 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 10^{-3} \times 0,28} = 1,79 \text{ K W}^{-1}$$

Invullen van $R_{\text{therm,glas}}$ en $R_{\text{therm,lucht}}$ in de formule $R_{\text{therm,tot}} = R_{\text{therm,glas}} + R_{\text{therm,lucht}}$:

$$R_{\text{therm,tot}} = 2,30 \cdot 10^{-2} + 1,79 = 1,81 \text{ K W}^{-1}$$

- Invullen van ΔT en $R_{\text{therm,tot}}$ in de formule $P = \frac{\Delta T}{R_{\text{therm,dubbelglas}}}$

$$P = \frac{16,6}{1,81} = 9,1712 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P = 9,2 \text{ W.}$$

- d ► De hoeveelheid aardgas die je per uur minder hoeft te verbranden, bereken je met de stookwaarde van aardgas (Gronings) en de hoeveelheid energie die je per uur minder nodig hebt.

$$r_V = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

- De hoeveelheid energie die je per uur minder nodig hebt, bereken je met het verschil in warmtestroom en de tijd.

$$P_{\text{afname}} = 1,5 \cdot 10^3 - 9,2 = 1,49 \cdot 10^3 \text{ W}$$

Dit is de hoeveelheid energie in één seconde.

$$\text{In één uur} = 3600 \text{ s is dat } 3600 \times 1,49 \cdot 10^3 = 5,364 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

$$\text{Het aantal m}^3 \text{ aardgas dat je minder hoeft te verbranden is } \frac{5,364 \cdot 10^6}{32 \cdot 10^6} = 0,1676 \text{ m}^3$$

Er is afgerond 0,17 m³ minder aardgas (Gronings) per uur nodig.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 15

- a ► De totale warmtestroom P bereken je met de definitie van de U -waarde, de totale oppervlakte aan glas en het temperatuurverschil.

$$U = 5,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

De totale oppervlakte aan glas is $2,0 \times 2,0 \times (1,5 \times 2,0) = 12,0 \text{ m}^2$.

Het temperatuurverschil is $20,0 - 7,0 = 13,0 \text{ K}$. ($\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}}$)

De totale warmtestroom $P = 5,7 \times 12,0 \times 13,0 = 8,892 \cdot 10^2 \text{ W}$.

Afgerond: $P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$.

- b ► Het temperatuurverschil bij het glas bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T_{\text{glas}}}{d}$$

$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$

$$\lambda = 0,93 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$A = 12,0 \text{ m}^2$$

$$d = 4,0 \text{ mm} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 8,9 \cdot 10^2 = 0,93 \times 12,0 \cdot \frac{\Delta T_{\text{glas}}}{4,0 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta T_{\text{glas}} = \frac{8,9 \cdot 10^2 \times 4,0 \cdot 10^{-3}}{0,93 \times 12,0} = 0,3190 \text{ K}$$

Dus ΔT_{glas} is afgerond $0,32 \text{ }^\circ\text{C}$. ($\Delta T_{\text{Celsius}} = \Delta T_{\text{kelvin}}$)

- c ► De totale dikte van de luchtlagen bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T_{\text{lucht}}}{d}$$

$$P = 8,9 \cdot 10^2 \text{ W}$$

$$\lambda = 24 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$A = 12,0 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{\text{lucht}} = 13,0 - 0,32 = 12,68 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } 8,9 \cdot 10^2 = 24 \cdot 10^{-3} \times 12,0 \times \frac{12,68}{d}$$

$$d = 24 \cdot 10^{-3} \times 12,0 \times \frac{12,68}{8,9 \cdot 10^2} = 4,103 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Afgrond: $d = 4,1 \text{ mm}$.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

4.3 Warmte en temperatuur

Opgave 16

a Warmtegeleiding

- b ► Dat zand een hogere temperatuur krijgt dan hout, leg je uit met de formule voor soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q_{zand} is gelijk aan Q_{hout}

m_{zand} is gelijk aan m_{hout}

c_{zand} is kleiner dan c_{hout} (zie Binas tabel 10A)

Invullen voor zand levert: (Q is gelijk) = (c is kleiner) · (m is gelijk) · ΔT

Dus de temperatuurstijging ΔT van het zand is groter dan die van het hout.

- c ► Dat de temperatuur niet verandert, leg je uit met het begrip smeltwarmte.
Voor het smelten van een stof is energie nodig. De opgenomen warmte van de zon wordt gebruikt om het ijsklontje te smelten. Pas als de ijsklontjes allemaal gesmolten zijn, wordt de zonne-energie gebruikt om de vloeistof in temperatuur te laten stijgen.

Opgave 17

- De temperatuurstijging (per m^2 weg) bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 0,92 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ (zie Binas tabel 10A)}$$

- De hoeveelheid opgenomen warmte Q (per m^2 weg) per uur bereken je met de hoeveelheid energie die per seconde op het asfalt valt.

$$Q = 6,0 \cdot 10^2 \times 3600 = 2,16 \cdot 10^6 \text{ J}$$

- De massa van het asfalt m (per m^2 weg) bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ (zie Binas tabel 10A)}$$

- Het volume $V_{\text{per m}^2 \text{ weg}}$ bereken je met de dikte van de weg en de oppervlakte van 1 m^2 weg.

$$V_{\text{per m}^2 \text{ weg}} = A \cdot h$$

$$A = 1,0 \text{ m}^2$$

$$h = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } V_{\text{per m}^2 \text{ weg}} = 1 \times 0,15 = 0,15 \text{ m}^3$$

- Invullen van ρ en V in de formule $\rho = \frac{m}{V}$:

$$1,2 \cdot 10^3 = \frac{m}{0,15}$$

$$m = 1,2 \cdot 10^3 \times 0,15 = 180 \text{ kg}$$

- Invullen van Q , c en m in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$2,16 \cdot 10^6 = 1,8 \cdot 10^2 \times 0,92 \cdot 10^3 \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{2,16 \cdot 10^6}{1,8 \cdot 10^2 \times 0,92 \cdot 10^3} = 13,04 \text{ K}$$

Afgerond: $\Delta T = 13 \text{ K}$.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 18

- a ► De hoeveelheid warmte om de lucht in de huiskamer op te warmen bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

$$\Delta T = 19,0 - 16,0 = 3,0 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De massa van de lucht in de huiskamer bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 1,293 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 12})$$

- Het volume van de lucht in de huiskamer bereken je met de formule voor een balk.

$$V = \ell \cdot b \cdot h = 8,20 \times 3,60 \times 2,60 = 76,75 \text{ m}^3$$

- Invullen van ρ en V in de formule $\rho = \frac{m}{V}$:

$$1,293 = \frac{m}{76,75}$$

$$m = 1,293 \times 76,75 = 99,238 \text{ kg}$$

- Invullen van c , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 99,238 \times 1,0 \cdot 10^3 \times 3,0 = 2,977 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 3,0 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

- b ► Het volume V aan aardgas (Gronings) dat minstens nodig is, bereken je met de stookwaarde van aardgas (Gronings) en de hoeveelheid warmte die nodig is.

$$r_V = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

$$Q = 3,0 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (\text{zie antwoord vraag a})$$

$$V = \frac{3,0 \cdot 10^5}{32 \cdot 10^6} = 9,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

- c Voorbeelden van juiste antwoorden zijn:

- Er verdwijnt warmte via het rookgasafvoerkanaal van de cv-ketel.
- Er verdwijnt warmte via kleine openingen in de woning.
- Er wordt warmte gebruikt voor het opwarmen van de leidingen.
- Er wordt warmte gebruikt om de muren op te warmen.
- Er wordt warmte gebruikt voor het opwarmen van de spullen in het huis.

Opgave 19

- a ► Welk proces de meeste warmte afgeeft, leid je af uit het diagram in figuur 18. De hoeveelheid energie druk je daarbij uit in schaaldelen, waarbij 1 cm gelijk is een één schaaldeel.

De hoeveelheid energie die vrijkomt tijdens het stollen is 5,2 schaaldelen.

Tijdens het afkoelen van de vloeistof komt er voor 1,2 schaaldelen aan energie vrij en tijdens het afkoelen van de vaste stof 0,8 schaaldelen.

Dus tijdens het stollen wordt de meeste energie afgegeven.

- b ► De hoeveelheid warmte die het glauberzout afgeeft tot het gaat stollen bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 1,2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

$$\Delta T = 80 - 32 = 48 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 1,2 \cdot 10^3 \times 10 \times 48 = 5,760 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 5,8 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

- c ► De soortelijke warmte van glauberzout in de vaste fase bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$\Delta T = 32 - (-30) = 62 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De hoeveelheid warmte Q tijdens het afkoelen in de vaste fase leid je af met het aantal schaaldelen tijdens afkoelen en de schaal van de horizontale as.

In figuur 18 lees je af dat tijdens het afkoelen Q overeenkomt met 0,8 schaaldelen.

De schaal van de horizontale as bepaal je met de grafiek tijdens het stollen.

Q tot aan het stollen van de vloeistof is $5,8 \cdot 10^5 \text{ J}$ en komt in figuur 18 overeen met 1,2 schaaldelen.

$$5,8 \cdot 10^5 \triangleq 1,2$$

$$Q \triangleq 0,8$$

$$Q = \frac{5,8 \cdot 10^5 \times 0,8}{1,2} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- Het temperatuurverschil ΔT leid je af uit de daling van de temperatuur tijdens het afkoelen in de vaste fase.

$$\Delta T = 32 - (-30) = 62 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- Invullen van Q , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$3,9 \cdot 10^5 = c \times 10 \times 62$$

$$c = \frac{3,9 \cdot 10^5}{10 \times 62} = 6,290 \cdot 10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } c = 6 \cdot 10^2 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

- d Voorbeelden van juiste antwoorden zijn:

- De auto heeft een grotere massa. Dan kost het rijden zelf meer energie. Dus levert gebruik van glauberzout geen bijdrage aan energiebesparing.
- Tijdens de rit wordt warmte opgeslagen, zodat de motor mindert afkoelt, waardoor de motor gemakkelijker start. Dus levert gebruik van glauberzout een bijdrage aan energiebesparing.
- Bij de start gebruikt de motor minder energie. Dus levert gebruik van glauberzout een bijdrage aan energiebesparing.
- De motor slijt minder. Daardoor gaat de auto langer mee. Dus levert gebruik van glauberzout een bijdrage aan energiebesparing.
- De auto heeft een grotere massa. Dat is nadelig. Er wordt ook energie opgeslagen die later weer gebruikt wordt. Dat is voordelig. Het is dus niet na te gaan of het een besparing is of niet.

Opgave 20

- a ► De hoeveelheid warmte bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$m = 250 \text{ g} = 250 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$c = 0,88 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

$$\Delta T = 100 - 20 = 80 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 0,88 \cdot 10^3 \times 250 \cdot 10^{-3} \times 80 = 1,760 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 1,8 \cdot 10^4 \text{ J.}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► De massa m_{ijzer} bereken je met de formule voor de dichtheid van ijzer.

$$\rho_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{V_{\text{pan}}}$$

$$\rho_{\text{Fe}} = 7,87 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

- Het volume V_{pan} van de pan bereken je met de formule voor de dichtheid van aluminium.

$$\rho_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{V_{\text{pan}}}$$

$$\rho_{\text{Al}} = 2,70 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

$$m = 250 \text{ g} = 0,250 \text{ kg}$$

$$\text{Invullen levert: } 2,70 \cdot 10^3 = \frac{0,250}{V_{\text{pan}}}$$

$$V_{\text{pan}} = \frac{0,250}{2,70 \cdot 10^3} = 9,259 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Invullen van ρ_{Fe} en V_{pan} in de formule $\rho_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{V_{\text{pan}}}$:

$$7,87 \cdot 10^3 = \frac{m_{\text{Fe}}}{9,259 \cdot 10^{-5}}$$

$$m_{\text{Fe}} = 7,87 \cdot 10^3 \times 9,259 \cdot 10^{-5} = 0,72868 \text{ kg}$$

Dus m_{Fe} is ongeveer 730 gram.

- c ► Dat er meer energie nodig is om de ijzeren pan op te warmen dan de aluminium pan beredeneer je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

c_{ijzer} ongeveer $2\times$ zo klein als $c_{\text{aluminium}}$ (zie Binas tabel 8)

m_{ijzer} is ongeveer $3\times$ zo groot als $m_{\text{aluminium}}$ (zie vraag b)

ΔT is voor beide pannen hetzelfde.

Invullen levert voor de ijzeren pan: $Q_{\text{ijzer}} = (c_{\text{ijzer}} 2\times \text{ zo klein}) \cdot (m_{\text{ijzer}} 3\times \text{ zo groot}) \cdot (\Delta T \text{ is hetzelfde})$

Dus Q_{ijzer} is groter dan $Q_{\text{aluminium}}$.

Opgave 21

- a ► De totale hoeveelheid warmte Q_{tot} om ijs van -18°C te laten smelten bereken je met de warmte Q om het ijs op te warmen van -18°C tot 0°C en de warmte Q_s om het ijs te laten smelten.

$$Q_{\text{tot}} = Q + Q_s$$

- Q bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 2,2 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

$$\Delta T = 18 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De massa van een ijsklontje bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 0,917 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 10A})$$

- Het volume V bereken je met de formule voor een balk en de lengte van een ribbe.

$$V = \ell \times b \times h = \ell^3$$

$$\ell = 2,5 \text{ cm} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$V = (2,5 \cdot 10^{-2})^3$$

$$V = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- Invullen van ρ en V in de formule $\rho = \frac{m}{V}$:

$$0,917 \cdot 10^3 = \frac{m}{1,56 \cdot 10^{-5}}$$

$$m = 0,917 \cdot 10^3 \times 1,56 \cdot 10^{-5} = 1,431 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

- Invullen van c , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 1,431 \cdot 10^{-2} \times 2,2 \cdot 10^3 \times 18 = 5,67 \cdot 10^2 \text{ J}$$

- Q_s bereken je met de formule voor smeltwarmte.

$$r_s = \frac{Q_s}{m}$$

$$r_s = 334 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11 bij water})$$

$$m = 1,431 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\text{Invullen levert: } 334 \cdot 10^3 = \frac{Q_s}{1,431 \cdot 10^{-2}}$$

$$Q_s = 1,431 \cdot 10^{-2} \times 334 \cdot 10^3 = 4,780 \cdot 10^3 \text{ J}$$

- Invullen van Q en Q_s in de formule $Q_{\text{tot}} = Q + Q_s$:

$$Q_{\text{tot}} = 5,67 \cdot 10^2 + 4,780 \cdot 10^3 = 5,347 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

$$\text{Afgerond: } Q_{\text{tot}} = 5,3 \text{ kJ.}$$

- b ► Dat drie ijsklontjes voldoende is, toon je aan met de warmte die nodig is om drie ijsklontjes te laten smelten en de warmte die aan het water onttrokken moet worden om de temperatuur te laten dalen naar 0°C .

$$Q_{\text{drie ijsklontjes}} = 3 \times 5,3 = 15,9 \text{ kJ}$$

- De warmte die onttrokken moet worden aan het water bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$\Delta T = 16 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

- De massa van het water bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$V = 200 \text{ mL} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } 0,9982 \cdot 10^3 = \frac{m}{200 \cdot 10^{-6}}$$

$$m = 0,9982 \cdot 10^3 \times 200 \cdot 10^{-6} = 1,996 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$$

- Invullen van c , m en ΔT in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 1,996 \cdot 10^{-1} \times 4,18 \cdot 10^3 \times 16 = 1,335 \cdot 10^4 \text{ J} = 13,35 \text{ kJ}$$

Dit is minder dan 15,9 kJ. Dus drie ijsklontjes zijn voldoende om de temperatuur van het water te laten dalen tot 0°C .

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 22

- a Als het ijs smelt, is er warmte nodig. Die komt uit de omgeving van het ijs: het zoute water. De temperatuur van het zoute water daalt als het warmte afstaat aan het smeltende ijs.
- b ► De eindtemperatuur van het mengsel bereken je uit de temperatuurdaling van het zoute water en de begintemperatuur.

$$T_{\text{begin}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- De temperatuurdaling ΔT van het zoute water bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$m = 100 \text{ g ijs} + 400 \text{ g zout water} = 500 \text{ g} = 0,500 \text{ kg}$$

- De warmte Q die onttrokken wordt aan het zoute water voor de temperatuurdaling is gelijk aan de warmte Q_s om het ijs te smelten. De warmte Q_s bereken je met de formule voor smeltwarmte.

$$r_s = \frac{Q_s}{m}$$

$$r_s = 334 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11 bij water})$$

$$\text{De massa van het ijs is } 100 \text{ g} = 0,100 \text{ kg.}$$

$$\text{Invullen levert: } 334 \cdot 10^3 = \frac{Q_s}{0,100}$$

$$Q_s = 334 \cdot 10^3 \times 0,100 = 3,340 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van Q , c en m in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

$$3,34 \cdot 10^4 = 0,500 \times 4,0 \cdot 10^3 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{3,34 \cdot 10^4}{0,500 \times 4,0 \cdot 10^3} = 16,70 \text{ K}$$

$$\text{Dus } \Delta T_{\text{Celsius}} = 16,70 \text{ }^{\circ}\text{C.} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{De temperatuur van het zoute water daalt dus met afgerond } 17 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

$$T_{\text{eind}} = -17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Opgave 23

- Welke vloeistof het snelst afkoelt, beredeneer je aan de hand van de temperatuurdalingen van de vloeistoffen.

De vloeistof met de grootste temperatuurdaling koelt het snelst af.

- De temperatuurdaling van een vloeistof bereken je met de formule voor de soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c_{\text{melk}} = 3,9 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$c_{\text{melk}} < c_{\text{thee}}$$

- De hoeveelheid warmte Q die in één seconde door de wand van een beker gaat, beredeneer je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

λ , A en d zijn hetzelfde (want de bekervallen zijn precies hetzelfde).

ΔT aan weerszijden van de beker is hetzelfde (aan het begin).

Dus P is hetzelfde en dus is de hoeveelheid warmte Q die in één seconde in het begin door de wand gaat bij elke beker hetzelfde.

$$Q_{\text{melk}} = Q_{\text{thee}}$$

- De massa bereken je met de formule voor dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{\text{melk}} = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ (gemiddeld)}$$

$$V_{\text{melk}} = V$$

$$\text{Invullen levert: } 1,03 \cdot 10^3 = \frac{m_{\text{melk}}}{V}$$

$$\text{Hieruit volgt: } m_{\text{melk}} = 1,03 \cdot 10^3 \cdot V$$

Dus m_{melk} is (ongeveer) even groot als m_{thee} .

$$\rho_{\text{water}} = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$V_{\text{water}} = V \text{ (want de bekertjes zitten even vol)}$$

$$0,9982 \cdot 10^3 = \frac{m_{\text{thee}}}{V}$$

$$m_{\text{thee}} = 0,9982 \cdot 10^3 \cdot V$$

- Invullen van de verschillen in Q , c en m in de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$(Q_{\text{melk}} \text{ gelijk aan } Q_{\text{thee}}) = (c_{\text{melk}} \text{ kleiner dan } c_{\text{thee}}) \times (m_{\text{melk}} \text{ gelijk aan } m_{\text{thee}}) \times \Delta T$$

Dus ΔT_{melk} is groter dan ΔT_{thee} .

Bij dezelfde warmtestroom is de temperatuurdaling van melk groter dan die van water.

Dus melk koelt sneller af dan water.

4.4 Uittrekken

Opgave 24

- a Tijdens een botsing van een molecuul met de zuiger neemt de snelheid van het molecuul af. Volgens de tweede wet van Newton oefent de zuiger dus een kracht uit op het molecuul. Volgens de derde wet van Newton oefent het molecuul dan tegelijkertijd een even grote kracht uit op de zuiger.
- b Zie de tabel.

	Figuur 23a	Figuur 23b	Figuur 23c
In het gas is het aantal botsingen van de moleculen met de zuiger	even groot	kleiner	kleiner
In het gas is de gemiddelde snelheid van de moleculen	even groot	groter	even groot
In het gas is de totale kracht van de moleculen op de zuiger	even groot	even groot	kleiner

Toelichting

De zuiger in figuur 23b beweegt niet en er zijn uitsluitend krachten van de moleculen op de zuiger. Dus de totale kracht van de moleculen van het gas is even groot als de totale kracht van de moleculen in de buitenlucht.

Bij een hogere temperatuur is de gemiddelde snelheid van een molecuul groter. Daardoor zijn de botsingen met de zuiger krachtiger en zijn er minder botsingen nodig om dezelfde totale kracht te leveren.

De zuiger in figuur 23c beweegt niet. De hand oefent een kracht uit op de zuiger. Dus de totale kracht van de moleculen in het gas is kleiner dan die van de moleculen in de lucht.

De temperatuur is hetzelfde en daardoor de gemiddelde snelheid van de moleculen ook.

Het aantal moleculen van het gas in de zuiger is over een groter volume verdeeld. Dus zijn er minder botsingen met de zuiger.

Opgave 25

- a ► De spanning in de draad bereken je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 26 \text{ N}$$

- De oppervlakte bereken je met de formule voor de oppervlakte van een cirkel.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d \text{ is } 1,2 \text{ mm} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } A = \frac{1}{4} \pi (1,2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Invullen van F en A in de formule $\sigma = \frac{F}{A}$:

$$\sigma = \frac{26}{1,13 \cdot 10^{-6}} = 2,301 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } \sigma = 2,3 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2}.$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► De uitrekking Δl bereken je met de formule voor de rek.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$l_0 = 12 \text{ m}$$

- De rek bereken je met de formule voor de elasticiteitsmodulus.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = 2,8 \cdot 10^9 \text{ N m}^{-2}$$

$$\sigma = 2,3 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$\text{Invullen levert: } 2,8 \cdot 10^9 = \frac{2,3 \cdot 10^7}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{2,3 \cdot 10^7}{2,8 \cdot 10^9} = 8,21 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Invullen van } \varepsilon \text{ en } l_0 \text{ in de formule } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}:$$

$$8,21 \cdot 10^{-3} = \frac{\Delta l}{12}$$

$$\Delta l = 8,21 \cdot 10^{-3} \times 12 = 9,852 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta l = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

Opgave 26

- a ► De spanning bereken je met de formule voor de elasticiteitsmodulus.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = 0,20 \cdot 10^{12} \text{ N m}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 9})$$

- De rek bereken je met de formule voor de rek.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\Delta l = 0,88 \text{ cm} = 0,88 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$l_0 = 28 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \varepsilon = \frac{0,88 \cdot 10^{-2}}{28} = 3,14 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{► Invullen van } E \text{ en } \varepsilon \text{ in de formule } E = \frac{\sigma}{\varepsilon}:$$

$$0,20 \cdot 10^{12} = \frac{\sigma}{3,14 \cdot 10^{-4}}$$

$$\sigma = 0,20 \cdot 10^{12} \times 3,14 \cdot 10^{-4} = 6,280 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } \sigma = 6,3 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2}.$$

- b ► De diameter van één staaldraadje bereken je met de oppervlakte van één staaldraadje.

$$A_{\text{staaldraadje}} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

- De oppervlakte van één staaldraadje $A_{\text{staaldraadje}}$ bereken je met de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de liftkabel en de 2000 staaldraadjes in de liftkabel.

$$A_{\text{staaldraadje}} = \frac{A_{\text{kabel}}}{2000}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- De oppervlakte van de dwarsdoorsnede A_{kabel} bereken je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{kabel}}}$$

$$\sigma = 6,3 \cdot 10^7 \text{ N m}^{-2} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$F = F_z = m \cdot g = (240 + 900) \times 9,81 = 1,118 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } 6,3 \cdot 10^7 = \frac{1,118 \cdot 10^4}{A}$$

$$A_{\text{kabel}} = \frac{1,118 \cdot 10^4}{6,3 \cdot 10^7} = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Invullen van A_{kabel} in de formule $A_{\text{staaldraadje}} = \frac{A_{\text{kabel}}}{2000}$:

$$A_{\text{staaldraadje}} = \frac{1,77 \cdot 10^{-4}}{2000} = 8,85 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$$

- Invullen van $A_{\text{staaldraadje}}$ in de formule $A_{\text{staaldraadje}} = \frac{1}{4} \pi d^2$:

$$8,85 \cdot 10^{-8} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 8,85 \cdot 10^{-8}}{\pi}} = 3,3568 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,33568 \text{ mm}$$

Afgerond: $d = 0,34 \text{ mm}$.

Opgave 27

- a ► Welk materiaal het meest elastisch is, leg je uit met het begrip elastische vervorming.
Een materiaal is elastisch tot het gaat vloeien. De grafiek in een (spanning, rek)-diagram gaat dan horizontaal lopen.
Hoe groter de rek is, hoe elastischer het materiaal is.
Bij materiaal 1 is de rek groter dan bij materiaal 2, omdat de grafiek bij een hogere spanning horizontaal gaat lopen. Materiaal 1 is dus het meest elastisch.

- b ► De massa waarbij de draad plastisch gaat vervormen, bereken je met de formule voor de zwaartekracht.

$$F_z = m \cdot g$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

- De zwaartekracht bereken je met de formule voor de spanning, waarin F gelijk is aan de zwaartekracht.

$$\sigma = \frac{F_z}{A}$$

$$\sigma = 2,6 \cdot 10^8 \text{ N m}^{-2} \quad (\text{aflezen uit het diagram van figuur 24})$$

- De oppervlakte A van de dwarsdoorsnede bereken je met de formule voor de oppervlakte van een cirkel.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d \text{ is } 8,0 \text{ mm} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } A = \frac{1}{4} \pi (8,0 \cdot 10^{-3})^2 = 5,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- Invullen van σ en A in de formule $\sigma = \frac{F_z}{A}$:

$$2,6 \cdot 10^8 = \frac{F_z}{5,03 \cdot 10^{-5}}$$

$$F_z = 2,6 \cdot 10^8 \times 5,03 \cdot 10^{-5} = 1,31 \cdot 10^4 \text{ N}$$

- Invullen van F_z en g in de formule $F_z = m \cdot g$:

$$1,31 \cdot 10^4 = m \times 9,81$$

$$m = \frac{1,31 \cdot 10^4}{9,81} = 1,3354 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

Afgerond: $m = 1,3 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

Opgave 28

- a ► De uitrekking $\Delta \ell$ bereken je met de formule voor de rek.

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

$$\ell_0 = 3,00 \text{ m}$$

- De rek ε bereken je met de formule voor de elasticiteitsmodulus.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = 124 \cdot 10^9 \text{ Pa (zie Binas tabel 8)}$$

- De spanning bereken je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

- De kracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.

$$F = F_z = 10 \times 9,81 = 98,1 \text{ N}$$

$$A = 2 \times 2,5 \text{ mm}^2 = 5,0 \text{ mm}^2 = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{Invullen levert: } \sigma = \frac{98,1}{5,0 \cdot 10^{-6}} = 1,96 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

- Invullen van σ en E in de formule $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$:

$$124 \cdot 10^9 = \frac{1,96 \cdot 10^7}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{1,96 \cdot 10^7}{124 \cdot 10^9} = 1,581 \cdot 10^{-4}$$

- Invullen van ε en ℓ_0 in de formule $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$:

$$1,581 \cdot 10^{-4} = \frac{\Delta \ell}{3,00}$$

$$\Delta \ell = 1,581 \cdot 10^{-4} \times 3,00 = 4,7430 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Afgerond: $\Delta \ell = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,47 \text{ mm}$.

- b ► Of de touwladder breekt, leid je af door de totale massa m_{tot} van Boris, Dirk en de touwladder te vergelijken met de maximale massa die aan de touwladder kan hangen voordat hij breekt.

$$m_{\text{tot}} = 50 + 50 + 10 = 110 \text{ kg}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- De maximale massa $m_{\max}$ voordat het touw breekt, bereken je met de formule voor de zwaartekracht.

$$F_{z,\max} = m_{\max} \cdot g$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

- De maximale zwaartekracht bereken je met de formule voor spanning.

$$\sigma = \frac{F_{z,\max}}{A}$$

$$A = 5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (zie vraag a)}$$

- De maximale spanning is de treksterkte van het materiaal.

$$\sigma = 2,1 \cdot 10^8 \text{ Pa (zie Binas tabel 8)}$$

- Invullen van σ en A in de formule $\sigma = \frac{F_{z,\max}}{A}$:

$$2,1 \cdot 10^8 = \frac{F_{z,\max}}{5,0 \cdot 10^{-6}}$$

$$F_{z,\max} = 2,1 \cdot 10^8 \times 5,0 \cdot 10^{-6} = 1,05 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- Invullen van $F_{z,\max}$ en g in de formule $F_{z,\max} = m_{\max} \cdot g$:

$$1,05 \cdot 10^3 = m_{\max} \times 9,81$$

$$m_{\max} = \frac{1,05 \cdot 10^3}{9,81} = 107,0 \text{ kg}$$

$m_{\max}$ is kleiner dan de m_{tot} van 110 kg.

De touwladder breekt dus.

Opgave 29

- a ► De spanning beredeneer je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

F is gelijk, want aan elke draad hangt dezelfde massa en daardoor werkt er dezelfde (zwaarte)kracht op.

$$A_A = A_B$$

Dus de spanning in draad A is gelijk aan de spanning in draad B.

A_C is het grootst.

$$\text{Invullen levert: } \sigma = \frac{(F \text{ is gelijk})}{(A_C \text{ is het grootst})}$$

Dus σ_C is kleiner dan de spanning in de andere draden.

- b ► De uitrekking beredeneer je met de formule voor de rek.

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$$

$$\ell_{0,A} = 0,5 \ell_{0,D}$$

- De rek beredeneer je met de formule voor de elasticiteitsmodulus.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E_A = E_D \text{ want de draden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt.}$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- De spanning beredeneer je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$F_A = F_D$ want aan alle draden hangt dezelfde massa en daardoor werkt er dezelfde (zwaarte)kracht.

- De oppervlakte A bereken je met de formule voor de oppervlakte van een cirkel.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Draad D is twee keer zo dik en heeft dus een twee keer zo grote diameter als draad A en daardoor een vier keer zo grote oppervlakte.

$$A_A = 0,25A_D$$

- Invullen van de verandering van F en A in de formule $\sigma = \frac{F}{A}$:

$$\sigma_A = \frac{(F \text{ is gelijk})}{(A_A = 0,25A_D)} = \frac{F_D}{0,25A_D}$$

$$\text{Dus } \sigma_A = 4\sigma_D.$$

- Invullen van de verandering van E en σ in de formule $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$:

$$(E \text{ is gelijk}) = \frac{(\sigma_A = 4\sigma_D)}{\epsilon_A} = \frac{4\sigma_D}{\epsilon_A}$$

$$\epsilon_A = \frac{4\sigma_D}{E_D}$$

$$\text{Dus } \epsilon_A = 4\epsilon_D.$$

- Invullen van de verandering van ϵ en ℓ_0 in de formule $\epsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$:

$$(\epsilon_A = 4\epsilon_D) = \frac{\Delta \ell_A}{(\ell_{0,A} = 0,5\ell_{0,D})}$$

$$4\epsilon_D \times 0,5\ell_{0,D} = \Delta \ell_A$$

$$\text{Dus } \Delta \ell_A = 2\Delta \ell_D.$$

Dus de uitrekking van draad A is twee keer zo groot als de uitrekking van draad D.

Opgave 30

- a ► De dwarsdoorsnede A bereken je met het volume van de draad en de lengte van de draad.

$$V = A \cdot \ell$$

ℓ is gelijk.

- Het volume van een draad bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{Al} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \text{ en } \rho_{Fe} = 7,87 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 8})$$

m is gelijk.

$$\text{Invullen levert: } 2,7 \cdot 10^3 = \frac{m \text{ is gelijk}}{V_{Al}} \text{ en } 7,87 \cdot 10^3 = \frac{m \text{ is gelijk}}{V_{Fe}}$$

$$\frac{V_{Al}}{V_{Fe}} = \frac{7,87 \cdot 10^3}{2,7 \cdot 10^3} = 2,91. \text{ Dus } V_{Al} = 2,91 V_{Fe}.$$

- Invullen van de verandering van V en ℓ in de formule $V = A \cdot \ell$:

$$(V_{Al} = 2,91 V_{Fe}) = A \cdot (\ell \text{ is gelijk}) \rightarrow A_{Al} = 2,91 \cdot A_{Fe}$$

$$\text{Afgerond: } A_{Al} = 2,9 A_{Fe}.$$

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- b ► Welke kabel de grootste rek zal vertonen, bereken je met de formule voor de elasticiteitsmodulus.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$E_{Al} < E_{Fe}$ want $E_{Al} = 71 \cdot 10^9 \text{ N m}^{-2}$ en $E_{Fe} = 220 \cdot 10^9 \text{ N m}^{-2}$ (zie Binas tabel 8)

$$\frac{E_{Al}}{E_{Fe}} = \frac{71 \cdot 10^9}{220 \cdot 10^9} = 0,322$$

Dus $E_A = 0,322 E_{Fe}$.

- De spanning in de kabel bereken je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$F_{Al} = F_{Fe}$ want beide kabels hebben dezelfde massa en leveren daardoor dezelfde (zwaarte)kracht op de kabel.

$A_{Al} = 2,9 A_{Fe}$ (zie vraag a)

Invullen levert: $\sigma_{Al} = \frac{(F \text{ is gelijk})}{(A_{Al} = 2,9 A_{Fe})}$

$$\sigma_{Al} = \frac{F}{2,9 A_{Fe}} = \frac{1}{2,9} \cdot \frac{F}{A_{Fe}} = \frac{1}{2,9} \sigma_{Fe} = 0,345 \sigma_{Fe}$$

- Invullen van de veranderingen van E en σ in de formule $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$:

$$E_{Al} = 0,322 E_{Fe} = \frac{(\sigma_{Al} = 0,345 \sigma_{Fe})}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon_{Al} = \frac{0,345 \sigma_{Fe}}{0,322 E_{Fe}} = 107 \cdot \frac{\sigma_{Fe}}{E_{Fe}} = 107 \varepsilon_{Fe}$$

De rek van de aluminium kabel is dus groter dan die van de ijzeren kabel.

- c De ijzeren kern zorgt ervoor dat de elektriciteitskabel niet te veel uitrekt door zijn eigen massa. IJzer heeft een grotere elasticiteitsmodulus, waardoor ijzer minder uitrekt bij dezelfde kracht.

4.5 Afsluiting

Opgave 31 Buisisolatie

- a ► De tijd die minimaal nodig is, bereken je met het vermogen van het verwarmingselement en de hoeveelheid energie die moet worden toegevoerd om het water op te warmen.

$$P = 40 \text{ W} = 40 \text{ J per seconde}$$

- De hoeveelheid energie die moet worden toegevoerd om het water op te warmen bereken je met de formule voor soortelijke warmte.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$m = 26 \text{ g} = 26 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\Delta T = 75 - 18 = 57 \text{ K} \quad (\Delta T_{\text{kelvin}} = \Delta T_{\text{Celsius}})$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 4,18 \cdot 10^3 \times 26 \cdot 10^{-3} \times 57 = 6,19 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- Berekenen van de tijd met P en Q :

$$t = \frac{6,19 \cdot 10^5}{40} = 1,548 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$\text{Afgerond: } t = 1,5 \cdot 10^4 \text{ s.}$$

- b Het belangrijkste warmtetransport is warmtestroming.

Daardoor wordt het water onder in de buis nauwelijks warm. De hoeveelheid water die wordt verwarmd is dus kleiner dan 26 g. Omdat c en ΔT dezelfde waarde houden, is er daardoor minder warmte nodig om dat water op te warmen tot 75 °C en dus ook minder tijd.

- c ► Of de warmtestroom van koper anders is dan die van ijzer, beredeneer je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

De warmtegeleidingscoëfficiënt van koper is veel groter dan die van ijzer.

Alle andere variabelen zijn constant.

$$\text{Invullen levert: } P = (\lambda_{\text{koper}} \text{ groter dan } \lambda_{\text{ijzer}}) \cdot (A \text{ is gelijk}) \cdot \frac{(\Delta T \text{ gelijk})}{(d \text{ gelijk})}$$

P voor koper is dus groter dan P voor ijzer.

- d ► De factor bereken je met de verhouding van de warmtestroom door de wand van de geïsoleerde buis en de warmtestroom zonder isolatie.

$$P_{\text{zonder isolatie}} = 27 \text{ W}$$

- De warmtestroom door de wand van de geïsoleerde buis bereken je met de formule voor de warmtestroom.

$$P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$\lambda = 0,038 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$A = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 57 \text{ K} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$d = 13 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } P = 0,038 \times 4,9 \cdot 10^{-2} \times \frac{57}{0,013} = 8,164 \text{ W}$$

$$\text{Door isolatie is het warmteverlies dus } \frac{27}{8,164} = 3,307 \text{ keer zo klein geworden.}$$

Afgerond: 3,3 keer.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

Opgave 32 Mürrenbaan

- a ► De gemiddelde snelheid over de gehele rit bereken je met de formule voor de gemiddelde snelheid.

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Op $t = 0$ s is $x = 860$ m (aflezen uit het diagram in figuur 31)

Op $t = 210$ s is $x = 1500$ m (aflezen uit het diagram in figuur 31)

$$\text{Invullen levert: } v_{\text{gem}} = \frac{(1500 - 860)}{210} = 3,0476 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v_{\text{gem}} = 3,05 \text{ m s}^{-1}$.

- b ► De hellingshoek bepaal je met een formule voor de goniometrische verhouding van de verplaatsing in verticale richting en de verplaatsing langs de baan.

$$\sin(\alpha) = \frac{s_{\text{vert}}}{s_{\text{baan}}}$$

$$s_{\text{vert}} = 1420 - 955 = 465 \text{ m} \quad (\text{aflezen uit het diagram in figuur 31})$$

- s_{baan} bereken je met de formule voor een eenparige beweging.

$$s_{\text{baan}} = v \cdot t$$

$$v = 7,5 \text{ m s}^{-1}$$

$$t = 170 - 50 = 120 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } s_{\text{baan}} = 7,5 \times 120 = 900 \text{ m}$$

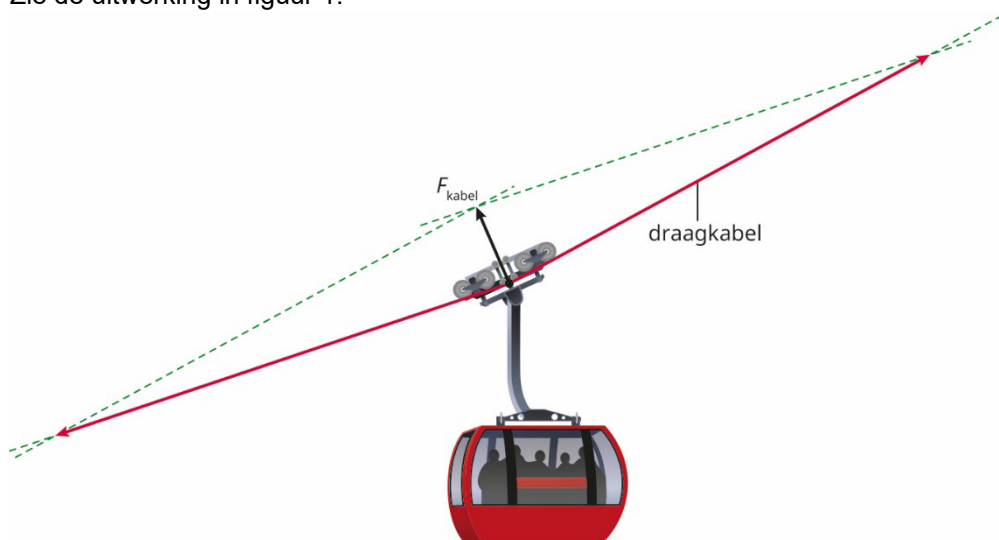
- Invullen van s_{vert} en s_{baan} in de formule $\sin(\alpha) = \frac{s_{\text{vert}}}{s_{\text{baan}}}$

$$\sin(\alpha) = \frac{465}{900} = 0,5167$$

$$\alpha = 31,11^\circ$$

Afgerond: $\alpha = 31^\circ$.

- c ► De spankrachten construeer je met de omgekeerde parallellogrammethode. Zie de uitwerking in figuur 1.



Figuur 1

De lengte van een pijl van de spankracht in de kabel is 6,3 cm lang. Dit komt overeen met een kracht van $6,3 \times 1,0 \cdot 10^5 = 6,3 \cdot 10^5 \text{ N}$.

4 vwo hoofdstuk 4 uitwerkingen

- d ► De maximale spankracht bereken je met de formule voor de spanning.

$$\sigma = \frac{F_s}{A}$$

$$\sigma = 300 \text{ MPa} = 300 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$A = 3,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Invullen levert: } 3,00 \cdot 10^8 = \frac{F_s}{3,85 \cdot 10^{-3}}$$

$$F_s = 3,00 \cdot 10^8 \times 3,85 \cdot 10^{-3} = 1,1550 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_s = 1,16 \cdot 10^6 \text{ N.}$$