

5 Stoffen en Materialen havo

5.1 Vast, vloeibaar gas en plasma

Fase overgangen

- 1*** In de vaste fase van water zijn de watermoleculen gerangschikt in een regelmatig rooster. Er zijn twee verschillende manieren waarop de watermoleculen zich ordenen, in ijskristallen en in sneeuw kristallen. Als vloeibaar water wordt afgekoeld onder 0 °C ontstaan er ijskristallen.
- a Leg uit wanneer sneeuw kristallen worden gevormd.
 - b Hoe heet de overgang van de gasvormige fase naar de vaste fase?
- 2**** Als het hoog in de lucht koud is kan er uit een wolk neerslag komen in de vorm van regen, hagel of sneeuw.
- a Leg uit wanneer er regen uit een wolk komt.
 - b Leg uit wanneer er hagel uit een wolk komt.
 - c Leg uit wanneer er sneeuw uit een wolk komt.
- 3*** Als je natte kleren buiten ophangt zijn ze na een tijdje droog.
- a Leg uit waar het water is gebleven.
 - b Geef twee manieren om het proces van drogen te versnellen.
- 4*** Als je ademt tegen een koude spiegel beslaat deze.
- a Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.
 - b Hoe heet dit proces?

5* De meeste vliegtuigen vliegen op 11 km hoogte. De temperatuur is daar ongeveer $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bij koud, helder weer zie je soms witte strepen in de lucht als er een vliegtuig voorbij is gekomen.

a Leg uit hoe deze strepen ontstaan.

b Leg uit waarom deze strepen na een poosje weer verdwijnen.

6** Als je zout oplost in water kost het de watermoleculen meer moeite om een regelmatig rooster te vormen. Doordat het zout in de weg zit verandert het smeltpunt van water.

a Leg uit of het smeltpunt hoger of lager wordt door het oplossen van zout.

b Noem een toepassing van dit verschijnsel in het dagelijkse leven.

Dichtheid zonder context

7* Een blokje aluminium heeft een dichtheid van $2,70\text{ g/cm}^3$. Het blokje heeft een volume van 16 cm^3 .

a Bereken de massa van het blokje.

Het blokje wordt doormidden gezaagd in twee blokjes van ieder 8 cm^3 . Tera beweert dat de dichtheid nu ook de helft is geworden. Thijn beweert dat de dichtheid nu verdubbelt.

b Leg uit wie er gelijk heeft, Tera, Thijn of geen van beide?

8* Je hebt twee blokjes met hetzelfde volume. Blokje 1 is gemaakt van tin en blokje 2 is gemaakt van zink.

a Welke van de blokjes weegt het zwaarst?

De blokjes hebben een volume van 12 cm^3 .

b Bereken de massa van de blokjes.

9* Je hebt twee blokjes. Blokje 1 is gemaakt van goud. Blokje 2 is twee keer zo groot als blokje 1 en is gemaakt van ijzer.

a Welke van de blokjes weegt het zwaarst?

Blokje 1 heeft een volume van 3 cm^3 .

b Bereken de massa van blokje 2.

10*** Je hebt even grote blokjes gemaakt van lood, van ijzer en van aluminium. In het linker bakje van de weegschaal doe je 3 loodblokjes.

a Hoeveel blokjes ijzer moet je minstens in het rechter bakje doen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?

b Hoeveel blokjes aluminium moet je minstens in het rechter bakje doen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?

In het linker bakje zitten nog steeds 3 blokjes lood. In het rechterbakje doe je eerst 1 blokje ijzer.

c Hoeveel aluminiumblokjes moet je minstens in het rechter bakje toevoegen om de weegschaal naar rechts te laten doorslaan?



11** Een ijzeren staaf heeft een volume van 200 cm^3 .

a Hoeveel kg is deze staaf?

Een andere ijzeren balk heeft een massa van $5,0 \text{ kg}$.

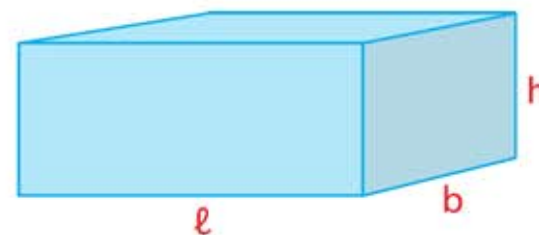
b Bereken het volume van deze staaf.

12** Een balkje is $1,5 \text{ cm}$ breed en 3 cm hoog en heeft een volume van 27 cm^3 .

a Hoe lang is het balkje?

Het balkje is gemaakt van koper.

b Hoeveel massa heeft het balkje?

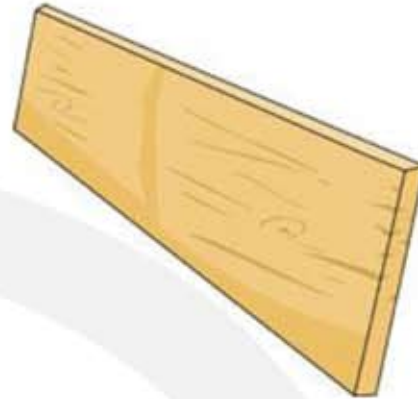


13*** Een plank gemaakt van eikenhout is 7 mm dik, 12 cm breed en heeft een volume van $1,5 \text{ dm}^3$.

- a Bereken de lengte van deze plank in cm.
- b Bereken de massa van deze plank in kg.

Je maakt een andere plank twee keer zo dik en twee keer zo breed.

- c Bereken het volume van deze andere plank.
- d Bereken de massa van deze andere plank.



14*** Een cilindervormige koperen draad heeft een straal van 1,5 mm en is 15 m lang. Voor de inhoud van een cilinder geldt:
 $V = \pi r^2 \cdot \ell$

- a Bereken de massa van deze draad.

Je maakt een andere koperdraad twee keer zo dik en twee keer zo lang.

- b Bereken de dichtheid van deze draad.
- c Bereken de massa van deze draad.



15*** Een aluminium cilinder is 10 cm hoog en heeft een massa van 1,0 kg.

- a Bereken de straal van deze cilinder.

16** Harry beweert dat hout altijd op water blijft drijven.

- a Leg uit of Harry gelijk heeft.

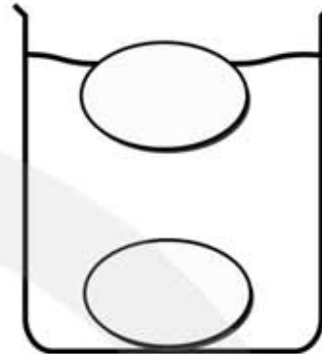
Max beweert dat beton nooit op water kan drijven.

- b Leg uit of Max gelijk heeft.

Dichtheid met context

17** Verse eieren?

Floor en Bert gaan tijdens een practicum de versheid van eieren bepalen. Ze doen daarom twee eieren in een bekersglas met water. Zie de figuur.



Hoe verser een ei is, des te groter is de dichtheid van het ei.

- a Leg uit welk van de twee eieren het meest vers is. Gebruik in je antwoord het begrip dichtheid.

Vervolgens willen Floor en Bert de dichtheid van het ei bepalen.

- b Leg uit hoe ze hierbij te werk moeten gaan.

18** Aanrecht

Hans en Anneke gaan een nieuwe keuken kopen. Ze zijn ook op zoek naar een nieuw aanrechtblad. Het aanrechtblad dat ze nodig hebben, moet 3,10 m lang, 60 cm breed en 4,5 cm dik zijn. Ze kiezen voor een granieten aanrechtblad. Graniet heeft een dichtheid van $2,7 \text{ g / cm}^3$.

- a Bereken de massa in kilogram van een granieten aanrechtblad met de bovenstaande afmetingen.

19** Perspex

Er wordt van een blokje perspex een stukje afgezaagd.

- a Welke invloed heeft dat op de dichtheid van het overblijvende perspexblokje? Geef uitleg bij je antwoord.
A De dichtheid wordt kleiner.
B De dichtheid blijft gelijk.
C De dichtheid wordt groter.

Het afgezaagde stukje perspex is 3 cm lang, 0,5 dm breed en 4 mm dik. De dichtheid van perspex is $1,2 \text{ g/cm}^3$.

- b Bereken de massa van het stukje perspex.

20*** Muurtje metselen

Jan wil in zijn tuin een muurtje metselen. Hij wil hiervoor bakstenen gebruiken die 5 cm dik, 10 cm breed en 20 cm lang zijn. Hij rijdt met zijn auto met aanhangwagen

naar de bouwmarkt. De lading van het wagentje mag maximaal 500 kg zijn. De dichtheid van baksteen is $1,8 \text{ g/cm}^3$.

a Bereken hoeveel stenen Jan maximaal in de aanhangwagen mag vervoeren.

21*** Schilderen

Robert gebruikt $6,0 \text{ kg}$ verf bij het schilderen van de wand. De verf heeft een dichtheid van $2,4 \text{ kg/dm}^3$. De wand die hij schildert heeft een oppervlak van $5,0 \text{ m}^2$.

a Bereken het volume van de hoeveelheid verf.

b Bereken de dikte van de aangebrachte verflaag in millimeter.

22*** De dichtheid van natrium metaal is $0,97 \text{ g/cm}^3$ en de dichtheid van goud is $19,3 \text{ g/cm}^3$. Yvonne beweert dat je hieruit mag concluderen dat er in goud per kubieke meter atomen zijn dan in natrium.

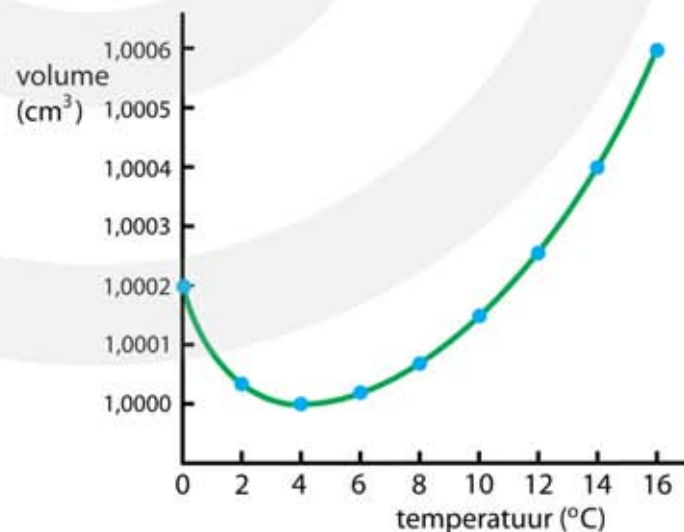
a Leg uit waarom Yvonne deze conclusie niet mag trekken.

b Leg uit welk ander gegeven Yvonne erbij moet betrekken voordat ze tot deze conclusie kan komen.

23*** Water heeft bij $4 \text{ }^\circ\text{C}$ een dichtheid van $1,0000 \text{ g/cm}^3$. Zowel bij het afkoelen als bij het opwarmen zet water van $4 \text{ }^\circ\text{C}$ uit. De figuur geeft het volume van 1 gram water als functie van de temperatuur.

a Leg uit of de dichtheid toeneemt of afneemt als water van $4 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt afgekoeld.

b Leg uit of de dichtheid toeneemt of afneemt als water van $4 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt verwarmd.



Eén watermolecuul heeft een massa van 18 u . $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

c Bereken het aantal watermoleculen in één kubieke centimeter bij een temperatuur van $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

24*** De eenheid van massa is het kilogram. Ruim honderd jaar geleden is een cilindrisch blokje van platina-iridium blokje gemaakt. Zowel de hoogte als de diameter van dit blokje is 39,0 mm. Dat blokje noemde men het kilogram. Een kilogram is net zoveel materie als één liter water bij een temperatuur van vier graden Celsius. Het oorspronkelijke blokje wordt bewaard op het internationale bureau van gewichten en maten in Sèvres bij Parijs.



a Bereken de dichtheid van de gebruikte platina-iridium legering.

25*** Jannick krijgt van zijn docent twee puntenslijpers. Eén is van magnesium en één van aluminium. De opdracht is om te achterhalen van welk materiaal elke puntenslijper is gemaakt.



Om te onderzoeken van welk materiaal elke puntenslijper is gemaakt gaat hij de dichtheid bepalen. Hij gebruikt een maatcilinder en een weegschaal. Jannick begint met het losschroeven van het mesje.

a Geef een reden voor het verwijderen van het mesje.

Hij doet wat water in een maatcilinder.

b Wat zal Jannick aflezen?

c Wat moet Jannick nog doen om het volume van een puntenslijper te bepalen?

FORTUNA®	
W. - GERMANY	
100:2	100
ml In 20°C	

_____	80

_____	60

De gegevens die Jannick verzamelt, staan in de onderstaande tabel.

puntenslijper	massa (g)	volume (cm ³)
1	5,2	3,0
2	6,8	2,5

d Leg aan de hand van een berekening uit welke puntenslijper van aluminium is.

5.2 Inwendige energie

Warmte en temperatuur

- 1**** Leg van de volgende uitspraken uit of ze waar of niet waar zijn. Geef alleen natuurkundige argumenten en sla geen denkstappen over.
- a** Met een thermometer meet je de uitzetting van een vloeistof en dat zegt niet altijd iets over de temperatuur.
 - b** Als een thermometer een lagere waarde afgeeft dan komt dat omdat de omgeving kouder is geworden.
 - c** Als lucht afkoelt wordt de gemiddelde afstand tussen de moleculen kleiner.
 - d** Iets koelt af omdat er koude van buitenaf wordt opgenomen.
- 2**** Kaarsvet bestaat voornamelijk uit stearine en heeft een smeltpunt van 69 °C.
- a** Geef het smeltpunt van stearine in K.
- 3**** Tijdens het smelten blijft de temperatuur gelijk.
- a** Geef hiervoor een verklaring.
- Tijdens het smelten zetten de meeste stoffen uit.
- b** Geef hiervoor een verklaring.
- 4***** De temperatuur is een maat voor de gemiddelde kinetische energie van de botsende deeltjes. Als in een gas verschillende soorten deeltjes voorkomen dan is de gemiddelde E_k van de verschillende deeltjes gelijk aan elkaar. Lucht bestaat voor 80 % uit N_2 moleculen en voor 20% uit O_2 moleculen.
- a** Beredeneer of bij een bepaalde temperatuur de gemiddelde snelheid van O_2 moleculen groter of kleiner of gelijk is dan de snelheid van N_2 moleculen.
- Bij een bepaalde temperatuur is de gemiddelde snelheid van de O_2 moleculen 475 m/s. In de lucht bevinden zich ook watermoleculen.

b Bereken de gemiddelde snelheid van de watermoleculen.

Hoewel de gemiddelde snelheid van de O_2 moleculen 475 m/s is betekent dit niet dat een O_2 molecuul zich in 1 seconde over een afstand van 475 m verplaatst.

c Leg uit wat dan wel wordt bedoeld met "gemiddelde snelheid"

Transport van warmte

5** Een bureau in een klaslokaal heeft een houten blad en stalen poten. Als je de poten aanraakt voelt het veel kouder aan dan als je het blad aanraakt.

Leg van de volgende uitspraken uit of ze waar of niet waar zijn. Geef alleen natuurkundige argumenten en sla geen denkstappen over.

a De temperatuur van het blad is gelijk aan die van de poten.

b Wat je met je handen voelt zegt niets over de temperatuur, omdat je zenuwen daar ongevoelig voor zijn.

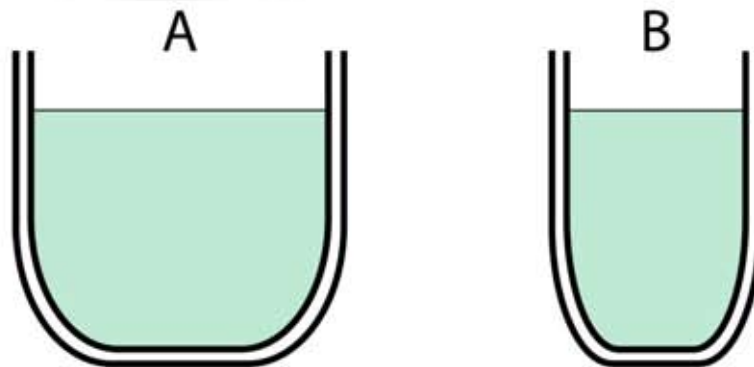
c Metaal voelt altijd kouder aan dan hout.

d Ook als de temperatuur in het lokaal hoger is dan $37\text{ }^\circ\text{C}$ voelen de poten kouder aan dan het blad.

6** In een oven bak je broodjes op $170\text{ }^\circ\text{C}$. Als de broodjes klaar zijn kun je ze met je blote hand snel uit de oven halen. Je moet daarbij opletten om niet de metalen wand van de oven aan te raken, want dan verbrandt je hand meteen.

a Leg uit waarom je hand niet verbrandt als je het broodje aanraakt en wel als je de wand aanraakt.

7** Bekers A en B bevatten soep met een temperatuur van $80\text{ }^\circ\text{C}$. De bekere hebben een dubbele wand waar vrijwel geen warmte doorheen kan stromen.



Leg van de volgende uitspraken uit of ze waar of niet waar zijn. Geef alleen natuurkundige argumenten en sla geen denkstappen over.

- a De dubbele wand zorgt er alleen voor dat de soep langer warm blijft.
- b De soep in A koelt langzamer af dan de soep in B omdat er meer soep in A zit.
- c De soep in A koelt sneller af dan de soep in B omdat beker A wijder is dan beker B.
- d De afkoelsnelheid is recht evenredig met de hoeveelheid soep.
- e Als het contactoppervlak tussen soep en lucht toeneemt neemt de afkoelsnelheid af.

8** Vervolg

Als je wilt dat de soep sneller afkoelt kun je over de soep heen blazen.

- a Leg uit waarom de soep sneller afkoelt door te blazen.

Als je wilt dat de soep sneller afkoelt kun je ook in de soep roeren.

- b Leg uit waarom de soep sneller afkoelt door te roeren.

Warmtegeleidingscoëfficiënt

9** Zoek op en Binas.

- a Het metaal dat het beste de warmte geleid.
- b Het metaal dat het beste isoleert.
- c De vaste stof die het beste isoleert.
- d De warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht.

10*** Een klaslokaal heeft een 20 cm dikke bakstenen muur. De muur is 2,5 m hoog en 15 m breed. Binnen in het lokaal is het 20 °C en buiten is het 12 °C. De warmtegeleidingscoëfficiënt van het gebruikte baksteen is $0,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

- a Bereken hoeveel warmte er in één lesuur van 50 minuten door de muur naar buiten gaat.

Het lokaal heeft ook zes glazen ramen van 1,0 bij 1,5 meter. In één lesuur van 50 minuten gaat er $3,9 \cdot 10^7 \text{ J}$ warmte door deze ramen.

- b Bereken de dikte van het vensterglas.

De ramen hebben een veel kleiner oppervlak dan de muur en toch is het warmteverlies door de ramen is veel groter dan het warmteverlies door de muur.

c Leg uit waarom dit het geval is.

Om het warmteverlies tegen te gaan stelt een leerling voor om maar één raam in het lokaal aan te brengen, waarbij het warmtetransport door dit raam even groot is als het warmtetransport door de muur.

d Hoe groot moet het raam zijn?

Een mens heeft een gemiddeld vermogen van 100 W. Een klas met leerlingen en een docent zijn in het aangepaste lokaal met maar één raam.

e Hoeveel leerlingen moeten er in het lokaal zijn om de temperatuur op 20 °C te houden?

Een klas heeft 20 leerlingen.

f Wat kan de docent doen om de temperatuur op 20 °C te houden?

Een andere klas heeft 30 leerlingen.

g Wat kan de docent doen om de temperatuur op 20 °C te houden?

11*** Een raam van enkel glas is 5,0 mm dik en heeft een afmeting van 1,8 m bij 1,2 m. De warmtegeleidingscoëfficiënt van vensterglas is $0,92 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. In de winter is de binnentemperatuur gemiddeld 18,0 °C en de buitentemperatuur 6,0 °C.

a Bereken hoeveel warmte er in de winter (90 dagen) naar buiten gaat.

Het huis wordt verwarmd met elektrische straalkachels. Eén kWh elektrische energie kost 18 cent. Een straalkachel heeft een vermogen van 2,4 kW.

b Bereken hoeveel kWh elektrische energie nodig is om het huis op temperatuur te houden.

c Bereken hoeveel euro je moet betalen voor de gebruikte elektrische energie.

d Bereken hoeveel straalkachels er nodig zijn om het huis op temperatuur te houden.

In werkelijkheid is het verlies veel kleiner doordat binnen en buiten tegen de ruit een stilstaand luchtlaagje zit met een isolerende werking. Er gaat daarom 20 keer minder warmte door de ruit.

e Bereken de dikte van de luchtlaagjes. Verwaarloos de isolerende werking van glas.

12*** In de winter ligt er op een sloot een 10 cm dikke ijslaag. Vlak onder deze ijslaag zit een waterlaag met een dikte van 1,0 cm en een temperatuur van 0 °C. Buiten is het 10 graden onder nul. Warmtetransport zorgt ervoor dat de 1,0 cm dikke waterlaag van 0 °C gaat bevriezen.

a Wordt er warmte van boven naar beneden of van beneden naar boven getransporteerd?

b Bereken hoeveel warmte er per seconde door 1,0 m² van deze ijslaag gaat.

Om 1,0 kg water van 0 °C te stollen moet 334 kJ warmte aan het water worden onttrokken.

c Bereken hoeveel warmte aan de 1,0 cm dikke waterlaag per vierkante meter moet worden onttrokken om het te laten bevriezen.

d Bereken hoeveel uur het duurt voordat de ijslaag van 10 cm is aangegroeid met 1,0 cm ijs.

Marlies beweert dat het even lang duurt om de ijslaag van 11 naar 12 cm te laten groeien als de tijd nodig voor aangroei van 10 naar 11 cm.

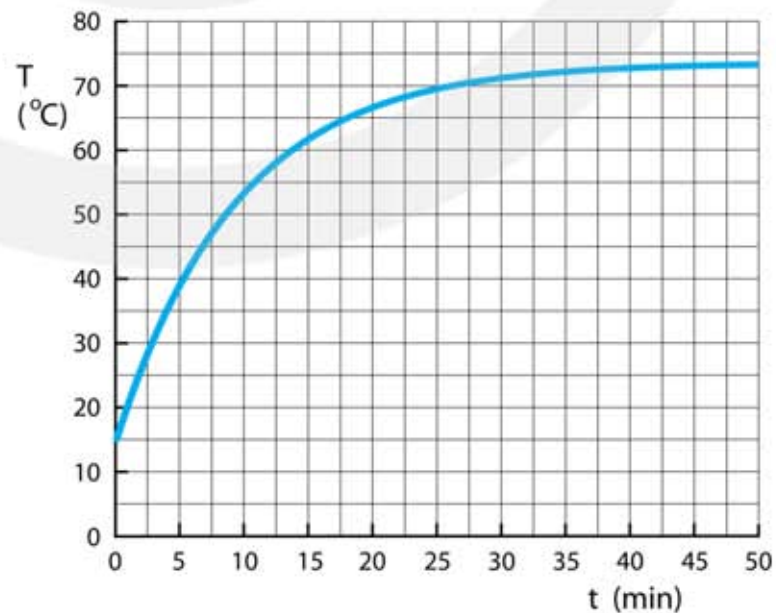
e Leg uit of Marlies gelijk heeft.

Bij de berekening van de ijsaangroei is een aantal aannames gemaakt om de berekening te vereenvoudigen.

d Noem minimaal twee van deze aannames.

13*** In een kartonnen doos zit een gloeilamp van 100 W. Als je de lamp aandoet neemt de temperatuur in de doos toe. Na ongeveer een uur verandert de temperatuur niet meer. In de figuur zie je het temperatuurverloop in de doos. De temperatuur buiten de doos is constant 15 °C.

a Hoeveel warmte stroomt er na één uur per seconde door de wanden van de doos?



De afmetingen van de doos zijn: $l \times b \times h = 0,30 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$. De doos staat op een plaat polystyreen (piepschuim), zodat het warmteverlies door de bodem verwaarloosbaar is.

b Bereken de totale oppervlakte van de zijkanten en de bovenkant van de doos.

Het karton heeft een dikte van 4,0 mm.

c Bereken de warmtegeleidingscoëfficiënt van het karton.

In werkelijkheid heeft karton een 10 keer zo grote warmtegeleidingscoëfficiënt.

d Verklaar dit.

Thijmen beweert dat de het warmtetransport door de wand van de doos in de eerste minuut groter is dan in de 50-ste minuut.

e Ben je het met Thijmen eens?

f Maak een schatting hoeveel warmte er in de 1^e minuut door de wanden van de doos gaat.

g Bereken hoeveel warmte er in de 10^e minuut door de wanden van de doos gaat.

14*** De warmteweerstand R_c van een plaat polystyreen (piepschuim) is gedefinieerd als:

$$R_c = \frac{\text{oppervlakte} \times \text{temperatuurverschil}}{\text{warmteverlies per seconde}}$$

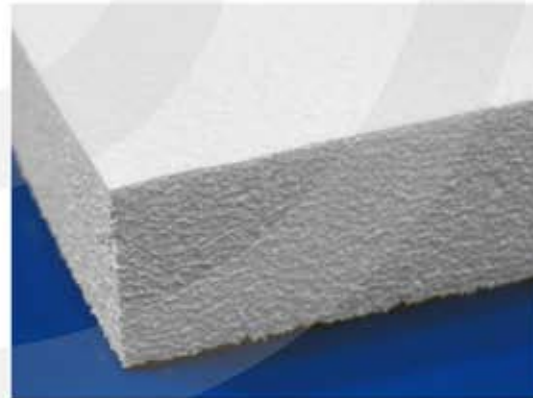
a Geef de natuurkundige formule voor de warmteweerstand.

b Wat is de eenheid van R_c ?

c Maak een formule die het verband geeft tussen de warmteweerstand R_c en de warmtegeleidingscoëfficiënt λ .

Als je isolatiemateriaal koopt staat daar meestal de R_c -waarde op vermeld en niet de warmtegeleidingscoëfficiënt.

d Leg uit waarom de R_c -waarde van isolatiemateriaal meer informatie geeft over hoe goed het isoleert dan de warmtegeleidingscoëfficiënt.



15*** Aerogel is schuim gemaakt van siliciumoxide en bestaat voor 99,8% uit lucht. Aerogel is doorzichtig en voelt een beetje sponsachtig aan. Aerogel heeft een zeer goed isolerend vermogen en heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van $0,014 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Vandaar dat aerogel veel gebruikt wordt in de bouw en in de chemische industrie.

- a** Leg uit waarom het isolerend vermogen van aerogel zo goed is.

Een plaat gemaakt van aerogel heeft een dikte van 18 mm en is 50 cm bij 80 cm groot. Polystyreen (piepschuim) heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt van $0,035 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

- b** Bereken hoe dik een plaat polystyreen moet zijn om hetzelfde isolerend vermogen te hebben als de plaat aerogel.

Het temperatuurverschil tussen beide kanten van de aerogelplaat is $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

- c** Bereken hoeveel warmte de aerogelplaat per minuut doorlaat.



5.3 Warmte opnemen en warmte afstaan

1** Metalen met een grote dichtheid hebben een kleine soortelijke warmte.

a Leg uit waarom dat het geval is.

In de tabel staan de dichtheid en de soortelijke warmte van tien metalen.

metaal	ρ (10^3 kg m^{-3})	c ($10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
aluminium	2,70	0,88
calcium	1,55	0,65
chromium	7,19	0,45
goud	19,3	0,129
ijzer	7,87	0,46
kalium	0,86	0,754
koper	8,96	0,387
lood	11,3	0,128
natrium	0,97	1,23
platina	21,5	0,133

b Maak een grafiek met op de horizontale as de dichtheid en op de verticale as de soortelijke warmte van deze metalen.

c Leg uit of de vorm van de grafiek klopt met wat je verwacht.

Bart denkt dat er een omgekeerd evenredig verband is tussen de dichtheid en de soortelijke warmte bij metalen.

d Wat is een omgekeerd evenredig verband?

e Controleer of Bart gelijk heeft.

2** De temperatuur van een magnesium blokje van 50 gram stijgt van 20 tot 67 °C.

a Bereken hoeveel warmte het blokje heeft opgenomen.

3** De temperatuur van een magnesium blokje van 50 cm³ stijgt van 293 tot 340 K.

a Bereken hoeveel warmte het blokje heeft opgenomen.

4** Een blok lood van 15,0 kg wordt opgewarmd van 20,0 °C tot het gaat smelten. Het smeltpunt van lood is 601 K. De smeltwarmte lood is $0,025 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$.

a Bereken hoeveel warmte het lood tot aan het smeltpunt heeft opgenomen.

Vervolgens wordt het blok gesmolten.

b Bereken hoeveel warmte er nodig is om het blok te smelten.

5** Een roestvrij stalen pan met een massa van 1500 gram verwarm je 2,5 liter water. De begintemperatuur van de pan met water is 12 °C. De brander van het fornuis heeft een vermogen van 3,0 kW. Neem aan dat er geen warmte van de pan naar de omgeving gaat. Gebruik voor de dichtheid van water $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

a Bereken de temperatuur van de pan met water na 10 seconden.

b Bereken hoe lang het duurt voordat het water kookt.

6** Een keukenboiler boiler heeft 10 liter water en een vermogen van 2200 W.

a Bereken hoeveel liter water deze boiler per seconde van 15 °C tot 85 °C verwarmt.

b Bereken hoe lang deze boiler nodig heeft om 10 liter water te verwarmen van 15 °C tot 85 °C.

Eén kWh kost 18 cent.

c Bereken hoeveel euro het kost om 10 liter water van 15 °C tot 85 °C te verwarmen.



7*** Een blokje ijzer van 20 g wordt in een vlam gehouden totdat de temperatuur van het blokje gelijk is aan de temperatuur van de vlam. Daarna wordt het blokje snel in 100 g water van 15 °C gebracht. De temperatuur van het water stijgt hierdoor tot 27 °C.

a Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

De warmte die het water opneemt is gelijk aan de warmte die het ijzeren blokje heeft afgestaan. Hieruit kan de temperatuur van de vlam worden berekend.

b Bereken de temperatuur van de vlam.

- 8***** Een boiler gevuld met $2,5 \text{ m}^3$ water wordt gebruikt om een huis overdag te verwarmen. 's Nachts wordt het water in de boiler op $90 \text{ }^\circ\text{C}$ gebracht. Om 7.00 uur 's ochtends wordt het water door acht radiatoren gepompt. Een radiator heeft een vermogen van gemiddeld $1,6 \text{ kW}$. De dichtheid van water is $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Op zeker moment is de temperatuur van het water gedaald tot $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

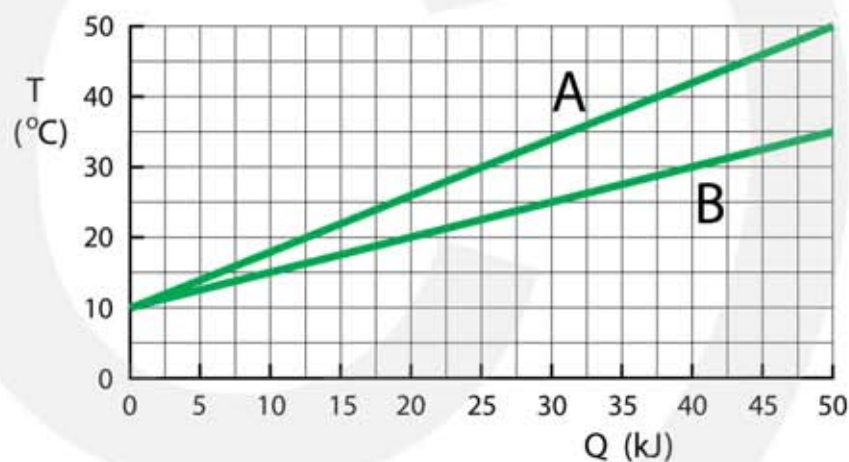
a Bereken hoeveel energie het water van de boiler dan heeft afgestaan.

b Bereken op welk moment het water $50 \text{ }^\circ\text{C}$ is.

Van een radiator wordt vastgesteld dat het temperatuurverschil tussen het in- en uitstromende water $10 \text{ }^\circ\text{C}$ is.

c Bereken hoeveel water er per seconde door een radiator stroomt.

- 9**** In de figuur is te zien hoe de temperatuur verandert als er warmte wordt toegevoegd aan stof A en stof B. De massa van beide stoffen is 750 gram .



a Bepaal de soortelijke warmte van stof A.

b Bepaal de soortelijke warmte van stof B.

- 10**** Om een leeg kopje $1,0$ graad in temperatuur te laten stijgen is 25 J nodig. De temperatuur van het kopje is $20 \text{ }^\circ\text{C}$. In het kopje giet je koffie met een temperatuur van $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Je doet er een scheutje van $5,0 \text{ ml}$ melk bij. De melk komt uit de koelkast met een temperatuur van $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$. De eindtemperatuur van de koffie met melk in het kopje wordt $76 \text{ }^\circ\text{C}$. Gebruik voor de dichtheid van melk en van koffie $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. De soortelijke warmte van koffie is gelijk aan die van water.

a Bereken hoeveel warmte het kopje heeft opgenomen.

b Bereken hoeveel warmte de melk heeft opgenomen.

c Bereken hoeveel ml koffie er in het kopje zit.

Warmtecapaciteit

11*** Een kookplaat heeft een vermogen van 2400 W. Op deze kookplaat wordt een ketel met 1,5 liter water verwarmd. De begintemperatuur van het water is 12 °C. Het water kookt bij 100 °C. De ketel heeft een warmtecapaciteit van 600 J K⁻¹. De dichtheid van water is 1,0 g cm⁻³.

- Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.
- Bereken hoeveel warmte de ketel heeft opgenomen.
- Bereken na hoeveel tijd het water gaat koken als alle warmte aan het water of de ketel wordt afgestaan.

Tijdens het opwarmen gaat gemiddeld 30 % van de energie naar de omgeving

- Bereken na hoeveel tijd het water nu gaat koken.

12** In een thermosfles met een warmtecapaciteit wordt een halve liter melk gedaan. De warmtecapaciteit van de thermosfles is 120 J K⁻¹. De dichtheid van melk is 1,04 · 10³ kg m⁻³. De soortelijke warmte van melk is 3,9 · 10³ J kg⁻¹ K⁻¹.

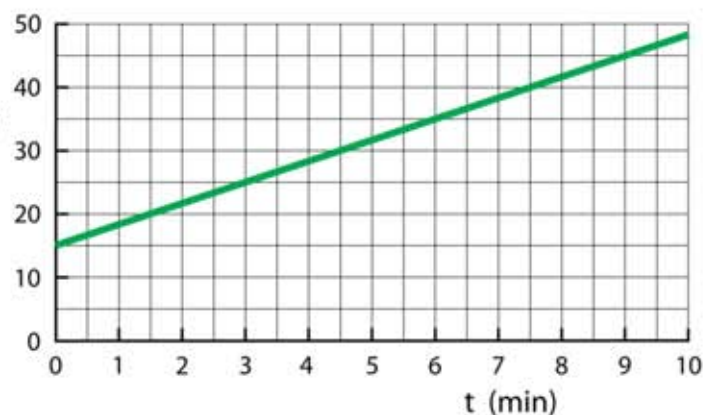
- Bereken de hoeveel warmte de thermosfles met melk opneemt bij een temperatuurstijging van 3,0 °C.

De temperatuur van de melk en de thermosfles zijn 10 °C. Je drinkt de melk uit de thermosfles op.

- Bereken hoeveel warmte je lichaam moet leveren om de melk op lichaamstemperatuur te brengen.

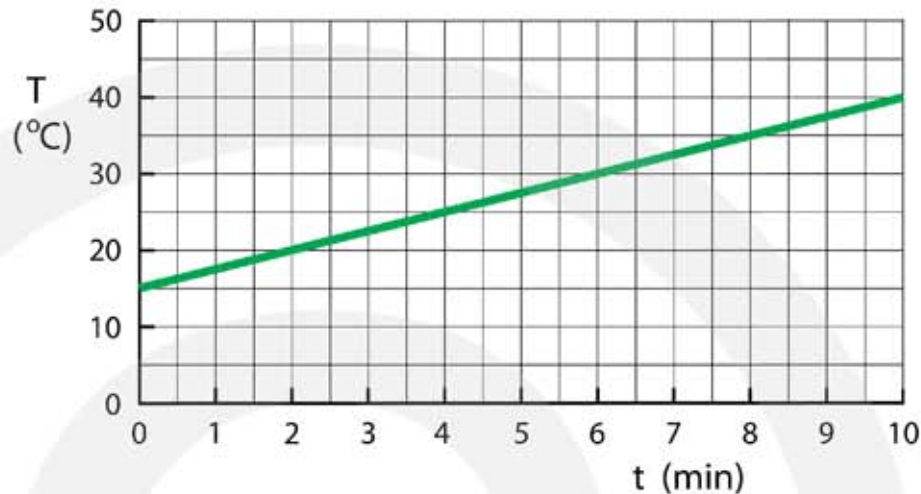
13*** Een thermosfles bevat 300 gram water. Een verwarmingselement van 75 W wordt gebruikt om het water te verwarmen. Het rendement van dit element is 100% en er stroomt dus geen energie naar de omgeving. De figuur geeft de stijging van de temperatuur in de tijd.

- Hoeveel warmte produceert het verwarmingselement in 10 minuten?
- Hoe groot is de warmtecapaciteit van de thermosfles?



- 14*** Een thermosfles bevat 500 ml water. Een verwarmingselement van 120 W wordt gebruikt om het water te verwarmen. De figuur geeft de stijging van de temperatuur in de tijd. De dichtheid van water is $0,998 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. De warmtecapaciteit van de thermosfles is 600 J K^{-1}

a Bepaal het rendement van het verwarmingselement.



- 15**** In een thermosfles zit 300 g zand van $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij dit zand gieten we 200 g water van $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Van de warmte uit het hete water wordt 40% gebruikt voor het opwarmen van de thermosfles.

- a Bereken de eindtemperatuur van het water / zand mengsel.
b Bereken de warmtecapaciteit van de thermosfles.

- 16**** In een thermosfles zit 300 ml koud water van $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Vervolgens wordt 200 ml warm water van $90 \text{ }^\circ\text{C}$ toegevoegd. De warmtecapaciteit van de thermosfles is 150 J K^{-1} .

- a Bereken de eindtemperatuur van het water.

- 17**** Een magnetronoven wordt gebruikt om water te verwarmen. Een magnetron werkt op 230 V en heeft een vermogen van 800 W. We vergelijken het opwarmen van een lege beker met een beker die gevuld is met 200 g water. De tijd die nodig is voor een temperatuurstijging van $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ blijkt bij een volle beker 23 keer zo groot te zijn als bij een lege beker. De warmte die tijdens het opwarmen naar de omgeving stroomt wordt verwaarloosd.

- a Bereken de warmtecapaciteit van de beker.

5.4 Warmte en elektrische geleiding

GEEN OPGAVEN



5.5 Spanning en rek

- 1* Er wordt een kracht uitgeoefend op een draad waardoor het een rek van 1 krijgt. Wat weet je nu van de draad?
- A De draad is even lang gebleven.
 - B De draad is twee keer zo lang geworden.
 - C De draad is 1% langer geworden.
- 2* De elasticiteitsmodulus is de spanning gedeeld door de rek.
- a Toon aan dat de eenheid van de elasticiteitsmodulus pascal (Pa) is.
- 3** Een nylon visdraad heeft een diameter van 1,2 mm en is 14,00 meter lang. De elasticiteitsmodulus van nylon is $2,8 \cdot 10^9$ Pa. Een vis trekt met een kracht van 30 N aan de draad die hierdoor een beetje uitrekt.
- a Bereken de spanning in de draad.
- b Bereken de lengte van de visdraad als de vis eraan trekt.
- 4** We willen de elasticiteitsmodulus van synthetisch rubber bepalen. Daartoe onderzoeken we de uitrekking van elastiek dat gemaakt is van deze rubber. Het elastiek is buisvormig. We hangen blokjes van 50 gram aan het elastiek en meten steeds de lengte. In onderstaande tabel zie je het resultaat.

aantal blokjes	lengte (cm)	kracht (N)	uitrekking (cm)	spanning (Pa)	rek
0	42				
1	46				
2	50				
3	54				
4	58				
5	61,5				
6	65				
7	68				
8	70				
9	71,5				
10	72				

a Vul de 3^e kolom (kracht) en de 4^e kolom (uitrekking) in.

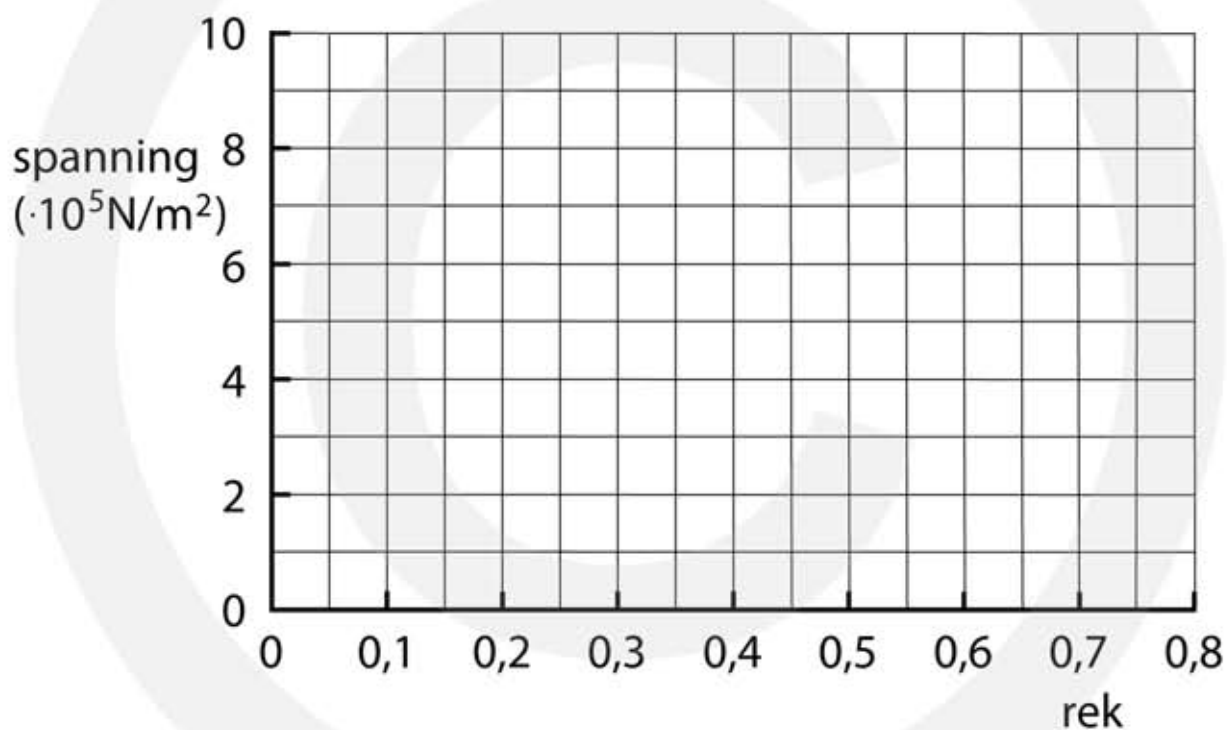
Om de elasticiteitsmodules van het elastiek te bepalen moet je nog een meting uitvoeren.

b Welke meting is er nog nodig?

Het elastiek heeft een diameter van 2,5 mm.

c Vul de 5^e kolom (spanning) en de 6^e kolom (rek) in.

d Teken de grafiek met op de horizontale as de rek en op de verticale as de spanning in onderstaande figuur.



e Wanneer is er een recht-evenredig verband tussen de spanning en de rek?

f Bepaal de elasticiteitsmodulus van het rubber.

5*** Je hangt een schilderij van 4,1 kg op aan een draad met een diameter van 1,0 mm. De treksterkte van het materiaal van de draad is $5,0 \cdot 10^7$ Pa.

a Bereken of de draad het schilderij kan houden.

Omdat je geen risico wil lopen wil je dat de draad 10 kg kan houden.

b Bereken hoe groot de diameter van de draad minstens moet zijn.

6** Een hijskraan heeft een staalkabel met een diameter van 12 mm. De toelaatbare treksterkte van het staal waarvan de draad is gemaakt is $490 \cdot 10^6$ Pa.

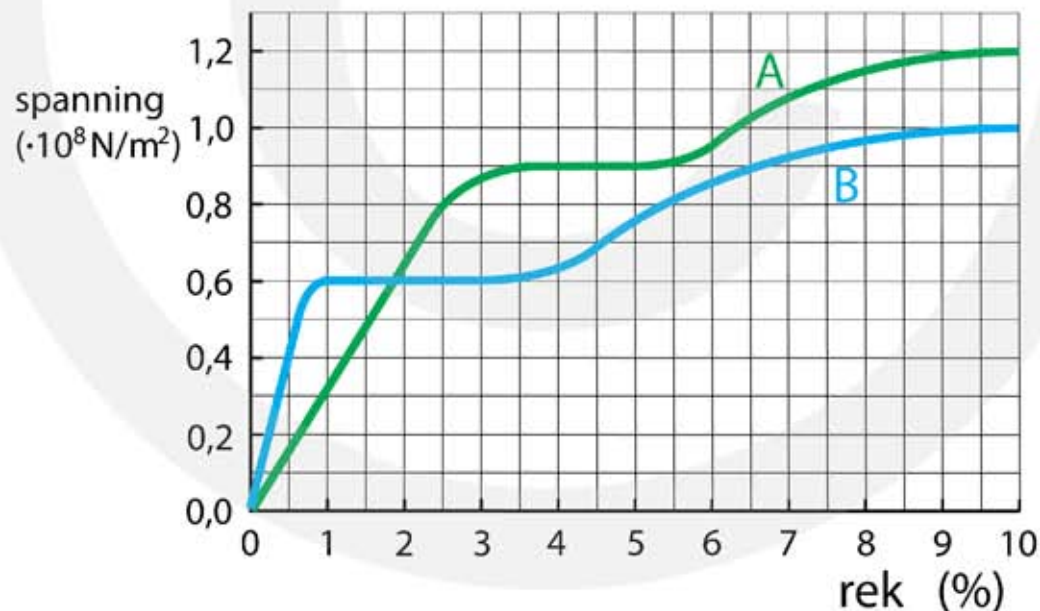
a Bereken hoeveel ton er met de hijskraan gehesen kan worden. Ga er in je berekening van uit dat de staalkabel massief is (volledig uit staal bestaat).

7*** De goederenlift in een ziekenhuis heeft een massa van 450 kg en mag maximaal 1500 kg worden belast. De kabel van de lift bestaat uit 3000 staaldradjes en is in ontspannen toestand 32 meer lang. Als de lift maximaal is beladen is de kabel 8,5 mm langer geworden.

a Bereken de spanning in de kabel.

b Bereken de diameter van één staaldradje.

8*** In onderstaande (spanning, rek)-diagram zie je grafieken van twee verschillende materialen.



a Leg uit welk materiaal het meest elastisch is.

Van materiaal A wordt een draad gemaakt met een diameter van 1,5 mm.

b Bereken de maximale massa die je aan deze draad kunt hangen zonder dat de draad plastisch gaat vervormen. Verwaarloos de massa van de draad.

- 9***** Je hebt vier draden A, B, C en D van hetzelfde materiaal.
- Draad B is even dik als draad A maar is twee keer zo lang.
 - Draad C is even lang als draad A maar is twee keer zo dik.
 - Draad D is twee keer zo dik als draad A en twee keer zo lang.
- Aan iedere draad wordt dezelfde massa gehangen.

a Beredeneer de volgorde van oplopende uitrekking.

De uitrekking van draad A is 5,0 mm.

b Bereken de uitrekking van de draden B, C en D.

- 10***** Een staalkabel die in de bouw wordt gebruikt is aan één kan ingeklemd. De rest van de draad hangt vrij naar beneden.

a Zoek de treksterkte van dit staal op.

b Zoek de dichtheid van dit staal op.

c Bereken bij welke lengte de staalkabel door zijn eigen gewicht breekt.

- 11***** Een spin kan meer dan honderd meter spinnendraad per dag produceren. De massa van 100 m spinnendraad is 0,40 mg. Het spinnendraad heeft een diameter van 0,0020 mm.

De aarde heeft een omtrek van 40.000 km. Stel dat een ambitieuze spin een draad om de aarde zou kunnen spannen.



a Bereken de massa die het spinnendraad dan zou hebben.

b Bereken de dichtheid van spinnendraad.

De treksterkte van spinnendraad is ongeveer gelijk aan die van hoogwaardig staal, maar spinnendraad kan veel meer uitrekken. Door de combinatie van grote treksterkte en grote rekbaarheid kan spinnendraad veel elastische energie opnemen. Dit maakt spinnendraad geschikt voor het maken van kogelvrije vesten. De treksterkte van spinnendraad is $1,0 \cdot 10^9$ Pa. Bij een kracht van 10 mN breekt het spinnendraad.

c Bereken de maximale kracht die op een spinnendraad kan worden uitgeoefend.

Bij deze kracht rekt het draad 35% uit.

d Welke rek heeft de draad bij de maximale kracht?

e Bereken de spanning in het spinnendraad op het moment dat het breekt.

De vloeispanning van spinnendraad is 0,90 GPa waarbij de rek 5,0% is.

f Bereken de elasticiteitsmodulus van spinnendraad.

12** De elektriciteitsdraden in huis zijn gemaakt van koper en hebben een doorsnede van $2,5 \text{ mm}^2$. Op de koperdraad oefenen we een kracht uit waardoor hij elastisch vervormt.

a Zoek de elasticiteitsmodulus en de treksterkte op van koper.

We nemen een stuk draad van 2,0 m en hangen er een massa aan van 10 kg.

b Hoeveel millimeter rekt de draad uit?

c Hoeveel kilogram kun je aan het koperdraad hangen voordat het breekt?

Stel dat we een ijzerdraad hebben met een doorsnede van ook $2,5 \text{ mm}^2$.

d Welke draad rekt het meeste uit als je er 100 kg aan hangt?

e Hoeveel kilogram kun je aan het ijzerdraad hangen voordat het breekt?



Examenvragen havo

Thermometers

Als je met een thermometer de temperatuur meet, neemt de thermometer warmte op of staat hij warmte af tot de eindtemperatuur bereikt is. Een kwikthermometer is een glasthermometer waarbij het (vloeibare) metaal kwik als vultvloeistof wordt gebruikt (zie figuur 1).



Figuur 1

Een bepaalde kwikthermometer bevat 4,8 g kwik. Voor de rest bestaat de thermometer uit 10,2 g gewoon glas met een soortelijke warmte van $800 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

- 4p a Bereken de hoeveelheid warmte die deze thermometer opneemt per graad temperatuurstijging.

De thermometer als een geheel (dus glas + kwik) kan beschouwd worden als een voorwerp met een bepaalde warmtecapaciteit. Men kan de warmtecapaciteit van de thermometer met de volgende proef bepalen. De proef bestaat uit drie stappen.

Stap 1.

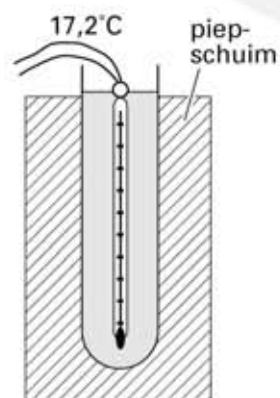
Een reageerbuis staat in een blok piepschuim. In de reageerbuis zit 18 g water. We meten de temperatuur van dat water. We lezen af $17,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Zie figuur 2a.

Stap 2.

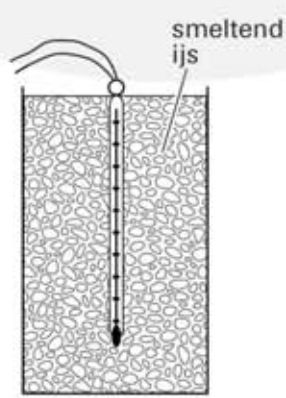
We koelen de thermometer af tot $0 \text{ }^\circ\text{C}$ door hem in een bak smeltend ijs te zetten. Zie figuur 2b.

Stap 3.

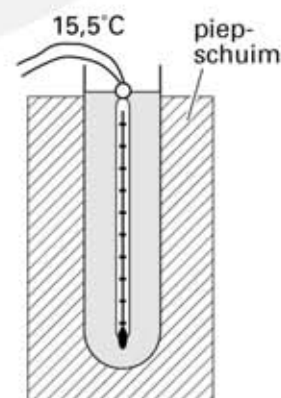
We plaatsen de afgekoelde thermometer snel terug in de reageerbuis met water. De temperatuur van de thermometer loopt weer op. Na enige tijd geeft de thermometer een constante temperatuur van $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$ aan. Zie figuur 2c. Je mag aannemen dat in deze laatste situatie de thermometer alleen warmte heeft opgenomen van het water. Eventuele afkoeling van de reageerbuis en het piepschuim mag dus verwaarloosd worden.



Figuur 2a



Figuur 2b



Figuur 2c

- 4p 2 Bereken de warmtecapaciteit van de thermometer die uit deze proef volgt.

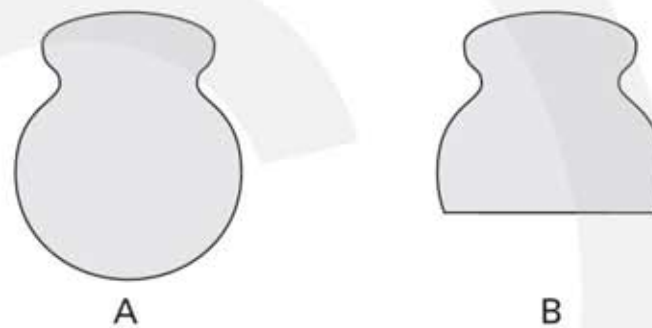
Slijtage bovenleiding

Tegenwoordig is in Nederland 5200 km van het spoor geëlektrificeerd. De elektrische treinen die over dat spoor rijden, krijgen hun stroom via de zogenaamde bovenleiding. Deze bovenleiding bestaat uit twee koperen draden naast elkaar. Zie figuur 1.



Figuur 1

Tijdens het rijden schuurt de stroomafnemer die aan de trein vastzit langs de twee koperdraden. Daardoor slijten de draden af. In figuur 2 zijn de doorsneden van een nieuwe draad A en een afgesleten draad B getekend. De doorsnede van draad A heeft een oppervlakte van $98,8 \text{ mm}^2$ en die van draad B $78,7 \text{ mm}^2$.



Figuur 2

Stel dat de hele bovenleiding van Nederland bestaat uit twee parallelle draden van het type A en na verloop van tijd (ongeveer 25 jaar) is afgesleten tot draden van het type B.

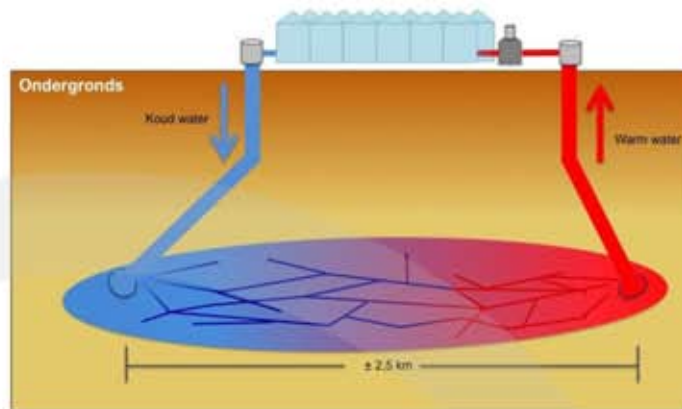
- 4p **a** Bereken de massa van het koper dat op deze manier van de bovenleiding is afgesleten.

Als de draden van de bovenleiding te dun worden, kunnen ze breken. Om de draden te controleren hebben de Nederlandse Spoorwegen een speciale trein met een lasermeetsysteem in gebruik. Zie weer figuur 1. De laser zendt elke seconde een in te stellen aantal lichtflitsen uit. Bij elke flits wordt een meting verricht. De frequentie van de lichtflitsen wordt zo ingesteld dat om de 1,2 cm een meting verricht wordt. Om het overige treinverkeer niet te hinderen rijdt deze trein met een snelheid van 90 km/h.

- 3p **b** Bereken het aantal lichtflitsen per seconde waarop het lasermeetsysteem dan moet worden ingesteld.

Aardwarmte

Er is studie verricht naar de bruikbaarheid van aardwarmte voor het verwarmen van kassen in het Westland. Zie figuur 1. Op een diepte van 2,3 km bevindt zich daar water met een temperatuur van 89 °C. De temperatuur aan het aardoppervlak is in het Westland gemiddeld 8,1 °C.



Figuur 1

- 2p a Bereken de gemiddelde temperatuurstijging per meter diepte in het Westland.

Door het warme water op te pompen en af te koelen komt warmte vrij.

- 2p b Bereken hoeveel warmte vrijkomt als $1,0 \cdot 10^3$ kg water afkoelt van 89 °C tot 8,1 °C.

Er is echter ook energie nodig om het water omhoog te pompen.

- 2p c Bereken de energie die minimaal nodig is om $1,0 \cdot 10^3$ kg water 2,3 km omhoog te pompen.

Thermofort (aangepast)

Veel huishoudens gebruiken in de keuken heet water uit een combiketel die op zolder staat. Zie figuur 1. Voordat het hete water uit de combiketel de keukenkraan bereikt, moet eerst het koude water wegstromen dat zich nog in de leiding bevindt. Gegevens van een bepaald huis:

- de binnendiameter van de heetwaterleiding is 12,0 mm;
- de lengte van de leiding tussen de combiketel en de keukenkraan is 11 m;
- per dag laat men gemiddeld twintig keer het koude water uit de leiding wegstromen in afwachting van warm water.

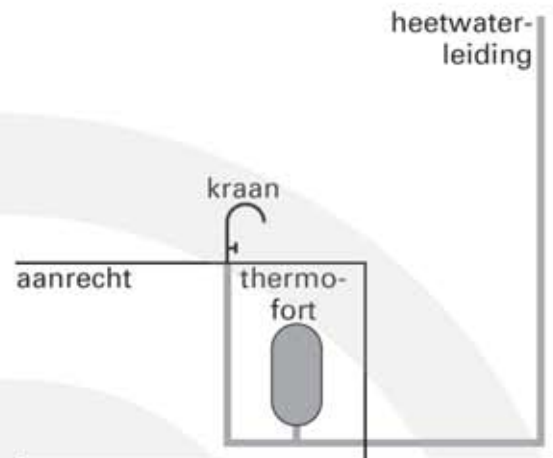


Figuur 1

- 3p a Bereken het volume van het water dat in dit huis per jaar wegstroomt doordat men op heet water wacht.

Om iets aan deze verspilling van water te doen, is de zogenoemde thermofort bedacht. Zie figuur 2 en onderstaand artikel.

De thermofort is een soort thermosfles die onder het aanrecht op de heetwaterleiding is aangesloten. In de thermofort wordt heet water opgevangen. Als de bewoner opnieuw de heetwaterkraan opent, stroomt de thermofort leeg. Daarbij mengt het hete water (79 °C) uit de thermofort zich met het eerst nog koude water (17 °C) uit de leiding, zodat er direct handwarm water beschikbaar is.



naar: *Intermediair*, februari 2000

Figuur 2

Ondanks de goede isolatie koelt het water in de thermofort toch langzaam af. Om het warmteverlies tegen te gaan, is in de thermofort een verwarmingselement met een vermogen van 2,0 watt gemonteerd. Het verwarmingselement is dag en nacht ingeschakeld. Zonder verwarmingselement zou de temperatuur ongeveer 1 graad Celsius per uur dalen. Neem aan dat zich steeds 1,5 liter water in de thermofort bevindt. Gebruik $\rho_{\text{water}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

- 4p **b** Toon aan dat het vermogen van het verwarmingselement voldoende is om het warmteverlies door afkoeling te compenseren.

De thermofort staat zo ingesteld dat 1,5 liter water uit de thermofort wordt gemengd met 2,0 liter water uit de leiding.

- 4p **c** Bereken de temperatuur van het water dat uit de kraan stroomt.

Kelly Kettle

Tijdens kamperen wordt er vaak water verwarmd om te koken. In een oude folder van een fabrikant van campingspullen staat daarover: "Om 1,5 liter water met een temperatuur van 20 °C aan de kook te brengen is er $12 \cdot 10^4$ calorie aan energie nodig."

- 4p **a** Laat zien dat dit klopt.

Fermi leest in een tijdschrift voor de kampeerder een advertentie over 'The Kelly Kettle'. Zie figuur 1.

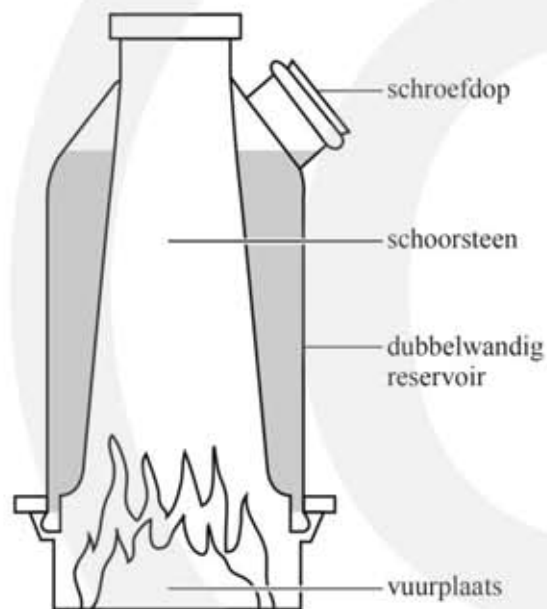
Figuur 1



De Kelly Kettle heeft geen elektriciteit, gas of benzine nodig om water te koken: droog gras is voldoende. Bij het verbranden van 1,0 kg droog gras komt 14,7 MJ energie vrij.

- 3p **b** Bereken hoeveel gram droog gras er (minimaal) nodig is om met de Kelly Kettle 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen.

De Kelly Kettle is een dubbelwandige schoorsteen boven een vuurtje van droog gras. In de dubbele wand kan water worden gegoten. In figuur 2 is een dwarsdoorsnede van een met water gevulde Kelly Kettle getekend. In figuur 3 is een ander type campingbrander te zien, de 'Bushcooker', die ook op droog gras brandt. De pan met water staat hierbij bovenop het vuur. In beide types kan 1,5 liter water aan de kook worden gebracht. Beide types zijn van roestvrijstaal gemaakt.



Figuur 2



Figuur 3

Voor de warmteoverdracht P geldt: $P = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$

- 2p **c** Leg met behulp van bovenstaande formule uit waarom het water in de Kelly Kettle eerder kookt dan het water in de Bushcooker.

Op de school van Fermi wordt een dompelaar (verwarmingselement) gebruikt met een elektrisch vermogen van 300 W om water te verwarmen.

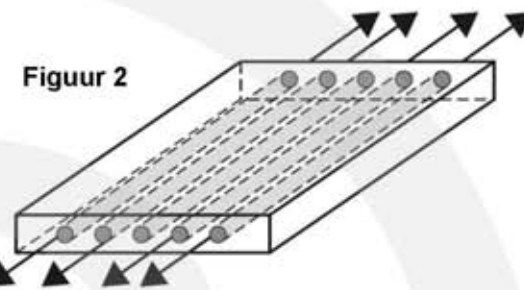
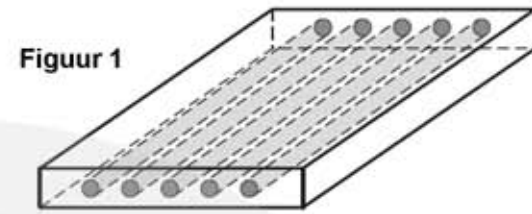
- 3p **d** Hoeveel van die dompelaars zouden nodig zijn om – net als bij de Kelly Kettle – binnen 3,0 minuten 1,5 liter water van 20 °C aan de kook te brengen? Licht je antwoord met een berekening toe.

Spanning en rek

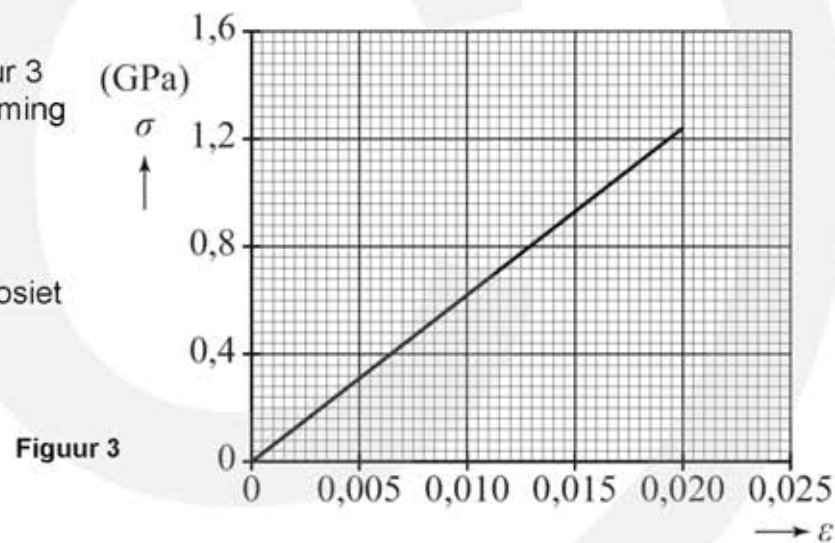
Composiet

Een composiet is een materiaal dat is opgebouwd uit lange vezels in een kunststof hars. De vezels zijn bijvoorbeeld van glas, koolstof of Kevlar® en de hars van polyester. Zie figuur 1.

Op de onderzoeksafdeling van een bedrijf dat composiet onderdelen voor de ruimtevaart maakt, worden nieuwe composieten getest. Van een composiet wordt met een trekproef een spanning-rekdiagram gemaakt in de lengterichting van de vezels. Zie figuren 2 en 3.

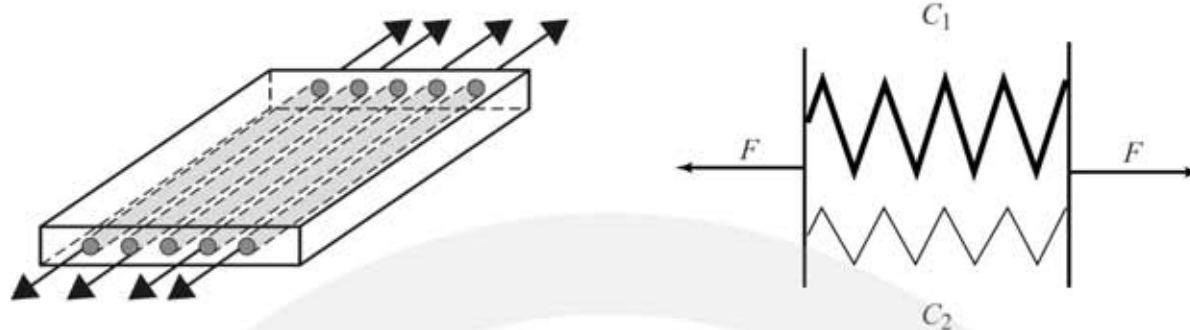


- 1p a Leg uit hoe je aan figuur 3 kunt zien dat de vervorming tijdens de trekproef elastisch was.
- 2p b Bepaal de elasticiteitsmodulus van het composiet in de lengterichting.



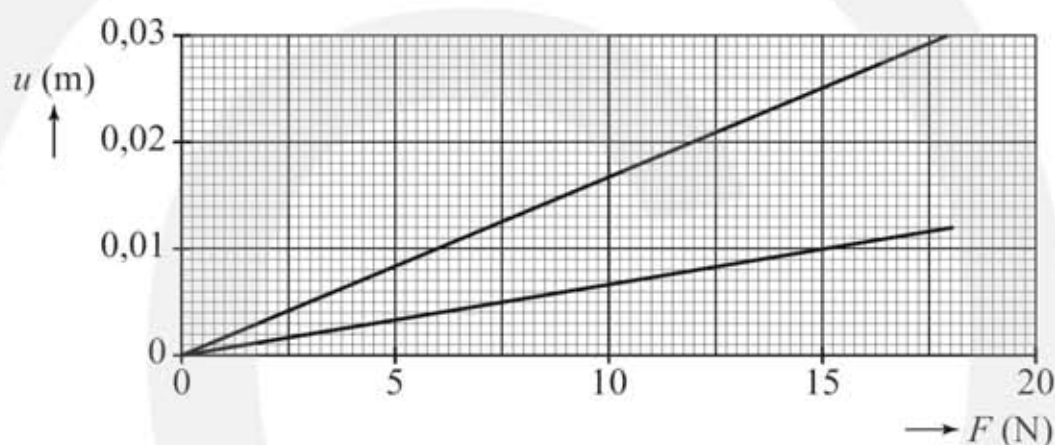
- 3p c Bepaal de kracht die nodig was om de trekstaaf een rek te geven van 0,010.
- Aan het begin van de meting is de trekstaaf 150,0 mm lang.
- 2p d Bepaal de maximale lengte die de trekstaaf tijdens de trekproef krijgt.

Omdat het composiet uit meerdere materialen bestaat (vezels en hars) is de gemeten elasticiteitsmodulus een combinatie van de grote elasticiteitsmodulus van de vezels en de kleine elasticiteitsmodulus van de hars. Dit is te vergelijken met de totale veerconstante van een stugge veer en een slappe veer naast elkaar, zoals in figuur 4 is weergegeven. De vezels worden voorgesteld door de stugge veer, de hars door de slappe veer.



Figuur 4

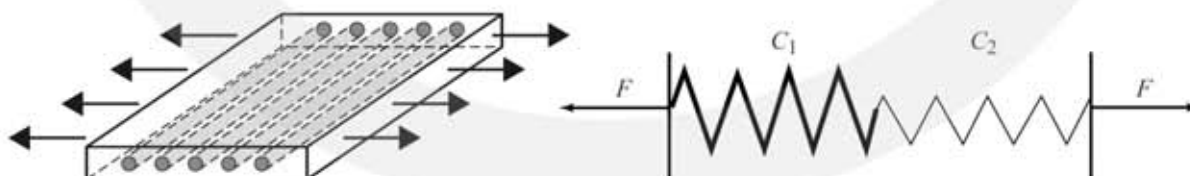
In figuur 5 staat het (u,F) -diagram van beide veren.



Figuur 5

- 2p **e** Bepaal met behulp van figuur 5 de kracht die nodig is om beide veren samen 1,0 cm uit te rekken.

Als het composiet in de richting loodrecht op de vezels wordt belast is dat te vergelijken met de veren in figuur 6.



Figuur 6

- 2p **f** Vergelijk de situaties van figuur 4 en figuur 6 en kies in onderstaande zinnen het juiste alternatief.
- Als op dit composiet een kracht wordt uitgeoefend in de lengterichting van de vezels (figuur 4) is de **kracht / uitrekking** overal even groot.
 - Als op dit composiet een kracht wordt uitgeoefend loodrecht op de lengterichting van de vezels (figuur 6) is de **kracht / uitrekking** overal even groot.
 - In de lengterichting van de vezels is de elasticiteitsmodulus van dit composiet altijd **groter / kleiner** dan loodrecht op de vezelrichting.

Metaalmoeheid

Soms kan een spaak in een fietswiel plotseling breken, zie figuur 1. In een onderzoek naar de oorzaak hiervan, worden roestvrijstalen spaken in een fietswiel gemonteerd. Als een spaak in het fietswiel wordt gemonteerd, wordt de spaak ook gespannen. Dit wordt voorspannen genoemd. In dit onderzoek krijgt een roestvrijstalen spaak een spanning van 190 MPa ($= 190 \cdot 10^6 \text{ N m}^{-2}$). De doorsnede van de spaak is $2,63 \text{ mm}^2$.

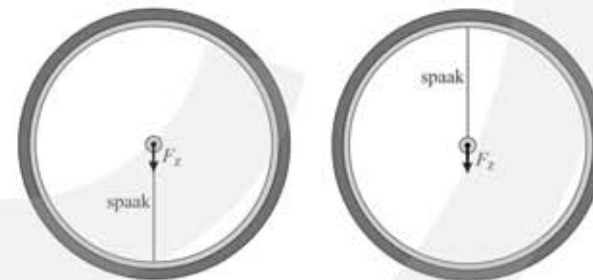


Figuur 1

- 3p **a** Bereken de spankracht in de voorgespannen spaak.
- 2p **b** Bereken de (relatieve) rek van de voorgespannen spaak.

Een spaak kan breken bij een spanning die kleiner is dan de treksterkte van het metaal. De breuk wordt dan veroorzaakt doordat het metaal is verzwakt door het afwisselend afnemen en toenemen van de spanning. Dit verschijnsel wordt metaalmoeheid genoemd.

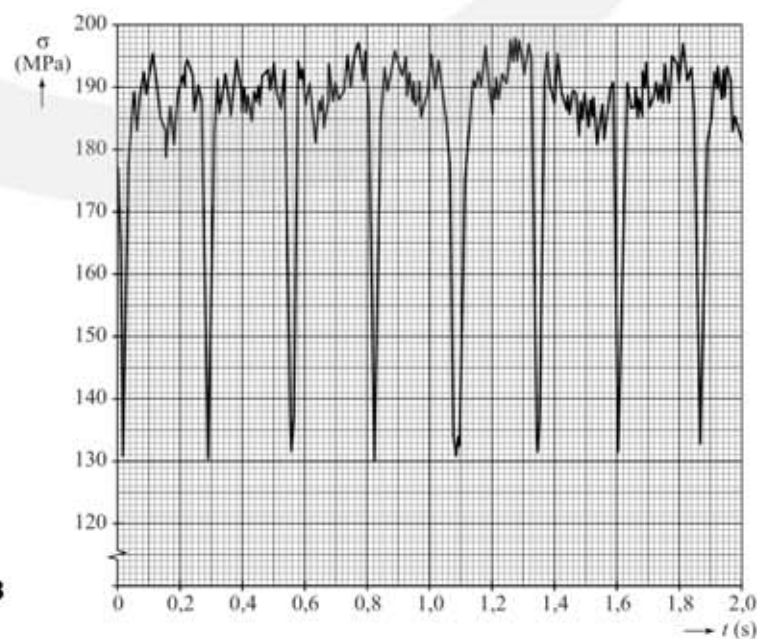
In figuur 2 is schematisch getekend hoe metaalmoeheid kan optreden in de spaak van een fietswiel. Door de zwaartekracht F_z op de fiets en de fietser wordt de spaak afwisselend ingedrukt (links) en uitgerekt (rechts).



Figuur 2

In het onderzoek is de spanning in de spaak gemeten tijdens het fietsen. In figuur 3 zijn de meetresultaten weergegeven.

- 2p **c** Bepaal met behulp van figuur 3 de frequentie in 3 significante cijfers waarmee de spanning tijdens het fietsen wisselt.

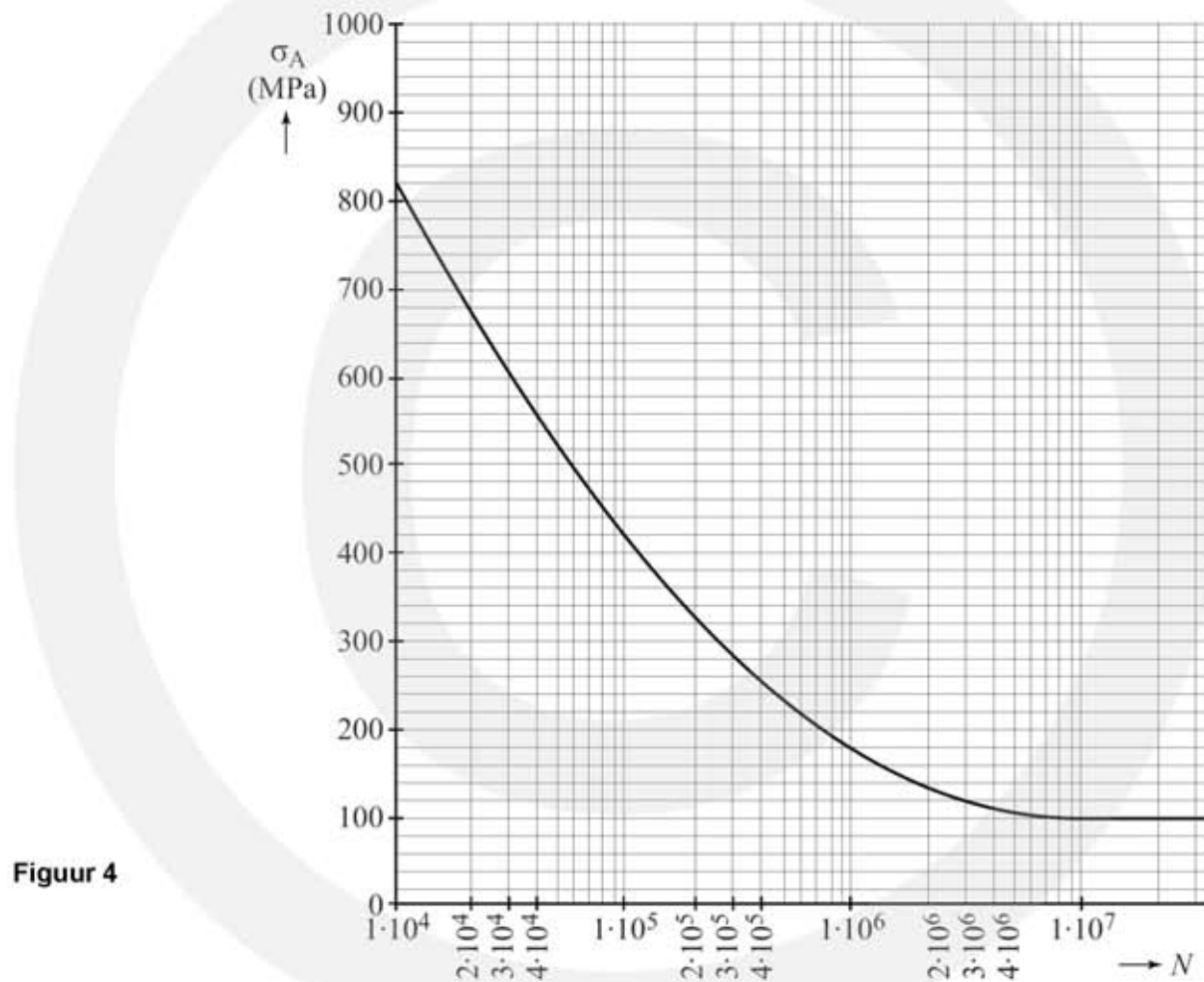


Figuur 3

Bij metaalmoeheid hangt de levensduur van een spaak af van de spanningsamplitude. Voor de spanningsamplitude geldt:

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

De levensduur N is het aantal wielomwentelingen dat de spaak kan ondergaan tot hij breekt. In figuur 4 is het (σ_A, N) -diagram van de spaak in dit onderzoek gegeven. De horizontale as heeft een niet-lineaire schaalverdeling.



- 4p **d** Beantwoord de volgende vragen:
- Bepaal met behulp van de figuren 3 en 4 de spanningsamplitude van de spaak.
 - Leg hiermee uit of deze spaak $1 \cdot 10^7$ wielomwentelingen kan halen.

Vervolgens wordt de spaak strakker aangespannen. De voorspanning en de spanningsamplitude worden hierdoor verhoogd. De spanningsamplitude σ_A wordt nu 120 MPa. De diameter van het gebruikte wiel is 70 cm.

- 3p **e** Bepaal met behulp van figuur 4 na hoeveel kilometer de spaak zal breken.