
Natuurkunde voor het MBO

deel 2

A.G.A. van der Meer

J.A. Tijmensen

B. Taken

Woord vooraf

Voor u ligt deel 2 van *Natuurkunde voor het MBO*. Dit boek is een herziening van deel 3 en 4 uit de vorige reeks *Natuurkunde voor het MLO*.

In dit deel komen belangrijke onderwerpen aan bod: lichtbreking, energie, arbeid, fasen en dampen.

De nieuwe boekenreeks richt zich weliswaar op laboratoriumtechniek, maar kan ook goede diensten bewijzen in andere MBO-opleidingen met een natuurwetenschappelijke inhoud.

Wij zijn daarbij van mening dat onderwerpen die van oudsher als ‘moeilijk’ te boek staan niet hoeven te ontbreken. Zeker niet als zij in een praktische context getoond worden.

Veel uitgewerkte voorbeelden en veel oefeningen maken *Natuurkunde voor het MBO* tot een echte MBO-reeks. We hebben er uitgebreide uitwerkingen aan toegevoegd. Deze zijn online beschikbaar en vormen ook qua uitleg een serieuze aanvulling op het boek.

Om te weten of hij of zij de leerstof voldoende onder de knie heeft, kan de student soms enige hulp gebruiken. Hiertoe zijn per hoofdstuk *zelftests* beschikbaar om te onderzoeken of hij of zij het snapt. De uitwerkingen van de opgaven staan online, evenals de *zelftests* (zie www.syntaxmedia.nl bij *Natuurkunde voor het mbo* deel 2).

Wij zijn erg geïnteresseerd in op- en aanmerkingen die het boek en de reeks kunnen verbeteren. U kunt ons bereiken via e-mail: info@syntaxmedia.nl

april 2020

Fons van der Meer
Jan Tijmensens
Bert Taken

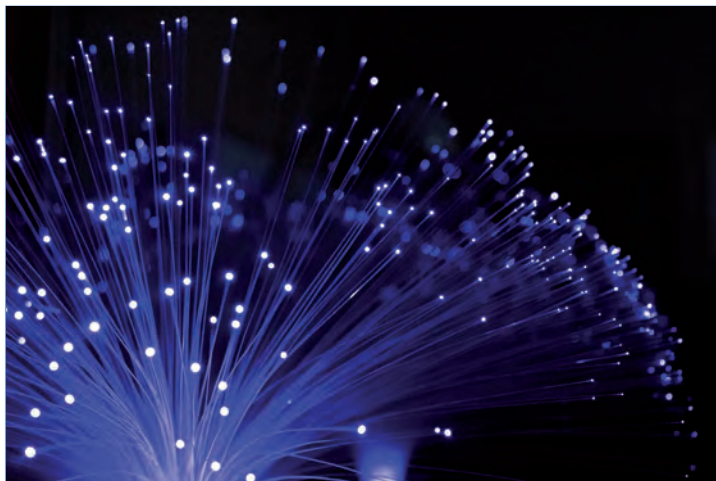
Inhoud

Woord vooraf	V
1 Optica: terugkaatsing en breking	1
1.1 Licht en schaduw	2
1.2 Soorten lichtbundels	3
1.3 Terugkaatsing	4
1.4 Breking	6
1.5 Omkeerbaarheid van lichtstralen	10
1.6 Grenshoek	11
1.7 Dispersie	15
1.8 Verdiepingsvraagstukken	16
1.9 Holle spiegel	17
1.10 Vergroting bij spiegels	21
1.11 Beeldconstructie bij een holle spiegel	24
1.12 Bolle spiegel	27
1.13 Parabolische spiegel	30
1.14 Refractometer	31
Samenvatting	33
2 Optica: lenzen en optische instrumenten	36
2.1 Soorten lenzen	37
2.2 Sterkte van een lens	38
2.3 Beeldvorming bij een bolle lens	40
2.4 Lenzenformule	44
2.5 Lineaire vergroting	45
2.6 Loep	48
2.7 Microscoop	49
2.8 Verdiepingsvraagstukken	50
2.9 Beeldvorming bij een holle lens	51
2.10 Afbeeldingsfouten	54
2.11 Lenzencombinaties	55
2.12 Het oog	56
2.13 Loep	60
2.14 Microscoop	62
2.15 Telescoop	65
Samenvatting	68

3	Arbeid en energie	71
3.1	Arbeid (F en s in dezelfde richting)	72
3.2	Vermogen	74
3.3	Energie	77
3.4	Kinetische energie	78
3.5	Potentiële energie	79
3.6	Zwaarte-energie	80
3.7	Wet van behoud van energie	83
3.8	Verdiepingsvraagstukken	85
3.9	Arbeid (F en s niet in dezelfde richting)	86
3.10	Kinetische energie en arbeid	88
3.11	Wet van behoud van mechanische energie	91
3.12	Potentiële energie op moleculair niveau	93
3.13	Kinetische energie en temperatuur	96
	Samenvatting	98
4	Warmte	100
4.1	Warmte, een vorm van energie	101
4.2	Warmteoverdracht	102
4.3	Soortelijke warmte	105
4.4	Warmtecapaciteit	107
4.5	Bepaling van de soortelijke warmte van een vloeistof	109
4.6	Bepaling van de soortelijke warmte van een vaste stof	111
4.7	Verdiepingsvraagstukken	113
4.8	Soortelijke warmte van een gas	115
4.9	Reactiewarmte	117
	Samenvatting	120
5	Dampen	123
5.1	Verdamping	124
5.2	Verzadigde damp	128
5.3	Dampen en gaswetten	131
5.4	Vochtigheid	134
5.5	Hygrometers	138
5.6	Verdiepingsvraagstukken	139
5.7	Dampen en gaswetten	140
5.8	Oppervlaktespanning	148
5.9	Meting van oppervlaktespanning	151
5.10	Viscositeit	154
5.11	Meting van viscositeit	156
	Samenvatting	160

6	Fasen	163
6.1	Fasen en aggregatietoestanden	164
6.2	Smelten en stollen	166
6.3	Smeltwarmte	168
6.4	Verdampen en condenseren	170
6.5	Verdampingswarmte	171
6.6	Verdiepingsvraagstukken	173
6.7	Kookverschijnselen	175
6.8	Destillatie	177
6.9	Kook- en smeltpuntveranderingen	180
	Samenvatting	183
	Antwoorden	185
	Register	197

Als vezel gebruikt men onder andere kwartsglas. Via zo'n vezel kun je bijvoorbeeld een grote hoeveelheid computerinformatie met de snelheid van het licht versturen.



Perspexdraadjes aan een zijde belicht (glasvezellamp).

Op de foto zie je een bundeltje perspexdraden. Eén uiteinde is verbonden met een lichtbron. Het licht komt pas aan het andere uiteinde weer tevoorschijn.

VOORBEELD

Bereken de grenshoek voor keukenzout.

Gegeven

$$n_{\text{keukenzout}} = 1,54 \text{ (Binas)}$$

Gevraagd

hoek g

Oplossing

$$\sin(g) = \frac{1}{n_{\text{keukenzout}}} = \frac{1}{1,54} = 0,649$$

$$g = \text{INV sin}(0,649) \rightarrow g = 40,5^\circ$$

Opgave 21

- Een lichtstraal valt onder een hoek van 20° in op een grensvlak water-lucht. Hoe groot is de brekingshoek?
- Hoe groot is de brekingshoek bij een invalshoek van 40° ?
- Wat gebeurt er met de lichtstraal bij een invalshoek van 60° ?

Opgave 22

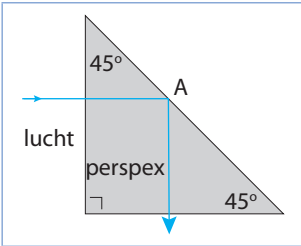
Perspex heeft een brekingsindex van 1,49. Hoe groot is de grenshoek?

Opgave 23

Terpentijn heeft een grenshoek van $42,8^\circ$. Hoe groot is de brekingsindex van terpentijn?

Opgave 24

Een lichtstraal valt vanuit lucht loodrecht op een rechthoekig prisma van perspex.

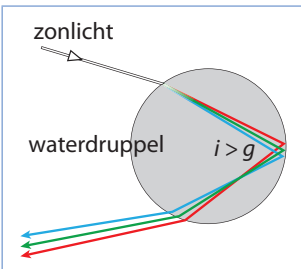


Bij opgave 24.

- Hoe groot is de invalshoek waarmee de lichtstraal bij punt A invalt op de overgang perspex-lucht?
- Hoe groot is de grenshoek van perspex?
- Waarvoor wordt de lichtstraal bij A volledig teruggekaatst en vindt er geen breking plaats?

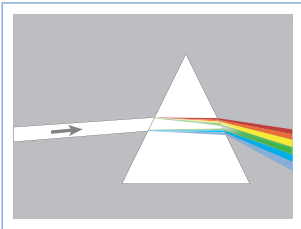
1.7 Dispersie (niveau 3, 4)

Als zonlicht door kleine regendruppeltjes in de lucht wordt gebroken, kun je soms een regenboog zien. Zonlicht bestaat uit veel verschillende kleuren. Elke kleur licht heeft een iets andere brekingsindex, zo wordt blauw licht iets sterker gebroken dan rood. De brekingsindex is dus ook afhankelijk van de kleur van het licht. Dit verschijnsel heet *dispersie* of *kleurschifting*.



Dispersie in een waterdruppel.

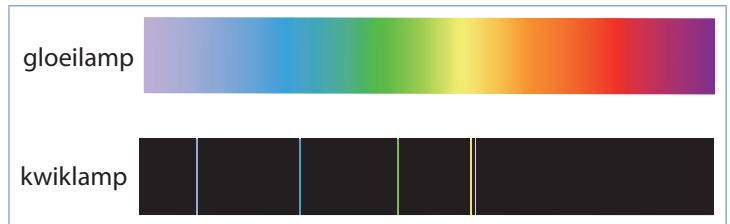
Hetzelfde verschijnsel is te zien als een smalle bundel wit licht op een prisma valt. Het licht wordt bij twee overgangen gebroken. Violet licht wordt het sterkst gebroken en rood licht het minst. De verzameling kleuren die uit het prisma komt, noemen we een *spectrum*.



Dispersie door een prisma.

Voor een gloeilamp blijkt het spectrum te bestaan uit de geleidelijke overgang van de kleuren rood, oranje, geel, groen, blauw en violet. Omdat er een gelijkmatige overgang van de kleuren is (er ontbreken geen kleuren), noemen we dit een *continu spectrum*.

Het spectrum van een kwiklamp blijkt slechts uit enkele gekleurde lijnen (geel, groen en violet) te bestaan. Zo'n spectrum noemen we dan ook een *lijnspectrum*.



Spectrum van een gloeilamp en een kwikdamlamp.

VOORBEELD 2

Een kleine motor kan een massa van 2,5 kg in 1,0 minuut 4,0 m verticaal omhoogtillen.

- a Hoeveel arbeid verricht de motor?
b Hoe groot is het vermogen van de motor?

Gegeven

$m = 2,5 \text{ kg}$, $t = 60 \text{ s}$, $s = 4,0 \text{ m}$, F en s gelijkgericht

Gevraagd

- a) W b) P

Oplossing

a Voor de hoeveelheid arbeid geldt: $W = F \cdot s$. De kracht die nodig is, is gelijk aan:

$$F = m \cdot g = 2,5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 24,525 \text{ N}.$$

De geleverde arbeid is gelijk aan:

$$W = F \cdot s = 24,525 \text{ N} \times 4,0 \text{ m} = 98 \text{ J}$$

b Voor het vermogen geldt: $P = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{98,1 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 1,6 \text{ W}$

Opgave 5

Een motor verricht 1500 J arbeid in 60 s. Bereken het vermogen.

Opgave 6

Een motor heeft een vermogen van 750 W. Hoeveel arbeid verricht deze motor in 30 s?

Opgave 7

Hoeveel tijd heeft een motor met een vermogen van 250 W nodig om 3200 J arbeid te verrichten?

Opgave 8

Hoeveel arbeid verricht een energiecentrale met een vermogen van 500 MW in één minuut?

Opgave 9

Een gewichtheffer kan in 1,4 s een massa van 120 kg naar 2,2 m omhoogtillen.

- a Hoeveel arbeid verricht de gewichtheffer dan?
b Wat is het vermogen van de gewichtheffer?

Opgave 10

Een motor met een vermogen van 500 W moet een massa van 60,0 kg over een afstand van 80,0 cm omhoogtakelen.

- a Hoeveel arbeid moet de motor verrichten?
b Hoeveel tijd heeft de motor nodig om die arbeid te verrichten?

Opgave 11

Een waterkrachtcentrale heeft een vermogen van 50 MW. Hoeveel arbeid kan er in 1,0 uur worden verricht?

Opgave 12

Een ledlamp met een vermogen van 5,0 W staat 5,0 uur lang aan.

- Hoeveel arbeid verricht de elektrische stroom?
- Wat kost dit, als 1 kWh 20 eurocent kost?

Opgave 13

Een kookplaat met een vermogen van 1200 W staat een hele dag aan (van 's morgens 9.00 uur tot 's avonds 18.00 uur). Hoeveel kost dit, als het elektriciteitsbedrijf 20 eurocent per kWh in rekening brengt?

**3.3 Energie** (niveau 3, 4)

Om arbeid te verrichten is energie nodig. Energie wordt daarom vaak gedefinieerd als het vermogen om arbeid te verrichten. Bij het verrichten van arbeid verdwijnt de energie zelf niet. Het wordt alleen omgezet in een andere vorm. Energie bestaat dan ook in verschillende vormen, zoals blijkt uit de volgende voorbeelden.

Energievormen:

- *Gravitatie-energie of zwaarte-energie.* Als water bij een waterkrachtcentrale naar beneden valt, gaat er een waterrad draaien. Het water heeft doordat het zich boven de grond bevindt, de mogelijkheid om *arbeid* te verrichten, en heeft dus energie.
- *Bewegingsenergie of kinetische energie.* Wind (of stromende lucht) kan een molen (of windturbine) laten draaien. De wind kan dus arbeid verrichten en bezit daarom energie.
- *Chemische energie.* Door steenkool te verbranden kun je in een elektriciteitscentrale elektriciteit opwekken. Steenkool bevat *chemische energie*.
- *Elektrische energie.* Met accu's kun je auto's laten rijden. De geleverde energie noemen we elektrische energie.
- *Stralingsenergie.* Een zonnepaneel kan elektriciteit leveren doordat het licht van de zon opvangt met behulp van zonnecellen. Het licht bezit stralingsenergie.
- *Warmte.* Als je water verwarmt zet het uit, waardoor het arbeid kan verrichten. Warmte is daarom ook een vorm van energie.
- *Kernenergie.* Wanneer grote atomen uiteenvallen of kleine atomen samensmelten, komt er een grote hoeveelheid energie vrij. Deze energie noemen we kernenergie.

- *Viscositeitsmeting met een capillairviscosimeter:*
 $\eta = k \cdot \rho \cdot t$
- *Vloeistoflijn* is deel van een isotherm waarbij er alleen vloeistof is.
- *Wet van Stokes* voor een vallende kogel:
 $F_w = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$
- *Turbulente stroming:* wanneer de deeltjes van een vloeistof wervelende bewegingen uitvoeren en de snelheid steeds van grootte en richting verandert.

Hoofdstuk 6

Fasen



Ijsbloemen op een ruit. Waterdamp vormt ijskristallen op een glasoppervlak. Welke omstandigheden zijn nodig om deze ijsbloemen te laten ontstaan?

Voorkennis (niveau 3, 4)

- Je kunt vlot met grootheden en eenheden omgaan.
- Je kunt rekenen met arbeid, warmte en energie.
- Je kunt rekenen met de gaswetten.
- Je kent het gedrag van een damp.

Basisstof (niveau 3, 4)

- Wat zijn fasen en wat zijn aggregatietoestanden?
- Wat is het verschil tussen een smelttraject en een smeltpunt?
- Waarom besproeien tuinders 's winters de bomen met water?
- Wat verstaan we onder *smeltwarmte* en *verdampingswarmte* van een stof?
- Hoe kun je de smeltwarmte en de verdampingswarmte van een stof meten?

Verdieping (niveau 4)

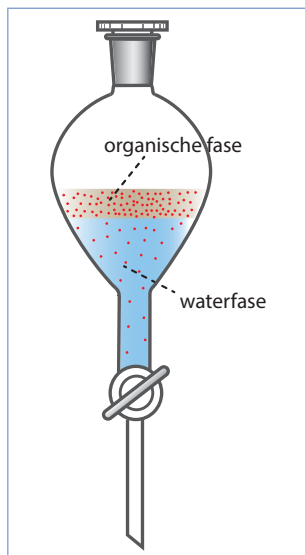
- Waar worden kooksteentjes voor gebruikt?
- Waardoor kookt water op grote hoogte bij een lagere temperatuur?
- Wat is een autoclaaf?
- Wat is vacuümdestillatie?
- Hoe verandert het vriespunt wanneer er een stof in het water is opgelost?
- Wat wordt bedoeld met *vpv* en *kpv*?
- Hoe bereken je vriespuntsverlaging en kookpuntsverhoging?
- Waarom strooit men 's winters zout op de wegen?

Bij de afbeelding

Ijsbloemen bestaan uit ijskristallen die rechtstreeks vanuit waterdamp ontstaan zijn. Deze overgang noemen we *rijpen*. Ijsbloemen ontstaan als:

- het glas een temperatuur beneden 0 °C heeft;
- de luchtvochtigheid hoog genoeg is;
- er kristallisatiekernen zijn zoals stofjes of krasjes.

6.1 Fasen en aggregatietoestanden (niveau 3, 4)



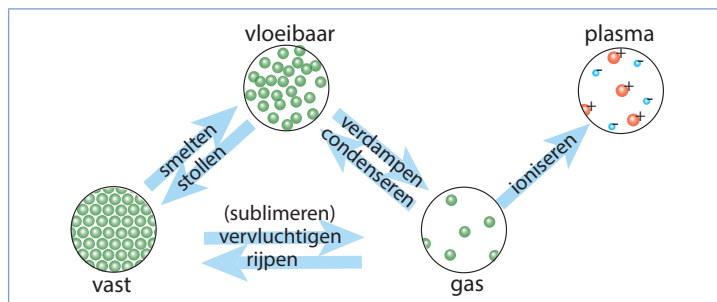
Waterfase en organische fase bij extractie.

De verschijningsvorm van een stof noemen we een *fase* van die stof. Zo heeft koolstof verschillende verschijningsvormen: diamant en grafiet. Dit zijn beide fasen van koolstof. Aanwezigheid van meer dan één stof levert in de regel meerdere fasen.

Als je een opgeloste stof uit water wilt halen kan dat vaak met een tweede, niet met water mengbare vloeistof. Een organische vloeistof, bijvoorbeeld ether. Je schudt dan het water met de organische vloeistof. We noemen dit *extraheren*. De opgeloste stof gaat dan vooral naar de organische fase. Zoals in de scheitrechter is getekend. Als de vloeistof weer tot rust is gekomen, heb je twee vloeistoffen die niet gemengd zijn. Dit zijn dan twee fasen. Een waterfase en een organische fase.

Een *fase* is de verschijningsvorm van een stof of mengsel met homogene eigenschappen.

Met ‘homogene eigenschappen’ bedoelen we dat de fase in alle punten gelijk is, overal hetzelfde. De meest zichtbare, bekende fasen zijn natuurlijk de *aggregatietoestanden*. Namelijk: vaste stof, vloeistof en gas. Minder bekend maar bij hoge temperatuur bestaand, is het *plasma*.



Aggregatietoestanden en overgangen.

De drie aggregatietoestanden bij op aarde gangbare temperaturen zijn vast, vloeibaar en gas. Niet elke stof kan in alle drie de fasen voorkomen. Sommige stoffen zoals suiker, plastic, of kaliumnitriet ontleden vóór ze de gasvormige fase bereiken. In het algemeen kan een stof door opnemen of afstaan van warmte van fase veranderen. In het voorgaande schema staan de overgangen weergegeven. Opvallend is dat een stof ook rechtstreeks van de vaste fase in de gasvormige fase kan overgaan. Bijvoorbeeld het vervluchtigen van jood (I_2) of van de gasvormige fase in de vaste fase. Of de vorming van ijsbloemen op een ruit of rijp op de bomen.

Elke aggregatietoestand heeft zijn eigen kenmerken:

- Bij een *vaste stof* zitten de atomen of moleculen dicht op elkaar. Er is sterke onderlinge aantrekking (cohesie). De deeltjes hebben alle een vaste plaats: ze trillen slechts om een vaste evenwichtsstand. Daardoor is een vaste stof moeilijk vervormbaar of samen te persen. Een vaste stof heeft een eigen vorm en een eigen volume.
- Bij een *vloeistof* is er nog steeds een vrij sterke cohesie. Maar door hun hogere snelheden hebben de deeltjes géén vaste plaats: ze bewegen kriskras door elkaar heen. Het volume van een vloeistof is niet gemakkelijk te veranderen, maar de *vorm* van een vloeistof wél. Een vloeistof heeft een eigen volume, maar geen eigen vorm. De vloeistof neemt de vorm aan van het vat waarin het zit.
- Bij een *gas* zitten de deeltjes zo ver van elkaar dat de onderlinge krachten heel klein zijn. Daardoor is het volume van een gas gemakkelijk te veranderen. De deeltjes van het gas bewegen zeer snel. Een gas neemt de vorm aan van de ruimte waarin het zich bevindt. Een gas heeft geen eigen volume en ook geen eigen vorm.
- Een *plasma* is een toestand waarbij geen moleculen en zelfs geen neutrale atomen meer voorkomen. Je kunt dan ook niet meer spreken over een *stof*. Door de hoge energie-inhoud zijn moleculen ontleed en atomen geïoniseerd. Op heel hete plaatsen zoals de zon, is het plasma de heersende fase.

In een laboratorium wordt materie ook wel tot plasma verhit om spectrometrische analyse op de vrijkomende straling toe te passen. Zo kan men met een ICP (inductively coupled plasma)-spectrometer van heel veel elementen tegelijk de concentratie meten.

Wij beperken ons verder tot de bekende drie aggregatietoestanden: vast, vloeibaar en gas.

Opgave 1

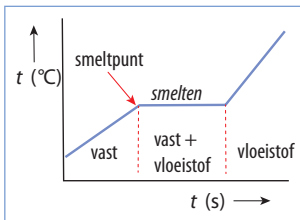
- a Welke aggregatietoestanden hebben een eigen vorm?
b Welke aggregatietoestanden hebben een eigen volume?

Opgave 2

Welke stoffen kunnen in alle drie de aggregatietoestanden voorkomen?

- a lood
b papier
c paraffine
d suiker
e alcohol
f plastic (thermoplast)
g natriumcarbonaat

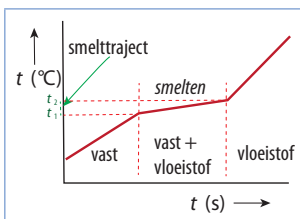
6.2 Smelten en stollen (niveau 3, 4)



Smeltpunt.

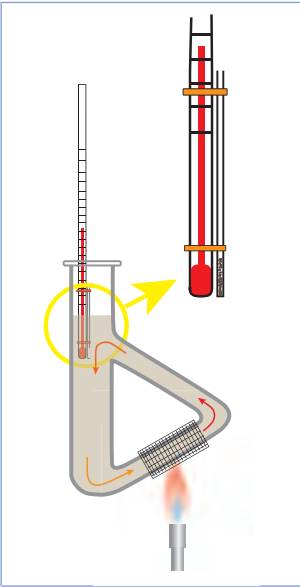
Veel vaste stoffen smelten als je ze voldoende verwarmt. Een zuivere stof smelt bij een constante temperatuur: het *smeltpunt*. Als je een zuivere vaste stof voortdurend verwarmt, verandert de temperatuur (afbeelding). Bij het smeltpunt begint de stof te smelten en stopt de temperatuurstijging. De toegevoerde warmte is nodig om de stof te laten smelten. Zolang vaste stof en vloeistof naast elkaar bestaan, is de temperatuur constant.

Omgekeerd zal een vloeistof die wordt afgekoeld op een gegeven moment vast worden. Dit heet *stollen*. Bij het stollen komt warmte vrij. Stollen is de overgang van de vloeibare fase naar de vaste fase. Ook daarbij blijft de temperatuur constant. Uiteraard zijn stolpunt en smeltpunt van een bepaalde stof aan elkaar gelijk. Bij de standaarddruk begint ijs bij 0 °C te smelten, maar begint water ook te stollen.

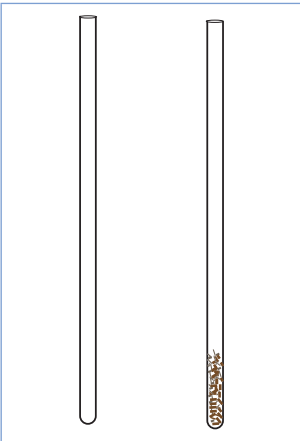


Smelttraject.

Bij een onzuivere stof is er geen scherp smeltpunt, maar een *smelttraject*. Het smeltpunt is karakteristiek voor een stof en kan daarom gebruikt worden om de stof te identificeren. Uiteraard met aanvullende gegevens, verschillende stoffen kunnen namelijk wel hetzelfde smeltpunt hebben. Als een stof een smelttraject in plaats van een scherp smeltpunt heeft, is de stof niet zuiver. Smeltpuntmeting wordt daarom ook gebruikt bij kwaliteitscontrole. Vooral van organische stoffen zoals geneesmiddelen.



Thielebuis.



Smeltpuntbuisjes.

De klassieke laboratoriummeting is die met de *Thielebuis*. In een dun glazen buisje van ongeveer 60 mm lengte en 1 mm diameter wordt een kleine hoeveelheid poeder gebracht. In het buisje, dat aan één zijde is dichtgesmolten, bevindt zich dan een kolommetje van ongeveer 1 cm hoogte van het poeder. Dit buisje wordt aan een thermometer bevestigd en in de Thielebuis gebracht. Het apparaat is gevuld met glycerine of heldere olie. Deze olie wordt langzaam verwarmd en gaat circuleren, zodat het poeder langzaam warm wordt. Zodra het poeder gaat smelten, lees je de temperatuur af. Als alle poeder is gesmolten, lees je opnieuw de temperatuur af. Op deze wijze bepaal je het smeltpunt of smelttraject van een stof.

Mooie methode maar het kan sneller. Voor een instrumentele, veelal automatische smeltpuntmeting plaats je het smeltpuntbuisje in een metalen blokje dat langzaam wordt verwarmd. Wanneer de stof begint te smelten, registreert een fotocel dat er een vloeistof ontstaat. De temperatuur waarbij dit gebeurt, wordt gemeten met een temperatuursensor.

Smelten is de overgang van de vaste fase naar de vloeibare fase. Het *smeltpunt* van een stof is de temperatuur waarbij de stof, bij standaarddruk, overgaat van de vaste fase naar de vloeibare fase.

Stollen is de overgang van de vloeibare fase naar de vaste fase. Het *stolpunt* van een stof is de temperatuur waarbij de stof, bij de standaarddruk, overgaat van de vloeibare fase naar de vaste fase.

Opgave 3

Is er warmte nodig of komt er warmte vrij? Maak de volgende zinnen af.

- Bij het smelten van ijs
- Bij het bevriezen van water

Opgave 4

Zoek de waarden van onderstaande grootheden op:

- stolpunt van water
- stolpunt van ethanol (in °C)
- smeltpunt van ijzer (in °C)
- smeltpunt van glas (in °C)

Opgave 5

Tuinders besproeien in het voorjaar vaak de fruitbomen met water wanneer ze nachtvorst verwachten. Waarom zou dat zijn?

Opgave 6 Waarom moet je bij een smeltpuntmeting langzaam verwarmen?

Opgave 7 Om welke twee redenen is meting van het smeltpunt een nuttige kwaliteitscontrole? Bijvoorbeeld bij de productie van citroenzuur of vitamine C?

6.3 Smeltwarmte (niveau 3, 4)

De hoeveelheid warmte die nodig is om een hoeveelheid stof bij het smeltpunt te doen smelten, hangt af van de hoeveelheid stof en de soort stof.

Voor het smelten van 1 kg ijs is veel meer warmte nodig dan voor het smelten van 1 g ijs. En voor het smelten van ijs is bijvoorbeeld meer warmte nodig dan voor het smelten van paraffine. Logisch dat er voor elke stof een karakteristieke grootte bestaat: de *smeltwarmte*.

De *smeltwarmte* l_s is de energie die nodig is om 1 kg stof bij het smeltpunt te smelten:

$$Q = m \cdot l_s \quad (6.1)$$

waarin:

Q = warmte (J)

m = massa stof (kg)

l_s = smeltwarmte (J/kg)

Bij het stollen komt warmte vrij. De warmte die vrijkomt bij het stollen is even groot als de warmte die nodig is bij het smelten. Dus de *stollingswarmte* is gelijk aan de *smeltwarmte*.

VOORBEELD 1

Hoeveel warmte is nodig om 29 g tin te smelten?

Gegeven

$m = 0,029$ kg

Gevraagd

Q

Oplossing

$l_s = 59 \cdot 10^3$ J/kg (Binas)

$Q = m \cdot l_s = 0,029$ kg \times $59 \cdot 10^3$ J/kg = $1,7 \cdot 10^3$ J

VOORBEELD 2

Hoeveel warmte is nodig om een blokje ijs van 15 g en een temperatuur van $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ om te zetten in water van $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Gegeven

$$m_{\text{ijs}} = 0,015\text{ kg}, t_b = -20,0\text{ }^{\circ}\text{C}, t_e = 40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$l_s = 334 \cdot 10^3\text{ J/kg}, c_{\text{ijs}} = 2,2 \cdot 10^3\text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \text{ (Binas)}$$

$$c_w = 4,18 \cdot 10^3\text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

Gevraagd

Q

Oplossing

Het omzetten van ijs van $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in water van $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ gaat in drie stappen (bedenk dat $\Delta t = \Delta T$):

1 ijs verwarmen van $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{ijs}} \cdot \Delta T = (0,015 \times 2,2 \cdot 10^3 \times 20)\text{ J} = 660\text{ J}$$

2 ijs smelten bij $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_2 = m \cdot l_s = (0,015 \times 334 \cdot 10^3)\text{ J} = 5010\text{ J}$$

3 water verwarmen van $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar $40,0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q_3 = m \cdot c_w \cdot \Delta T = (0,015 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 40,0)\text{ J} = 2508\text{ J}$$

De totale hoeveelheid warmte die nodig is, is gelijk aan:

$$\begin{aligned} Q_{\text{totaal}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = 660\text{ J} + 5010\text{ J} + 2508\text{ J} = \\ &= 8178\text{ J} = 8,2\text{ kJ} \end{aligned}$$

Opgave 8

Hoeveel warmte is nodig om 150 g ijs van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ te smelten?

Opgave 9

Om 20 g van een metaal bij het smeltpunt te smelten, is 7940 J nodig.

- Bereken de smeltwarmte van het metaal.
- Welk metaal zou dit kunnen zijn?

Opgave 10

Hoeveel ijzer kan er bij het smeltpunt gesmolten worden met 1,0 MJ aan warmte-energie?

Opgave 11

Hoeveel warmte komt er vrij wanneer 50 g paraffine bij het stolpunt stolt?

Opgave 12

Hoeveel warmte is nodig om 70 g ijs van $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ om te zetten in water van $30\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Opgave 13

Om 200 g water van $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ wat af te koelen, doet iemand er een ijsblokje van 10 g en $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bij. Als het blokje helemaal gesmolten is, bedraagt de eindtemperatuur $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Hoeveel warmte heeft het water afgestaan?
- Hoeveel warmte was er nodig om de 10 g ijswater (gesmolten ijs) van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ te verwarmen?

- c Hoeveel warmte was er dus nodig voor het smelten van het ijs?
- d Bereken de smeltwarmte van ijs.

6.4 Verdampen en condenseren (niveau 3, 4)

Bij elke temperatuur ontsnappen moleculen uit een vloeistof. Wanneer je een schaalte met water met rust laat, zal het water na enkele dagen verdwenen zijn. Alle vloeistofmoleculen zijn dan dampmoleculen geworden. Deze overgang heet *verdampen*. Bij een hogere temperatuur hebben de moleculen een grotere gemiddelde snelheid. Het aantal moleculen dat uit een vloeistof ontsnapt, is dan groter. De meeste verdamping vindt plaats bij het *kookpunt*. Wanneer een vloeistof kookt, ontstaan er *overal* dampbellen. Er is dan verdamping in de hele vloeistof. Het kookpunt van bijvoorbeeld water bedraagt bij standaarddruk ($1,013 \cdot 10^5$ Pa) $100\text{ }^\circ\text{C}$. Een damp die wordt afgekoeld, zal op een gegeven moment vloeibaar worden. Dit heet *condenseren*. Bij het condenseren komt warmte vrij. Condenseren is de overgang van de gasvormige fase naar de vloeibare fase.

Verdampen is de overgang van de vloeibare fase naar de gasvormige fase.

Condenseren is de overgang van de gasvormige fase naar de vloeibare fase.

Het kookpunt van een vloeistof is de temperatuur waarbij de stof, bij standaarddruk, overgaat van de vloeibare fase naar de gasvormige fase.

Opgave 14

Komt er warmte vrij of is er warmte nodig? Maak de volgende zinnen af.

- a Bij het condenseren van waterdamp
- b Bij het verdampen van water

Opgave 15

Zoek in je tabellenboek op (bij standaarddruk):

- a bij welke temperatuur het kookpunt van ethanol (in $^\circ\text{C}$) ligt.
- b bij welke temperatuur het kookpunt van aceton (in $^\circ\text{C}$) ligt.

Opgave 16

Waardoor blijft water in een poreuze aarden kruik koeler dan in een afgesloten vat?

Opgave 17

Waartoe dient transpiratie?

Opgave 18

Waardoor voelt het koud aan, als je aceton op je hand morst?

Opgave 19

's Nachts koelt het af, toch wordt het vaak niet kouder dan het dauwpunt. Hoe zou dat komen?

6.5 Verdampingswarmte (niveau 3, 4)

De warmte die nodig is om een hoeveelheid vloeistof bij het kookpunt te verdampen, hangt af van de hoeveelheid vloeistof en de soort vloeistof. Ook voor verdamping is er een karakteristieke grootheid met voor elke vloeistof een eigen waarde: de *verdampingswarmte*.

De *verdampingswarmte* l_v is de energie die nodig is om 1 kg vloeistof bij het kookpunt te verdampen:

$$Q = m \cdot l_v \quad (6.2)$$

waarin:

Q = warmte (J)

m = massa stof (kg)

l_v = verdampingswarmte (J/kg)

Bij het condenseren komt warmte vrij. De warmte die vrijkomt als een hoeveelheid damp condenseert is even groot als de warmte voor het omgekeerde proces. Namelijk om dezelfde massa vloeistof te verdampen. Dus de *condensatiewarmte* is gelijk aan de *verdampingswarmte*.

VOORBEELD 1

Hoeveel warmte is nodig om 350 g water bij 100 °C te verdampen?

Gegeven

$m = 0,350$ kg, uit tabellenboek: $l_v = 2,26 \cdot 10^6$ J/kg

Gevraagd

Q

Oplossing

$Q = m \cdot l_v = 0,350 \text{ kg} \times 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg} = 7,91 \cdot 10^5 \text{ J}$

Antwoorden

Hoofdstuk 1

Optica: terugkaatsing en breking

- 1 a Nee
b Ja
- 2 In een homocentrische lichtbundel hebben alle lichtstralen hetzelfde snijpunt wanneer je de stralen convergeert.
- 3 a Divergerende bundels.
b Door de grote afstand zijn de bundels vrijwel evenwijdig.
- 4 Op grotere afstand van de lamp.
- 5 Terugkaatsing in willekeurige richting.
- 6 a Niet echt: je ziet een in de spiegel een weerkaatst beeld.
b Ja. De krasjes weerkaatsen in alle richtingen.
- 7 a –
b $t = i = 25^\circ$
- 8 a diamant 2,417
b zwaar kroonglas 1,61
c aceton 1,357
d helium 1,000035
- 9 1,5
- 10 a 25°
b 46°
- 11 36°
- 12 48°
- 13 a $n_{\text{perpex}} = 1,49$ en $n_{\text{water}} = 1,333$.
b perspex
- 14 a 1,9
b Zwaar flintglas.
- 15 a 1,16
b 0,67
- 16 a 1,49
b 1,333
c 1,12
d 35°
- 17 a 1,52
b 0,657
c Ja
- 18 56°
- 19 39°
- 20 1,5
- 21 a 27°
b 59°
c Alleen terugkaatsing.
- 22 $42,2^\circ$
- 23 1,47
- 24 a 45°
b $42,2^\circ$
c De hoek van inval (45°) is groter is dan de grenshoek ($42,2^\circ$).
- 25 a *Dispersie* is kleurschifting bij breking van licht van meer dan één kleur.
b Een *spectrum* is een reeks kleuren in volgorde van een regenboog.
c Een gloeilamp heeft (net als ieder ander gloeiend voorwerp) een *continu spectrum*. Dat is een spectrum waarin er een gelijkmatige overgang is tussen alle kleuren.
d Een *lijnspectrum* is een spectrum waarin slechts enkele kleuren (lijnen) scherp begrensd voorkomen.
- 26 a $25,6^\circ$
b $25,4^\circ$
c $0,7^\circ$
- 27 a Het dispergerend vermogen kun je uitdrukken in het verschil in brekingsindex voor verschillende kleuren.
b Zeer zwaar flintglas:
 $n_{\text{rood}}: 1,88$ en
 $n_{\text{violet}}: 1,94 \rightarrow \Delta n = 0,06$
Polystyreen:
 $n_{\text{rood}}: 1,58$ en
 $n_{\text{violet}}: 1,62 \rightarrow \Delta n = 0,04$
c Het verschil tussen de brekingsindices is het grootst bij *zeer zwaar flintglas*.
- 28 51°
- 29 28°
- 30 De invalshoek (50°) is groter dan de grenshoek (42°). De lichtstraal wordt teruggekaatst met $t = 50^\circ$.