

STOFFEN EN MOLECULEN

- § 1 De drie fasen van een stof
- § 2 Moleculen in de drie fasen
- § 3 Uitzetten en krimpen, Celsiuschaal
- § 4 Het absolute nulpunt
- § 5 Warmte-effecten bij faseveranderingen
- § 6 Cohesie en adhesie

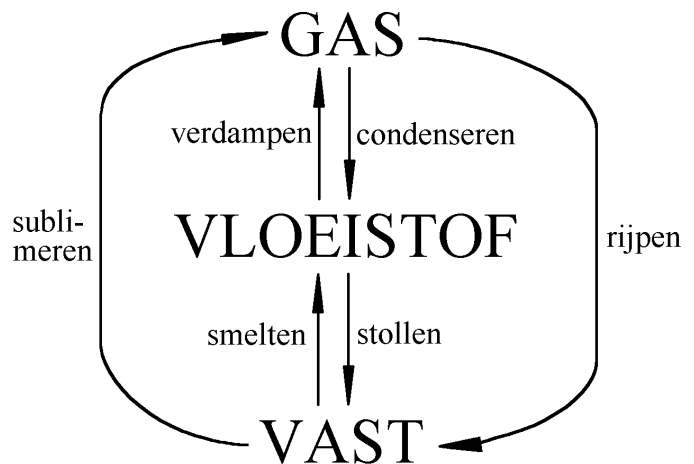
Bijlage: Moleculen en atomen

§ 1 De drie fasen van een stof

De drie fasen van een stof

Een stof kan in drie zogenoemde fasen voorkomen namelijk in de vaste fase, de vloeibare fase en de gasvormige fase. Water kan bijvoorbeeld voorkomen als ijs (vast), als water (vloeistof) en als waterdamp (gas).

Elke overgang van de ene naar de andere fase heeft een naam. De overgang van de vaste fase naar de vloeibare fase heet bijvoorbeeld smelten en van de vloeibare fase naar de vaste fase stollen. Zie de figuur hiernaast. Overigens wordt stollen ook wel bevroren genoemd als het om de stof water gaat.



Sommige vaste stoffen kunnen direct in de gasvormige toestand overgaan zonder eerst vloeibaar te worden. Je zegt dan, dat de vaste stof **sublimeert**. Bijvoorbeeld: in de winter ligt er wel eens een dun laagje ijs op straat. Hoewel de temperatuur onder het vriespunt blijft, verdwijnt het ijs toch. Bij de vaste stoffen "kamfer" en "koolstofdioxide" zien we iets soortgelijks. Een stuk kamfer is in de open lucht na enige tijd ook geheel verdwenen zonder dat er vloeistofvorming heeft plaatsgevonden. Een klein hoopje vast koolstofdioxide (ter grootte van een knikker) sublimeert zelfs binnen enkele minuten.

Het omgekeerde van sublimeren heet **rijpen**. De ijslaag in het vriesvak van een koelkast ontstaat bijvoorbeeld doordat waterdamp direct van de gasfase naar de vaste fase overgaat. Een ander voorbeeld is de stof "jood". Als enkele kristallen van deze stof in een reageerbuis worden verhit, zal het vaste jood eerst sublimeren. Tegen de koude glaswand boven in de reageerbuis gaat de jooddamp vervolgens rijpen tot kleine kristalletjes.

Smelten, smeltpunt

Als een vaste stof verwarmd wordt gaat deze op een bepaald moment smelten. Elke stof smelt bij een bepaalde temperatuur: het zogenaamde smeltpunt. Zo is het smeltpunt van ijs 0 °C (nul graden celsius). Zie de onderstaande tabel.

stof	alcohol	terpentijn	butaan	kwik	water	stikstof	ijzer
smeltpunt (°C)	-114	-10	-138	-39	0	-210	1538

Omgekeerd gaat een vloeistof, als deze wordt afgekoeld, stollen. De temperatuur waarbij dit gebeurt heet het stolpunt. Voor elke stof is het stolpunt gelijk aan het smeltpunt. Zo zal ijs dus bij 0 °C gaan smelten en water bij 0 °C gaan stollen.

Samengevat:

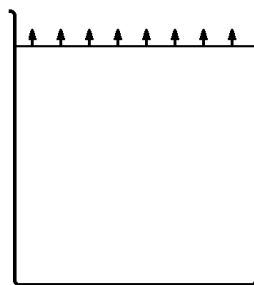
Het smeltpunt (stolpunt) van een stof is de temperatuur waarbij de stof smelt (stolt).
Het smeltpunt van een stof is gelijk aan het stolpunt.

Verdampen, koken, kookpunt

Zoals hierboven bleek, vindt smelten bij slechts één temperatuur plaats (het smeltpunt). Dit geldt zeker niet voor verdamping. Een vloeistof kan in principe bij elke temperatuur verdampen. Als een beker bijvoorbeeld gevuld is met water van 20 °C, dan neemt de hoeveelheid water langzaam af. Dit komt doordat het water aan het oppervlak verdampst. Na enige tijd, bijvoorbeeld na een aantal dagen, is het water zelfs geheel verdwenen.

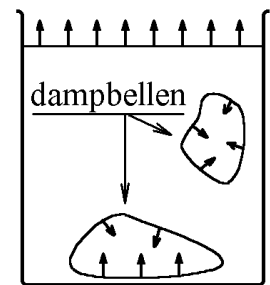
Proeven laten zien dat het verdampen van een vloeistof sneller gaat naarmate de temperatuur hoger is. Neem bijvoorbeeld een beker die gevuld is met water. Het water verdampst. Bij een watertemperatuur van 20 °C is de beker na vier dagen leeg en bij 40 °C na één dag.

Als de temperatuur van een vloeistof nog verder verhoogd wordt, zal de vloeistof op een bepaald moment gaan koken. De vloeistof verdampst dan niet alleen bij het oppervlak maar ook op plaatsen binnen de vloeistof. Er ontstaan daarbij dampbellen, die opstijgen. Zie de figuur hiernaast waarin de pijltjes de verdamping voorstellen.



temp. < kookpunt

De vloeistof verdampst alleen bij het oppervlak.



temp. = kookpunt

De vloeistof kookt. Onder het oppervlak vindt dan ook verdamping plaats.

Als bijvoorbeeld een pan met water op het vuur gezet wordt, gaat het water koken bij 100 °C. De waterdampbellen die bij de bodem door verdamping zijn ontstaan stijgen op.

De temperatuur waarbij de vloeistof kookt, heet het kookpunt. Zo is het kookpunt van water 100 °C. In de onderstaande tabel staan de kookpunten van een aantal stoffen vermeld.

stof	alcohol	terpentijn	butaan	kwik	water	stikstof	ijzer
kookpunt (°C)	78	180	-12	357	100	-196	2450

Samengevat:

Een vloeistof verdampst sneller naarmate de temperatuur hoger is. Bij het kookpunt (= de temperatuur waarbij de vloeistof kookt) verdampst de vloeistof ook binnen de vloeistof. Daarbij ontstaan dampbellen.

Opmerking

Als je een pan water op het vuur van een gasfornuis zet, gaat het water koken. Boven de pan zie je dan een stoompluim. Je zou verwachten dat je dan waterdamp ziet. Toch is dat niet zo want gas (damp) is altijd doorzichtig. Wat je in feite ziet, zijn heel kleine waterdruppeltjes die boven de pan zijn ontstaan door condensatie van de waterdamp. Op dezelfde manier kun je wolken in de lucht zien vanwege de zwevende waterdruppeltjes.

Opgaven bij § 1

Opgave 1

In welke drie fasen kan een stof voorkomen?

Opgave 2

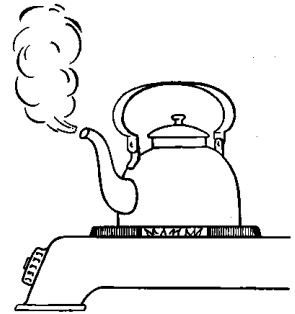
Iris verwarmt water in een ouderwetse fluitketel op het gasfornuis. Zie de figuur hiernaast. Als het water gaat koken, is vlakbij de tuit (uitstroomopening) niets te zien. Daarna is een stoomwolk zichtbaar.

Welke fase van water is aanwezig vlakbij de tuit? Omcirkel je keuze.

VAST VLOEISTOF GAS

Welke fase van water veroorzaakt het zichtbaar worden van de stoomwolk? Omcirkel je keuze.

VAST VLOEISTOF GAS



Opgave 3

Vul de naam van de faseovergangen hieronder in.

De overgang van de vaste fase naar de vloeistoffase heet: _____

De overgang van de vloeistoffase naar de vaste fase heet: _____

De overgang van de vloeistoffase naar de gasfase heet: _____

De overgang van de gasfase naar de vloeistoffase heet: _____

De overgang van de vaste fase naar de gasfase heet: _____

De overgang van de gasfase naar de vaste fase heet: _____

Opgave 4

Geef drie voorbeelden van sublimeren.

Opgave 5

Geef twee voorbeelden van rijpen.

Opgave 6

Als je alcohol afkoelt, wordt het bij $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ vast.

Wat is er fout in de zin: "Alcohol bevriest bij $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ "?

Opgave 7

Leg uit waarom in de badkamer tijdens het douchen condens op de spiegel ontstaat.

Opgave 8

Je fietst van huis naar school. Je hebt een trui en daaroverheen een regenjas aan. In het begin van de fietstocht heb je tegenwind en moet je hard trappen. Daardoor zweet je. Op school aangekomen zie je dat je huid droog is terwijl de binnenkant van je regenjas nat is. Welke faseovergang heeft plaatsgevonden bij je huid? _____

Welke faseovergang heeft plaatsgevonden aan de binnenkant van je regenjas?

Opgave 9

Soms kan je na een koude nacht kleine ijskristalletjes aan bladeren en takken zien zitten. Dit wordt "rijp" genoemd. Verklaar deze naam.

Opgave 10

Wat is het verschil tussen verdampen en koken?

Opgave 11

Hoe ontstaan de bellen in een kokende vloeistof?

Opgave 12

Geef de omschrijving van het smeltpunt.

Opgave 13

Geef de omschrijving van het kookpunt.

Opgave 14

Kijk naar de tabel hiernaast met smeltpunten en kookpunten.

a.

Welke van de in de tabel genoemde stoffen kun je bij kamertemperatuur (20 °C) tegenkomen als vaste stof?

b.

Welke van de in de tabel genoemde stoffen kun je bij kamertemperatuur tegenkomen als vloeistof?

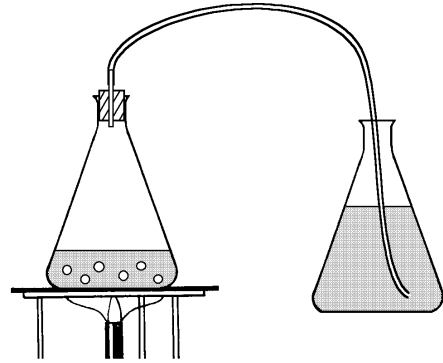
c.

Welke van de in de tabel genoemde stoffen zijn bij kamertemperatuur altijd gasvormig?

stof	smeltpunt (°C)	kookpunt (°C)
aceton	-95	57
aluminium	660	2467
butaan	-138	-12
ether	-116	35
goud	1064	2856
kwik	-39	357
natrium	98	883
ozon	-193	-112
zwaveldioxide	-75	-10

Opgave 15

Stel je voert het volgende proefje uit. Het water in een erlenmeyer wordt aan de kook gebracht. De lucht en waterdamp in de erlenmeyer worden via een slangetje afgevoerd naar koud water in een andere erlenmeyer. Zie de figuur hiernaast. Na een minuut koken wordt de vlam gedoofd. Voorspel wat er daarna gebeurt.

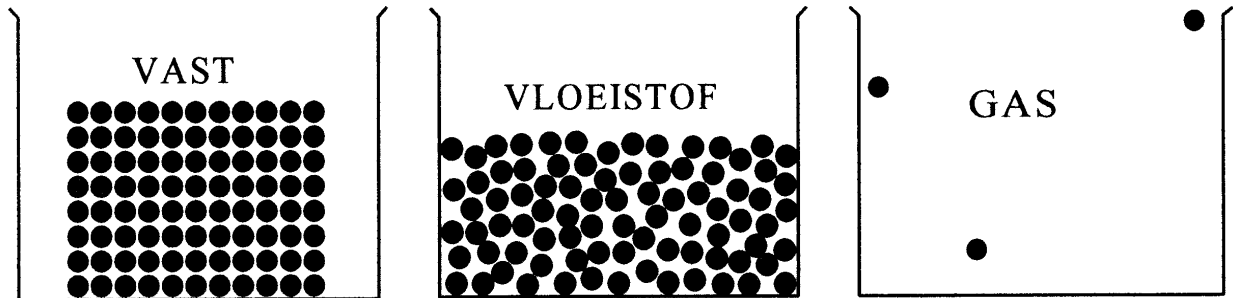


§ 2 Moleculen in de drie fasen

Moleculen in een stof

Stoffen zijn opgebouwd uit moleculen. Elke stof heeft zijn eigen soort moleculen. Zo bestaat water uit watermoleculen, suiker uit suikermoleculen en zuurstof uit zuurstofmoleculen. Moleculen zijn zo klein, dat men ze pas in de twintigste eeuw experimenteel heeft aangetoond.

In de onderstaande figuren zijn de moleculen in een vaste stof, vloeistof en in een gas schematisch weergegeven.



In de vaste stof zijn de moleculen netjes geordend en hebben ze ieder een vaste plaats ten opzichte van elkaar. Ze zijn wel voortdurend in beweging. Ze schommelen bij wijze van spreken om hun evenwichtsstand. De moleculen zijn dan ook niet stijf tegen elkaar aangeplakt. Tussen de moleculen zit nog ruimte: de zogenoemde 'intermoleculaire ruimte'.

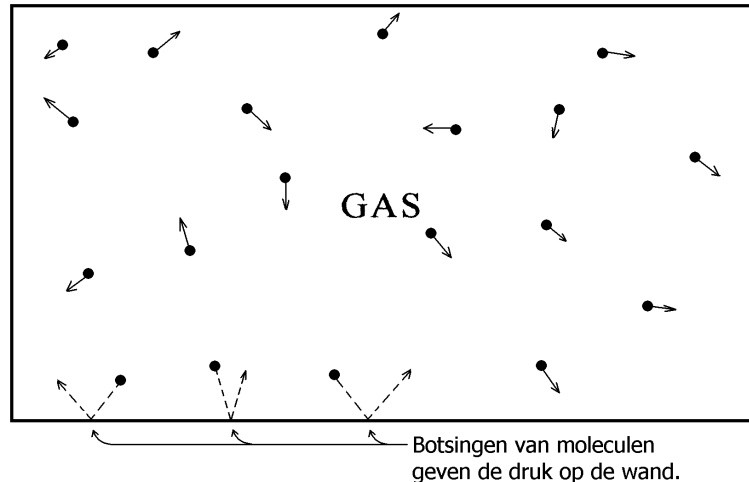
Bij vloeistoffen zijn de moleculen niet geordend en hebben ze geen vaste plaats. Ook in vloeistoffen zijn de moleculen steeds in beweging. Ze kunnen langs elkaar bewegen en door de vloeistof 'zwerven'. De intermoleculaire ruimte is bij vloeistoffen meestal iets groter dan bij vaste stoffen. Een bekende uitzondering hierop is water.

Bij gassen is de afstand tussen de moleculen veel groter dan bij vaste stoffen en vloeistoffen. De moleculen hebben, net als bij vloeistoffen, geen vaste plaats. Ze vliegen met grote snelheid (bijvoorbeeld 400 m/s) door de ruimte. De vrije weglengte (dit is de afstand die de moleculen afleggen zonder tegen andere moleculen te botsen) is bij gassen veel groter dan bij vaste stoffen en bij vloeistoffen.

Met de bovenstaande beschrijving kunnen we veel verschillen tussen vaste stoffen, vloeistoffen en gassen begrijpen. Vergelijk bijvoorbeeld een ijsklontje met een waterdruppel of met waterdamp. Alleen het ijsklontje heeft een vaste vorm. Dit komt omdat de moleculen in het ijsklontje een vaste plaats hebben. Een ander verschil is bijvoorbeeld dat een gas makkelijk samendrukbaar is en een vaste stof en een vloeistof juist moeilijk. Dit komt omdat de intermoleculaire ruimte bij een gas veel groter is.

De druk van een gas

In de figuur hiernaast is een ruimte getekend die gevuld is met een gas. In werkelijkheid is het aantal moleculen veel groter. De pijltjes stellen de snelheid van de moleculen voor. Als de moleculen tegen de wand botsen, worden ze door de wand teruggekaatst. Bij elke botsing ondervindt de wand een stootje. Alle stootjes samen leveren de druk op die het gas op de wand uitoefent.



De moleculen bewegen sneller bij hogere temperatuur

Als de temperatuur van een stof hoger wordt, zullen de moleculen sneller gaan bewegen. Dit geldt zowel voor moleculen in een vaste stof, in een vloeistof, als ook in een gas. In een vaste stof gaan ze dan sneller rond de evenwichtsstand trillen. Ook in een vloeistof bewegen moleculen sneller kriskras door elkaar. Het gevolg hiervan is dat vaste stoffen en vloeistoffen uitzetten als de temperatuur stijgt. Doordat de moleculen heftiger bewegen, eisen ze namelijk meer ruimte voor zichzelf op.

Ook in een gas bewegen de moleculen met een hogere snelheid naarmate de temperatuur hoger wordt. Dit betekent dat de botsingen tegen de wand ook krachtiger zullen zijn. Hierdoor zal de druk van een gas in een afgesloten ruimte, zoals een fles, dus ook toenemen.

Moleculen trekken elkaar aan

Moleculen die op kleine afstand van elkaar zitten, trekken elkaar aan. Deze aantrekkingskrachten zijn bij vaste stoffen en vloeistoffen veel sterker dan bij gassen, omdat de onderlinge afstand tussen de moleculen bij gassen veel groter is.

We weten dat korreltjes (kristalletjes) van zout of suiker niet zomaar als losse moleculen uit elkaar vallen. Hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld waterdruppels. Dankzij de aantrekkingskrachten blijven de moleculen bij elkaar.

Opgaven bij § 2

Opgave 1

Welke drie fasen zijn er? _____, _____,
_____.

Opgave 2

Leg met moleculen uit waarom vaste stoffen uitzetten bij een toename van de temperatuur.

Opgave 3

Leg met moleculen uit waarom gassen makkelijk samendrukbaar zijn terwijl vaste stoffen en vloeistoffen zeer moeilijk samendrukbaar zijn.

Opgave 4

Leg met moleculen uit waarom vloeistoffen geen vaste vorm hebben.

Opgave 5

Leg met moleculen uit waarom vaste stoffen en vloeistoffen "bij elkaar blijven" en niet als los zand uit elkaar vallen.

Opgave 6

Stel dat er in een afgesloten ruimte een bepaalde hoeveelheid gas zit. Leg dan met moleculen uit waarom de druk op de wanden kleiner wordt als het gas wordt afgekoeld.

Opgave 7

Waarom mag je niet spreken van gasvormige moleculen?

Opgave 8

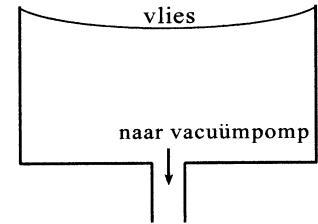
In een klaslokaal wordt een scheutje ether op de grond gemorst. Leg met moleculen uit dat de etherlucht na korte tijd overal in het lokaal te ruiken is.

Opgave 9

Leg met moleculen uit waarom een vloeistof sneller verdampt naarmate de temperatuur hoger is.

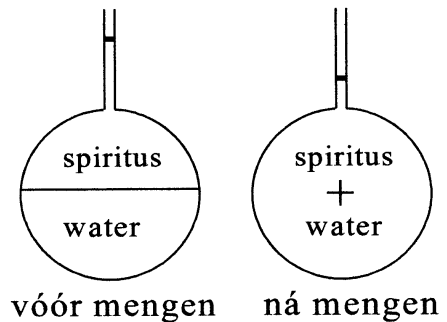
Opgave 10

Een ruimte die aan de bovenkant wordt afgesloten door een vlies wordt leeggezogen door een vacuümpomp. Zie de figuur hiernaast. Het vlies gaat hol staan. Komt dit omdat er aan de onderkant van het vlies getrokken wordt óf omdat er aan de bovenkant van het vlies geduwd wordt. Licht je keuze toe met behulp van moleculen.



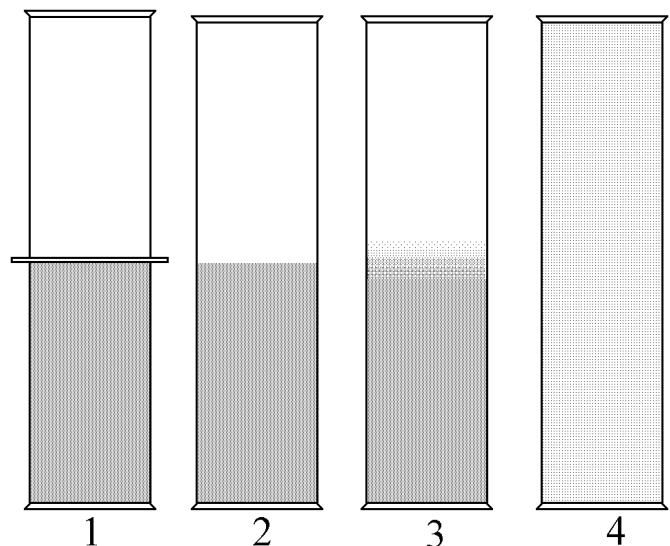
Opgave 11

Een kolf is voor de helft gevuld met water en voor de andere helft met spiritus. Zie de figuur hiernaast. Beide vloeistoffen worden gemengd. Hierdoor daalt het niveau in het dunne buisje een paar cm. Verklaar met moleculen waarom het niveau daalt.



Opgave 12

In een cilinderglas dat door een glasplaatje is afgedekt, bevindt zich een hoeveelheid stikstofdioxide. Dit is een gas met een bruine kleur. Een tweede cilinderglas, dat alleen lucht bevat, is omgekeerd op het glasplaatje gezet. Zie de figuur hiernaast (1). Als het glasplaatje tussen de cilinderglazen wordt weggetrokken, ontstaat er één ruimte. Vlak na het wegtrekken van het glasplaatje is er een scherpe scheiding tussen de gassen zichtbaar (2). De overgang begint daarna echter te vervagen (3) en na een dag heeft de bruine kleur zich gelijkmatig over de gehele ruimte verspreid (4). Dit proces (dat twee stoffen zich vanzelf vermengen zonder dat er geroerd wordt) heet DIFFUSIE. Verklaar dit proces met moleculen.



Opgave 13

a.

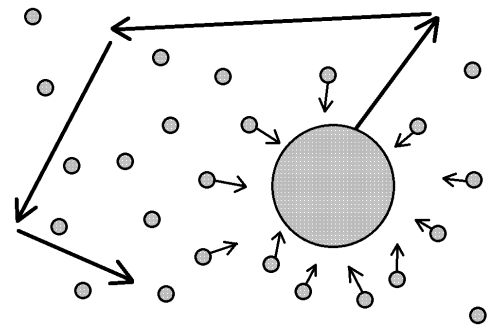
Verklaar met moleculen waarom diffusie van gassen (zoals in het proefje van de vorige opgave) sneller gaat als de temperatuur hoger is.

b.

Diffusie komt ook bij vloeistoffen voor. Leg met moleculen uit waarom diffusie bij vloeistoffen veel langzamer gaat dan bij gassen.

Opgave 14

Na het verbranden van bijvoorbeeld papier komen er kleine rookdeeltjes in de lucht. De veel kleinere en lichtere luchtmoleculen botsen hier van alle kanten tegenaan. Zie de schematische weergave hiernaast. De rookdeeltjes ondervinden bij elke botsing een stootje (duwtje). Het gevolg van al die stootjes samen is dat de rookdeeltjes niet stilstaan maar een beetje heen en weer bewegen (met een veel lagere snelheid dan die van de



lucht moleculen). De zig-zag-beweging van de rookdeeltjes wordt de 'Brownse beweging' genoemd en is met een microscoop waar te nemen. Overigens is de Brownse beweging niet alleen beperkt tot microscopisch kleine deeltjes in gassen (zoals lucht) maar ook in vloeistoffen.

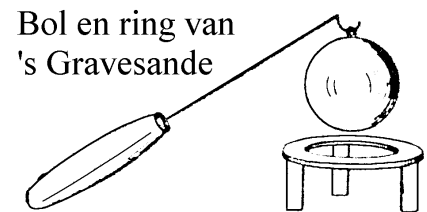
En dan eindelijk de vraag!

Leg uit dat de Brownse beweging van rookdeeltjes heftiger is bij een hogere temperatuur.

§ 3 Uitzetten en krimpen, Celsiusschaal

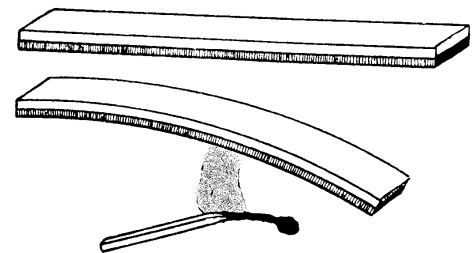
Proef 1: de bol van 's Gravesande

Een bol en een ring zijn zo gemaakt dat de bol bij kamertemperatuur net door de ring gaat. Zie de figuur hiernaast. Als de bol echter eerst wordt verhit en daarna op de ring gelegd wordt, dan valt hij niet door de ring heen. Dat gebeurt pas als de bol voldoende afgekoeld is. Blijkbaar zet de bol uit als zijn temperatuur stijgt.



Proef 2: bimetaal verwarmen

Een bimetaal is een strookje van twee verschillende metalen, die stevig tegen elkaar bevestigd zijn. De metalen zetten bij temperatuursverhoging verschillend uit. Daarom zal het bimetaal bij verhitting krom trekken waarbij het metaal dat het meeste uitzet de 'buitenbocht' neemt. Zie de figuur hiernaast. Bimetaal bestaat bijvoorbeeld uit een ijzerlaagje en een koperlaagje (koper zet ongeveer anderhalf maal zoveel uit als ijzer).

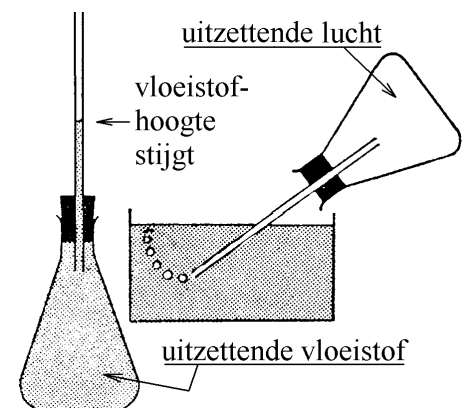


Bimetaal verwarmen

Proef 3: uitzetten van vloeistof en gas

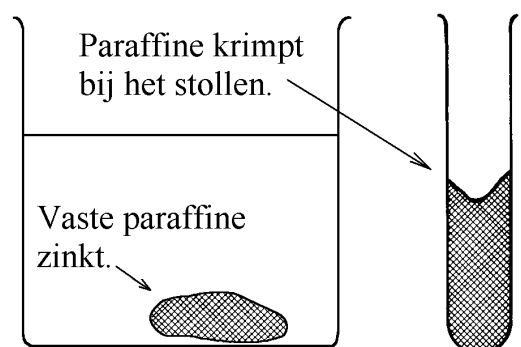
Een erlenmeyer is gevuld met gekleurd water. De erlenmeyer is afgesloten met een doorboorde kurk. Door de kurk steekt een nauwe glazen buis. Zie de figuur hiernaast. Als de erlenmeyer wordt verwarmd, stijgt de vloeistofhoogte in de buis. Dit komt doordat het water uitzet.

Als de erlenmeyer gevuld is met lucht (in plaats van gekleurd water) dan zal deze lucht ook uitzetten als de erlenmeyer verwarmd wordt. Dat kan zichtbaar gemaakt worden door de buis in een bak met water te houden. Er komen dan luchtbelletjes uit de buis.



Proef 4: uitzetten van paraffine bij smelten

Een bekeerglas met paraffine (kaarsvet) wordt verwarmd met een gasvlam. Bij ongeveer 54 °C gaat de paraffine smelten. Als de meeste paraffine gesmolten is, blijkt dat de overgebleven vaste paraffine zinkt in de vloeibare paraffine. Zie de figuur hiernaast. Gesmolten paraffine is blijkbaar lichter dan vaste paraffine. Dat komt doordat paraffine uitzet bij het smelten. Omgekeerd zal paraffine krimpen bij het stollen. Als een reageerbuis met vloeibare paraffine langzaam wordt afgekoeld, is na het stollen een deuk in het oppervlak zichtbaar.



Samenvatting

In de bovenstaande proeven werden slechts enkele stoffen bestudeerd. Echter, verreweg de meeste stoffen vertonen soortgelijk gedrag. In het algemeen gelden de volgende regels.

Stoffen zetten uit bij een temperatuurstijging (en krimpen bij een temperatuurdaling). We kunnen dit begrijpen door naar de moleculen van stoffen te kijken. Moleculen bewegen sneller bij hogere temperaturen en eisen dan ook meer ruimte voor zichzelf op. Overigens zetten verschillende stoffen bij dezelfde temperatuurstijging verschillend uit.

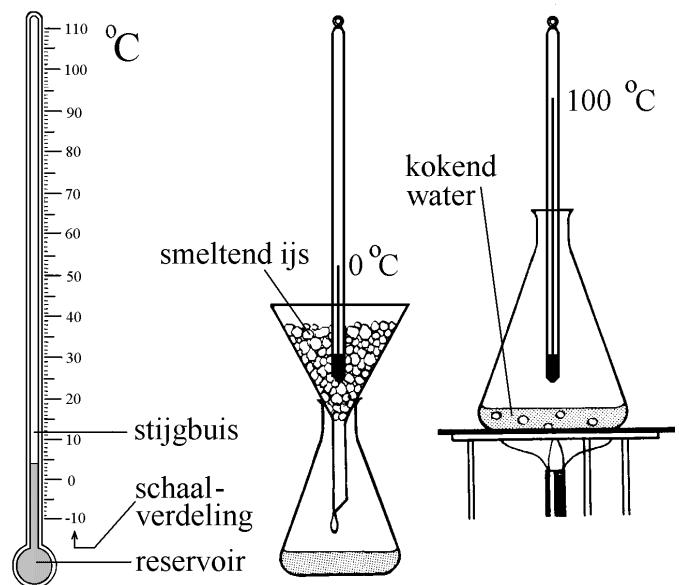
Stoffen zetten uit als ze smelten (en krimpen als ze stollen). Ook dit kunnen we met moleculen snappen. De ruimte tussen de moleculen (de intermoleculaire ruimte) is bij vloeistoffen meestal iets groter dan bij vaste stoffen.

Water vormt een uitzondering op de bovenstaande regels. Ijs krimpt bij het smelten. Anders gezegd: ijs is lichter dan water. Hierdoor blijft ijs drijven op water. Bovendien krimpt ijskoud water (kouder dan 4 °C) bij temperatuurstijgingen.

Thermometer, Celsiuschaal

Een thermometer is een instrument waarmee de temperatuur gemeten kan worden. Een bekend soort thermometer is de vloeistofthermometer. Deze maakt gebruik van het feit dat een vloeistof uitzet als de temperatuur stijgt. Een vloeistofthermometer bestaat uit een reservoir en een stijgbuis waarlangs een schaalverdeling is aangebracht. Zie de figuur hiernaast.

De Zweed Anders Celsius (1701 – 1744) kwam met het voorstel om het smeltpunt van ijs en het kookpunt van water als uitgangspunten voor een temperatuurschaal te nemen. Zie de figuren hiernaast. Na zijn dood werd dit voorstel algemeen aanvaard. De temperatuur van smeltend ijs wordt op 0 graden celsius (0 °C) gesteld. De temperatuur van waterdamp vlak boven kokend water wordt op 100 graden celsius (100 °C) gesteld. De schaalverdeling ontstaat dan door het gebied tussen 0 °C en 100 °C in 100 gelijke stukjes te verdelen (en het streepjespatroon zonodig uit te breiden buiten dit gebied).



Gebruik van een thermometer zonder schaalverdeling

Als een thermometer geen schaalverdeling heeft, dan is het bepalen van de temperatuur toch mogelijk. Dit wordt uitgelegd aan de hand van een voorbeeld namelijk het bepalen van de temperatuur van een onbekende vloeistof in een bakje. De volgende stappen moeten worden uitgevoerd. Zie ook de figuur hiernaast.

Stap 1

Plaats de thermometer in smeltend ijs.

Teken ter hoogte van het vloeistofniveau een streep op de stijgbuis.

Stap 2

Plaats de thermometer boven kokend water.

Teken ter hoogte van het vloeistofniveau een streep op de stijgbuis.

Stap 3

Plaats de thermometer in het bakje met een onbekende vloeistof.

Teken ter hoogte van het vloeistofniveau een streep op de stijgbuis.

Stap 4

Meet met een liniaal de afstand tussen de onderste en bovenste streep.

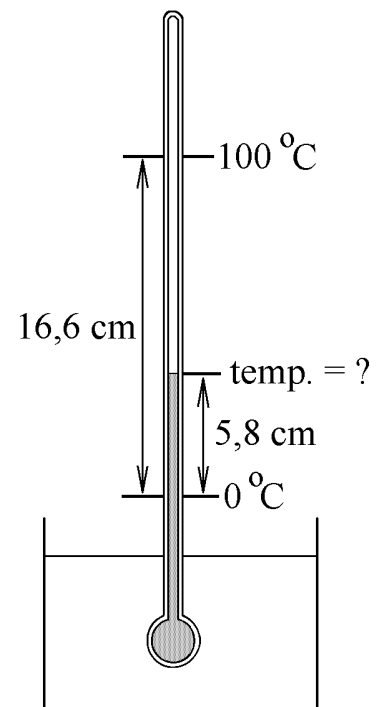
In dit voorbeeld is dat 16,6 cm.

Meet met een liniaal de afstand tussen de onderste en middelste streep.

In dit voorbeeld is dat 5,8 cm.

Stap 5

Gebruik een verhoudingstabel om de temperatuur van de vloeistof te bepalen. Hieruit volgt dat de temperatuur van de onbekende vloeistof 34,9 °C bedraagt.



hoogte	16,6 cm	1 cm	5,8 cm
temperatuurverschil	100 °C	6,02 °C	34,9 °C

Opgaven bij § 3

Opgave 1

Vul in de volgende regels 'zetten uit' of 'krimpen' in.

De meeste stoffen _____ als ze een hogere temperatuur krijgen.

De meeste stoffen _____ als ze smelten.

Opgave 2

Bij de celsiuschaal spelen smeltend ijs en kokend water een belangrijke rol. Leg dat kort uit.

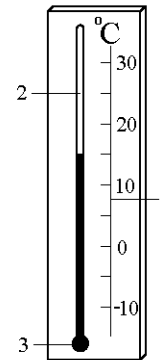
Opgave 3

In de figuur hiernaast is een thermometer getekend. Hoe heten de delen die met een cijfer aangegeven zijn?

Deel 1: _____

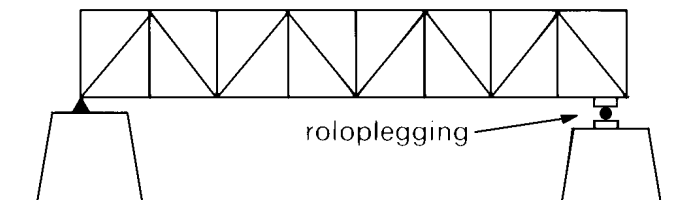
Deel 2: _____

Deel 3: _____



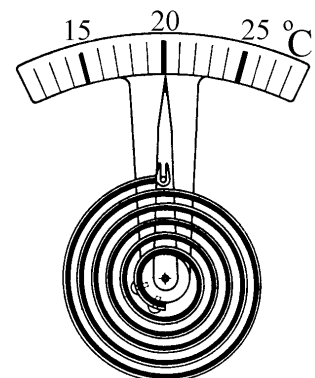
Opgave 4

Een stalen spoorbrug rust op pijlers. Het ene uiteinde van de brug is vast opgelegd, het andere eind ligt op een rol. Zie de figuur hiernaast. Wat is het nut van de rol?



Opgave 5

In een metaalthermometer zit een opgerolde strook bimetaal. Zie de figuur hiernaast. Zal in deze figuur de buitenlaag of de binnenlaag van het bimetaal meer uitzetten bij stijging van de temperatuur?



Opgave 6

Jan heeft een fles in zijn handen die geheel gevuld is met terpentijn (op kamertemperatuur) en afgesloten met een dop. Jan legt de fles in een diepvrieskist waar een temperatuur van -20°C heerst. Loopt Jan kans dat de fles kapot knapt? Het stolpunt van terpentijn is -10°C . Leg je antwoord uit.

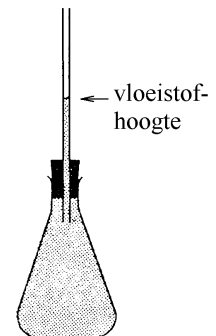
Opgave 7

Een voorwerp van gietijzer wordt gemaakt met een zogenoemde mal. Vloeibaar gietijzer wordt in deze mal gegoten. Na het stollen en afkoelen van het gietijzer hoef je het gietijzer alleen nog maar uit de mal te halen. Het bijzondere van gietijzer is dat het uitzet bij het stollen. Gietijzer is dus net als water een uitzondering op de algemene regel dat stoffen krimpen tijdens het stollen.

Leg nu uit waarom deze eigenschap gietijzer zo geschikt maakt voor het gietproces.

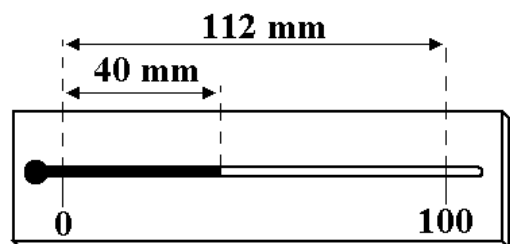
Opgave 8

Een erlenmeyer is gevuld met een gekleurde vloeistof. Zie de figuur hiernaast. Als je de erlenmeyer verwarmt (bijvoorbeeld met een gasvlam), dan zal de vloeistofhoogte stijgen. Als je echter goed oplet, dan zie je dat de vloeistofhoogte eerst eventjes iets naar beneden gaat. Geef daar een verklaring voor.

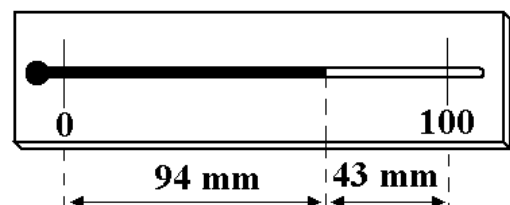


Opgave 9

Iris heeft een thermometer zonder schaalverdeling. Zij plaatst haar thermometer achtereenvolgens in een bekersglas met smeltend ijs, een bekersglas met kokend water en in een bekersglas met warm water. Zie de bovenste thermometer in de figuur hiernaast. Bereken de temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) van het warme water.



Marieke herhaalt de proef van Iris. Maar zij plaatst haar thermometer in een bekersglas met gesmolten kaarsvet (in plaats van warm water). Zie de onderste thermometer in de figuur hiernaast. Bereken de temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) van het kaarsvet.



Opgave 10

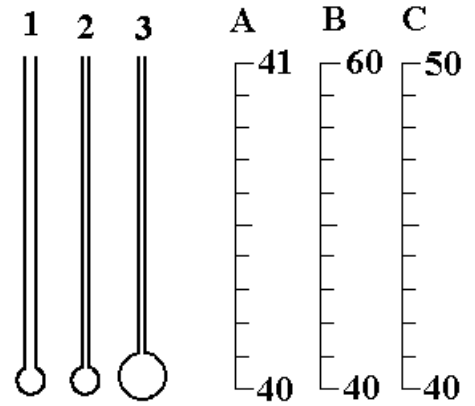
De thermometers in de figuur hiernaast zijn alle drie op dezelfde schaal getekend. De schaalverdelingen zijn ook op dezelfde schaal getekend.

Vul hieronder A, B of C in.

Welke schaalverdeling hoort bij thermometer 1?

Welke schaalverdeling hoort bij thermometer 2?

Welke schaalverdeling hoort bij thermometer 3?



§ 4 Het absolute nulpunt

Absolute nulpunt

Zoals hiervoor is besproken, zegt de temperatuur iets over de (gemiddelde) snelheid waarmee de moleculen bewegen. Als een stof wordt afgekoeld, gaan de moleculen in die stof langzamer bewegen. Als de temperatuur van de stof steeds verder wordt verlaagd, zullen de moleculen op een gegeven moment bijna stil staan. Bij een temperatuur van $-273,15\text{ °C}$ staan de moleculen echt stil. Deze temperatuur is voor alle stoffen gelijk. We noemen de temperatuur $-273,15\text{ °C}$ het absolute nulpunt. Een lagere temperatuur is niet mogelijk.

Samengevat geldt het volgende.

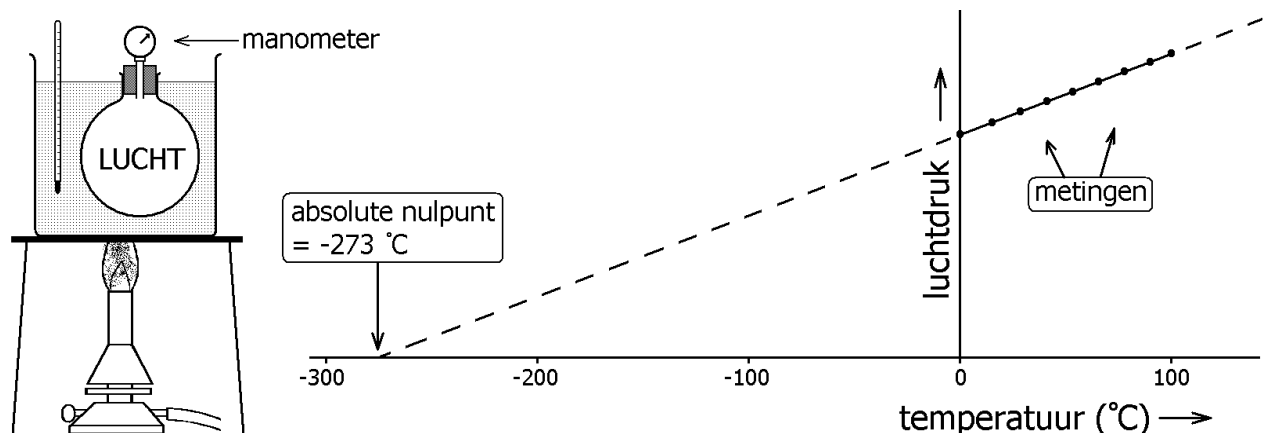
Het absolute nulpunt = de laagste temperatuur die mogelijk is
= de temperatuur waarbij de moleculen niet bewegen
= $-273,15\text{ °C}$

Opmerking

In werkelijkheid bewegen de moleculen ook nog een heel klein beetje bij het absolute nulpunt. Dit volgt uit de 'kwantummechanica' maar valt buiten de lesstof.

Manier om het absolute nulpunt te bepalen

Met de onderstaande opstelling (links) kan het absolute nulpunt worden bepaald. Een hoeveelheid lucht zit in een afgesloten glazen kolf. De kolf bevindt zich in een bekersglas met water. Met een gasvlam wordt het water, en daarmee ook de lucht in de kolf, verwarmd. Bij verschillende temperaturen wordt de druk van de lucht met een manometer gemeten. In het diagram naast de opstelling is de druk tegen de temperatuur uitgezet. Zoals goed te zien is, liggen de meetpunten (weergegeven als dikke stippen) op een rechte lijn.



Als je de rechte grafiek naar links door zou trekken, zou deze de horizontale as bij een temperatuur van -273 graden celsius snijden. Dit is het absolute nulpunt omdat stilstaande moleculen niet tegen de wanden botsen en dus geen druk geven.

Kelvinschaal

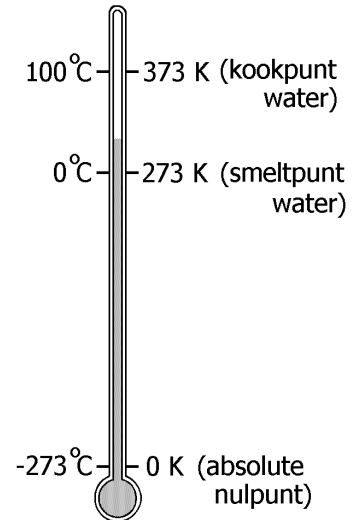
Celsius ging bij het kiezen van zijn schaalverdeling uit van:

1. Het smeltpunt van water (0 °C),
2. Het kookpunt van water (100 °C).

Kelvin leefde na Celsius en stelde een nieuwe schaalverdeling voor zonder negatieve getallen. Dit bereikte hij door de celsiusschaal in zijn geheel 273,15 graden te verschuiven. Zie de schematische figuur hiernaast.

Kelvin ging bij het kiezen van zijn schaalverdeling dus uit van:

1. Het absolute nulpunt. Kelvin stelde dat op 0 K.
2. Het verschil tussen het smelt- en kookpunt van water.
Kelvin stelde dat op 100 K.



De door hem geïntroduceerde schaal noemen we tegenwoordig de kelvinschaal. En we spreken over de absolute temperatuur of kelvintemperatuur.

De absolute temperatuur T_K volgt uit de celsiustemperatuur T_C volgens

$$T_K = T_C + 273.$$

De celsiustemperatuur T_C volgt uit de absolute temperatuur T_K volgens

$$T_C = T_K - 273.$$

Zo is 30 °C gelijk aan $30 + 273 = 303$ K en 40 K gelijk aan $40 - 273 = -233$ °C.

Kamerlingh Onnes

Natuurkundigen proberen al meer dan honderd jaar om zo dicht mogelijk bij het absolute nulpunt te komen. Op weg naar het absolute nulpunt is men erin geslaagd alle gassen vloeibaar en zelfs vast te maken. In 1908 lukte het de Nederlandse natuurkundige Kamerlingh Onnes (1853 – 1926) in Leiden om als laatste gas helium vloeibaar te maken bij 269 graden onder nul. Met dit doel voor ogen had hij in 1904 een speciaal cryogeen (= koudmakend) lab opgericht.

In 1911 ontdekte Kamerlingh Onnes dat zuivere metalen – zoals kwik, tin en lood – bij extreem lage temperaturen supergeleidend worden. Wanneer een materiaal supergeleidend wordt, verliest het alle weerstand voor elektrische stroom. Door elektrische spoelen supergeleidend te maken, kan men tegenwoordig zeer sterke magneetvelden opwekken. In 1913 kreeg Kamerlingh Onnes de Nobelprijs voor de Natuurkunde. In 1926 stierf hij in Leiden. De instrumenten die Kamerlingh Onnes voor zijn experimenten gebruikte, zijn nog steeds te bezichtigen in het Boerhaave Museum in Leiden.

Met het voortgaan van de techniek kan men het absolute nulpunt tegenwoordig naderen tot onder de miljardste graad kelvin. Het is echter principieel onmogelijk om het absolute nulpunt echt te bereiken.

Opgaven bij § 4

Opgave 1

Leg met moleculen uit waarom de temperatuur wel een ondergrens maar géén bovengrens heeft.

Opgave 2

Wat zijn de uitgangspunten van de celsiuschaal?

Opgave 3

Wat zijn de uitgangspunten van de kelvinschaal?

Opgave 4

Leg uit dat temperatuurverschillen op de celsiuschaal en de kelvinschaal gelijk zijn. Stel bijvoorbeeld dat een voorwerp wordt verwarmd en dat zijn temperatuur daarbij 50 graden celsius stijgt. Zijn temperatuurstijging is dan ook 50 graden kelvin.

Opgave 5

Reken de volgende celsiustemperaturen om in absolute temperaturen.

a. 0 °C b. 100 °C c. -273 °C d. 20 °C

Opgave 6

Reken de volgende absolute temperaturen om in celsiustemperaturen.

a. 0 K b. 100 K c. 273 K d. 300 K

Opgave 7

Welk gas werd als laatste vloeibaar gemaakt?

Opgave 8

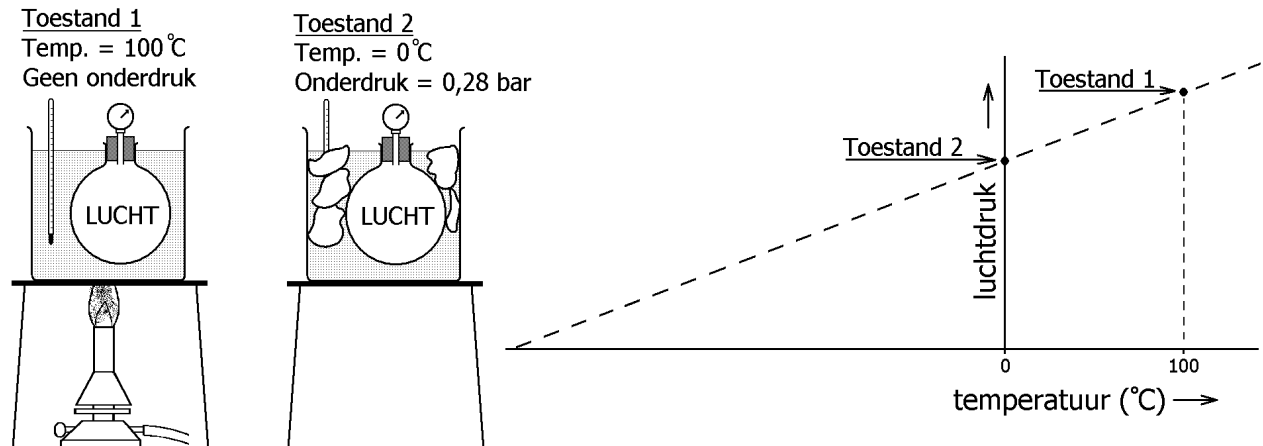
Omschrijf supergeleiding.

Opgave 9

Zal men het absolute nulpunt ooit echt bereiken?

Opgave 10

Johanna bepaalt met slechts één meting het absolute nulpunt. Eerst brengt zij een met lucht gevulde kolf in een groot bekglas waar kokend water in zit. Nadat de lucht de temperatuur van $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ heeft aangenomen, sluit zij de kolf luchtdicht af. In de onderstaande figuur is dit aangegeven met toestand 1. Vervolgens dompelt Johanna de kolf onder in smeltend ijs. In de figuur is dit aangegeven met toestand 2.



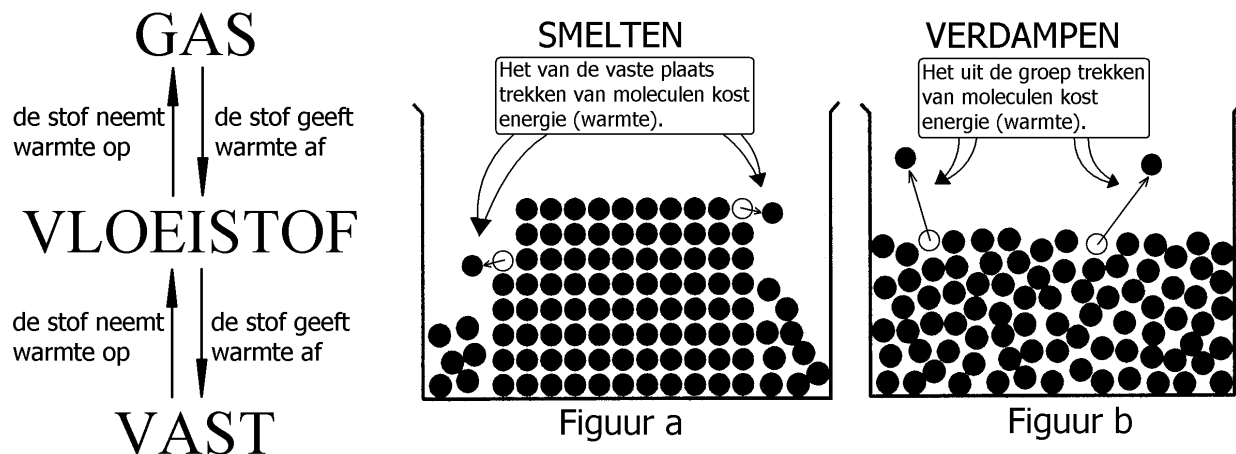
Via een gaatje in de stop meet een drukmeter de onderdruk van de lucht in de kolf. Met andere woorden, de meter geeft aan hoeveel lager de druk van deze lucht is dan de druk van de dampkring. Johanna meet in toestand 2 een onderdruk van $0,28\text{ bar}$. Johanna neemt aan dat de druk van de dampkring $1,0\text{ bar}$ bedraagt. Bereken het absolute nulpunt dat uit deze meting (en de aanname van $1,0\text{ bar}$) volgt.

§ 5 Warmte-effecten bij faseveranderingen

Theorie

Voor alle stoffen geldt het volgende. Zie ook het onderstaande schema (links). Als een vaste stof smelt, neemt deze stof warmte op. Om een vaste stof te laten smelten, moet er dus warmte aan deze stof worden toegevoerd. Omgekeerd geldt dat als een vloeistof stolt, de stof juist warmte afstaat.

Als een vloeistof verdampst, neemt deze stof warmte op. Om een vloeistof te laten verdampen (eventueel koken), moet er dus warmte aan deze stof worden toegevoerd. Omgekeerd geldt, dat als een damp condenseert, de stof juist warmte afstaat.

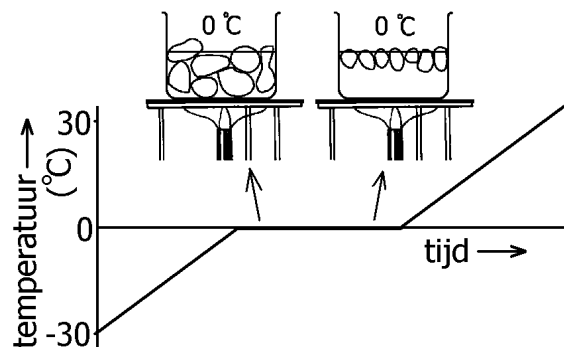


Met moleculen kunnen we dit begrijpen. Zie de bovenstaande figuren a en b. In figuur a is een vaste stof aan het smelten. Het kost moeite om de moleculen van hun vaste plaatsen te krijgen en meer bewegingsvrijheid te geven. Om dat te bereiken, moet je warmte toevoeren. In figuur b is een vloeistof aan het verdampen. Het kost moeite om de moleculen helemaal los te maken van de groep nog aan elkaar klevende moleculen. Ook nu kun je dat bereiken door warmte toe te voeren. In de volgende voorbeelden worden deze warmte-effecten toegelicht.

Het smelten van ijs

Stel dat je een bekersglas met een aantal ijsblokjes van min 30 °C vult. Als je de onderkant van het bekersglas daarna langzaam verwarmt, zal de temperatuur in het bekersglas een tijdsverloop hebben zoals hiernaast is afgebeeld.

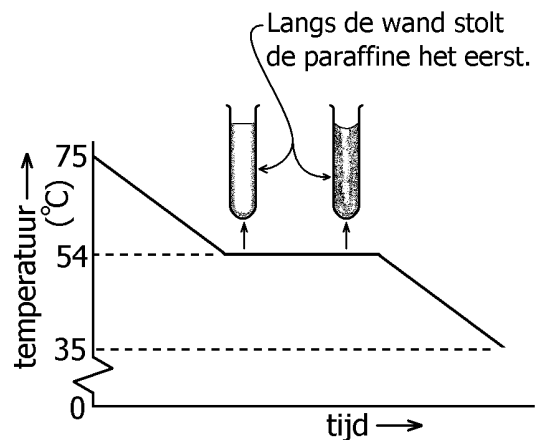
Opvallend is het horizontale deel van de grafiek. Waarom blijft de temperatuur enige tijd 0 °C, terwijl de vlam toch voortdurend warmte afgeeft aan het bekersglas met inhoud? Dat komt doordat het ijs smelt bij 0 °C. De warmte van de vlam wordt blijkbaar besteed aan het laten smelten van het ijs. Pas als al het ijs gesmolten is, gaat de temperatuur verder stijgen.



Het stollen van paraffine

Stel dat je een reageerbuis, die gevuld is met hete gesmolten paraffine (kaarsvet), laat afkoelen. Neem als begintemperatuur 75 °C. Dan zal de temperatuur van de paraffine een tijdsverloop hebben zoals hiernaast is afgebeeld.

Opnieuw is het horizontale deel van de grafiek opvallend. Waarom blijft de temperatuur constant op 54 °C terwijl de reageerbuis toch voortdurend warmte verliest aan z'n omgeving? Dat komt doordat paraffine stolt bij 54 °C en er hierbij warmte vrijkomt. Het is dezelfde warmte die eerst nodig was om de paraffine te laten smelten. Pas als al de paraffine gestold is, gaat de temperatuur verder dalen.

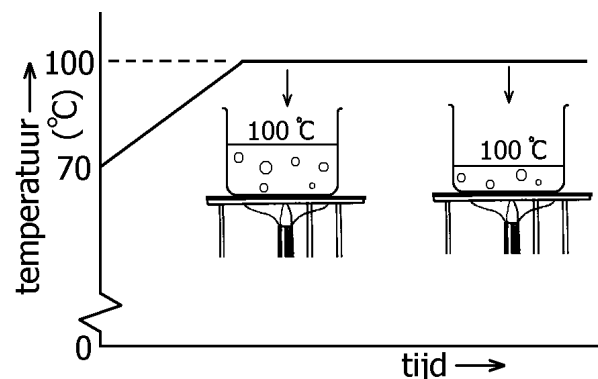


Dat er bij het stollen van paraffine warmte vrijkomt, merken we bijvoorbeeld ook als we tegen een brandende kaars aanstoten. Een hoeveelheid gesmolten paraffine (kaarsvet) komt dan op je hand terecht en stolt. De warmte die daarbij vrijkomt doet pijn. Veel meer pijn dan bijvoorbeeld water met dezelfde begintemperatuur zou doen.

Verdampen en condenseren van water

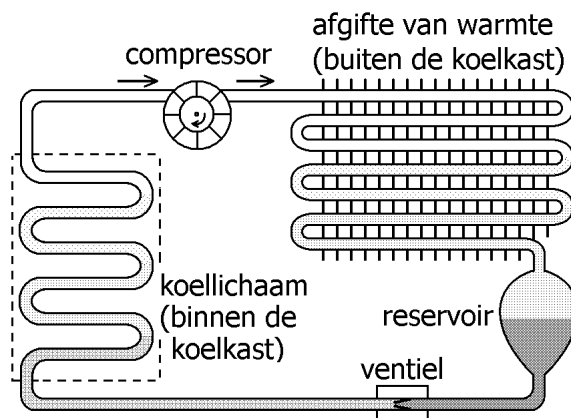
Elk mens zweet. Dat heeft een verkoelende werking, want voor het verdampen van water (zweet) is warmte nodig. Je lichaam levert die warmte en koelt daarbij zelf af. Iets soortgelijks gebeurt er in een Finse sauna als je water op de hete stenen giet. Het water op de stenen verdampt vliegensvlug. De stenen leveren de benodigde warmte en koelen daardoor af. Nadat het water op de hete stenen is verdampt, beleef je in de sauna het omgekeerde van zweten. In de sauna is je huid waarschijnlijk het koudste plekje. De waterdamp in de lucht condenseert dan op je huid. Dit geeft veel warmte aan je lichaam. Dat is dezelfde warmte, die de hete stenen eerst moesten leveren om het water te laten verdampen.

Dat het verdampen van water warmte kost, blijkt ook overduidelijk als je water in een bekersglas aan de kook brengt. Tijdens het koken blijft de temperatuur van het water 100 °C. Zie het diagram hiernaast. Blijkbaar wordt de warmte van de vlam alleen besteed aan het verdampen van het water. Het bekersglas zal dan ook steeds leger worden.



Toepassing: de werking van een koelkast

In de figuur hiernaast is het principe van een koelkast weergegeven. In de buizen bevindt zich ammoniak. In het koellichaam, dat zich binnen de koelkast bevindt, verdampt de ammoniak en in de buizen aan de achterzijde van de koelkast condenseert de ammoniak. Het koellichaam neemt daarbij warmte op en de buizen aan de achterzijde van de koelkast geven deze warmte vervolgens weer af (aan de omringende lucht).

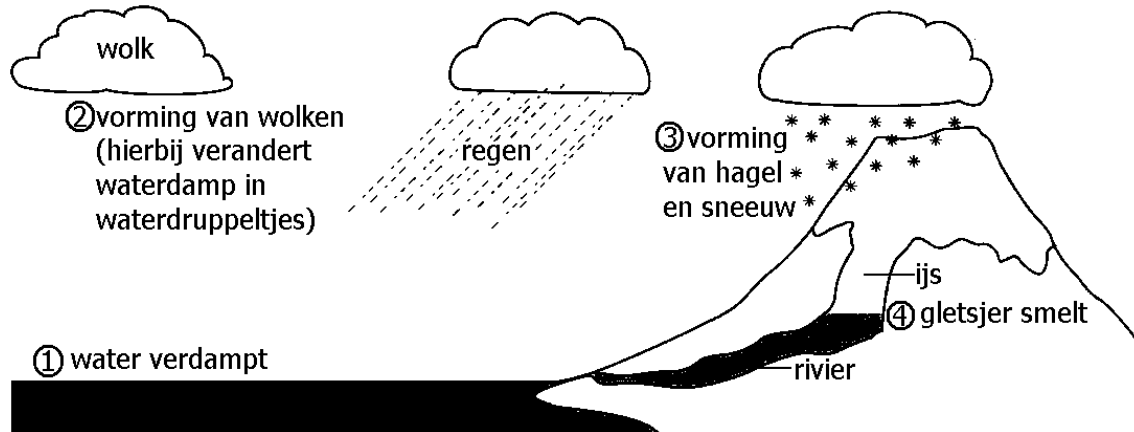


De compressor perst de gasvormige ammoniak in de buizen aan de achterkant van de koelkast. Door de hoge druk condenseert de ammoniakdamp. De vloeibare ammoniak wordt opgevangen in een reservoir en stroomt via een ventiel weer in het koellichaam. Daar verdampt het weer. Enzovoort.

Opgaven bij § 5

Opgave 1

In een aardrijkskundeboek staat de onderstaande figuur over de kringloop van water.



In de figuur zijn vier faseovergangen met nummers aangeduid. Is er voor deze faseovergangen warmte nodig of komt er juist warmte vrij?

Faseovergang 1:

Faseovergang 2:

Faseovergang 3:

Faseovergang 4:

Opgave 2

Op terrasjes in Spanje hangt men in glazen kannen vaak een koper die gevuld kan worden met blokjes ijs of koud water. Hierdoor blijft de drank in de kan lekker koel. In de figuur hiernaast staan twee van deze kannen afgebeeld.

In kan 1 is de koper gevuld met 500 g water van 0 °C. In kan 2 is de koper gevuld met 500 g ijsblokjes van 0 °C.

Beide kannen worden gevuld met evenveel appelsap van dezelfde temperatuur.

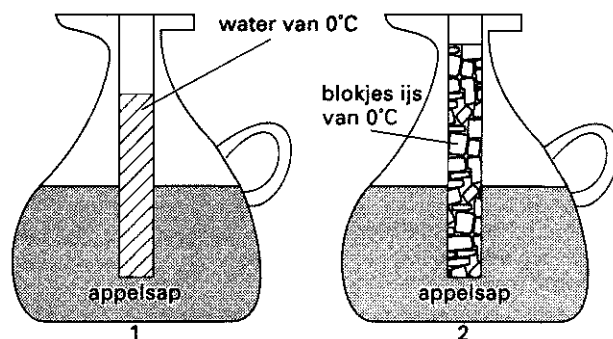
In welke kan zal de appelsap de laagste temperatuur krijgen en waarom? Kies A, B, C of D.

A. In kan 1, want daarin hoeft geen ijs te smelten.

B. In kan 2, want tijdens het smelten van het ijs komt warmte vrij.

C. In kan 2, want voor het smelten van het ijs is warmte nodig.

D. In beide kannen even laag, want het water en het ijs waren even koud (0 °C).



Opgave 3

Leg uit waarom zweten een verkoelende werking op je lichaam heeft.

Opgave 4

Aan het eind van een warme dag gaat het even regenen. Doordat de grond, de bomen, de daken van huizen, enzovoort, warm zijn, verdampt het neergekomen water in korte tijd. Leg uit waarom het daarna een stuk koeler is.

Opgave 5

Iris en Marieke gaan midden in de zomer naar het zwembad. De luchttemperatuur is 25 °C, de watertemperatuur is 20 °C. Iris blijft de hele tijd in het water dobberen. Marieke gaat veelvuldig naar de kant om van de duikplank gebruik te maken. Marieke moet hier wel steeds voor in de rij staan. Leg uit dat Marieke het eerst over kou klaagt.

Opgave 6

Als een groot bemand ruimteschip gelanceerd wordt, spuit men veel water op het lanceerplatform. Hoe hoog kan de temperatuur van het lanceerplatform ten hoogste worden zolang er water op het platform ligt? Leg je antwoord uit.

Opgave 7

Een warme vloeistof in een bekeerglas bevindt zich in een koele ruimte. De vloeistof verliest voortdurend warmte aan de omgeving en gaat op een bepaald moment stollen. Wat kun je zeggen over de temperatuur van de stollende stof?

Opgave 8

Wat kun je zeggen over de temperatuur van een kokende vloeistof?

Opgave 9

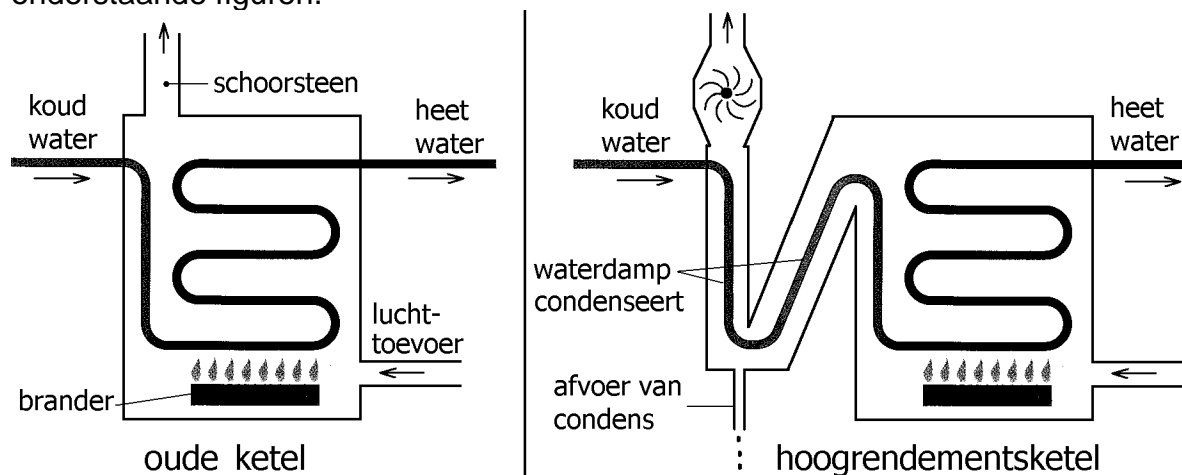
Jo voert een natuurkundig experiment uit. Hij vult een beker met kraanwater en zet deze in een vrieskist. De volgende dag haalt hij de beker met ijs uit de vrieskist en zet deze op de keukentafel. Daarna meet Jo drie opwarmtijden namelijk:

- 1) van -6 °C naar -2 °C;
- 2) van -2 °C naar +2 °C;
- 3) van +2 °C naar +6 °C.

Welke van de drie opwarmtijden duurt het langst? Licht je keuze toe.

Opgave 10

In de meeste huizen staat op de hoogste etage een verwarmingsketel voor heet leidingwater (en soms ook voor de CV). Deze ketels verbranden aardgas. Zie de onderstaande figuren.



In oude ketels werden de hete verbrandingsgassen direct afgevoerd via de schoorsteen. Tegenwoordig worden de hete verbrandingsgassen gebruikt voor het voorverwarmen van het koude water.

Een hoogrendementsketel (HR-ketel) gaat echter nog een stapje verder. Een HR-ketel is namelijk zodanig ontworpen dat de waterdamp, die bij het verbranden van aardgas vrijkomt, condenseert aan de buitenkant van de waterbuis. Zie de rechter figuur.

Leg uit waarom deze condensatie van de waterdamp een nuttige bijdrage levert aan het voorverwarmen van het koude water.

Opgave 11

Je hebt water van $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en gaat dit langzaam afkoelen totdat je ijs van $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hebt. Schets hiernaast de grafiek waarin de temperatuur tegen de tijd (horizontaal) is uitgezet.

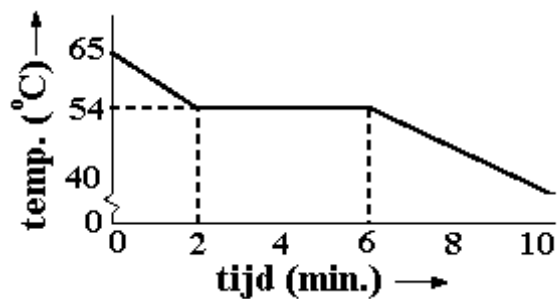
Opgave 12

Je hebt aluminium van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en gaat dit verwarmen tot $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Schets hiernaast de grafiek waarin de temperatuur tegen de tijd (horizontaal) is uitgezet. Het smeltpunt van aluminium is $660\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Opgave 13

Kees laat een reageerbuisje met vloeibaar paraffine (kaarsvet) van 65 °C afkoelen. Elke minuut noteert hij de temperatuur in een tabel. Daarna maakt hij een grafiek waarin de temperatuur tegen de tijd uitgezet is (zie hiernaast).

In welke fase (of fasen!) verkeert de paraffine op de volgende tijdstippen?
Omcirkel steeds je keuze.



- | | | | |
|----------------------------------|------|-----------|-----|
| a. op het tijdstip t = 1 minuut: | VAST | VLOEISTOF | GAS |
| b. op het tijdstip t = 2 minuut: | VAST | VLOEISTOF | GAS |
| c. op het tijdstip t = 4 minuut: | VAST | VLOEISTOF | GAS |
| d. op het tijdstip t = 6 minuut: | VAST | VLOEISTOF | GAS |
| e. op het tijdstip t = 8 minuut: | VAST | VLOEISTOF | GAS |

§ 6 Cohesie en adhesie

Cohesie, adhesie

Zoals reeds eerder besproken is, trekken moleculen elkaar aan als de afstand tussen de moleculen klein is (bijvoorbeeld kleiner of gelijk aan een miljoenste millimeter). Moleculen kunnen hierbij van dezelfde soort zijn of van verschillende soorten zijn. Vaak worden de volgende namen gebruikt.

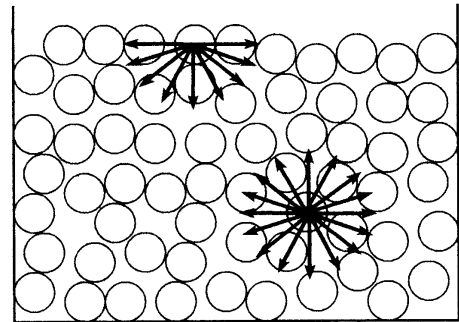
Cohesiekrachten zijn aantrekkingskrachten tussen moleculen van dezelfde soort.
Adhesiekrachten zijn aantrekkingskrachten tussen moleculen van verschillende soorten.

Zonder cohesiekrachten zou er geen onderscheid zijn tussen gassen enerzijds en vaste stoffen en vloeistoffen anderzijds. Zonder adhesiekrachten zouden we niets aan elkaar vast kunnen plakken en zou bij het schrijven de inkt niet aan het papier hechten.

Cohesie bij vloeistoffen, grenslaag

Vloeistofdruppels zijn bij benadering rond. Dit wordt veroorzaakt door de zogenoemde grenslaag. De grenslaag heeft alles te maken met de cohesie tussen de moleculen. Het een en ander wordt hierna besproken.

Beschouw eerst een willekeurig molecuul dat zich op voldoende afstand van de rand van de vloeistof bevindt. Dit molecuul wordt aan alle kanten omringd door andere moleculen. Al deze moleculen trekken aan het molecuul waardoor er geen resulterende (= netto) kracht op het molecuul werkt. In de figuur worden de krachten voorgesteld door pijlen.

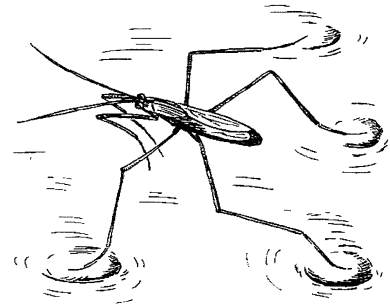


Beschouw nu een willekeurig molecuul dat zich aan het oppervlak van de vloeistof bevindt. Dit molecuul heeft aan één kant geen burens. In die richting wordt het molecuul dan ook niet getrokken. In de andere richtingen wordt wel aan het molecuul getrokken. De resulterende kracht op het molecuul werkt dan dus in de richting van de vloeistof ('naar binnen' gericht). Alle vloeistofmoleculen aan de rand van de vloeistof ondervinden een netto kracht die naar binnen is gericht. Al deze moleculen samen vormen een soort denkbeeldig vlies om de vloeistof heen. We spreken van de 'oppervlaktelaag' of 'grenslaag'.

De grenslaag van een vloeistof bestaat uit alle moleculen die zich aan de rand van de vloeistof bevinden en die een naar binnen gerichte resulterende kracht ondervinden.

De grenslaag is te vergelijken met een opgeblazen ballon. Deze neemt automatisch de ronde vorm aan. Op dezelfde manier zorgt de grenslaag ervoor dat een vloeistofdruppel ook bij benadering rond is. In beide gevallen is de oppervlakte zo klein mogelijk.

Het bestaan van een grenslaag is bij water duidelijk aan te tonen. Als je een haar voorzichtig op het wateroppervlak legt, drijft deze, terwijl een haar normaal zinkt. Blijkbaar ligt de haar op de grenslaag zonder deze 'open te breken'. Op dezelfde manier kan een schaatsenrijder (insect) op water lopen zoals in de figuur hiernaast is afgebeeld. Als de poten van het insect per ongeluk door de grenslaag heen breken, zakken deze steeds verder weg.



Oppervlaktespanning

Met de grootte 'oppervlaktespanning' kan de invloed van de grenslaag worden aangegeven. Niet-wetenschappelijke omschrijvingen van oppervlaktespanning zijn de volgende.

- 1) De oppervlaktespanning is de mate waarin een vloeistof streeft naar een kleiner oppervlak.
- 2) De oppervlaktespanning is de 'stevigheid' van het vloeistofoppervlak, waar kleine voorwerpen met een kleine kracht op kunnen drukken zonder er doorheen te gaan.

De oppervlaktespanning wordt in een getal met de eenheid joule per vierkante meter uitgedrukt. Zie bijvoorbeeld de volgende stoffen.

Aceton: $0,023 \text{ J/m}^2$ Melk: $0,045 \text{ J/m}^2$ Water: $0,073 \text{ J/m}^2$ Kwik: $0,5 \text{ J/m}^2$

Hieruit blijkt dat kwik in vergelijking met andere vloeistoffen een zeer grote oppervlaktespanning heeft. Ook heeft water een grote oppervlaktespanning.

De bovenstaande getallen zijn gebaseerd op de officiële definitie van oppervlaktespanning. Deze luidt als volgt.

De oppervlaktespanning is de energie van de grenslaag (in J) per eenheid van oppervlak (m^2).

Aangezien de natuur streeft naar minimale energie, volgt uit de definitie dat het vloeistofoppervlak zo klein mogelijk is. Hier wordt verder niet op ingegaan.

Praktijkvoorbeelden van adhesie

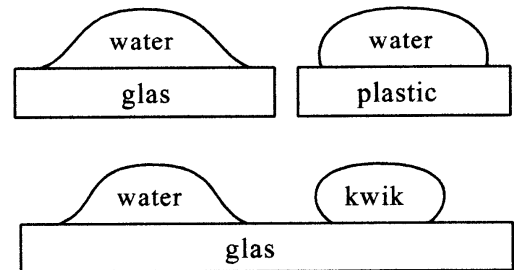
Als een bekerglas met kwik wordt leeggegoten, zal er geen enkel kwikdruppeltje in het bekerglas achterblijven. Als het bekerglas echter met water gevuld zou zijn, zou het oppervlak van het bekerglas na leeggooien nog nat zijn. Blijkbaar blijft het water voor een deel aan het glas 'plakken'. Het is de adhesie tussen het water en het glas die hiervoor zorgt.

Als een autoruit door de regen nat wordt, blijven de waterdruppels aan het glas plakken. Door de autoruit te voorzien van een soort waslaagje, hechten de druppels bijna niet aan de autoruit. De ruit is dan na een regenbui direct droog. Blijkbaar is de adhesie tussen het water en de waslaag veel kleiner dan de adhesie tussen het water en glas.

Als een stalen voorwerp geveerd moet worden, zal het voorwerp altijd eerst 'gegrond' moeten worden. De adhesie tussen de grondverf en het staal is namelijk goed. Dit in tegenstelling tot aflakverf die slecht hecht aan het kale staal.

De invloed van adhesie op de vorm van vloeistofdruppels

Hiernaast is een waterdruppel op een glasplaat en een waterdruppel op een plastic ondergrond weergegeven (de bovenste twee figuren). Het valt direct op dat het contactoppervlak tussen water en glas groter is dan dat tussen water en plastic. Dit komt omdat water zich beter hecht aan glas dan aan plastic. Dit kun je als volgt formuleren.



De adhesie tussen water en glas is groter dan de adhesie tussen water en plastic.

Iets soortgelijks zien we bij een waterdruppel en een kwikdruppel op een glasplaat (onderste figuur). Uit de vorm van de druppels valt het volgende af te leiden.

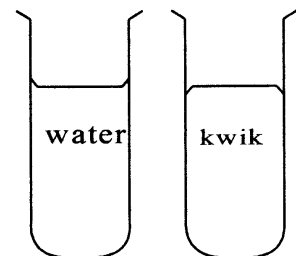
De adhesie tussen water en glas is sterk ten opzichte van de cohesie van water.

De adhesie tussen kwik en glas is zwak ten opzichte van de cohesie van kwik.

Dit laatste is niet verwonderlijk als je je realiseert dat de oppervlaktespanning van kwik gigantisch groot is.

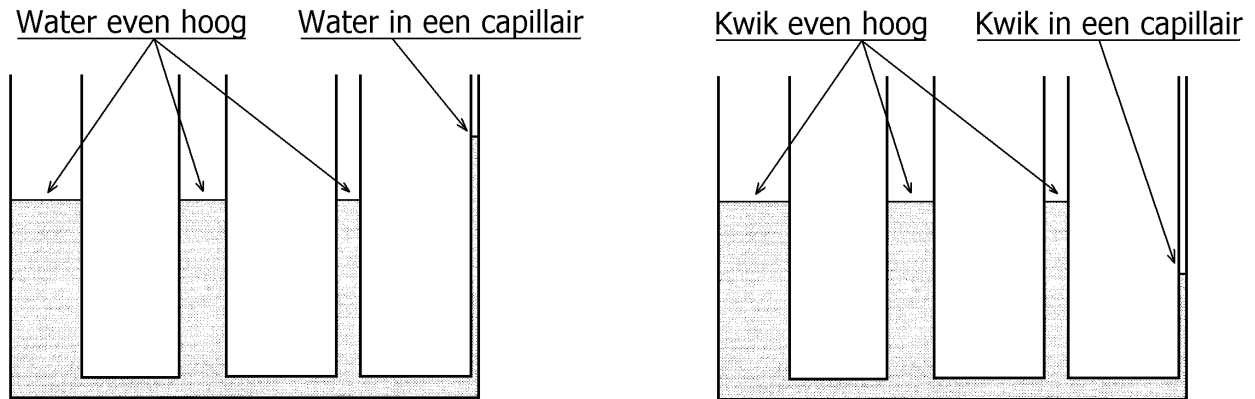
Vloeistofspiegels in buizen

Als zich water in een reageerbuis bevindt kruipt het vloeistofoppervlak bij de randen iets omhoog. Als zich daarentegen kwik in een reageerbuis bevindt verplaatst het vloeistofoppervlak zich bij de randen juist iets omlaag. Dit is met het voorgaande goed verklaarbaar.



Communicerende vaten

Communicerende vaten zijn vaten die met elkaar verbonden zijn. Als de vaten gevuld zijn met een vloeistof, bevinden de vloeistofniveaus in de vaten zich op gelijke hoogte. Dit geldt echter alleen als de vaten voldoende breed zijn. Bij zeer smalle buizen, capillairen genoemd, speelt de adhesie een belangrijke rol. Daardoor komt water in een glazen capillair hoger te staan en kwik juist lager. Zie de onderstaande figuren.



Opgaven bij § 6

Opgave 1

Wat verstaan we onder cohesiekrachten?

Wat verstaan we onder adhesiekrachten?

Opgave 2

Omschrijf het begrip grenslaag.

Omschrijf het begrip oppervlaktespanning.

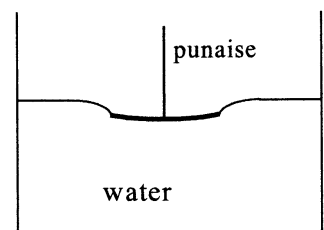
Opgave 3

Bij het verdampen van methanol ontsnappen er moleculen uit de groep aan elkaar klevende moleculen. Moeten de ontsnappende moleculen de cohesie- of adhesiekrachten overwinnen?

Leg je antwoord kort uit.

Opgave 4

Een punaise kan op water drijven dankzij de oppervlaktespanning. Zie de figuur hiernaast. Als je afwasmiddel voorzichtig in het water spuit, zal de punaise gaan zinken. Zal het afwasmiddel de oppervlaktespanning van water vergroten of verkleinen?



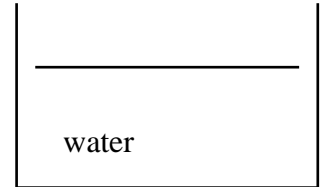
Opgave 5

De adhesie tussen water en glas is groot terwijl de adhesie tussen water en vaseline klein is. Teken nu in de onderstaande figuren een waterdruppel op een glasplaat (links) en een waterdruppel op een glasplaat die is ingesmeerd met vaseline (rechts).



Opgave 6

Water bevindt zich in een aquarium. Zie figuur. De linker wand is met vaseline ingesmeerd, de rechter wand niet. Teken in de figuur hoe het wateroppervlak op de wanden aansluit.



Opgave 7

Stel je laat eerst waterdruppels en daarna alcoholdruppels uit een pipet komen. Het valt dan op dat de waterdruppels veel groter zijn dan de alcoholdruppels. Wat kun je hieruit concluderen?

Opgave 8

In de stam van bomen zitten veel dunne verticale buisjes (haarvaten, capillairen). Waar zouden die voor dienen?

Bijlage: Moleculen en atomen

Moleculen

Stel dat je het volgende gedachtenexperiment uitvoert. Je haalt uit een zak suiker één suikerkorreltje. Met een scherp mesje snijd (of breek) je het korreltje in twee gelijke stukken. Eén helft gooi je weg; de andere helft snijd je weer in twee gelijke stukken. Vervolgens gooi je één helft weer weg en snijd je de andere helft weer in twee gelijke stukken. Je kunt je nu de volgende vraag stellen.

Kun je oneindig lang doorgaan met het halveren van suikerkorreltjes of juist niet? (nog afgezien van praktische problemen zoals een bot mesje en het niet meer kunnen zien van zeer kleine korreltjes)

Deze vraag stelde men zich al in de oudheid. Pas in de negentiende eeuw kon men op grond van experimenten een antwoord geven op deze vraag.

Suiker bestaat uit kleinste deeltjes, moleculen genoemd. Zo'n suikermolecuul kun je niet splitsen in kleinere suikerdeeltjes.

Een molecuul suiker bestaat overigens wel uit kleinere delen: atomen. Maar die atomen zijn op zichzelf geen suiker meer te noemen.

Het bovenstaande, dat betrekking heeft op de stof suiker, is geldig voor alle (zuivere) stoffen.

Zo bestaat water uit watermoleculen, zout uit zoutmoleculen en ammoniak uit ammoniak-moleculen. Een molecuul kan nu op de volgende (ouderwetse) manier omschreven worden.

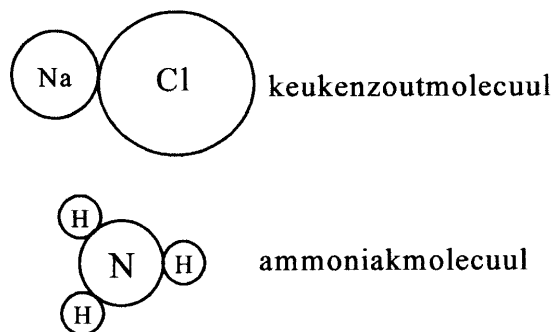
Een molecuul is het kleinste deeltje van een stof, dat nog kenmerkend voor die stof is.

Het is geen wonder dat het bestaan van moleculen pas in de twintigste eeuw werd aangetoond. Moleculen zijn namelijk zéér klein. Bijvoorbeeld zitten er in een glas water ongeveer 7×10^{24} moleculen. Uitgeschreven zijn dat 7.000.000.000.000.000.000.000.000 moleculen.

Een grasveld (te vergelijken met een stof) bestaat uit veel kleine grasplantjes (te vergelijken met moleculen). Een afzonderlijk plantje kunnen we in stukken snijden: een stukje wortel, een stukje stengel en een stukje zaad (te vergelijken met atomen). Een grasplantje is dus wel deelbaar, maar elk deel is op zichzelf geen grasplantje meer.

Atomen

Moleculen zijn opgebouwd uit atomen. Zo bestaat een keukenzoutmolecuul uit één natriumatoom (aangeduid met Na) en één chlooratoom (aangeduid met Cl). Een ammoniakmolecuul bestaat uit één stikstofatoom (aangeduid met N) en drie waterstofatomen (aangeduid met H). Zie de figuren hiernaast.



Er bestaan ongeveer honderd verschillende soorten atomen. Bekende atoomsoorten zijn waterstof (symbool H), zuurstof (symbool O), stikstof (symbool N), chloor (symbool Cl) en ijzer (symbool Fe). Met deze atoomsoorten kunnen miljoenen combinaties gemaakt worden. Elke combinatie stelt een molecuul voor. Iets vergelijkbaars zien we bij het alfabet. Met slechts 26 letters kunnen vele duizenden woorden gemaakt worden.

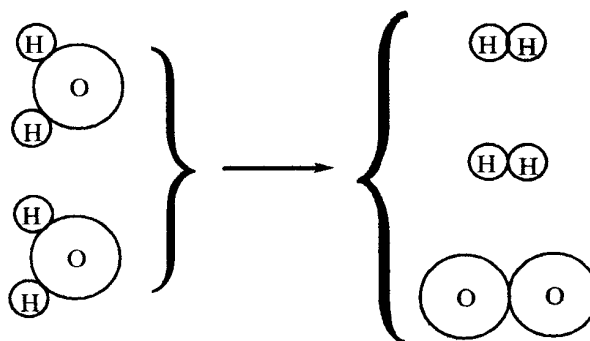
Toch is niet elke combinatie van atomen mogelijk. Zo bestaat een ammoniakmolecuul altijd uit één stikstofatoom en drie waterstofatomen. Er bestaan bijvoorbeeld geen moleculen, die zijn opgebouwd uit één stikstofatoom en vijf waterstofatomen.

Een tweede omschrijving van een molecuul is dus:

Een molecuul is een groepje atomen dat aan elkaar vast zit.

Bij een *scheikundige reactie* verdwijnen er stoffen en komen er nieuwe stoffen voor in de plaats.

Anders gezegd: er verdwijnen moleculen van de ene soort en er ontstaan moleculen van de andere soort. De atomen worden als het ware in nieuwe groepjes ingedeeld. Zie bijvoorbeeld de figuur hiernaast die de ontleding van water in waterstof en zuurstof voorstelt. Watermoleculen verdwijnen en er komen nieuwe moleculen voor in de plaats.



Tijdens een faseverandering van een stof (zoals bij water smelten, bevriezen, verdampen en condenseren) veranderen de moleculen zelf niet. Daarom zijn faseveranderingen geen scheikundige, maar natuurkundige verschijnselen.

Opgaven bij de bijlage

Opgave 1

Geef twee omschrijvingen van een molecuul.

Opgave 2

Uit welke deeltjes zijn moleculen opgebouwd?

Opgave 3

Zijn er meer soorten moleculen of soorten atomen? Licht je antwoord toe.

Opgave 4

Om een idee te krijgen hoeveel moleculen er in bijvoorbeeld 3 gram "kaliumpermanganaat" zitten, kan het volgende proefje worden uitgevoerd.

Drie gram kaliumpermanganaat (in poedervorm) wordt opgelost in 100 mL water. De vloeistof krijgt hierdoor een intens paarse kleur. De oplossing wordt met een factor 10 verdund. Dit wordt gedaan door 90 mL van deze oplossing door de gootsteen te spoelen en de resterende 10 mL met 90 mL water te mengen. Dit verdunnen (steeds met een factor 10) wordt net zolang herhaald totdat de paarse kleur niet meer waarneembaar is.

Stel dat de paarse kleur na 15 keer verdunnen nog net waarneembaar is. Maak dan een schatting hoeveel moleculen er **minstens** in 3 gram kaliumpermanganaat zitten. Tip: Stel dat er na 15 keer verdunnen nog slechts één kaliumpermanganaatmolecuul in de vloeistof zit.