

# Blok 7

## INHOUD

### BASISSTOF

- T1 Vast, vloeibaar en gasvormig 184**  
**W1 186**  
**T2 Gas 186**  
**W2 188**  
**T3 Vloeistof 189**  
**W3 191**  
**T4 Vaste stof 192**  
**W4 194**  
**T5 Fase-overgangen, uitzetting en  
scheikundige veranderingen 195**  
**W5 200**

### HERHAALSTOF

- H1 Het molekuulmodel voor een gas 201**  
**H2 Het molekuulmodel voor een  
vloeistof 204**  
**H3 Het molekuulmodel voor een vaste  
stof 205**  
**H4 Fase-overgangen 207**

### EXTRASTOF

- E1 Hoeveel lucht heb je nodig om te  
ademen? 209**  
**E2 Hoe hoog is de lucht? 210**  
**E3 Oefenvragen en opgaven 212**



## LEERDOELEN

- 1 Je moet weten welke gassen in de lucht voorkomen. [T1]
- 2 Je moet vijf verschillende gassen kunnen noemen. [P1, T1, W1]
- 3 Je moet tien verschillende vloeistoffen kunnen noemen. [P1, T1, W1]
- 4 Je moet tien verschillende vaste stoffen kunnen noemen. [P1, T1, W1]
- 5 Je moet de drie fasen of aggregatietoestanden kunnen noemen. [P1, T1, T5]
- 6 Je moet minstens vijf eigenschappen van gassen kunnen opschrijven, die we met de proefjes in P2 hebben ontdekt. [P2, T2, W2]
- 7 Je moet de kenmerken van het molekuulmodel voor een gas kunnen opschrijven. [T2, W2]





# Vloeibaar, vast en gasvormig

- 8 Je moet weten wat diffusie is. Je moet dit verschijnsel kunnen verklaren met het molekuulmodel bij een gas en bij een vloeistof. [P2, T2, W2; P3, T3, W3]
- 9 Je moet weten wat de brownbeweging is en hoe je deze beweging met het molekuulmodel bij een gas of bij een vloeistof kunt verklaren. [P2, T2, W2; T3]
- 10 Je moet de proeven uit het practicum en eventuele nieuwe proefjes kunnen verklaren met het molekuulmodel. [P2, T2; P3, T3, W3; P4, T4]
- 11 Je moet minstens vijf eigenschappen van vloeistoffen kunnen opschrijven, die we met de proefjes in P3 hebben ontdekt. [P3, T3, W3]
- 12 Je moet de kenmerken van het molekuulmodel voor een vloeistof kunnen opschrijven. [T3]
- 13 Je moet weten dat een stof uitzet bij verwarmen en dat de mate van uitzetting afhangt van de uitzettingscoëfficiënt. [P3, T3; P4, T4, W4; T5]
- 14 Je moet weten hoe men in de praktijk rekening houdt met en gebruik maakt van uitzetting. [P3; T5]
- 15 Je moet minstens vijf eigenschappen van vaste stoffen kunnen opschrijven, die we met de proefjes in P4 hebben ontdekt. [P4, T4, W4]
- 16 Je moet de kenmerken van het molekuulmodel voor een vaste stof op kunnen schrijven. [T4]
- 17 Je moet weten wat er met de molekulen gebeurt bij de fase-overgang van vast naar vloeibaar. [W4; T5, W5]
- 18 Je moet weten dat de meeste vaste stoffen uit kristallen bestaan. [P4, T4, W4; P6]
- 19 Je moet weten hoe een bimetaal werkt. [P4; T5]
- 20 Je moet weten wat er met de molekulen gebeurt bij de fase-overgang van vloeibaar naar gas. [T5, W5]
- 21 Je moet weten dat faseveranderingen omkeerbaar zijn. [P5, T5]
- 22 Je moet weten dat molekulen zijn opgebouwd uit atomen. [T5]
- 23 Je moet weten dat er ongeveer 100 verschillende atomen zijn. [T5]
- 24 Je moet weten welke verschillen er zijn tussen het molekuulmodel bij een vaste stof en bij een vloeistof. [T5]
- 25 Je moet weten welke verschillen er zijn tussen het molekuulmodel bij een vloeistof en bij een gas. [T5]
- 26 Je moet weten wat het verschil is tussen een natuurkundige en een scheikundige verandering. [T5]
- 27 Je moet weten dat het herschikken van molekulen een natuurkundig proces (een fase-overgang) is, dat je gemakkelijk kunt omkeren. [T5]
- 28 Je moet weten dat het herschikken van atomen een scheikundig proces is, dat je meestal niet óf zeer moeilijk kunt omkeren. [T5]

## T1 Vast, vloeibaar en gasvormig

In P1 hebben we een lijst gemaakt van vaste stoffen, vloeistoffen en gassen en hun eigenschappen. De meeste van deze stoffen ken je misschien al. Maar er zijn er beslist bij waar je nog nooit van gehoord hebt. Tot de vaste stoffen behoren metalen zoals ijzer, zink, koper, zilver, goud en lood. Andere vaste stoffen zijn hout, plastic, glas, steen, leer, beton enzovoorts. Je kent ook heel wat vloeistoffen. Melk, limonade, thee, koffie, spiritus, bleekmiddel, afwasmiddel, olie, slaolie, benzine, verf, terpentijn en vele andere vloeistoffen kom je dagelijks tegen. Water is de meest voorkomende vloeistof op aarde.

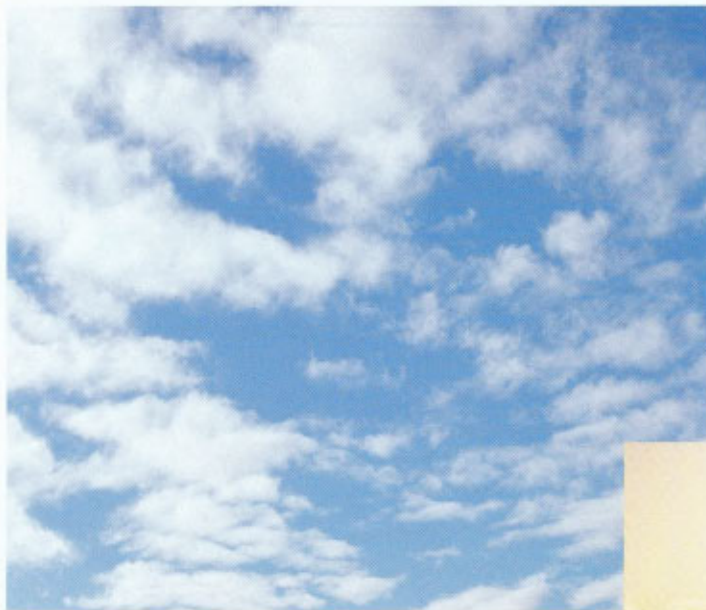


FIG. 1



### DE SAMENSTELLING VAN DE LUCHT

De lucht om ons heen bestaat niet uit één gas maar uit een mengsel van gassen. Lucht bestaat voor 21% uit zuurstof, voor 78% uit stikstof en voor 1% uit edelgassen (vooral argon) en stikstofdioxide.

Deze gassen kunnen we niet zien, ruiken of proeven. Toch voel je vaak genoeg dat er lucht om je heen is. Je merkt er iets van, als het waait en als je op de fiets zit. Wat je voelt, is de lucht die tegen je aan botst.

De meeste gassen kun je niet van elkaar onderscheiden, omdat ze kleurloos zijn. In de lucht zit – naast stikstof en zuurstof – ook koolstofdioxide en waterdamp. Bovendien zijn er afvalgassen van industrie en verkeer.

Afvalgassen zijn vaak slecht voor je gezondheid. Sommige veroorzaken zure regen. Dit zijn onder andere stikstofoxides, zwaveldioxide en ammoniak. De laatste twee gassen kun je erg goed ruiken. Andere bekende gassen zijn butaan, propaan (beide worden gebruikt als LPG en als flessegas), koolstofdioxide, waterstof en ozon. Ozon komt in de buitenste lagen van de dampkring voor. Het werkt als filter voor de schadelijke ultraviolette straling van de zon. De beschermende ozonlaag wordt de laatste jaren steeds dunner. Dit komt voor een belangrijk deel door de vernietigende werking van drijfgassen, onder andere uit spuitbussen.

Ozon wordt in kleine hoeveelheden gevormd bij onweer en is dan soms te ruiken.

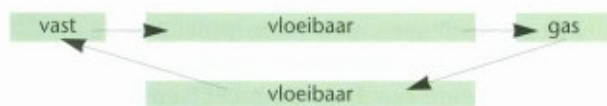


FIG. 2



Ijs, water en waterdamp staan in verschillende tabellen, maar het is dezelfde stof. De stof water komt voor in drie fasen: vast, vloeibaar en gasvormig (figuur 3). Water gaat bij 0 °C over van vast naar vloeibaar. We noemen dit het *smeltpunt*. Bij 100 °C gaat vloeibaar water over in waterdamp. Dit punt noemen we het *kookpunt*.

FIG. 3



Net als water kunnen de meeste stoffen voorkomen in de drie fasen: vast, vloeibaar of gasvormig. Bij een bepaalde temperatuur gaat een stof over van vast naar vloeibaar. We noemen dit het smeltpunt. Elke stof heeft zijn eigen smeltpunt. Bij het kookpunt gaat de stof over van de vloeibare naar de gasvormige fase. In figuur 4 staan een aantal smeltpunten en kookpunten. (Deze tabel hoef je niet uit je hoofd te leren.)

FIG. 4

stof	smeltpunt in °C	kookpunt in °C
goud	1064	2807
ijzer	1530	3000
koolstof	3550	4827
koper	1083	2567
paraffine	54	218
platina	1770	3800
tin	232	2360
wolfraam	3410	5660



## CHEMISCHE FORMULES

In de scheikunde worden stoffen aangegeven met formules. Uit de formules blijkt hoe hun moleculen zijn opgebouwd.

Een paar bekende chemische formules zijn:

- waterstof ( $H_2$ )
- zuurstof ( $O_2$ )
- ozon ( $O_3$ )
- koolstofdioxide ( $CO_2$ )
- zwaveldioxide ( $SO_2$ )
- ammoniak ( $NH_3$ )

H is het symbool van het element waterstof, O van zuurstof, C van koolstof, S van zwavel en N van stikstof.

$H_2$  betekent: een molecuul waterstof bevat twee waterstofatomen;

$O_2$  betekent: een molecuul zuurstof bevat twee zuurstofatomen.

Zo bevat een molecuul ozon drie zuurstofatomen.

Een molecuul kooldioxyde bevat één koolstofatoom en twee zuurstofatomen, enzovoorts.

In de scheikundeblokken komen we hierop nog terug.

- 1 **a** Noem tien stoffen die onder normale omstandigheden vast zijn.  
**b** Aan welke eigenschappen kun je herkennen dat een stof vast is?
- 2 **a** Noem vijf stoffen die onder normale omstandigheden vloeibaar zijn.  
**b** Aan welke eigenschappen kun je herkennen dat een stof vloeibaar is?
- 3 **a** Noem vijf stoffen die onder normale omstandigheden gasvormig zijn.  
**b** Aan welke eigenschappen kun je herkennen dat een stof gasvormig is?
- 4 Welke stoffen kom je in het dagelijks leven tegen in verschillende fasen (vloeibaar, vast of gasvormig)?
- 5 **a** Waarom wordt kwik veel gebruikt als thermometer-vloeistof?  
**b** Welke andere vloeistof wordt daar ook wel voor gebruikt?
- 6 Welke eigenschappen zijn verschillend bij gassen en vloeistoffen? (Denk aan samendrukbaarheid, brandbaarheid enzovoorts.)
- 7 Welke eigenschappen zijn verschillend bij vloeistoffen en vaste stoffen?

### Eigenschappen van gassen

Aan de hand van de proeven uit P2 ben je veel te weten gekomen over gassen.

De belangrijkste eigenschappen van gassen zijn:

- 1 Een gas heeft massa (proef 4).
- 2 Een gas neemt ruimte in (proef 1 en 2).
- 3 Een gas heeft geen vaste vorm (proef 2 en 3).
- 4 Een gas kun je samenpersen (proef 2 en 3).
- 5 Een gas oefent een druk uit (proef 5 en 6).
- 6 Een gas vertoont diffusie (proef 7).
- 7 Een gas veroorzaakt brownbeweging (proef 8).
- 8 Het volume van een gas hangt af van de temperatuur (proef 9).

FIG. 5 Een 'eenvoudig' model van een windtunnel.



We proberen de eigenschappen van gassen te begrijpen door ons een voorstelling van een gas te maken. We maken een *model*, waarmee we de eigenschappen kunnen verklaren. Met zo'n model kun je je beter voorstellen hoe een gas in elkaar zit. Je kunt dan nauwkeurig voorspellen hoe gassen zich onder bepaalde omstandigheden gaan gedragen.

In de natuurkundelessen spreken we van een model, als we het hebben over een vereenvoudigde ‘voorstelling’ van de werkelijkheid. Vaak proberen we een model zichtbaar te maken met tekeningen (figuur 5).

FIG. 6 Schaalmodel.



#### VOORBEELDEN VAN MODELLEN

In veel situaties worden modellen gebruikt. Denk aan schaalmodellen van vliegtuigen of schepen, aan modellen van planten en bloemen in de biologieles, aan een maquette van een woning of aan een schaalmodel van ons zonnestelsel. Deze modellen geven ons meer inzicht hoe de situatie er in werkelijkheid uitziet. Dank zij dat inzicht zijn we in staat beter voorspellingen te doen in andere situaties (figuur 6).

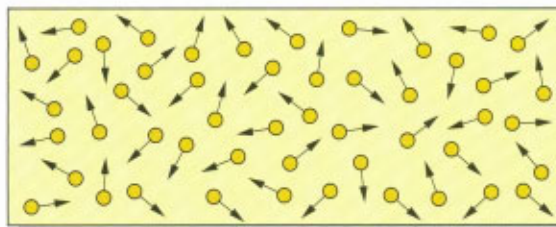
### Het molekuulmodel bij een gas

We maken een model, waarmee we de eigenschappen van gassen kunnen verklaren. Dit model heeft de volgende kenmerken:

- 1 Een gas bestaat uit kleine deeltjes die we *molekulen* noemen.
- 2 De molekulen hebben massa.
- 3 Er zit veel ruimte tussen de molekulen.
- 4 De molekulen bewegen voortdurend.
- 5 De molekulen botsen tegen elkaar en tegen de wand van de ruimte waar het gas in zit.
- 6 De snelheid van de molekulen hangt af van de temperatuur; bij temperatuurstijging neemt de snelheid toe.

We noemen dit model het *molekuulmodel*. Een getekende voorstelling van dit model zie je in figuur 7.

FIG. 7 Voorstelling van het molekuulmodel bij een gas: de molekulen bewegen kriskras door elkaar en botsen voortdurend.



Met behulp van het molekuulmodel kunnen we de proeven uit het practicum verklaren. Als voorbeeld nemen we de verspreiding van het bruine gas over de twee cilinderglazen (P2 proef 7). Na circa 10 minuten had het bruine gas in de onderste cilinder zich verspreid over beide cilinders. In de bovenste cilinder zat eerst alleen lucht. Het zwaardere bruine gas zat in de onderste cilinder. Ondanks dat het bruine gas zwaarder is dan lucht (Je kon het ‘overgieten’ in een cilinder-glas waar al lucht in zat!) heeft het zich toch spontaan met de lucht uit het bovenste glas gemengd. Anderzijds had de lichtere lucht uit het bovenste glas zich óók spontaan gemengd met het zwaardere gas uit het onderste glas.

We kunnen dit alles verklaren met de volgende kenmerken van het molekuulmodel bij een gas:

*Kenmerk 3:* de molekulen zitten ver van elkaar. Ze kunnen gemakkelijk langs elkaar bewegen.

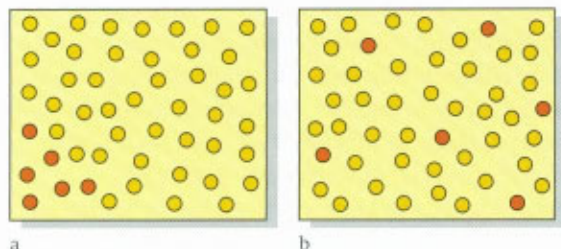
*Kenmerk 4:* de molekulen bewegen voortdurend. Ze zullen na enige tijd ook tussen de luchtmolekulen zijn gekomen.

Bij deze proef hebben het bruine gas en de lucht zich vanzelf gemengd.

Dit verschijnsel noemen we *diffusie*. Diffusie van gasen maakt het mogelijk dat je allerlei geuren kunt ruiken (figuur 8).

Een bewijs voor het bewegen van de molekulen in de gasfase is de brownbeweging (proef 8 van P2). Je zag lichte, kleine rookdeeltjes willekeurig bewegen. Je kunt dit verklaren door aan te nemen dat er voortdurend molekulen tegen botsen. De brownbeweging is alleen bij kleine stofdeeltjes zichtbaar. Grotere deeltjes zijn te zwaar. Er botsen veel meer molekulen van alle kanten tegelijk tegen aan. Daardoor is de kans kleiner dat het rookdeeltje één bepaalde kant op gaat. In T3 komen we nog op de brownbeweging terug.

FIG. 8 De molekulen uit het aardgas en de lucht mengen zich vanzelf. Dit noemen we diffusie.



- 1 **a** Schrijf de kenmerken op van het molekuulmodel bij een gas.  
**b** Noem vijf eigenschappen van een gas.
- 2 Als een flesje parfum kapotvalt, verdamppt het parfum. Binnen de kortste keren kun je in de gehele omgeving van de geur genieten. Met welk verschijnsel is dit te verklaren?
- 3 Als je door een rietje luchtballen in een glas water blaast, gaan de ballen omhoog (figuur 9). Hoe kun je dit verklaren?

FIG. 9



- 4 **a** Wat verstaan we onder de brownbeweging?  
**b** Hoe is deze beweging te verklaren met het molekuulmodel?
- 5 Waarom vertonen regendruppels, die door de lucht naar beneden vallen, geen brownbeweging?

- 6 Een plastic tuitfles is voor de helft gevuld met water. We blazen lucht via de tuit in de fles. Als we ophouden met blazen, komt er vanzelf water uit de tuit (figuur 10).

**a** Leg met het molekuulmodel uit waarom er water uit de fles komt.

**b** Verklaar waarom de fles na een tijdje ophoudt met spuiten.

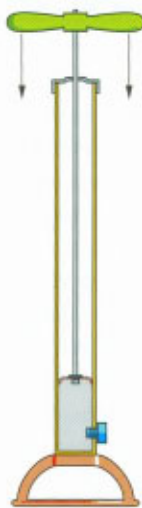
Als we deze fles een tijdje in de zon zetten, komt er weer water uit.

**c** Verklaar dit.

FIG. 10



FIG. 11



- 7 **a** Verklaar met het molekuulmodel waarom het gas in een afgesloten fietspomp samengeperst kan worden (figuur 11).

**b** Verklaar bovendien waarom het samenpersen steeds moeilijker gaat en je tenslotte de lucht niet nóg meer kunt samenpersen.

## Eigenschappen van vloeistoffen

Aan de hand van de proeven uit P3 ben je veel te weten gekomen over vloeistoffen. De belangrijkste eigenschappen van vloeistoffen zijn:

- 1 Vloeistof heeft massa.
- 2 Vloeistof neemt ruimte in.
- 3 Vloeistof heeft geen vaste vorm.
- 4 Vloeistof is bijna niet samendrukbaar.
- 5 Vloeistof oefent druk uit.
- 6 Vloeistof vertoont cohesie.
- 7 Vloeistof vertoont diffusie.
- 8 Vloeistof veroorzaakt brownbeweging.

## Toelichting

### EIGENSCHAP 1

Een hoeveelheid vloeistof heeft massa (P2 proef 4). De dichtheid van vloeistoffen is groter dan van gassen: 1 cm<sup>3</sup> vloeistof heeft een grotere massa dan 1 cm<sup>3</sup> gas (figuur 12).

FIG. 12



### EIGENSCHAP 2

Een vloeistof neemt ruimte in. Het volume van 1 kg gas is veel groter dan van 1 kg vloeistof van dezelfde stof.



### EIGENSCHAP 3

Vloeistoffen hebben geen vaste vorm. Ze nemen de vorm aan van de ruimte (glas, beker) waarin we ze gieten (P3 proef 2a). Je kunt ook met een voorwerp door de vloeistof bewegen.

### EIGENSCHAP 4

Vloeistoffen zijn bijna niet samendrukbaar (P3 proef 1 en figuur 13). Dat betekent nog niet dat ze een vast volume hebben (P3 proef 5). Bij het mengen kan volumeverandering optreden (P3 proef 8).

FIG. 13



### EIGENSCHAP 5

Vloeistoffen oefenen druk uit op de wand van de ruimte waarin ze zich bevinden. Als je een gat maakt in de wand, spuit de vloeistof eruit (P3 proef 2b).

### EIGENSCHAP 6

Een vloeistof vertoont cohesie. Dat wil zeggen dat de vloeistof een samenhangend geheel vormt. Er is dus kracht nodig om een hoeveelheid vloeistof in kleinere gedeelten te verdelen. Afzonderlijke kwikdruppels willen weer graag één geheel vormen (P3 proef 6 en 7).

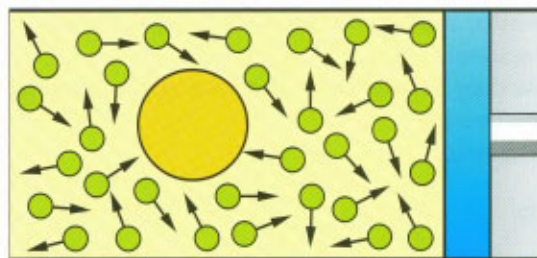
### EIGENSCHAP 7

Vloeistoffen mengen zich vanzelf (P3 proef 3). Dit verschijnsel noemen we *diffusie*. Het mengen gaat alleen veel langzamer dan bij gassen.

### EIGENSCHAP 8

Kleine deeltjes voeren in een vloeistof een willekeurige beweging uit (P3 proef 4). We noemen dit de brownbeweging (figuur 14).

FIG. 14 De brownbeweging.



### Het molekuulmodel bij een vloeistof

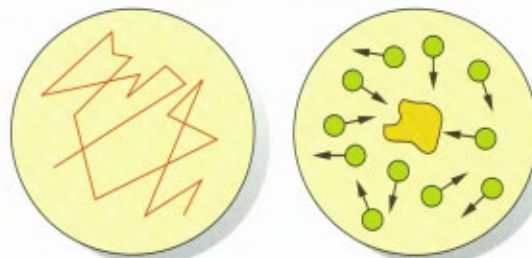
Ook voor vloeistoffen kun je een model maken. Met dat model moet je de eigenschappen van vloeistoffen kunnen verklaren.

De kenmerken van het molekuulmodel bij een vloeistof zijn:

- 1 Een vloeistof bestaat uit molekulen.
- 2 De molekulen hebben massa.
- 3 Er zit weinig ruimte tussen de molekulen.
- 4 Molekulen bewegen voortdurend in een willekeurige richting. De snelheid van de molekulen neemt toe bij hogere temperatuur.
- 5 Molekulen botsen tegen elkaar en tegen de wand.
- 6 Molekulen trekken elkaar aan. Deze kracht noemen we de vanderwaalskracht of cohesiekracht.

Met dit molekuulmodel kunnen we veel verschijnselen bij vloeistoffen verklaren.

FIG. 15 Model van de brownbeweging.



**VOORBEELD 1:** Bij de *brownbeweging* (figuur 15) botsen de molekulen tegen grotere deeltjes vaste stof. Deze deeltjes kun je onder de microscoop wel zien, de veel kleinere molekulen niet (proef 10). Volgens kenmerk 5 botsen de molekulen tegen elkaar en tegen de wand. Ze botsen dus ook tegen de grotere deeltjes in de vloeistof. Omdat de beweging van de molekulen geheel willekeurig is, zullen er soms wat meer molekulen tegen de linkerkant van het deeltje botsen, en even later wat meer tegen de rechterkant, enzovoorts. Daardoor bewegen de deeltjes willekeurig.

**VOORBEELD 2:** Twee verschillende vloeistoffen mengen zich vanzelf. Dit noemen we *diffusie*. Volgens kenmerk 4 bewegen de molekulen voortdurend. Volgens kenmerk 3 zit er ruimte tussen de molekulen. Doordat de snelheid van de molekulen laag is en er weinig ruimte tussen de molekulen zit, zal de diffusie niet snel gaan. Dit klopt. We hebben ontdekt dat diffusie bij gassen veel sneller gaat.

**VOORBEELD 3:** Het *uitzetten van vloeistoffen* kunnen we ook verklaren met de kenmerken 3 en 4. Als de temperatuur stijgt, bewegen de molekulen sneller. Zo komt er meer ruimte is tussen de molekulen.

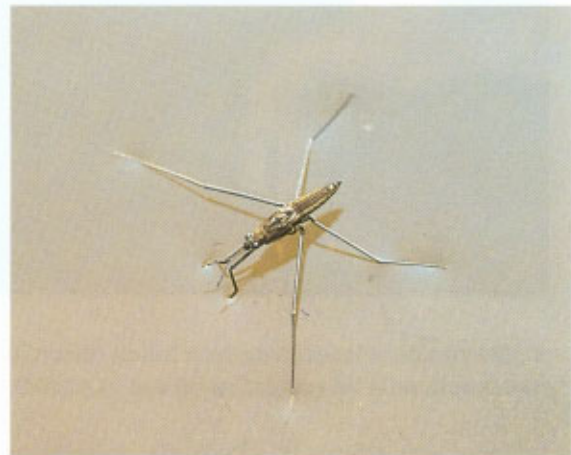


#### DE ONTDEKKING VAN DE BROWNBEGEGING

De Engelse bioloog Robert Brown (1773-1858) ontdekte in 1827 met behulp van een microscoop dat zeer kleine deeltjes, zoals plantesporen, in een vloeistof voortdurend wanordelijk bewegen, ook al is de vloeistof geheel in rust. Brown kon de bewegende deeltjes wel door zijn microscoop zien, maar niet de veel kleinere molekulen die er voortdurend tegenaan botsten. Daarom kon hij geen verklaring geven voor dit verschijnsel. Pas door het werk van Einstein en anderen, vlak na 1900, weten we nu dat deze deeltjes heen en weer bewegen, doordat er voortdurend molekulen tegen botsen.

- 1 **a** Schrijf de kenmerken op van het molekuulmodel bij een vloeistof.  
**b** Noem vijf eigenschappen van een vloeistof.
- 2 Sommige insecten kunnen op het water lopen (figuur 16).  
**a** Met welke proef uit P3 is dit te vergelijken?  
**b** Hoe kun je dit verklaren met het molekuulmodel bij een vloeistof?

FIG. 16



- 3 **a** Maak een tekening (zijaanzicht) van een waterdruppel en een kwikdruppel op een glasplaat.  
**b** Verklaar de vorm van de waterdruppel en de kwikdruppel met behulp van het molekuulmodel bij een vloeistof.

- 4 Bij een druppelende kraan groeien de druppels langzaam aan. Op een gegeven moment valt de druppel (figuur 17).

- a Welke krachten spelen hierbij een rol?  
b Waarom kan de druppel niet aan de kraan blijven hangen?

FIG. 17



- 5 Welke zijn de belangrijkste verschillen tussen het molekuulmodel bij een gas en bij een vloeistof?
- 6 Waarom gaat diffusie bij vloeistoffen langzamer dan bij gassen?
- 7 Leg met het molekuulmodel uit waarom een gas wel samendrukbaar is, en een vloeistof bijna niet.

### Eigenschappen van vaste stoffen

Net als bij de opbouw van het molekuulmodel bij een gas en bij een vloeistof, noteren we eerst de eigenschappen van de vaste stof. Daarna komt het molekuulmodel bij een vaste stof, waarmee al deze eigenschappen verklaard kunnen worden.

- 1 Een vaste stof heeft massa.
- 2 Een vaste stof neemt ruimte in.
- 3 Een vaste stof heeft een eigen, vaste vorm en is niet samendrukbaar.
- 4 Een vaste stof is moeilijk te vervormen.
- 5 Een aantal vaste stoffen is oplosbaar.

### Toelichting

#### EIGENSCHAPPEN 1 EN 2

De dichtheid van een stof in de vaste fase is iets groter dan die van dezelfde stof in de vloeibare fase. Ijs is een uitzondering op deze regel (P4 proef 1).

#### EIGENSCHAP 3

Een vaste stof heeft een constant volume en is niet samendrukbaar. Vaste stoffen vormen voorwerpen met een eigen structuur. Je kunt ze niet schenken in een andere vorm zoals bij gassen en vloeistoffen (P4 proef 2). Uitzonderingen zijn stoffen als elastiek en schuimrubber. Schuimrubber is elastisch en bevat heel veel kleine luchtbelletjes, die gemakkelijk te vervormen zijn.

Als je een vloeistof afkoelt, gaat deze stollen. Vaak kristalliseert de stof hierbij (P4 proef 3 en 4). Er ontstaat een vaste stof met een regelmatige structuur. Aan de vorm van de kristallen kun je soms zien welke stof het is (figuur 18).

#### EIGENSCHAP 4

Een vaste stof is moeilijk te vervormen (P4 proef 2). Als een voorwerp tijdelijk van vorm verandert en daarna weer zijn oorspronkelijke vorm aanneemt, zeggen we dat de vaste stof *elastisch* is.



FIG. 18 Sneeuwkrystallen.



#### EIGENSCHAP 5

De meeste vaste stoffen kunnen opgelost worden in een vloeistof (oplosmiddel). Zo lost suiker op in water. We spreken dan van een suikeroplossing (P4 proef 4). Hoe hoger de temperatuur, hoe groter de hoeveelheid suiker die kan worden opgelost en hoe sneller het gaat. De suiker kun je weer terugkrijgen door het water te verdampen.



#### SUIKER WINNEN UIT EEN OPLOSSING

Het verdampen van het water uit een suikeroplossing moet bij lage temperatuur gebeuren. Want als je suiker te hoog verhit, gaat het ontleden. De suiker 'verkoolt' dan en wordt dus zwart.



#### KRISTALLEN IN DE AARDKORST

Bij het stollen van de aardkorst zijn vele stoffen uitgekristalliseerd, zoals zand, basalt, mica en diamant. Edelstenen hebben een prachtige, doorzichtige kristalstructuur (figuur 19 en 20). Ook in de potjes met stoffen die bij de scheikunde gebruikt worden, zie je vaak mooie kristallen.

FIG. 19 Ruimtelijke ordening in de vaste stof: stapeling van molekulen volgens een vast patroon, het kristalrooster.

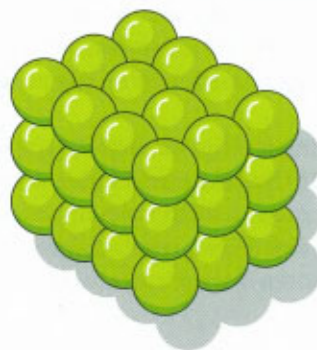
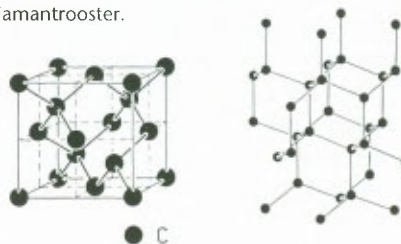


FIG. 20 Diamantrooster.



### Het molekuulmodel bij een vaste stof; uitzetting

De kenmerken van het model voor een vaste stof zijn:

- 1 Een vaste stof bestaat uit molekulen.
- 2 De molekulen hebben massa.
- 3 De molekulen zitten dicht op elkaar gerangschikt, op een vaste plaats in een rooster. De vorm van het rooster is kenmerkend voor de stof.
- 4 De molekulen maken een trillende beweging rond een vaste plaats.
- 5 De vanderwaalskrachten tussen de molekulen zijn erg groot.

Ook met dit model kunnen we weer een aantal eigenschappen verklaren.

VOORBEELD 1: Waarom zien *keukenzoutkristallen* er allemaal hetzelfde uit? Je kunt dit verklaren met kenmerk 3, waarin staat dat de molekulen in een rooster gerangschikt zijn. Het rooster wordt verklaard door kenmerk 5: de grote vanderwaalskrachten tussen de molekulen.

Een regelmatige stapeling is altijd de dichtste stapeling (zie P6 vraag 1 en 2). Omdat de molekulen door hun aantrekkende krachten zo dicht mogelijk bijeen willen zitten, zullen ze zich in een regelmatige stapeling rangschikken. Ze zitten dus op 'vaste' plaatsen ten opzichte van elkaar.

VOORBEELD 2: Als de temperatuur hoger wordt, zet een vaste stof uit. Volgens kenmerk 4 trillen de molekulen rond een vaste plaats. Stijgt de temperatuur, dan gaan de molekulen sneller trillen. Daardoor duwen ze elkaar verder uiteen. Het volume van de vaste stof wordt groter. Omdat de massa even groot blijft, neemt de dichtheid af.  
(dichtheid = massa : volume)

- 1 **a** Schrijf de kenmerken op van het molekuulmodel bij een vaste stof.  
**b** Noem vijf eigenschappen van een vaste stof.
- 2 **a** Waarom zinkt vaste paraffine in vloeibare paraffine?  
**b** Wat gebeurt er met het volume van paraffine tijdens het stollen?  
**c** Wat gebeurt er dan met de onderlinge afstand van de molekulen?
- 3 Wat zijn de belangrijkste verschillen tussen het molekuulmodel bij een vaste stof en bij een vloeistof?
- 4 Een plastic voorwerp is vaak gemakkelijk te vervormen.  
Verklaar dit met het molekuulmodel bij een vaste stof.
- 5 Als je een koperdraad een flinke klap met een hamer geeft, verandert de vorm. Wat gebeurt er bij deze vervorming met:  
**a** de molekulen?  
**b** het rooster?  
**c** de dichtheid?
- 6 Zegt de vorm van de suikerkristallen op de foto (figuur 21) iets over de vorm van de molekulen of over de manier waarop de molekulen zijn gerangschikt? Verklaar je antwoord.

FIG. 21 Suikerkristallen.



- 7 Een blokje heeft een massa van 250 g. Het volume is  $40,0 \text{ cm}^3$ .

**a** Bereken de dichtheid van het blokje (in twee cijfers achter de komma).

Het blokje wordt verwarmd en zet daardoor uit. Het nieuwe volume is  $40,3 \text{ cm}^3$ .

**b** Verklaar met het molekuulmodel bij een vaste stof dat het blokje uitzet, als je het verwarmt.

**c** Bereken de dichtheid van het blokje, als het verwarmd is (in twee cijfers achter de komma).

## BLOK 7 BASISSTOF

### T5 Fase-overgangen, uitzetting en scheikundige veranderingen

Een stof kan in drie fasen voorkomen: de vaste, de vloeibare en de gasvormige fase.

#### Een stof in de vaste fase

Iedere stof bestaat uit molekulen. In de vaste fase zitten de molekulen op vaste plaatsen in een rooster. De aantrekkende kracht tussen de molekulen is groot. Als je de stof verwarmt, gaan de molekulen harder trillen rond hun vaste plaats. De molekulen duwen elkaar verder opzij: de stof zet uit.

#### Van vast naar vloeibaar

Omdat bij temperatuurstijging de afstand tussen de molekulen steeds groter wordt, zal de aantrekkingskracht tussen de molekulen afnemen.

Bij een bepaalde temperatuur smelt de stof. Door de temperatuurstijging zijn de molekulen dan zó heftig gaan trillen, dat ze los raken uit het rooster. De onderlinge aantrekking werd immers óók kleiner.

De molekulen blijven nog wel dicht bij elkaar bewegen. Deze overgang heet *smelten*. Koel je een vloeistof af, dan rangschikken de molekulen zich bij een bepaalde temperatuur weer volgens het rooster. De stof stolt. De temperatuur waarbij een stof smelt, is gelijk aan de temperatuur waarbij die stof stolt. Deze temperatuur heet het *smeltpunt* van de stof (temperatuur smeltpunt = temperatuur stolpunt). Het smeltpunt is voor iedere stof anders (figuur 22).



#### SMELTPUNT EN SMELTTRAJECT

Een stof smelt en stolt alléén bij één bepaalde temperatuur, als het een 'zuivere stof' is. Dat wil zeggen: als de stof maar uit één soort molekulen bestaat. Frituurvet bijvoorbeeld is geen zuivere stof, en heeft daarom geen smeltpunt maar een smeltraject.



FIG. 22

stof	smeltpunt in °C	kookpunt in °C
alcohol	– 115	78
frituurvet	50	250
goud	1064	2807
helium	– 272	– 269
ijzer	1530	3000
jodium	vaste stof, verdampt	184
kamfer	vaste stof, verdampt	ontleedt
koolstof	3550	4827
koolstofdioxide	– 79	– 57
koper	1083	2567
kwik	– 39	357
naftaleen	vaste stof, verdampt	ontleedt
paraffine	54	218
platina	1770	3800
tin	232	2360
water	0	100
waterstof	– 259	– 253
wolfraam	3410	5660
zuustof	– 218	– 183

Een vloeistof verwarmen

Als een vloeistof verwarmd wordt, gaan de molekulen nog sneller bewegen: de vloeistof zet uit. Als de temperatuur één graad stijgt, zet een vloeistof meer uit dan een vaste stof. We gebruiken deze eigenschap bij een *thermometer*. Als je met een thermometer de temperatuur meet, worden zowel het glas, als de vloeistof warmer. Omdat de vloeistof veel méér uitzet dan het glas, stijgt de vloeistof in het capillair (het nauwe buisje op het vloeistofreservoir).

FIG. 23 Overzicht van de kenmerken van het molekuulmodel voor de verschillende fasen.

kenmerk	gas	vloeistof	vaste stof
bestaat uit molekulen	ja	ja	ja
de molekulen hebben massa	ja	ja	ja
ruimte tussen de molekulen	groot	klein	heel klein
beweging van de molekulen	vrij	langs elkaar	trillen rond vaste plaats
snelheid van de molekulen	heel groot	veel kleiner	klein
vanderwaalskracht tussen de molekulen	niet waargenomen	klein	groot

In een vloeistof zijn altijd wel molekulen die zó snel bewegen, dat ze het vloeistofoppervlak kunnen verlaten. Een vloeistof verdampt altijd een beetje.

Van vloeibaar naar gasvormig

Bij elke temperatuur zijn er wel molekulen die de vloeistof aan het oppervlak kunnen verlaten. Alleen bij het *kookpunt* is de snelheid van de molekulen zó groot, dat er overal in de vloeistof verdamping plaatsvindt. Ondanks de druk van het water ontstaan overal in de vloeistof dampbellen. We zeggen dan dat de vloeistof kookt. Als de temperatuur hoger wordt dan het kookpunt is de stof gasvormig. Beneden het kookpunt condenseert een gas tot vloeistof. In een keuken condenseert de waterdamp tegen een koude ruit.

Een stof in de gasvormige fase

In een gas bewegen de molekulen heel snel. De afstand tussen de molekulen is heel groot. Daardoor is de onderlinge aantrekking tussen de molekulen te verwaarlozen. Als de temperatuur toeneemt, zet het gas uit. De uitzetting bij gassen is veel groter dan bij vaste stoffen en vloeistoffen.

Eén model voor alle fasen

Tot nu toe hebben we gesproken over het molekuulmodel bij een vaste stof, een vloeistof en een gas. In al deze fasen gaat het voor één bepaalde stof om dezelfde molekulen.

Het verschil zit in:

- 1 de snelheid van de molekulen;
- 2 de afstand tussen de molekulen;
- 3 de kracht tussen de molekulen.

We kunnen tot één model bij alle fasen komen, als we aannemen dat:

- 1 bij een hogere temperatuur de snelheid van de molekulen toeneemt;
- 2 door de hogere snelheid de afstand tussen de molekulen toeneemt;
- 3 door de grotere afstand de vanderwaalskracht tussen de molekulen afneemt.

Met dit ene model kun je de eigenschappen in figuur 25 verklaren.

## Andere fase-overgangen

Soms gaat een stof meteen van de vaste fase over in de gasvormige fase. Dit rechtstreeks *verdampen van de vaste stof* wordt *sublimeren* genoemd.

VOORBEELD 1: Bij strenge vorst verdampt de sneeuw (vaak noemt men dat vervluchtigen), zonder eerst te smelten. Dit proces vindt dus alleen plaats, als de buitentemperatuur lager is dan het smeltpunt van ijs.

FIG. 25 Overzicht van de eigenschappen die een stof bezit in de verschillende fasen.

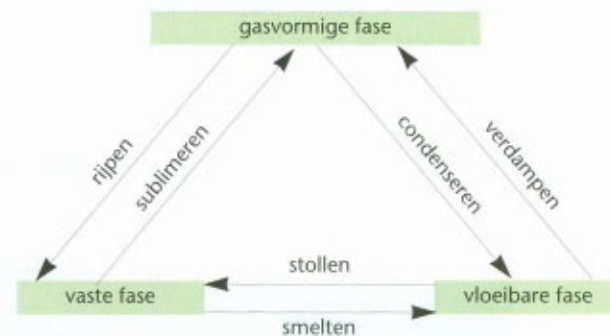
eigenschap	gas	vloeibaar	vaste stof
neemt ruimte in	veel	ja minder	nog minder
heeft vast volume	nee	ja*	ja*
is samendrukbaar	ja	nee	nee
heeft eigen vorm	nee	nee	ja
is elastisch	–	–	ja
oefent druk uit	ja	ja	ja
vertoont diffusie	snel	langzaam	héél langzaam
er is brownbeweging	ja	ja	nee
heeft massa	ja	ja	ja
dichtheid	klein	groot	nog groter**
vertoont cohesie	niet	zwak	heel sterk
bestaat uit kristallen	–	–	de meeste

VOORBEELD 2: Rijp is een vorm van water die rechtstreeks ontstaat uit de gasvormige fase. Bij vorst condenseert 's nachts waterdamp rechtstreeks tot ijs op dunne takjes en grassprietjes. Vergelijk de rijp in een koelkast maar eens met een ijsblokje.

De overgang van gas naar vast heet *condenseren tot een vaste stof* ofwel *rijpen*.

VOORBEELD 3: In kasten waarin wollen kleding of bont bewaard wordt, gebruikt men motteballen (naftaleen). Naftaleen kun je ruiken, want de motteballen sublimeren langzaam. De damp hecht zich aan de wol- en bontvezels, die daardoor onverteerbaar worden voor mottelarven. Bij gebrek aan voedsel komen de larven om.

FIG. 24 Fase-overgangen.



\*Alleen bij één bepaalde temperatuur!

\*\*Meestal, maar ijs is een uitzondering.

## Uitzetting

De uitzetting van een stof hangt af van:

- de soort stof;
- de fase waarin de stof zich bevindt;
- de temperatuurstijging.

De mate waarin een stof uitzet, wordt bepaald door de *uitzettingscoëfficiënt*. Hoe groter de uitzettingscoëfficiënt, hoe meer de stof per graad temperatuurstijging uitzet.

De oorzaak van de uitzetting is de toename van de snelheid van de molekulen bij temperatuurstijging.

Bij een vaste stof gaan de molekulen heftiger rond hun vaste plaats trillen.

Omdat de beweging van molekulen willekeurig is, zullen stoffen in alle richtingen even sterk uitzetten. Een uitzondering hierop zijn niet-homogene stoffen zoals houtsoorten of andere stoffen met een vezelstructuur. In de richting loodrecht op de vezels is de uitzetting hierbij altijd kleiner.

FIG. 26

Links: dilatatievoegen in het wegdek van een brug.  
Rechts: beweegbaar oplegpunt van een stalen spoorbrug.



## UITZETTEN BIJ BOUWCONSTRUCTIES

Bij de bouw van constructies moet rekening worden gehouden met de uitzetting van het materiaal. Bij de bouw van flats en bruggen brengt men speciale voegen aan (zogenaamde dilatatievoegen), die de uitzetting opvangen (figuur 26).

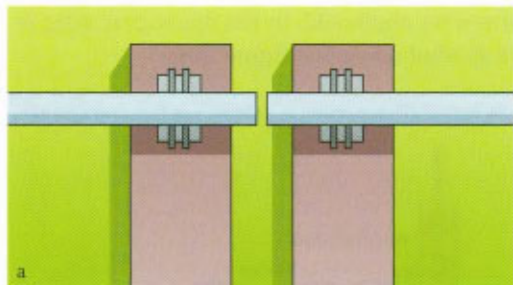
Ook bij het leggen van spoorrails zorgt men voor ruimte tussen de rails (figuur 27). Als deze ruimte ontbreekt, trekken de rails krom (figuur 28).

In de thermostaat van de CV-installatie zit een *bimetaal*. Het bimetaal bestaat uit twee verschillende op elkaar gewalste metalen. Het ene metaal zet meer uit dan het andere. Hierdoor trekt het bimetaal krom, als de temperatuur verandert. Bij verwarming in de ene richting en bij afkoeling in de andere richting (figuur 29).

Men kan voor een sterke verbinding zorgen door een verhitte (dus uitgezette) ring op een as te schuiven en de ring daarna af te koelen. Dit is een zogenaamde 'krimpverbinding'. Vaak worden kogellagers zo op een as bevestigd.



FIG. 27 Dilatatievoegen bij spoorrails (bovenaanzicht):  
a bij korte rails;



b bij lange rails.

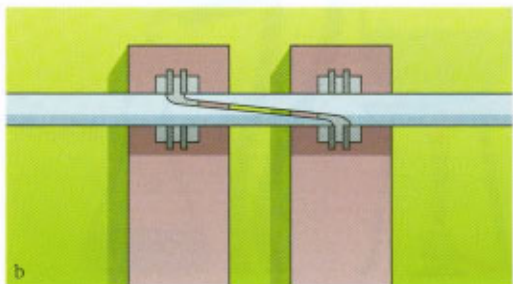


FIG. 28 Hier zie je wat er kan gebeuren, als er onvoldoende ruimte  
tussen de rails gelaten wordt.

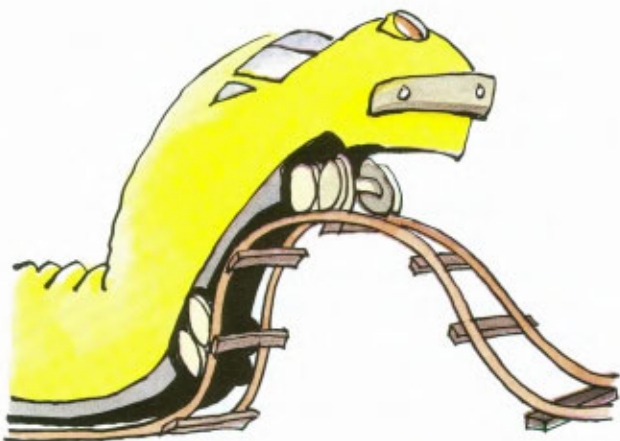
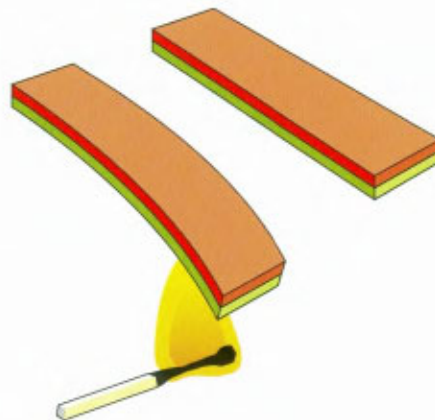


FIG. 29 Een bimetaal trekt bij verwarming krom, omdat het ene  
metaal meer uitzet dan het andere.



### Scheikundige veranderingen van een stof

Je hebt in dit blok alleen naar *natuurkundige veranderingen* gekeken: veranderingen die makkelijk omkeerbaar zijn. Als je de temperatuur verhoogt, kan een vaste stof smelten of een vloeistof verdampen. Koel je de stof af, dan krijg je de oorspronkelijke toestand weer terug. Bij een natuurkundige verandering zijn de molekulen hetzelfde gebleven.

Dit geldt niet voor *alle* veranderingen die een stof kan ondergaan. Bedenk maar eens wat er gebeurt, als je een stukje papier verbrandt. Als je de as van het papier afkoelt, krijg je wel koude as, maar geen papier. Evenmin kun je uit de gassen die ontstaan bij de verbranding van kaarsvet weer kaarsvet maken.

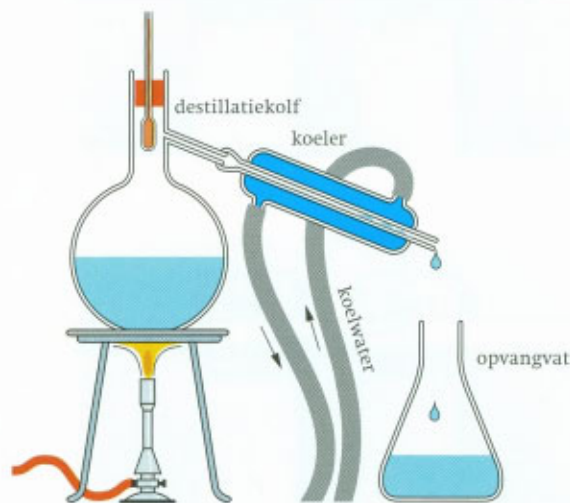
We hebben hier te maken met *scheikundige veranderingen*. Hierbij zijn de molekulen veranderd. Daarom zijn deze veranderingen ook niet eenvoudig terug te draaien. In de scheikundeblokken leer je daar meer over.

Om scheikundige veranderingen te kunnen verklaren moet je het molekuulmodel verder uitbreiden. We nemen aan dat molekulen bestaan uit nog kleinere deeltjes: atomen. Er zijn ongeveer 100 verschillende soorten atomen. Als je molekulen verandert door atomen tot andere molekulen te rangschikken, ben je met scheikunde bezig.

- 1 **a** Schrijf twee stoffen op die vloeibaar zijn bij  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Gebruik de tabel in figuur 22 van T5.  
**b** Schrijf drie stoffen op die gasvormig zijn bij  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 2 **a** Welke verandering treedt er op bij de molekulen als een vaste stof smelt?  
**b** Veranderen de molekulen zelf als een vaste stof smelt?
- 3 Hoe heet de nieuwe fase als een:  
**a** vaste stof verdampt?  
**b** gas condenseert?  
**c** vloeistof stolt?  
**d** vaste stof smelt?
- 4 Hoe heet de fase-overgang van:  
**a** vloeibaar naar vast?  
**b** gas naar vast?  
**c** vast naar vloeibaar?  
**d** vloeibaar naar gas?  
**e** gas naar vloeibaar?
- 5 Wat is het verschil tussen de molekulen van waterdamp en van ijs?
- 6 Als je een ei kookt, gaat het eiwit stollen. Is dit een fase-overgang? Licht je antwoord toe.
- 7 Je verwarmt paraffine van  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  tot het kookpunt.  
**a** Schets de grafiek van de dichtheid (verticaal) tegen de temperatuur (horizontaal) over dit temperatuurtraject.  
**b** Geef in je grafiek het smeltpunt en het kookpunt van paraffine aan.

- 8 Bij het destilleren wordt alcohol verwarmd waarin een vaste stof zit opgelost. Daarna wordt de alcohol damp weer afgekoeld. In het opvangvat krijg je zuivere alcohol terug (zie figuur 30).

FIG. 30 Bij het destilleren maak je gebruik van fase-overgangen.



- a** Van welke fase-overgangen is hier sprake?
- b** Welke temperatuur geeft de thermometer aan, als je alcohol destilleert?
- c** Wat is het voordeel van destilleren, als je een mengsel van alcohol en water in de destillatiekolf hebt?
- 9 Bekijk het destillatietoestel in figuur 30 nog eens goed.  
 Bij de condensatie van alcohol damp komt veel warmte vrij.  
 Je wilt nu zo min mogelijk koelwater gebruiken en er toch voor zorgen dat alle damp in de binnenbuis condenseert.  
 Noem twee redenen waarom je dat niet kunt bereiken door de aansluitingen van de slangen voor de koelwatertoevoer en koelwaterafvoer te verwisselen.

**10 a** Leg met behulp van het molekuulmodel uit wat er gebeurt als een vloeistof kookt.

**b** Wat verstaan we onder sublimeren en wat verstaan we onder rijpen?

**c** Ofschoon ijs en sneeuw kunnen smelten, kan sneeuw ook sublimeren en waterdamp rijp vormen. Leg uit waarom de stof water de verschijnselen sublimeren en rijpen alleen kan vertonen bij temperaturen beneden  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

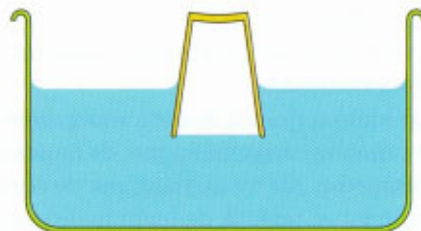
## BLOK 7 HERHAALSTOF

### H1 Het molekuulmodel voor een gas

In deze herhaalstof kun je nog eens zien hoe je met het molekuulmodel bij een gas kunt werken. Natuurkundigen hebben eeuwen gewerkt aan de samenstelling van het model. Ze hebben dit model opgebouwd uit de resultaten van zeer veel proeven. Het molekuulmodel bij een gas is een voorstelling van hoe men denkt dat een gas eruitziet. Hiermee kun je alle proeven verklaren en kun je ook voorspellen wat het resultaat is van proeven die je nog niet hebt uitgevoerd.

- 1 Noteer de eigenschappen van het molekuulmodel voor een gas. Je kunt ze eventueel terugvinden in T2.
- 2 Als je een glas ondersteboven in het water duwt, loopt het niet vol met water (figuur 31). Door welk kenmerk van het molekuulmodel wordt dit verklaard?

FIG. 31



- 3 In figuur 32 zie je een glazen buis waarvan de bodem is aangesloten op een trilapparaat. In de buis liggen een aantal kleine, glazen knikkers. Op de knikkers ligt een kartonnetje dat omhoog en omlaag kan bewegen. Als het apparaat ingeschakeld wordt, gaan de glazen knikkers bewegen. Ze duwen het kartonnetje omhoog. Zet het trilapparaat aan.



FIG. 32



**a** Teken de stand van het kartonnetje. Teken ook de bewegende knikkers.

**b** Als je tijdens het trillen het kartonnetje naar beneden duwt, merk je dat dit steeds moeilijker gaat (figuur 33).

Verklaar dit verschijnsel met kenmerken van het molekuulmodel.

De knikkertjes uit de twee voorgaande proefjes kunnen we vergelijken met de molekulen in een fietspomp. Als we de slang van de fietspomp dichtknijpen en tegelijk de lucht in de pomp samenpersen, merken we hetzelfde als bij de proef in opgave b (figuur 34).

**c** Met welk kenmerk van het molekuulmodel kun je verklaren dat je de lucht in de pomp kunt samenpersen?

**d** Met welk kenmerk van dit model kun je verklaren dat het samenpersen steeds moeilijker gaat?

FIG. 33

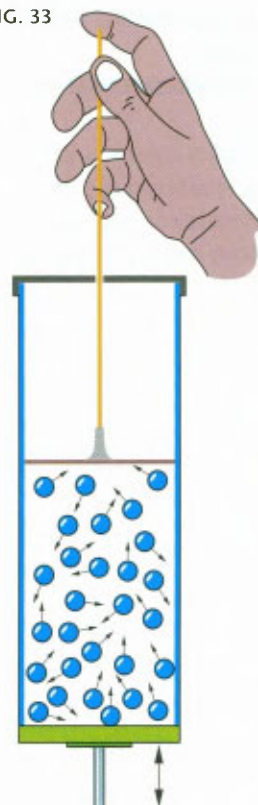


FIG. 34 Fietspomp.

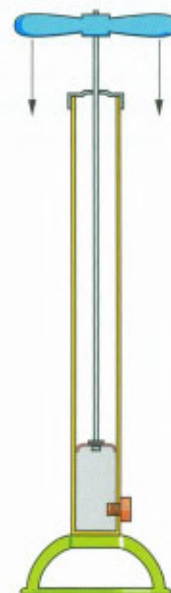
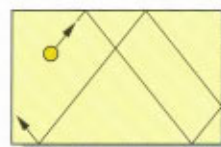


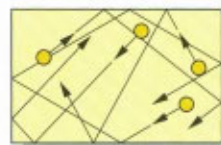
FIG. 35



baan van één molekuul



teken de baan van het molekuul in deze grotere ruimte



meerdere molekulen



meerdere molekulen in grote ruimte

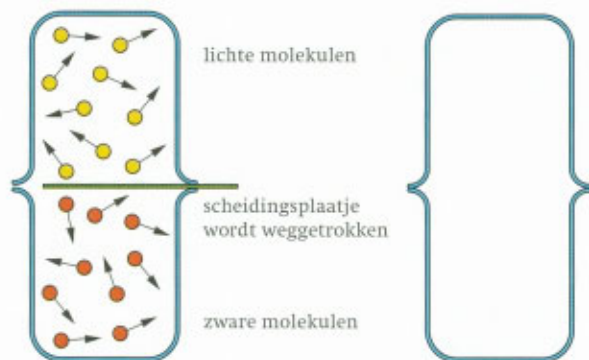
- 4 Neem de twee rechter tekeningen van figuur 35 over in je schrift en teken daarin de baan van de molekulen.
- 5 Je draait de gaskraan in het lokaal even open.
- Met welke kenmerken van het molekuulmodel kun je verklaren dat het gas zich over het gehele lokaal verspreidt?
  - Hoe noemen we dit verschijnsel?

Als deze proef niet in de klas gedaan is, kun je hem ook in gedachten uitvoeren (figuur 36).

Eén bekglas is gevuld met lucht (gas met kleine dichtheid) en het andere met broomdamp (een gas met een veel grotere dichtheid). We zetten het bekglas met lucht omgekeerd op het bekglas met broom en trekken het scheidingsplaatje weg.

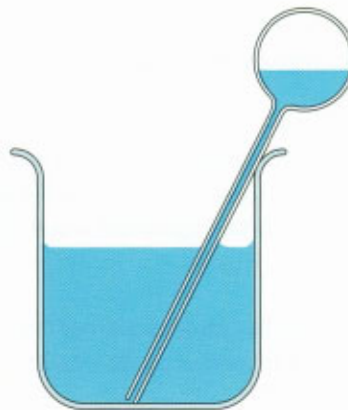
- 6
- Teken de situatie een tijd later.
  - Verklaar het verschijnsel diffusie met het molekuulmodel.

FIG. 36 Diffusie van een gas.



- 7 Beantwoord de volgende vragen over de brownbeweging van rookdeeltjes in lucht.
- Zie je door de microscoop molekulen?
  - Welke deeltjes zie je wel?
  - Bewegen de rookdeeltjes uit zichzelf?
  - Hoe komt het dat je de rookdeeltjes ziet bewegen?
  - Waarom voeren de rookdeeltjes een trillende beweging uit?
  - Hoe kun je de brownbeweging verklaren met het molekuulmodel?
- 8 We verwarmen een glazen bolletje en steken daarna het dunne buisje in een bekglas koud water (figuur 37). Als de lucht in het bolletje afkoelt, zien we het water in het dunne buisje stijgen.
- Waarom stijgt het water in het glazen buisje?
  - Wat zal er gebeuren als we het bolletje nu weer verwarmen (het uiteinde van het dunne buisje blijft onder water)?
  - Verklaar je antwoord bij b met het molekuulmodel.

FIG. 37



## H2 Het molekuulmodel voor een vloeistof

We gaan nog eens na welke eigenschappen van vloeistoffen je hebt leren kennen. Daarbij stellen we steeds twee vragen:

- 1 Hoe ben je dat te weten gekomen? (Wat heb je gezien? Welke proef heb je gedaan?)
  - 2 Hoe kun je dat met het molekuulmodel verklaren?
- 1** Geef bij elke genoemde eigenschap van vloeistoffen antwoord op beide vragen.
- 1 Vloeistof heeft massa.
  - 2 Vloeistof neemt ruimte in.
  - 3 Vloeistof heeft geen vaste vorm.
  - 4 Vloeistof is bijna niet samendrukbaar.
  - 5 Vloeistof oefent druk uit.
  - 6 Vloeistof vertoont cohesie.
  - 7 Vloeistof vertoont diffusie.
  - 8 Vloeistof kan brownbeweging veroorzaken.

VOORBEELD: Een vloeistof oefent druk uit op de wand van het vat waarin die vloeistof zit (eigenschap 5).

- 1** Hoe weet je dat?

Dat heb je gemerkt bij proef 4 van P3. Daar vulde je een plastic zak met water. De zak ging bol staan. Toen je er een gaatje in prikte, spoot het water uit de zak (figuur 38).

- 2** Hoe kun je met het molekuulmodel verklaren dat een vloeistof druk uitoefent op de wand van het vat (hier de plastic zak)?

De molekulen in een vloeistof bewegen voortdurend. Ze botsen tegen elkaar en tegen het plastic. De botsingen van de molekulen tegen het plastic geven samen de druk. De zijkanen van de zak gaan daardoor bol staan.

FIG. 38



### Proef op de som: Een nieuwe eigenschap van vloeistoffen?

Je hebt twee gelijke kogeltjes en twee reageerbuisjes. Het ene buisje vul je met water, het andere met glycerine (tot een halve centimeter onder de rand). Je klemt de buisjes vast in een statief. Je moet nagaan of de kogeltjes in beide vloeistoffen even snel vallen (figuur 39).

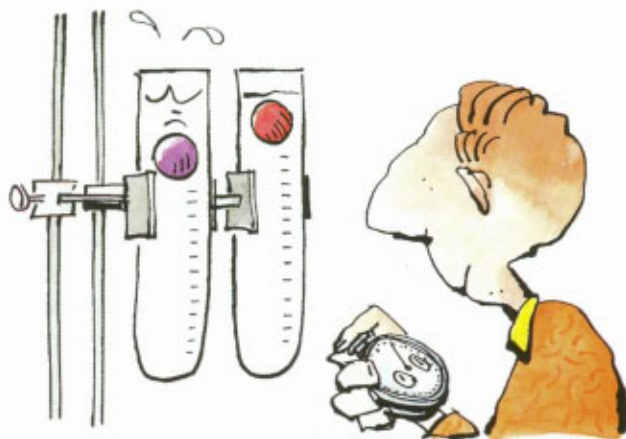
Dit kan door ze vlak boven de vloeistof los te laten en de valtijden te meten met een stopwatch.

Doe de metingen en noteer de gemeten waarden.

- 2**
- a** Wat valt je op aan de valtijden van de kogeltjes?
  - b** Er is hier kennelijk verschil tussen de vloeistoffen water en glycerine. Wat is er verschillend?
  - c** Kun je een naam voor deze nieuwe eigenschap bedenken?
  - d** Hoe verklaar je dit verschil met het molekuulmodel?



FIG. 39



- 3** Neem twee gelijke zogenaamde 'horlogeglazen'. Breng met een injectiespuitje op het ene glas  $2 \text{ cm}^3$  water en daarna met een (droog) spuitje op het andere glas  $2 \text{ cm}^3$  ether.

Laat beide glazen ongeveer 10 minuten naast elkaar staan. Ga ze daarna vergelijken.

**a** Licht er nu van beide vloeistoffen nog evenveel vloeistof op de horlogeglazen?

**b** Welke van de beide vloeistoffen verdampt het snelst?

Beide vloeistoffen hebben tijdens de proef dezelfde temperatuur.

**c** Welke conclusie kun je trekken over de snelheden van ether- en watermolekulen bij dezelfde temperatuur?

**d** Verklaar met het molekuulmodel het resultaat van dit proefje.

## BLOK 7 HERHAALSTOF

### H3 Het molekuulmodel voor een vaste stof

We gaan ook na welke eigenschappen je hebt leren kennen van vaste stoffen. Daarbij stellen we steeds weer de vragen:

- 1 Hoe ben je dat te weten gekomen? (Wat heb je gezien? Welke proef heb je gedaan?)
- 2 Hoe kun je dat met het molekuulmodel verklaren?

- 1** Geef bij elke genoemde eigenschap van vaste stoffen antwoord op beide vragen. Maak voor vraag 2 gebruik van het model zoals dat staat in T5 figuur 23.

- 1 Een vaste stof heeft massa.
- 2 Een vaste stof neemt ruimte in.
- 3 Een vaste stof heeft een eigen, vaste vorm en is niet samendrukbaar.
- 4 Een vaste stof is moeilijk te buigen en te breken.
- 5 Een aantal vaste stoffen is oplosbaar.

**VOORBEELD:** Sommige vaste stoffen lossen op in een vloeistof.

- 1 Hoe ben je dat te weten gekomen?

In proef 4 van P6 heb je wat zout opgelost in water. Vaak los je suiker op in thee of koffie. Je ziet dan dat na verloop van tijd de kristalletjes vaste stof verdwenen zijn. Je proeft dat de thee of koffie zoet is geworden.

- 2 Hoe kun je dat verklaren met het molekuulmodel? Je kunt je voorstellen dat de molekulen in een vaste stof om een vaste plaats trillen. Als je een kristal in een vloeistof doet, zullen de molekulen voortdurend tegen het kristal botsen. De molekulen aan de buitenkant van het kristal kunnen uit het rooster worden gestoten. Deze molekulen komen dan tussen de molekulen van de vloeistof terecht. Op deze manier lost een vaste stof op in een vloeistof.

- 2** Zowel een spons als een baksteen bestaan uit vaste stof. Toch is de spons makkelijk en de baksteen praktisch niet vervormbaar. Geef hiervoor een verklaring.
- 3** Een astronaut ondervindt op aarde een zwaartekracht van 700 N. In de space shuttle, op 500 km hoogte, is de zwaartekracht op de astronaut nog maar 636 N.
- a** Wat gebeurt er met de zwaartekracht, als je verder van de aarde af gaat?
- b** Wat gebeurt er met de aantrekkingskracht tussen een magneet en een stukje ijzer, als je de afstand tussen beide groter maakt?
- c** Verklaar nu met het molekuulmodel de verandering van de cohesie in de drie fasen.
- 4** Met een diamant kun je een kras maken op een stuk kiezel, en met een scherpe kiezelsteen kun je een kras maken op een stuk mergel. In de omgekeerde volgorde lukt dit proefje niet.
- a** Welke conclusie kun je daaruit trekken over de hardheid van deze drie stoffen?
- b** Verklaar dit proefje met het molekuulmodel. Noem met name het kenmerk van het molekuulmodel waarin deze drie stoffen verschillen.

De niet-geïsoleerde hoogspanningskabel die tussen elektriciteitsmasten is gespannen, bestaat uit een stalen kern, waaromheen draden van aluminium zijn gedraaid ('getwijnd', zoals bij een gesponnen draadwol).

#### *Gegevens:*

- 1 Koper geleidt de elektriciteit twee maal zo goed als aluminium. Staal geleidt elektriciteit zeven maal zo slecht als aluminium.
- 2 Dichtheid staal  $7,8 \text{ g/cm}^3$ ; koper  $9 \text{ g/cm}^3$  en aluminium  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .
- 3 De treksterkte (een maat voor de bestendigheid tegen breuk) is voor staal vele malen groter dan voor koper en aluminium.

- 4 Hoe minder de kabel weegt en hoe sterker hij is, des te groter kan de afstand tussen de (dure) masten zijn.
- 5 Hoe beter het geleidingsvermogen van de kabel, des te minder elektrische energie gaat er bij het transport verloren.
- 5 a** Op grond van welk(e) gegeven(s) wordt een hoogspanningskabel niet alleen van staal gemaakt? Geef een korte uitleg.
- b** Welk voordeel heeft het gebruik van aluminium ten opzichte van koper, als je let op de transportkosten van elektrische energie?
- c** Welk nadeel heeft het gebruik van aluminium ten opzichte van koper?
- d** Leg nu uit waarom de gebruikte kabel (staalkern omwonden met aluminium) blijikbaar de laagste transportkosten oplevert.

## H4 Fase-overgangen

In figuur 40 zijn de namen van de fase-overgangen gegeven.

FIG. 40 Schema van de fase-overgangen.



- 1 Neem de figuur in je schrift over en zet de namen van de fasen op de juiste plaats.
- 2 Van welke fase-overgangen is er sprake in de volgende situaties?
  - a Je doet een druppel eau-de-cologne op je zakdoek, waarna zich een sterke geur verspreidt.
  - b Je ademt tegen een koude ruit, waardoor een wazige plek verschijnt.
  - c In de winter vormt zich wel eens rijp op takken en gras.
  - d Als je jodiumkristallen verwarmt, krijg je een paarse kleur te zien.

FIG. 41

stof	smeltpunt (°C)	kookpunt (°C)
aceton	-95	56
ammoniak	-78	-33
chloor	-101	-34
glycerol	19	290
koolstofdioxide	-78	-57
kwik	-39	357
wolfram	3407	5527

- 3
  - a Geef voor elk van de stoffen in figuur 41 aan in welke fase ze zijn bij kamertemperatuur (20 °C).
  - b In welke fase zijn de stoffen lucht, water, ijzer en glas bij 20 °C?
  - c Wat weet je van het smeltpunt en het kookpunt van lucht, water, ijzer en glas, vergeleken met kamertemperatuur?
- 4 Water verwarmen
 

Een bekglas met water wordt verwarmd. Na enige tijd ontstaan er onder in het bekglas dampbellen. De bellen verdwijnen weer tijdens het opstijgen.

  - a Van welke fase-overgangen is hier sprake?
  - b Waarom verdwijnen de dampbellen weer? Even later kookt het water.
  - c Hoe zie je dat aan het water?
  - d Van welke fase-overgang is nu sprake?
  - e Wat weet je nu van de temperatuur van het water?

Als er 's winters gekookt wordt, beslaat het keukenraam.

  - f Waarom zal er juist op het raam condens ontstaan?
  - g Welke fase-overgang vindt er plaats?
- 5 De koelkast
 

Kijk eens in de koelkast. Je kunt daar twee 'soorten' ijs zien. Rijp tegen het koelelement en ijs in blokjes in het diepvrieskastje.

In beide gevallen heb je te maken met water in de vaste fase.

  - a In welke fase was tevoren het water dat rijp geworden is?
  - b Hoe heet deze fase-overgang?
  - c In welke fase was tevoren het water dat een ijsblokje is geworden?
  - d Hoe heet deze fase-overgang?



## Thee of limonade?

Johan heeft een tovertruc bedacht. Hij maakt een glas koude limonade en een glas warme thee. Hij zorgt ervoor dat beide vloeistoffen dezelfde kleur hebben. Johan wacht even, totdat er geen damp meer uit de warme thee opstijgt. Dan zet hij beide glazen onder een hoed. Hij laat iemand (zonder dat hij het kan zien) de glazen verschuiven en daarna de hoed weghalen. Door goed naar de glazen te kijken kan 'The great Johan' zeggen in welk glas de warme thee zit en in welk glas de koude limonade.

Het publiek (en misschien jij ook wel) zijn met stomheid geslagen.

'Johan, hoe doe je dat?'

'Simpel. Ik kijk naar het condens op de glazen. Bij het ene glas zit het aan de binnenkant; bij het andere glas aan de buitenkant. Zo weet ik het.'

Knap!

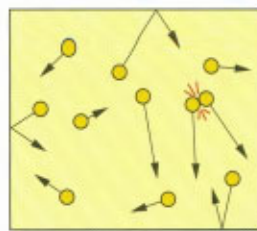
- 6 a** Van welke fase-overgang(en) is hier sprake?  
**b** Waarom ontstaat er condens op het glas van de (warme) thee?  
**c** Waar op het glas ontstaat die condens?  
**d** Waarom ontstaat er condens op het glas van de koude limonade?  
**e** Waar ontstaat die condens op het glas?

## Fase-overgangen in het molekuulmodel

In dit blok heb je het molekuulmodel van een stof leren kennen. Je hebt eigenschappen van een gas onderzocht en een model gemaakt waarmee je deze eigenschappen kunt verklaren.

In figuur 42 is een molekuulmodel voor een gas getekend.

FIG. 42 Een molekuulmodel bij een gas.



- 7 a** Leg uit wat er in de tekening bedoeld wordt. Voor een vloeistof heb je hetzelfde gedaan.  
**b** Welke eigenschappen zijn voor een vloeistof anders dan voor een gasvormige stof?  
**c** Hoe hebben we het molekuulmodel bij een gas moeten uitbreiden om eigenschappen van vloeistoffen te kunnen verklaren?  
**d** Wat gebeurt er met de molekulen bij de fase-overgang van gasvormig naar vloeibaar?  
**e** Teken op dezelfde manier als bij een gas (figuur 42) nu het molekuulmodel voor een vloeistof. Je hebt ook een molekuulmodel voor vaste stoffen gemaakt.  
**f** Welke eigenschappen zijn voor een vaste stof anders dan voor een vloeistof?  
**g** Hoe hebben we het molekuulmodel bij een vloeistof moeten uitbreiden om de eigenschappen van vaste stoffen te verklaren?  
**h** Wat gebeurt er met de molekulen bij de fase-overgang van vloeibaar naar vast?  
**i** Teken op dezelfde manier als bij een gas (figuur 42) en bij een vloeistof (vraag e) een molekuulmodel voor een vaste stof.  
Ten slotte is het molekuulmodel uitgebreid om scheikundige veranderingen te kunnen begrijpen.  
**j** Welke uitbreiding was daarvoor nodig?  
**k** Wat is het verschil tussen een natuurkundige en een scheikundige verandering?  
**l** Geef met het molekuul/atoommodel een verklaring voor dit verschil.

## Hoeveel lucht heb je nodig om te kunnen ademen?

### Inleiding

Als je ergens mee bezig bent, heb je nauwelijks in de gaten dat je ademt. Maar haal eens diep adem. Je merkt dan dat er meer lucht in je longen kan dan er gewoonlijk inkomt. Je merkt ook dat diep ademhalen niet vanzelf gaat, tenzij je een tijdje hebt hardgelopen. Dan gaat het hijgen vanzelf. Het is niet zo moeilijk om het volume van de lucht te meten.

### Vragen

- 1 Waarom heb je meer lucht nodig, als je hardloopt?
- 2 Wat is het verschil tussen ingeademde en uitgeademde lucht?
- 3 Denk je dat er steeds evenveel lucht uit je longen komt als er in gaat?
- 4 Hoe werkt je ademhaling eigenlijk? Hoe komt het dat er lucht naar binnen gaat bij inademing?
- 5 Maak eens een schatting van de inhoud van je longen:  $10 \text{ cm}^3$ ,  $100 \text{ cm}^3$ ,  $1000 \text{ cm}^3$  of nog meer?
- 6 Als je rustig zit en gewoon ademhaalt, welk gedeelte van de lucht in je longen wordt dan per keer ververst, de helft of een tiende?

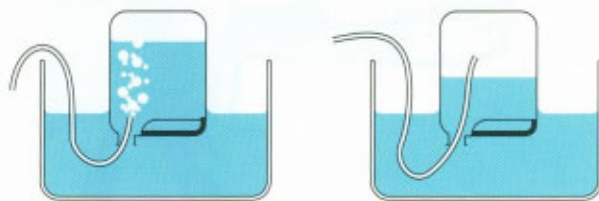
### Proeven

Je hebt nodig:

- een grote fles of een jerry-can
- een teil, emmer of afwasbak met water
- een stuk plastic of rubberen slang
- een maatbeker of een liniaal

- 1 Vul de fles geheel met water. Doe je hand op de opening en zet hem omgekeerd in de bak met water. Blijf hem vasthouden met je andere hand of laat iemand anders de fles vasthouden. Adem vervolgens zo diep mogelijk in en blaas je adem door de slang in de fles. Sluit dan de opening van de fles weer af met je hand en keer hem om.  
Bepaal met behulp van de maatbeker of de liniaal hoeveel  $\text{cm}^3$  water je hebt weggeblazen. Vergelijk dit met je antwoord op vraag 5.

FIG. 43



- 2 Vul de fles nu gedeeltelijk met water. Zet hem weer omgekeerd in de bak met water en adem een paar keer gewoon door het slangetje. Houd je neus goed dicht. Zet streepjes bij de hoogste en de laagste stand van het water in de fles (of laat dit door iemand anders doen).  
Met de maatbeker of de liniaal kun je weer nagaan hoe groot het volume tussen de streepjes is. Vergelijk dit met je antwoord op vraag 6.
- 3 Eventueel kun je proef 2 nog eens doen, als je eerst hebt hardgelopen.  
Hijgen is iets anders dan gewoon ademen! Je hijgt, als je meer zuurstof nodig hebt. Schat eens hoeveel maal zoveel je verbruikt bij hardlopen. Daartoe moet je ook nagaan hoe vaak je ademhaalt!

FIG. 44



### Vragen

Eerst enkele gegevens over lucht. Lucht is een mengsel van zuurstof ( $O_2$ ) en stikstof ( $N_2$ ). 21 % van de lucht bestaat uit zuurstof. Als het percentage zuurstof in de lucht minder dan 15 % is, wordt het ongezond voor een mens.

1  $dm^3$  lucht heeft een massa van 1,3 g.

- 7 **a** Bereken met behulp van je metingen bij proef 2 hoeveel gram lucht je per keer ademen naar binnen krijgt.  
**b** Meet hoe vaak je per 5 minuten ademhaalt. Maak met de uitkomst een schatting van het aantal keren dat je per dag (24 uur) ademhaalt.  
**c** Hoeveel gram lucht adem je dus per dag in?  
**d** Hoeveel gram zuurstof is dat per dag?
- 8 **a** Bereken hoeveel gram lucht een klas (25 leerlingen) per lesuur (50 minuten) nodig heeft.  
**b** Hoe lang kan die klas (volume  $175 m^3$ ) afgesloten blijven voordat de lucht ongezond begint te worden?

## E2 Hoe hoog is de lucht?

### Inleiding

Je hebt je vast wel eens afgevraagd hoe hoog de blauwe hemel boven je is, en tot hoe hoog de wolken komen. Misschien kun je wel een schatting maken van de hoogte van wolken. Denk maar eens aan bergen die met de top in de wolken steken, of een vliegtuig dat achter de wolken verdwijnt. Het blijkt dat er verschillende soorten wolken zijn, waarvan sommige zich op een hoogte bevinden van meer dan tien kilometer. Maar nu de vraag: hoe hoog is de blauwe lucht? Dat is geen goede vraag. De blauwe kleur zit niet op een bepaalde hoogte. De lucht is ook niet altijd blauw. Bij zonsondergang is de lucht oranje of rood. We kunnen dus beter vragen: tot hoe ver boven ons zit er nog lucht? Of: hoe dik is de 'dampkring' van de aarde? Een ander woord voor dampkring is 'atmosfeer'.

We gaan eens proberen de dikte van de atmosfeer van de aarde te berekenen met de resultaten van twee proeven die we eerder gedaan hebben.

- 1 1  $dm^3$  lucht een massa heeft van 1,3 gram.

**a** Wat is het gewicht van 1  $dm^3$  lucht?

Een zuignap kan op een gladde tafel vastgedrukt worden. Je hebt dan een behoorlijke kracht nodig om hem van de tafel los te trekken. Als je de kracht meet, blijkt deze ongeveer 10 N te zijn voor elke  $cm^2$  oppervlakte van de zuignap. Voer deze proef eventueel uit met behulp van een zuignap en een krachtmeter.

**b** Hoe groot is de kracht bij een zuignap van 1  $dm^2$ ?

Wat hebben deze metingen te maken met de dikte van de atmosfeer?

Vergelijk de atmosfeer met de zee. Het water oefent een druk uit, net zoals de lucht. Hoe dieper je duikt, hoe groter de druk die je voelt. Bij stijgen neemt die druk af. Een zuignap blijft minder goed zitten, als je hoog in de bergen bent.



## 2 Berekening

- a** Hoe groot is de kracht van de lucht op  $1 \text{ dm}^2$ ?
- b** Hoe groot is het gewicht van de kolom lucht boven  $1 \text{ dm}^2$ ?
- c** Hoeveel  $\text{dm}^3$  lucht zitten er boven  $1 \text{ dm}^2$ ?
- d** Hoe hoog is de luchtkolom?
- e** Zou deze berekende hoogte werkelijk de hoogte van de atmosfeer zijn?

### Klopt de berekening?

De berekening geeft wel een vreemd resultaat. We vinden een hoogte van ongeveer 8 kilometer. En dat is lager dan de Mount Everest (bijna 9 km). We weten dat de top van de berg niet in het luchtledige zit. Er klopt dus iets niet. Maar waar zit de fout?

Het is geen rekenfout. Iedereen die het zorgvuldig narekent komt op ongeveer 7,7 km uit. Er moet dus een fout in de redenering zitten.

- 3** Probeer de fout zelf te vinden. Wacht dus even met verder lezen.

### Fout model

We hebben tot nu toe aangenomen dat de lucht een soort zee is. We zitten op de bodem van die zee en wanneer we omhoog 'zwemmen' (beter: vliegen) komen we op een gegeven moment met ons hoofd boven 'water' (lucht).

Als je op de bodem van de zee het gewicht weet van een kolom water met een doorsnede van  $1 \text{ dm}^2$  en je weet het gewicht van  $1 \text{ dm}^3$  water, dan kun je de hoogte berekenen. Deze berekende hoogte blijkt overeen te komen met de werkelijke hoogte. Dat laatste komt doordat een  $\text{dm}^3$  water bij elke diepte even zwaar is. Bij lucht is dat echter niet zo. Hoe hoger je komt, hoe ijler de lucht wordt. De fout in onze redenering zit in de aanname dat de dichtheid van de lucht op elke hoogte hetzelfde is.

FIG. 45 Hoeveel  $\text{dm}^3$  op elkaar?



Kortom: We hebben een model voor de atmosfeer gebruikt dat niet overeenkomt met de werkelijkheid. Het model is te eenvoudig. Het houdt geen rekening met de samendrukbaarheid van de lucht. Hier beneden (op het aardoppervlak) is de lucht samengedrukt door het gewicht van de lucht die erboven zit. Er zitten hier dus meer molekulen per  $\text{dm}^3$  dan op enkele kilometers hoogte.

- 4 a** Leg uit dat door de samendrukbaarheid de dichtheid van de lucht steeds kleiner wordt bij toenemende hoogte.
- b** Leg uit dat dit ook betekent dat de atmosfeer hoger moet zijn dan 8 km.

## E3 Oefenvragen en opgaven

### Hoe hoog dan wel?

Met ballonnen is gemeten dat de dichtheid van de lucht op 8 km hoogte ongeveer drie maal zo klein is als de dichtheid van de lucht op zeeniveau. Op 20 km hoogte is die dichtheid ongeveer tien maal zo klein als op zeeniveau. Het blijkt dat er op honderden kilometers hoogte nog lucht aanwezig is. Er is geen scherpe grens tussen de lucht en het niets.

Dat er op zeer grote hoogte nog lucht is, blijkt uit het feit dat kunstmanen op honderden kilometers hoogte afgeremd worden door luchtwrijving. Aangezien een kunstmaan geen motor heeft, zal hij hierdoor snelheid verliezen en dichter bij de aarde komen. Hij blijft wel een baan om de aarde beschrijven, maar de weerstand van de lucht op die kleinere hoogte is groter. Hij zal dus nog meer afgeremd worden en opnieuw dichter bij de aarde komen. Dit zal net zolang doorgaan, totdat de kunstmaan door de wrijvingswarmte verbrandt.

- 5 Kun je met het molekuulmodel verklaren dat er geen scherpe grens is tussen lucht en luchtledig?
- 6 Waarom moet je een zuurstofmasker meenemen, als je de Mount Everest gaat beklimmen? Ook piloten in 'oude' open vliegtuigen moesten zuurstofmaskers gebruiken bij het verbeteren van het hoogterecord.
- 7 Straalvliegtuigen hebben minder brandstof nodig, als ze op grote hoogte vliegen (meestal op ongeveer 10 km).  
Leg uit hoe dat komt.
- 8 Sommige atletiek- en schaatsrecords kunnen gemakkelijker verbeterd worden op 'hooglandbanen' (Mexico, Alma Ata) dan op laaglandbanen (zeeniveau).
  - a Hoe zou dat komen?
  - b Waarom moeten de deelnemers na afloop vaak extra zuurstof toegediend krijgen?

### 1 Jampotten

Een nieuwe pot jam openmaken valt meestal niet mee. Dat komt doordat de druk in de jampot kleiner is dan de druk die de lucht van buiten op de jampot uitoefent. Je ziet dat aan het deksel. Het deksel is een beetje ingedrukt.

**a** Leg met het molekuulmodel uit hoe het komt dat de druk in de jampot kleiner is dan de luchtdruk. De lagere druk in de jampot ontstaat na het afvullen. De jam wordt bij 80 °C gekookt en in de jampot gedaan. Vervolgens blaast men stoom in de jampot, waarna het deksel luchtdicht wordt afgesloten.

**b** Wat gebeurt er met de waterdamp boven de jam, als de pot afkoelt?

**c** Waarom wordt de druk boven de jam dan lager? Vervelend nietwaar? En toch moet jam zo verpakt worden om bederf tegen te gaan. Maar er is een oplossing. Als het opendraaien niet wil lukken, moet je met een mes de rand van de deksel een beetje opzij duwen. Er kan dan lucht in de pot stromen. De pot is nu veel makkelijker open te draaien.

**d** Verklaar met het molekuulmodel waarom de druk onder en boven het deksel nu wél hetzelfde is.

### 2 Campinggas

Als je kampeert, kook je meestal op campinggas. Dit campinggas wordt onder druk in een gasfles gedaan. Als je met de gasfles schudt, hoor je dat de gasvormige stof voor een deel vloeistof is geworden.

**a** Hoe heet de overgang van gasvormig naar vloeibaar?

Als je de gasfles opendraait, spuit het gas naar buiten. Blijkbaar is de druk in de gasfles hoger dan de druk van de buitenlucht.

Hier zie je een nieuwe eigenschap van gassen. Sommige gassen kun je vloeibaar maken door de druk te verhogen.

**b** Leg met het molekuulmodel uit hoe dat mogelijk is.

**c** Wat gebeurt er met het kookpunt van een stof, als de druk groter wordt?

Als je kookt op campinggas, wordt de gasfles koud.

**d** Waarom wordt de gasfles koud?

Als het buiten erg koud is, lukt koken op campinggas niet best. Ook niet als er nog vloeistof in de gasfles zit.

**e** Leg uit hoe dit mogelijk is.

Sommige mensen zetten de gasfles in een bak met warm water. Dan lukt het koken wel.

**f** Waarom is dat heel gevaarlijk? Licht je antwoord toe.

Campinggas voor gebruik in de zomer bevat voornamelijk butaangas. Voor het winterkamperen gebruikt men propaangas.

**g** Waarom zou propaangas bij een lagere buiten-temperatuur beter voldoen dan butaangas?

### 3 Afstanden bij fase-overgangen

Een voorwerp bestaat uit onvoorstelbaar veel molekulen. We willen enig idee krijgen wat er bij een fase-overgang gebeurt met de afstanden tussen de molekulen, zonder met hele kleine getallen te hoeven werken. Daarom doen we in deze som alsof de afstand tussen twee molekulen 1 mm is.

We gaan uit van een blokje materiaal dat 10 cm lang, 10 cm breed en 10 cm hoog is. De massa van het blokje is 1200 gram.

**a** Bereken de dichtheid van het blokje.

**b** Hoeveel molekulen liggen er langs één rand (10 cm) van het blokje? (Let op!)

**c** Uit hoeveel molekulen bestaat het blokje dus?

Het blokje gaat smelten. In de vloeibare fase past de vloeistof precies in een bakje van 11 cm × 11 cm × 11 cm.

**d** Bereken de dichtheid van deze vloeistof.

**e** Hoe ver zitten de molekulen nu gemiddeld van elkaar?

**f** Leg met het molekuulmodel van een vloeistof uit waarom je nu van een *gemiddelde* afstand moet spreken.

We maken de stof gasvormig. Het gas verspreidt zich over een ruimte van 1 m<sup>3</sup>.

**g** Bereken de dichtheid van het gas in deze situatie.

**h** Hoe groot is nu de gemiddelde afstand tussen de molekulen?

### 4 Een fase-overgang

Je verwarmt een denkbeeldige stof. In de tabel van figuur 46 staan de resultaten van de proef beschreven.

FIG. 46

tijd (min)	temperatuur °C	tijd (min)	temperatuur °C
0	-10	11	20,0
1	-5	12	22,5
2	0	13	25,0
3	5	14	25,0
4	5	15	25,0
5	5	16	25,0
6	7,5	17	25,0
7	10	18	32,0
8	12,5	19	39,0
9	15,0	20	46,0
10	17,5	21	53,0

**a** Maak van deze metingen een grafiek (verticaal de temperatuur, horizontaal de tijd)

**b** Geef een verklaring voor het verloop van de grafiek.

**c** In welke fase was die stof:

– na 1 minuut verwarmen?

– na 10 minuten verwarmen?

– na 20 minuten verwarmen?



- 5** Nieuwe eigenschappen verklaren met het molekuulmodel
- Sommige stoffen zijn elastisch. Als je eraan trekt, rekken ze uit. Ze nemen weer hun oude vorm aan, als je geen kracht meer uitoefent.
- a** Verklaar dit met behulp van het molekuulmodel.
- b** Heb je het model moeten uitbreiden? Zo ja, hoe? Als je een zilveren lepel in de warme jus houdt, wordt na enige tijd het handvat ook warm.
- c** Verklaar dit met behulp van het molekuulmodel.
- d** Heb je het model moeten uitbreiden? Zo ja, hoe? Sommige stoffen (vooral metalen) geleiden elektrische stroom goed ('geleiders'); andere stoffen geleiden elektrische stroom juist niet ('isolatoren'). Als je dit wilt verklaren, moet je het model uitbreiden. Een atoom bestaat uit een kern en elektronen. Het zijn juist de elektronen die voor de elektrische geleiding zorgen.
- e** Verklaar waarom er stoffen zijn die de elektrische stroom goed geleiden en stoffen die de elektrische stroom niet geleiden. Als je een beetje water (of een andere vloeistof) in een afgesloten fles bewaart, dan zal het water niet helemaal verdampen. Na korte tijd blijft de hoeveelheid vloeistof constant. Maak je de fles open, dan zal de vloeistof na verloop van tijd wél helemaal verdamppt zijn.
- f** Verklaar dit met behulp van het molekuulmodel.
- g** Heb je het model moeten uitbreiden? Zo ja, hoe? Sommige stoffen kun je ruiken. Als je een fles eau de cologne openzet, ruik je dat. Bedenk wel dat je neus alleen gevoelig is voor gassen, maar dat niet elk gas te ruiken is.
- h** Verklaar dat je sommige stoffen wel en andere stoffen niet kunt ruiken.
- i** Heb je hiervoor het molekuul/atoommodel moeten aanpassen? Zo ja, hoe?

Als je twee volumedelen waterstofgas en een volumedeel zuurstofgas bij elkaar brengt, ontstaat er door een vonk een explosie. Er is nu waterdamp gevormd en er is geen zuurstof- of waterstofgas meer aanwezig.

**j** Beredeneer dat dit een scheikundige verandering is.

**k** verklaar dit met het molekuul/atoommodel. Heb je het model aan moeten passen? Zo ja, hoe?

**6** Maximale dampspanning

Water in een bekglas verdampt langzaam. Hoe snel de verdamping gaat, hangt af van de temperatuur van het water en de omgeving.

**a** Leg uit dat de verdampingssnelheid afhangt van de temperatuur.

Er ontstaat boven het water een hoeveelheid waterdamp. Uit het water ontsnappen molekulen, maar uit de damp zijn er ook molekulen die weer terugkeren in het water.

Zonder wind ontstaat er evenwicht. Daarbij bezit de waterdamp een bepaalde maximale dampdruk.

**b** Wat is er aan de hand, als de druk van de waterdamp deze maximale waarde heeft?

**c** Leg uit dat deze maximumspanning afhankelijk is van de temperatuur.

**d** Waarom mag er geen wind zijn?

Er zijn metingen gedaan van de maximale dampdruk voor water, ook wel de 'verzadigingsdruk van water' genoemd. Figuur 47 geeft een overzicht van deze metingen.

FIG. 47 Verzendingsdruk van water.

temperatuur (°C)	druk (N/cm <sup>2</sup> )
0	0,061
10	0,123
20	0,234
30	0,424
40	0,738
50	1,23
60	1,99
70	3,12
80	4,73
90	7,01
100	10,1

**e** Maak van deze metingen een  $(p, t)$ -grafiek (druk  $p$  verticaal en temperatuur  $t$  horizontaal).

De luchtdruk is ongeveer 10 N/cm<sup>2</sup>. Vergelijk deze druk eens met de verzadigingsdruk bij het kookpunt van water.

**f** Wat valt je op? Zou dat toevallig zijn?

**g** Hoe kun je het kookpunt van water dus ook definiëren?

Hoog in de bergen is de luchtdruk lager. In een bergdorp is de luchtdruk 6,0 N/cm<sup>2</sup>.

**h** Bepaal met behulp van je grafiek het kookpunt van water in dat bergdorp.

**i** Zou het gaarkoken van groenten en aardappelen daar korter of langer duren dan op zeeniveau?

Licht je antwoord toe.

Met de grafiek kun je ook het zogenaamde 'dauwpunt' van lucht bepalen.

In de lucht zit altijd wel een beetje waterdamp. Als de temperatuur daalt (bijvoorbeeld 's nachts), zou de druk van de waterdamp in de lucht wel eens hoger kunnen worden dan de maximale dampdruk bij die lagere temperatuur. Zie figuur 47: Hoe lager de temperatuur, hoe lager de verzadigingsdruk.

**j** Waarom staat er 'zou kunnen worden'? Kan dat dan niet? Licht je antwoord toe.

Het zogenaamde *dauwpunt* is de temperatuur waarbij die maximumdruk bereikt is. Er kan nu waterdamp gaan condenseren, als de temperatuur nóg verder daalt. Daardoor neemt de druk van de waterdamp af.

**k** Verklaar de benaming 'dauwpunt' voor die temperatuur.

**l** Waarom neemt de dampdruk af, als er waterdamp condenseert?

Op een avond is het 20 °C. De druk van de waterdamp in de lucht is 0,14 N/cm<sup>2</sup>.

**m** Verklaar waarom er nu geen waterdamp condenseert.

De temperatuur gaat nu dalen.

**n** Bepaal met je grafiek uit vraag e vanaf welke temperatuur er condensatie optreedt (het 'dauwpunt' dus!).

**o** Hoe groot is de waterdampdruk in de lucht, als het dauwpunt van die lucht 8 °C is?

Dat er waterdamp condenseert kun je zien aan het ontstaan van mist en dauw.

**p** Waarom zal in de zomer (als er voor zonsopkomst op deze manier ochtendmist is ontstaan) de mist snel verdwijnen?