



Blok 2

INHOUD

BASISSTOF

T0	Het weer	32
W0		35
T1	Druk bij vaste stoffen en vloeistoffen	37
W1		40
T2	Luchtdruk	42
W2		44
T3	Absolute temperatuur	45
W3		46
T4	Gaswetten	47
W4		50

HERHAALSTOF

H1	Deuk	51
H2	Gaswetten	52
H3	Oefenen met examenopgaven	56

LEERDOELEN

- 1 Je moet de zes kenmerken van het molecuulmodel kennen. [P0, T0, W0]
- 2 Je moet een stof in de vaste, vloeibare en gasvormige fase met de kenmerken van het molecuulmodel kunnen beschrijven. [P0, T0, W0]
- 3 Je moet weten dat de gemiddelde snelheid van moleculen toeneemt, als de temperatuur stijgt. [P0, T0, W0]
- 4 Je moet weten in welke drie fasen een stof kan voorkomen. [P0, T0, W0]
- 5 Je moet de namen weten van de zes fase-overgangen. [P0, T0, W0]
- 6 Je moet weten bij welke fase-overgangen warmte vrijkomt en voor welke fase-overgangen warmte nodig is. [P0, T0, W0]
- 7 Je moet de uitzetting van een stof bij temperatuurstijging kunnen verklaren met het molecuulmodel. [T0, W0]
- 8 Je moet weten wat koken is en de invloed van de druk op het kookpunt kunnen verklaren. [T0, W0]
- 9 Je moet weten dat een damp kan condenseren door verlaging van de temperatuur. [P0, T0, W0]



Weer of geen weer

- 10** Je moet weten hoe bij elke fase-overgang de bewegingsvrijheid van de moleculen verandert. [P0, T0, W0]
- 11** Je moet weten wat we met het smeltpunt en het stolpunt van een stof bedoelen. [P0, T0, W0]
- 12** Je moet weten dat het effect van een kracht groter is, naarmate deze kracht op een kleinere oppervlakte wordt uitgeoefend. [P1, T1, W1]
- 13** Je moet weten wat we met de grootte druk bedoelen. [P1, T1, W1]
- 14** Je moet weten dat de druk gemeten wordt in pascal en dat 1 Pa gelijk is aan 1 N/m². [P1, T1, W1]
- 15** Je moet weten dat de druk in een vloeistof groter wordt naarmate je dieper in de vloeistof komt. [P1, T1, W1]
- 16** Je moet weten dat de druk op dezelfde diepte in een vloeistof overal even groot is. [P1, T1, W1]
- 17** Je moet weten dat de druk op een vloeistof in alle richtingen wordt doorgegeven. [T1, W1]
- 18** Je moet weten dat gassen druk uitoefenen omdat de moleculen in een vat tegen de wand botsen. [P2, T2, W2]
- 19** Je moet weten dat de luchtdruk het gevolg is van het gewicht van de lucht boven je. [P2, T2, W2]
- 20** Je moet weten dat de luchtdruk afneemt naarmate je hoger boven het aardoppervlak komt. [P2, T2, W2]
- 21** Je moet weten dat de luchtdruk gemeten wordt in millibar en dat de luchtdruk op aarde schommelt rond 1000 millibar. [P2, T2, W2]
- 22** Je moet weten dat je met een barometer de luchtdruk kunt meten. [P2, T2, W2]
- 23** Je moet weten dat je met een manometer de druk van een gas kunt meten. [P2, T2, W2]
- 24** Je moet weten dat er een laagst mogelijke temperatuur is: het absolute nulpunt. [T3, W3]
- 25** Je moet weten dat er een temperatuurschaal is die uitgaat van het absolute nulpunt: de schaal van Kelvin. [T3, W3]
- 26** Je moet weten dat moleculen géén snelheid hebben bij een temperatuur van 0 K. [T3, W3]
- 27** Je moet de wet van Boyle en de algemene gaswet kennen en met die wetten kunnen rekenen. [P4, T4, W4]



FIG. 1 Water in drie fasen.

Gegevens over het weer verkrijgt men door op een groot aantal plaatsen metingen te doen. Overal op de wereld zijn meetstations ingericht, zowel ter land, ter zee als in de lucht. Ook worden gegevens verkregen door metingen met weersatellieten.

In P0 hebben we natuurkundige onderwerpen besproken die met het weer te maken hebben. Om die processen beter te begrijpen, herhalen we in T0 het molecuulmodel en de verschillende fasen waarin een stof kan voorkomen.

Het molecuulmodel

Water komt in de natuur in verschillende fasen voor:

- gasvormig in de lucht als waterdamp;
- als vloeistof in de vorm van regen;
- als vaste stof in de vorm van ijs, hagel, sneeuw of rijp.

Je hebt al eerder kennis gemaakt met moleculen en het molecuulmodel. Met dat molecuulmodel zijn de verschillende vormen van water te verklaren (figuur 1). En ook wat er verschillend is aan die vormen.

Bij het molecuulmodel gaan we ervan uit dat iedere stof is opgebouwd uit moleculen. Moleculen zijn de kleinste deeltjes met de eigenschappen van de stof. Moleculen bestaan zelf weer uit atomen.

Kenmerken van het molecuulmodel

Het molecuulmodel heeft de volgende kenmerken:

- 1 Iedere stof is opgebouwd uit moleculen.
- 2 Moleculen hebben massa.
- 3 Moleculen bewegen.
- 4 Door verwarmen gaan de moleculen sneller bewegen.
- 5 Tussen de moleculen zit ruimte.
- 6 Op korte afstand van elkaar trekken de moleculen elkaar aan.

Een stof in de vaste fase

In een vaste stof zitten de moleculen op vaste plaatsen in een rooster. Ze trillen rond een evenwichtsstand. De afstand tussen de moleculen is klein. De aantrekkende kracht tussen de moleculen is groot. Het regelmatige rooster verklaart de kristalstructuur van veel vaste stoffen.

Hoe lager de temperatuur van een vaste stof, hoe minder de moleculen trillen. Ze duwen elkaar dan minder ver opzij. Je kunt óók zeggen: hoe lager de temperatuur van een vaste stof, hoe dichter de moleculen bij elkaar zitten. *Daarom krimpen vaste stoffen als de temperatuur daalt.*

Als de temperatuur stijgt, gebeurt het omgekeerde. De moleculen gaan heftiger trillen en duwen elkaar opzij. *Een vaste stof zet bij temperatuurstijging uit.*

Een stof in de vloeibare fase

In de vloeibare fase bewegen de moleculen van een stof heftiger dan in de vaste fase. De afstand tussen de moleculen in de vloeibare fase is iets groter dan in de vaste fase. Door de grotere afstand is de aantrekkende kracht kleiner. De moleculen in de vloeistof kunnen daarom vrij langs elkaar bewegen. Ze zitten niet op vaste plaatsen.

Als de temperatuur van een vloeistof stijgt, gaan de moleculen heftiger bewegen en duwen elkaar opzij. *Dus ook een vloeistof zet bij temperatuurstijging uit (meer dan een vaste stof).*

Een stof in de gasvormige fase

In een gas is er geen samenhang meer tussen de moleculen. Ze kunnen zich in alle richtingen vrij bewegen. De gemiddelde snelheid van de moleculen is groot. Daardoor is er véél ruimte tussen de moleculen. De aantrekkende kracht tussen de moleculen is te verwaarlozen.

Als de temperatuur stijgt, zullen de heftiger bewegende moleculen elkaar verder opzij duwen. *Dus ook een gas zet bij temperatuurstijging uit (meer dan een vloeistof).*

Fase-overgangen

De overgang van de ene fase van een stof in de andere fase heet een *fase-overgang*. Daarbij veranderen de eigenschappen van de stof. Een fase-overgang vindt plaats bij een bepaalde temperatuur. In het uiterlijk van de stof treedt dan een duidelijke verandering op.

SMELTEN EN STOLLEN

Ijs *smelt* bij 0 °C. In de vaste stof ijs zitten de moleculen op een vaste plaats. Door bij 0 °C warmte aan het ijs toe te voeren, wordt de beweging van de moleculen heftiger. De onderlinge afstand neemt toe. De aantrekkende kracht tussen de moleculen neemt af. Zo kunnen de moleculen hun vaste plaats in het rooster verlaten. De vaste stof ijs gaat over in de vloeistof water. Bij het *smeltpunt* gaat een stof dus over van de vaste fase in de vloeibare fase.

De temperatuur waarbij een stof van de vloeibare fase overgaat in de vaste fase, heet het *stolpunt*. Hierbij gebeurt het tegenovergestelde als bij smelten. Door het onttrekken van energie (warmte) daalt de temperatuur. De gemiddelde snelheid van de moleculen neemt af. De afstand tussen de moleculen wordt kleiner. De aantrekkingskracht tussen de moleculen neemt toe. Bij het stolpunt dwingt de aantrekkende kracht de moleculen in een rooster. De stof stolt. Smeltpunt en stolpunt van een stof liggen bij *dezelfde* temperatuur. De overgang van water naar ijs heet eigenlijk ook *stollen*. Meestal noemen we dat echter bevroren (figuur 2).

Fig. 2 Ijsberg bij Groenland.



VERDAMPEN EN CONDENSEREN

Water en andere vloeistoffen *verdampen*. Dat gebeurt bij *iedere* temperatuur. Er zijn aan de oppervlakte van de vloeistof altijd wel moleculen die voldoende snelheid hebben om de vloeistof te verlaten. Boven een vloeistof zit dus altijd damp van die vloeistof. Als de temperatuur van de vloeistof stijgt, krijgen steeds meer moleculen genoeg snelheid om aan de vloeistof te ontsnappen. De vloeistof verdampt dan sneller.

Bij het kookpunt hebben alle moleculen voldoende snelheid om de vloeistof te verlaten. Overal in de vloeistof ontstaan dan dampbellen. We zeggen dan dat de vloeistof *kookt*. Water kookt bij 100 °C.

FIG. 3 Een voorbeeld van rijpen: rijpvorming aan de bomen als het vriest.



Condenseren is het tegenovergestelde van verdampen. Door het onttrekken van energie (warmte) aan een gas daalt de gemiddelde snelheid van de moleculen. De afstand tussen de moleculen wordt dan kleiner en de aantrekkingskracht groter. Het gas gaat daardoor over in de vloeibare fase.

SUBLIMEREN EN RIJPEN

Niet alleen vloeistoffen verdampen. Er zijn ook vaste stoffen die kunnen verdampen. Ijs is zo'n vaste stof. Blijkbaar zijn er bij 0 °C of lagere temperaturen moleculen waarvan de snelheid zó hoog is, dat ze aan de vaste stof kunnen ontsnappen. Het verdampen van een vaste stof noemen we ook wel *sublimeren*.

Soms gaat een gas direct over in een vaste stof. Als jooddamp dat doet tegen een koude glaswand, zijn er duidelijk joodkristallen te zien. Ook waterdamp kan op koude voorwerpen die een temperatuur van 0 °C of lager hebben, overgaan in ijs (figuur 3). Dit heet *rijpen*. In figuur 4 zie je een overzicht van alle fase-overgangen en de bijbehorende namen. Zorg dat je deze namen kent!



FIG. 4 De fase-overgangen.

FIG. 5 Een fluitketel met kokend water.



WATERDAMP EN STOOM

Waterdamp en stoom zijn niet hetzelfde. Het verschil is goed te zien als we water koken in een fluitketel (figuur 5). Vlak bij de opening is er waterdamp. De waterdamp koelt door de omringende, veel koudere lucht af. Er treedt condensatie op. De damp wordt stoom. Uit figuur 5 blijkt dat waterdamp niet te zien is en stoom wél. Stoom bestaat namelijk uit heel kleine druppeltjes water. Ook mist is een vorm van stoom.

VERDAMPINGSSNELHEID

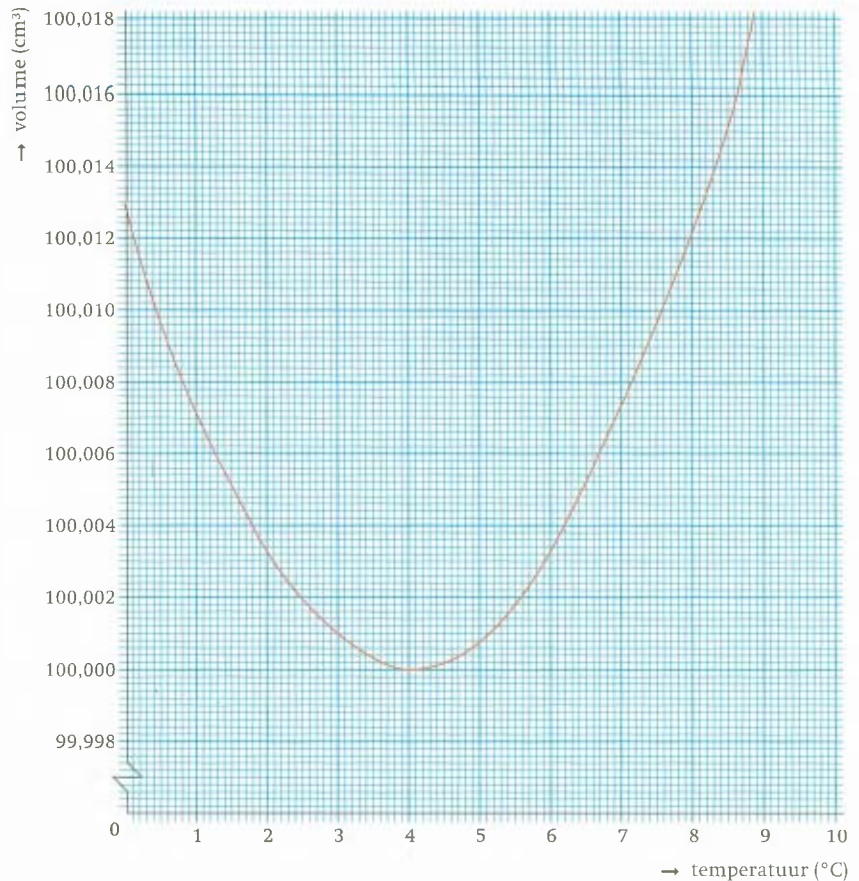
Niet alle vloeistoffen verdampen bij kamertemperatuur even snel. Hoe lager het kookpunt hoe sneller de vloeistof verdampt. Ether heeft een kookpunt van 35 °C. Ether verdampt bij kamertemperatuur heel snel.

Verdampen kan op vier manieren bevorderd worden:

- Door de damp boven de vloeistof steeds te verwijderen. Wasgoed droogt sneller als het waait.
- Door de damp zo snel weg te pompen dat er onderdruk ontstaat. Suikerstroop wordt ingedikt in vacuümketels.
- Door de vloeistofoppervlakte te vergroten. Parfum verdampt op een schoteltje sneller dan uit een flesje.
- Door de temperatuur te verhogen. Saus kun je indikken door de saus, zonder deksel op de pan, te verwarmen.

- 1 Welke fase-overgang vindt er plaats in de volgende gevallen?
 - a Een regenplas droogt op.
 - b Sneeuw vriest weg.
 - c Door afkoeling ontstaat mist.
 - d Kaarsvet bovenop een kaars wordt vloeibaar.
 - e Vet in een braadpan wordt bij afkoelen hard.
 - f Soldeertin wordt vloeibaar na aanraken met een hete soldeerbout.
 - g Jooddamp wordt na afkoelen vast.
- 2 Bij welke fase-overgangen uit vraag 1 komt energie (warmte) vrij?
- 3 Hoe heten de drie fasen van water?
- 4 a Waarom moet je bij het koken van eten het deksel op de pan houden?
 - b Als er via het deksel water verdwijnt, is dat dan in de vorm van gas, damp of stoom? Licht je antwoord toe.
- 5 Wat is het verschil tussen een damp en een gas?
- 6 Bij het sporten ga je zweten. Zo blijft je lichaamstemperatuur constant. Geef hiervoor een verklaring.
- 7 Wat gebeurt er bij de fase-overgang van vloeistof naar gas met:
 - a de afstand tussen de moleculen?
 - b de aantrekkingskracht tussen de moleculen?
- 8 Verklaar met het molecuulmodel de fase-overgang van vloeistof naar vaste stof.
- 9 Verklaar met het molecuulmodel wat er gebeurt als we de temperatuur van een vaste stof verhogen.

FIG. 6 Het verband tussen het volume van water en de temperatuur.



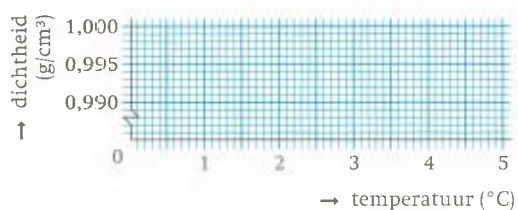
10 Als je een blokje vast kaarsvet in vloeibaar kaarsvet gooit, zinkt het blokje.

a Wat weet je nu van de dichtheden van vast en vloeibaar kaarsvet?

b Verklaar dit verschijnsel met het molecuulmodel.

c Bij welke stof treedt dit verschijnsel niet op?

FIG. 7 Diagram voor het verband tussen de dichtheid en de temperatuur van water tussen 0 °C en 5 °C.



11 We koelen 100 g water af van 10 °C tot 0 °C. Na elke graad temperatuurdaling wordt het volume van het water gemeten. Het resultaat is in een diagram weergegeven (figuur 6). De verdamping van het water is te verwaarlozen.

a Uit de grafiek blijkt dat er 'iets vreemds' gebeurt met het volume van het water bij afkoeling van 4 °C tot 0 °C. Leg dit uit.

b Neem het diagram van figuur 7 over. Schets in het diagram hoe de dichtheid van water afhangt van de temperatuur tussen 0 °C en 5 °C (niet rekenen).

12 Op de bodem van diepe ijszeeën is de temperatuur van het water 4 °C. Verklaar dit.

T1 Druk bij vaste stoffen en vloeistoffen

De luchtdruk speelt een belangrijke rol bij het voor- spellen van het weer. In T1 leer je wat druk is. Je leert hoe je de druk kunt meten en hoe je de druk kunt uit- rekenen.

Druk bij vaste stoffen

Als je met een hamer op een stuk hout slaat, zal de hamer nauwelijks in het hout doordringen. Sla je met de hamer even hard op een spijker die op het hout staat, dan zal de spijker wèl in het hout doordringen. Hoe is dit te verklaren?

We kijken naar de oppervlakten waarop de kracht wordt uitgeoefend. De oppervlakte van de spijkerpunt is veel kleiner dan de oppervlakte van de hamerkop. Daardoor is de kracht van de spijker veel effectiever. Om dit verschil aan te geven gebruiken we de groot- heid *druk*. De druk is de *kracht per m²* (of per cm²). Het symbool voor druk is *p* (van pressure).

Je kunt de druk uitrekenen, door de kracht *F* te delen door de oppervlakte *A* (van area) waar de kracht op werkt. In formulevorm:

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

In deze formule is:

F de kracht in N;

A de oppervlakte in m² (soms cm²);

p de druk in N/m² (soms N/cm²).

LET OP: de eenheid N/m² wordt pascal (Pa) genoemd. Dit is de standaardeenheid van druk. Onthoud dus:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

VOORBEELD 1

Een dame op schoenen met naaldhakken loopt over een parketvloer. Zij heeft een gewicht van 600 N. De oppervlakte van de naaldhakken is 2 cm². Bereken de druk die de hakken uitoefenen op het parket.

Je zult merken dat de rekenopgaven in de vierde klas steeds talrijker en ingewikkelder worden. Om je daar- bij te helpen, proberen we je een bepaalde oplossings- methode aan te leren. Deze ziet er als volgt uit:

- Lees eerst het **hele** vraagstuk rustig door.
- Noteer de gegevens bij elkaar (Gegeven:).
- Noteer wat er gevraagd wordt (Gevraagd:).
- Denk na en noteer de formule(s) die je moet gebrui- ken (Formule(s)). Zoek de juiste formule zonodig op in je informatieboekje. Maak eventueel een tekening.
- Werk toe naar de oplossing (Oplossing:).
- Controleer je antwoord op nauwkeurigheid (reken- fouten?). Heeft je antwoord de juiste eenheid? Ga na of je antwoord realistisch is. (Kan het echt?)

Gegeven:

$$F = 600 \text{ N}$$

$$A = 2 \text{ cm}^2$$

Gevraagd:

p

Formule:

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

Oplossing:

$$p = \frac{600}{2} = 300 \text{ N/cm}^2$$

We kiezen hier voorlopig voor de eenheid N/cm². Verderop in T1 gaan we dit omrekenen naar N/m² (Pa). Verder is het antwoord duidelijk: een druk van 300 N/cm² kan putjes opleveren in de parketvloer.

VOORBEELD 2

Een ander voorbeeld is het lopen over een dikke laag vers gevallen sneeuw. In zo'n sneeuwlaag zak je op normale schoenen diep weg. Maar als je sneeuw-rackets onder je schoenen draagt (een soort tennis-rackets), zak je veel minder diep weg (figuur 8). Met die sneeuw-rackets heb je de oppervlakte waarop je staat *vergroot*. De druk wordt daardoor *kleiner*.

Omrekenen van eenheden

Hoe reken je om van N/cm^2 naar Pa (N/m^2) en omgekeerd? Dat gaat zo:

Bij een druk van $1 \text{ N}/\text{cm}^2$ werkt op iedere cm^2 een kracht van 1 N.

1 m^2 is 100 bij 100 cm. Op 1 m^2 passen dus 10 000 cm^2 . Op 1 m^2 werken dus 10 000 krachten van 1 N. In totaal dus 10 000 N.

1 N/cm² komt dus overeen met

10 000 N/m² = 10 000 Pa.

En omgekeerd: 1 N/m² = 0,0001 N/cm²

Behalve de eenheid Pa wordt ook kPa gebruikt:

1 kPa = 1000 Pa

FIG. 8 Sneeuw-rackets vergroten de oppervlakte, dus verkleinen de druk.



Druk bij vloeistoffen

Ook vloeistoffen hebben gewicht en oefenen druk uit. Hoe dieper je in een vloeistof bent, hoe meer vloeistof er boven je zit. Hoe *dieper* je komt, hoe *groter* daar de druk is. Een vloeistof oefent ook druk uit op de wanden van het vat. In figuur 9 is dat te zien. Uit de onderste gaatjes spuit het water verder dan uit de bovenste. Je kunt dit verklaren met het molecuulmodel. Moleculen in een vloeistof bewegen in alle richtingen en botsen tegen de wanden. De druk op de wand is het gevolg van de botsingen van de moleculen.

FIG. 9 Een buis met gaatjes waaruit water spuit.

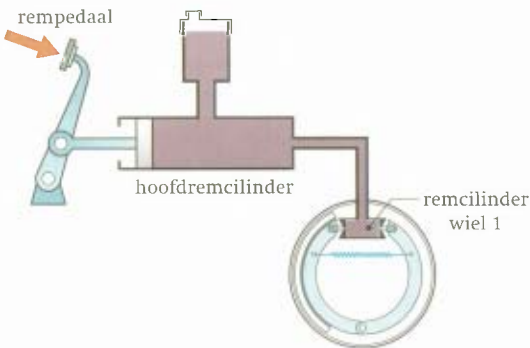


DE WATERDRUK IN EEN ERMENMEYER

In figuur 10 zie je een taps toelopend glazen vat: een erlenmeyer. Er zit water in. De dikke lijn geeft het niveau 10 cm onder de waterspiegel aan. Op vlakje B drukt een kolom van 10 cm water. Op vlakje A drukt een kolom van 5 cm water. Als je de druk meet, blijkt deze bij A en B gelijk te zijn! Er geldt: op dezelfde diepte in dezelfde vloeistof is de druk overal gelijk. Dit wordt de *hoofdwet van de hydrostatica* genoemd. Je kunt dit als volgt begrijpen: Boven A staat een kolom water van 5 cm hoogte. Maar A ligt wèl 10 cm onder de waterspiegel!

FIG. 10 Een taps toelopend glas met water.

FIG. 11 Het hydraulisch remsysteem van een auto.



Druk op vloeistoffen

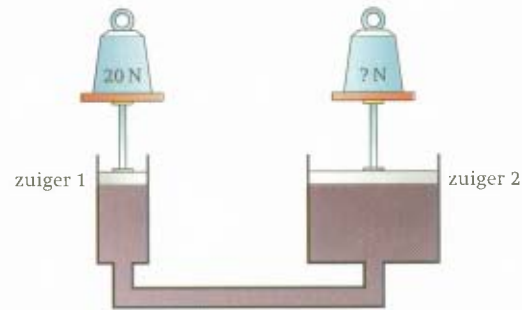
Een kracht uitgeoefend op een vloeistof wordt in alle richtingen doorgegeven. De Franse natuurkundige en filosoof Pascal (1623-1662) heeft dit ontdekt en in een wet vastgelegd: de wet van Pascal. Deze wet luidt:

Een kracht op een vloeistof wordt in alle richtingen doorgegeven. Daardoor is de druk in de vloeistof overal even groot.

VOORBEELD 3

Bij het hydraulisch remsysteem in een auto wordt van deze wet gebruik gemaakt (figuur 11). Bij remmen drukt het rempedaal de zuiger van de hoofdremcilinder in. Deze cilinder is via dunne remleidingen verbonden met de remcilinders bij de vier wielen. Remcilinders en -leidingen zijn gevuld met olie. Bij het remmen wordt de kracht van het rempedaal overgebracht naar alle vier de remcilinders. De druk die (via het rempedaal) op de hoofdremcilinder wordt uitgeoefend, is even groot als de druk die op de remcilinders bij de wielen wordt uitgeoefend.

FIG. 12 Model van een hydraulische pers.



VOORBEELD 4

De wet van Pascal wordt ook toegepast bij de hydraulische pers. In de tekening zie je twee cilinders die met elkaar verbonden zijn (figuur 12). Zuiger 1 heeft een kleine oppervlakte van 10 cm^2 . Zuiger 2 heeft een grote oppervlakte van 150 cm^2 . Op zuiger 1 wordt een kracht uitgeoefend van 20 N .

De druk veroorzaakt door de kracht op zuiger 1 zal ook op zuiger 2 werken. Omdat zuiger 2 een veel grotere oppervlakte heeft, zal de kracht van zuiger 2 veel groter zijn dan de kracht op zuiger 1. Met een hydraulische pers kun je dus door een kleine kracht uit te oefenen een grote kracht ontwikkelen.

De kracht van zuiger 2 (figuur 12) kun je als volgt berekenen.

Gegeven:

$$F_1 = 20 \text{ N}$$

$$A_1 = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 150 \text{ cm}^2$$

Gevraagd:

$$F_2$$

Formule:

$$p_1 = p_2 \text{ (Wet van Pascal)}$$

Oplossing:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = p_2$$

$$\frac{20}{10} = \frac{F_2}{150} \text{ (kruislings vermenigvuldigen)}$$

$$F_2 = \frac{150 \times 20}{10} = \frac{3000}{10} = 300 \text{ N}$$

Deze oplossing had ook anders gekund: de oppervlakte A_2 is $15 \times$ zo groot als A_1 . Dus wordt de kracht F_2 ook $15 \times$ zo groot als F_1 : 300 N

Voorbeelden van hydraulische persen zijn de hydraulische krik om auto's op te krikken (figuur 13) en de autowrakkenpers (figuur 14).

FIG. 13 Een hydraulische autokrik.

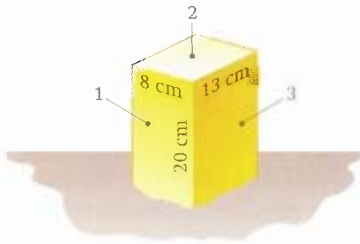


FIG. 14 Van auto tot pakketje.

- 1 Waarom moet je een ladder of een plank op het ijs leggen als je iemand uit een wak wilt halen?
- 2 Waarom is een punaise aan één kant heel scherp en heeft de andere kant een grote oppervlakte?
- 3 Moerasvogels zijn geen zwemvogels. Toch hebben ze vliezen tussen hun tenen. Waarom zou dat zijn?
- 4 Beschrijf met het molecuulmodel waarom vloeistoffen op de wanden van een vat druk uitoefenen.
- 5
 - a Welke eenheden van druk ken je?
 - b Hoe kun je die eenheden in elkaar omrekenen?
- 6 Een kist staat op de grond. Hij heeft een massa van 150 kg. De oppervlakte van het grondvlak is $0,3 \text{ m}^2$.
 - a Bereken het gewicht van de kist.
 - b Bereken de druk die de kist uitoefent op de grond.

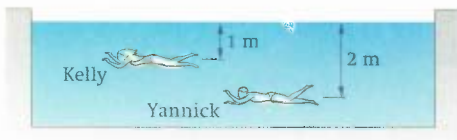
- 7 Een vrachtauto met zes wielen weegt 60 kN (= 60 000 N). Het gewicht is gelijkmatig verdeeld over de wielen. De oppervlakte waarmee één wiel op de grond staat is 200 cm².
- a** Hoe groot is de totale oppervlakte waarmee de vrachtauto op de grond staat?
- b** Hoe groot is de druk die de vrachtauto op de grond uitoefent?

FIG. 15 Een blok koper ligt in het zand.



- 8 Een blok koper ligt in het zand. De afmetingen van het blok staan in figuur 15. De massa van het blok is 16 kg.
- a** Bereken het gewicht van het blok.
- b** Bereken de druk die het blok op het zand uitoefent als kant 1 onder ligt.
- c** Bereken de druk als kant 2 onder ligt.
- d** Bereken de druk als kant 3 onder ligt.
- e** In welk van de gevallen (**b**, **c** of **d**) zakt het blok het verst weg in het zand? Licht je antwoord toe.

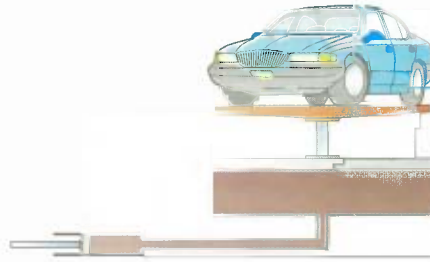
FIG. 16 Yannick en Kelly zwemmen op verschillende diepte.



- 9 Yannick en Kelly doen wie het verst onder water kan zwemmen. Ze zwemmen op verschillende diepte (figuur 16). Leg uit wie van de twee de grootste druk van het water ondervindt.

- 10 **a** Waarom kan met een hydraulisch systeem de kracht op grote afstand worden uitgeoefend?
- b** Waarom werkt een gesloten systeem, gevuld met gas, veel minder goed dan zo'n systeem gevuld met vloeistof?

FIG. 17 Een hydraulische hefbrug.



- 11 Op zuiger 1 van een hydraulische hefbrug (figuur 17) staat een auto. Door de kracht op zuiger 2 is het geheel in evenwicht. De auto weegt 700 kg en zuiger 1 100 kg. De massa van zuiger 2 is te verwaarlozen. De oppervlakte van zuiger 1 is 8,0 m² en van zuiger 2 0,010 m².
- a** Bereken het gewicht van zuiger met auto.
- b** Bereken de druk die zuiger 1 en auto samen op de olie in het systeem uitoefenen.
- c** Bereken de kracht op zuiger 2 die nodig is om de auto op dezelfde hoogte te houden.

De luchtdruk speelt een belangrijke rol bij het weer. Als de luchtdruk stijgt, mogen we goed weer verwachten. Bij lage luchtdruk is het weer vaak slecht. In T2 leer je hoe luchtdruk ontstaat en hoe je de druk van lucht (en andere gassen) kunt meten.

Luchtdruk

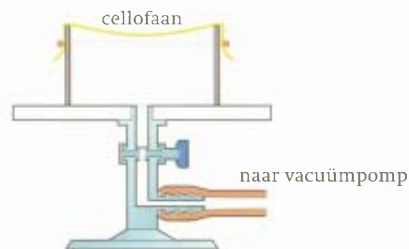
De lucht van onze dampkring bestaat hoofdzakelijk uit de gassen stikstof (78%) en zuurstof (21%). Andere gassen zoals waterdamp, kooldioxide en enkele edelgassen komen maar in kleine hoeveelheden in de lucht voor. Samen is dat 1% van de lucht.

De gassen in de dampkring veroorzaken een druk op aarde: de luchtdruk. *De luchtdruk is het gevolg van het gewicht van de lucht.* Omdat de moleculen in de lucht in alle richtingen bewegen, werkt de luchtdruk in alle richtingen en is in alle richtingen even groot. Zo werkt de luchtdruk zowel op de boven- als op de onderkant van je (horizontaal gehouden) hand. Eigenlijk is de druk op de onderkant iets groter, omdat die zich 'dieper in de luchtzee' bevindt. Maar dat drukverschil is bij zo'n gering hoogteverschil natuurlijk te verwaarlozen.

Dat lucht druk uitoefent, blijkt als we de lucht wegzuigen uit een vat dat aan de bovenzijde is afgesloten met een cellofaanfolie (figuur 18).

Door de druk van de buitenlucht wordt het folie eerst naar binnen gedrukt. Het scheurt als het drukverschil te groot wordt.

FIG. 18 Een vat afgesloten met een folie, waaronder de lucht wordt weggezogen.



De buis van Torricelli

In 1643 maakte de Italiaan Torricelli als eerste een instrument waarmee je de luchtdruk kunt meten: de kwikbarometer (figuur 19). Hij gebruikte een glazen buis die aan één kant was dichtgesmolten. De buis werd tot aan de rand gevuld met kwik en afgesloten. Hij plaatste de buis omgekeerd in een bakje met kwik. De opening werd pas vrij gemaakt, toen deze zich onder het kwikniveau bevond. Het kwik in de buis bleef 75 cm boven het niveau in de bak staan. Als de luchtdruk verandert, verandert ook het hoogteverschil tussen het kwik in de buis en het kwik in de bak.

De Fransman Pascal verklaarde dit verschijnsel als volgt. De buitenlucht drukt op het kwik in de bak en drukt het kwik in de buis omhoog. De zwaartekracht op de kwikkolom werkt omlaag. Er is evenwicht als de druk van de buitenlucht gelijk is aan de druk van de kwikkolom op het kwik in de bak. De luchtdruk komt dus overeen met de druk van een kwikkolom van 75 cm lengte. De druk van een kwikkolom van 75 cm is gelijk aan $100\,000\text{ Pa} = 100\text{ kPa}$.

FIG. 19 De kwikbarometer van Torricelli.

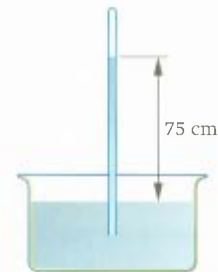




FIG. 20 De metaalbarometer.

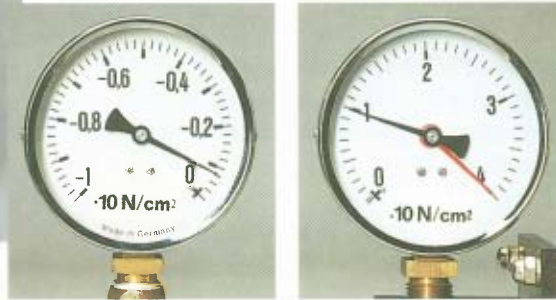


FIG. 21 Twee metaalmanometers.

Als je het weerbericht op de t.v. bekijkt, zul je nooit horen: 'de luchtdruk is 100 000 Pa'. Dit komt doordat in de weerkunde de luchtdruk gegeven wordt in mbar (millibar). Er geldt $1000 \text{ mbar} = 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$. De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau is 100 000 Pa. Dit komt dus overeen met 1000 mbar.

Waarom staat er 'op zeeniveau' in de vorige zinnen? Dit staat er, omdat in de onderste lagen van de dampkring de luchtdruk afneemt van beneden naar boven met ongeveer 10 mbar per 100 meter. Zo is de druk op 2000 meter hoogte nog ongeveer 800 mbar. De bovenste luchtlagen worden steeds ijler. Hoe hoger je komt, hoe minder moleculen er in een m^3 zitten.



MANOMETER OF BAROMETER?

Het instrument om de luchtdruk te meten wordt *barometer* genoemd. De druk van een willekeurig gas wordt gemeten met een *manometer*.

Voor het meten van de luchtdruk gebruikt men tegenwoordig meestal geen kwikbarometer meer, maar een *metaalbarometer*. Een metaalbarometer is veel eenvoudiger te gebruiken. Het instrument (figuur 20) reageert op *veranderingen* van de luchtdruk en moet dus met een kwikbarometer worden geijkt. Pas dan kun je ermee meten!

Druk bij gassen

De moleculen van een gas kunnen vrij bewegen. De druk van een gas ontstaat dan ook door botsingen van de moleculen tegen de wanden van de ruimte waarin het gas zit. Wordt de ruimte kleiner gemaakt, dan zullen er meer botsingen per cm^2 per seconde tegen de wanden plaatsvinden. De druk neemt daardoor toe. De druk van een gas kan óók toenemen door het verhogen van de temperatuur. De moleculen gaan dan sneller bewegen. De gemiddelde snelheid wordt groter. Daardoor botsen de moleculen vaker en harder tegen de wanden. LET OP: er zijn dus twee oorzaken voor de druktoename bij temperatuurverhoging! Als de druk in een ruimte lager is dan de luchtdruk, spreekt men van *onderdruk*. Is de druk hoger dan de luchtdruk, dan is er sprake van *overdruk*. De druk van een gas meet je met een manometer. Een voorbeeld hiervan is de metaalmanometer (figuur 21). Tegenwoordig bestaan er ook druksensoren die op een computer kunnen worden aangesloten. Zo kun je drukmeting automatiseren.

BLOK 2 BASISSTOF

W2

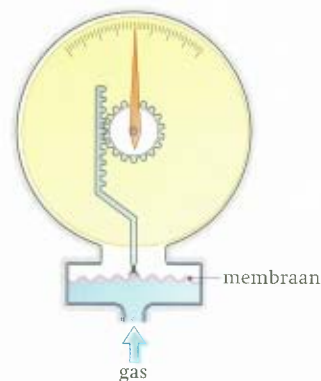
- 1 Verklaar met behulp van het molecuulmodel waarom gassen druk uitoefenen.
- 2 **a** Hoe ontstaat de luchtdruk op aarde?
b Verklaar met behulp van het molecuulmodel waarom de luchtdruk afhangt van de hoogte boven het aardoppervlak.
- 3 Beschrijf een proef waarmee je kunt aantonen dat lucht een druk uitoefent.
- 4 Het ventiel van de band van een racefiets bestaat uit een busje waarin een kogeltje zit dat vrij kan bewegen. Het kogeltje kan de luchtdoorvoer afsluiten. Een ventiel met een ventielslangetje is vanwege de hogere bandenspanning hier niet geschikt (figuur 22).
a Waarvoor dient het ventiel in een fietsband?
b Heerst er over- of onderdruk in de band?
c Waarom stroomt de lucht tijdens het oppompen niet direct terug?

FIG. 22 Het ventiel van de band van een racefiets.



- 5 **a** In welke eenheid wordt luchtdruk in de weerkunde gegeven?
b Hoe groot is de luchtdruk op aarde gemiddeld op zeeniveau?
c Noem twee apparaten waarmee je de luchtdruk kunt meten.
d Met hoeveel pascal komt 1000 mbar overeen?
- 6 Verklaar met de molecuultheorie waardoor de druk van een afgesloten hoeveelheid gas verandert als je dit gas:
a samenperst bij constante temperatuur,
b verwarmt bij constant volume.
- 7 In figuur 23 zie je een metaalmanometer met membraan (verend dekseltje).
a Leg de werking van dit apparaat uit.
b Verklaar wat er nodig is om ermee te kunnen meten.

FIG. 23 Een metaalmanometer met membraan.



T3 Absolute temperatuur

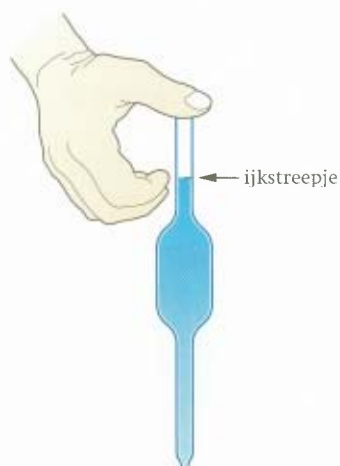
8 Met een pipet kun je vloeistof uit een vat opzuigen (figuur 24). Als je de pipet tot het ijkstreepje vult, kun je het volume van de vloeistof nauwkeurig afmeten. Door de bovenkant af te sluiten kan de vloeistof er niet uitstromen.

a Is de druk boven de vloeistof in de pipet gelijk aan of kleiner dan de druk van de buitenlucht?

b Verklaar waarom er geen vloeistof uit de pipet stroomt.

c Als je een vloeistof met een grotere dichtheid opzuigt, moet je dan harder zuigen om de pipet te vullen? Verklaar je antwoord.

FIG. 24 Een pipet.



Volume en temperatuur

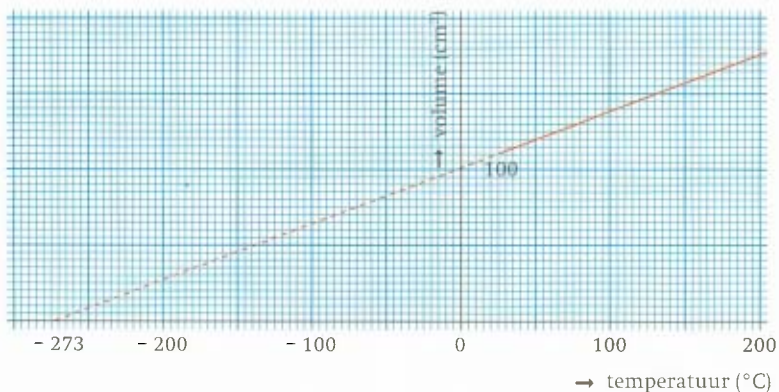
Het volume van een gas hangt af van de temperatuur. Als we de temperatuur van het gas verlagen, neemt het volume af. In het diagram zie je het verband tussen volume en temperatuur (figuur 25). Zouden we de temperatuur blijven verlagen (en zou het gas niet veranderen in vloeistof en vaste stof), dan zou bij een bepaalde temperatuur het volume nul worden. De temperatuur waarbij dat gebeurt is de laagst mogelijke temperatuur: *het absolute nulpunt*. Door de grafiek door te trekken (stippelijijn) vinden we het absolute nulpunt bij $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperatuur en de snelheid van de moleculen

Het absolute nulpunt kunnen we ook verklaren met het molecuulmodel. Moleculen bewegen. In een gas of vloeistof bewegen ze door elkaar. In een vaste stof trillen de moleculen om een vaste plaats.

De (gemiddelde) snelheid van moleculen hangt af van de temperatuur. Als de temperatuur daalt, bewegen de moleculen minder snel.

FIG. 25 Het verband tussen volume en temperatuur van een gas.



Als we de temperatuur steeds verder verlagen, blijken de moleculen op een gegeven moment niet meer te bewegen. We zijn uitgekomen bij het absolute nulpunt. *Een lagere temperatuur bestaat niet.* Moleculen kunnen niet nog langzamer bewegen.

Temperatuur in kelvin

De Engelsman Kelvin (1824-1907) (figuur 26) heeft het absolute nulpunt gebruikt als beginpunt voor een nieuwe temperatuurschaal. Die temperatuurschaal is later naar hem genoemd. Voor de temperatuur bij het absolute nulpunt nam hij 0 K. Voor de schaalverdeling nam Kelvin dezelfde schaalverdeling als Celsius (figuur 27). Een temperatuurstijging van 1 °C is dus gelijk aan een temperatuurstijging van 1 K. Daarom is er een eenvoudig verband tussen beide temperatuurschalen: 0 °C is 273 K en 100 °C is 373 K (figuur 28).

Je kunt een temperatuur in °C omrekenen in K met de rekenregel:

$$T(\text{in K}) = T(\text{in } ^\circ\text{C}) + 273$$

Omgekeerd kun je een temperatuur in K omrekenen in °C met de rekenregel:

$$T(\text{in } ^\circ\text{C}) = T(\text{in K}) - 273$$



Fig. 27 De Zweed Anders Celsius (1701-1744).

Fig. 26 Lord Kelvin.

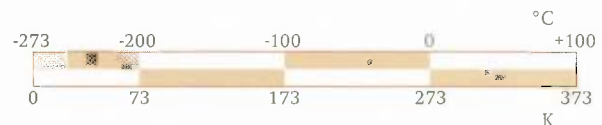
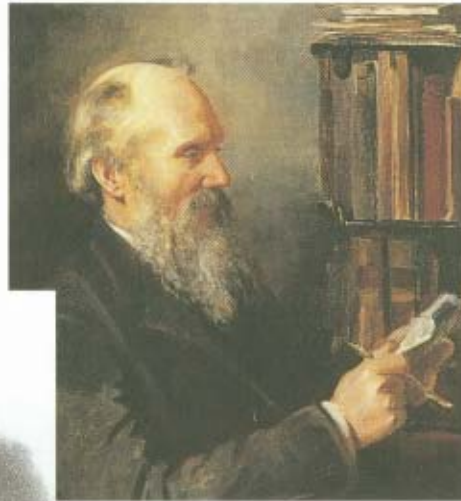


FIG. 28 Een thermometer die graden Celsius en kelvin aangeeft.

- a** Wat is de laagste temperatuur die mogelijk is?

b Hoe wordt dit punt genoemd?

c Welke temperatuurschaal heeft dit punt als nulpunt?

d Leg uit waarom er geen lagere temperatuur kan bestaan.
- Reken de volgende temperaturen om in Kelvin of °C.

a 100 °C	e -273 °C
b 52 °C	f 99 K
c 237 °C	g 273 K
d -20 °C	h 295 K

T4 De gaswetten

In de atmosfeer van de aarde vinden horizontale en verticale luchtstromingen plaats. Daarbij veranderen het volume, de druk en de temperatuur van de lucht. Het verband tussen deze veranderingen wordt gegeven door de *gaswetten*.

We beperken ons eerst tot het verband tussen het volume en de druk van een gas bij constante temperatuur en gelijke hoeveelheid gas. We ontdekken dan *de wet van Boyle*.

Daarna kijken we naar het verband tussen het volume, de druk en de temperatuur van een gas bij gelijkblijvende hoeveelheid gas. We hebben dan te maken met de *algemene gaswet*.

De wet van Boyle

De Engelse natuurkundige Robert Boyle heeft het verband onderzocht tussen de druk en het volume van een afgesloten hoeveelheid gas bij constante temperatuur (figuur 29).

Als je het volume van een afgesloten hoeveelheid gas kleiner maakt, wordt de druk groter. Er bestaat een bijzonder verband tussen volume en druk. Maak je het volume $2 \times$ zo klein, dan wordt de druk $2 \times$ zo groot. Maak je het volume $2 \times$ zo groot, dan wordt de druk $2 \times$ zo klein.

Het verband tussen het volume en de druk van een afgesloten hoeveelheid gas bij constant blijvende temperatuur wordt gegeven door *de wet van Boyle*:

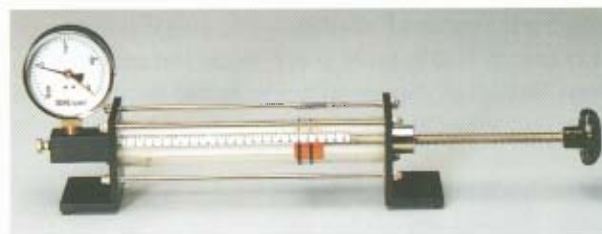
Het product van druk en volume van een gas is constant, mits de temperatuur en de hoeveelheid gas niet veranderen. In formulevorm:

$$p \cdot V = \text{constant}$$

Je kunt de wet van Boyle ook schrijven als:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

FIG. 29 Een cilinder afgesloten met een beweegbare zuiger. De druk in de cilinder kan worden afgelezen op een manometer.



In deze formule geldt:

p_1 is de druk in de beginsituatie (bijvoorbeeld in Pa);

V_1 is het volume in de beginsituatie (bijvoorbeeld in cm^3);

p_2 is de druk in de eindsituatie (ook in Pa);

V_2 is het volume in de eindsituatie (ook in cm^3).

VOORBEELD 1

Een afgesloten hoeveelheid gas heeft een druk van 200 kPa en een volume van 50 cm^3 . We persen het gas samen tot 40 cm^3 . De temperatuur blijft gelijk. Bereken de druk na het samenversen.

Gegeven:

$$p_1 = 200 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 50 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 40 \text{ cm}^3$$

Gevraagd:

$$p_2$$

Formule:

Omdat het hier gaat om een afgesloten hoeveelheid gas waarvan de temperatuur gelijk blijft, mogen we de wet van Boyle toepassen.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Oplossing:

$$200 \times 50 = p_2 \times 40$$

$$p_2 = \frac{10\,000}{40} = 250 \text{ kPa}$$

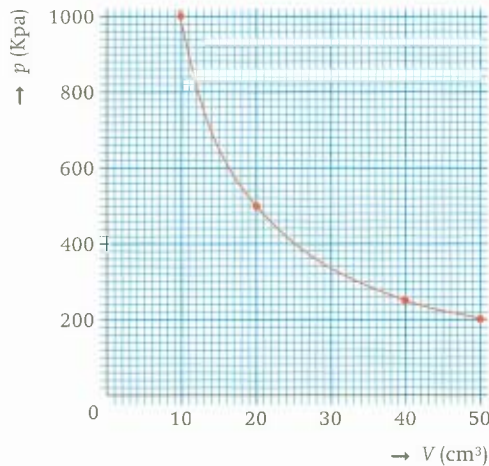
LET OP: links en rechts in de vergelijking moet je dezelfde eenheden gebruiken voor dezelfde grootheden. Als je in het linkerlid van de vergelijking de druk invult in kPa, moet je dat ook in het rechterlid doen. Vul je het volume in het linkerlid in cm^3 in, dan moet dat ook in het rechterlid.

Als we het verband tussen p en V uitzetten in een diagram, ontstaat een grafiek zoals in figuur 30. Dit is een (p, V) -diagram.

Enkele apparaten waarvoor de wet van Boyle geldt, zijn:

- de *luchtperspomp* die je gebruikt voor het oppompen van een fietsband of een luchtbed (figuur 31);
- de *vloeistof-zuigpomp*, de waterpomp die vroeger op elk dorpsplein stond.

FIG. 30 Het verband tussen volume en druk, als de temperatuur en de hoeveelheid gas gelijk blijven.



De algemene gaswet

Vaak zal bij luchtstromingen niet alleen de druk en/of het volume van de lucht veranderen maar ook de temperatuur. Uit proeven blijkt dat de druk van een afgesloten hoeveelheid gas toeneemt, als we bij gelijkblijvend volume de temperatuur verhogen. Maar ook dat het volume toeneemt als we bij gelijkblijvende druk de temperatuur verhogen.

Gay-Lussac heeft de resultaten van deze proeven gecombineerd tot de *algemene gaswet*. Het gaat hierbij om het verband tussen de druk p , het volume V en de temperatuur T van een afgesloten hoeveelheid gas. Volgens de algemene gaswet geldt:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{constant}$$

Je kunt de algemene gaswet ook schrijven als:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

In deze formule geldt:

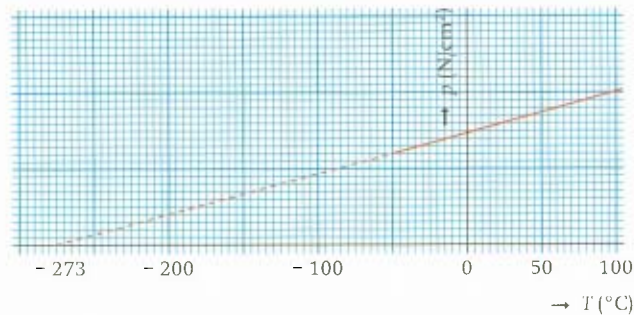
p_1 is de druk in de beginsituatie (bijvoorbeeld in Pa);
 V_1 is het volume in de beginsituatie (bijvoorbeeld in cm^3);

T_1 is de temperatuur in de beginsituatie in K!!;
 p_2 is de druk in de eindsituatie (ook in Pa);
 V_2 is het volume in de eindsituatie (ook in cm^3);
 T_2 is de temperatuur in de eindsituatie in K!!

FIG. 31 Een luchtperspomp.



FIG. 32 Het verband tussen de temperatuur en de druk bij gelijkblijvend volume en constante hoeveelheid gas.



Net als bij de wet van Boyle doet het er niet toe welke eenheden je voor p en V gebruikt, mits je aan beide kanten maar dezelfde eenheden invult. De temperatuur T mag alleen in K worden ingevuld!! Als je de temperatuur in $^{\circ}C$ neemt, klopt de wet niet! In het diagram zie je hoe de druk verandert, als de temperatuur verandert bij constant volume en gelijkblijvende hoeveelheid gas (figuur 32). Bij het absolute nulpunt wordt de druk nul. Er zijn dan geen botsingen meer. De moleculen hebben immers geen snelheid meer.

VOORBEELD 2

De zuiger van een fietspomp staat in de hoogste stand (figuur 33). Het volume onder de zuiger is $2,5 \text{ dm}^3$. De druk van de buitenlucht is 100 kPa .

We houden de slang dicht en duwen de zuiger naar beneden. Het volume onder de zuiger wordt dan $0,5 \text{ dm}^3$. De temperatuur van de lucht stijgt daarbij van $20^{\circ}C$ naar $25^{\circ}C$.

Bereken de druk van de lucht onder de zuiger als deze naar beneden geduwd is.

Gegeven:

$$p_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ dm}^3$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$V_2 = 0,5 \text{ dm}^3$$

$$T_2 = 298 \text{ K}$$

Gevraagd:

$$p_2$$

Formule:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Oplossing:

$$\frac{100 \times 2,5}{293} = \frac{p_2 \times 0,5}{298}$$

$$p_2 = \frac{100 \times 2,5 \times 298}{293 \times 0,5}$$

$$p_2 = \frac{74\,500}{146,5} = 509 \text{ kPa}$$

FIG. 33 Een fietspomp.



- Als een afgesloten hoeveelheid gas wordt verwarmd, neemt de druk toe. Verklaar dit met het molecuulmodel.
- Bij een proef wordt het verband tussen de druk en het volume van een hoeveelheid gas onderzocht. De meetresultaten zijn in de tabel van figuur 34 weergegeven.

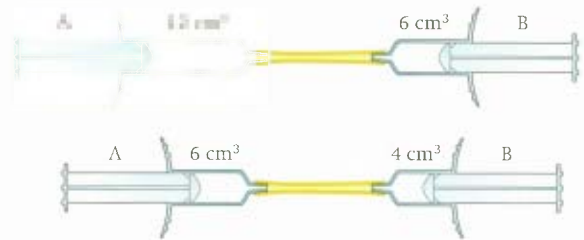
FIG. 34

p (kPa)	V (cm ³)
40	4500
60	3000
100	1800
160	1125
240	750
300	600

- Maak met behulp van deze gegevens een (p, V)-diagram.
 - Wat kun je dan zeggen van de grootte van p als V zeer groot wordt?
- Een vat is afgesloten door een zuiger. Het volume is 120 cm³. De druk in het vat is 50 kPa. Het volume wordt verkleind tot 85 cm³. Bereken de druk in het vat.
 - Twee injectiespuiten A en B zijn met elkaar verbonden (figuur 35). De druk van de lucht in beide spuiten is 100 kPa. Bij de beginstand is het volume van spuit A 12 cm³ en van spuit B 6 cm³. De zuigers van de spuiten A en B worden beide ingedrukt. Het volume van A is dan 6 cm³, en het volume van B is 4 cm³ geworden. Bereken de druk van de lucht in de injectiespuiten.

- Een autoband bevat 40 liter lucht met een druk van 220 kPa. De auto wordt in de zon geparkeerd, waardoor de temperatuur van de lucht in de band stijgt van 17 °C naar 50 °C. Het volume van de band verandert niet. Hoe hoog wordt de druk?
- In een vat zit stikstofgas. De druk is 100 kPa. De temperatuur is 27 °C. Het volume blijft tijdens de proef *constant*.
 - Bereken de temperatuur van het gas in K.
 - Bereken de druk, als de temperatuur van het vat wordt verhoogd tot 127 °C.
 - Bereken de druk, als de temperatuur tot 167 °C wordt verhoogd.
 - Bereken de temperatuur in °C, als de druk is opgelopen tot 180 kPa.

FIG. 35 Twee injectiespuiten zijn door een slangetje met elkaar verbonden.



H1 Druk

Druk

De scherpe punt van een potlood kun je met dezelfde kracht verder in een stuk gum drukken dan de stompe achterkant. Dit kun je verklaren met het begrip druk. Met druk bedoelen we de kracht die per oppervlakte-eenheid wordt uitgeoefend. Je kunt de druk uitrekenen door de kracht F te delen door de oppervlakte A waar de kracht op werkt. In formulevorm:

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

In deze formule is:

F de kracht in N;

A de oppervlakte in m^2 (soms cm^2);

p de druk in N/m^2 (soms N/cm^2).

LET OP: $1 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ pascal}$.

Omrekenen van N/cm^2 naar Pa

Als je de druk in N/cm^2 moet omrekenen in Pa (dus in N/m^2) moet je bedenken dat 1 m^2 gelijk is aan $100 \times 100 = 10\,000 \text{ cm}^2$. Omdat 1 m^2 10 000 keer zo groot is als 1 cm^2 zal daarop een 10 000 keer zo grote kracht werken. Dus $1 \text{ N}/\text{cm}^2$ komt overeen met een druk van $10\,000 \text{ N}/\text{m}^2$ ofwel $10\,000 \text{ Pa}$.

- 1 Wanneer oefent je lichaam een grotere druk uit op de ondergrond: als je ligt of als je staat? Licht je antwoord toe.
- 2 Een kist met een gewicht van 500 N staat op een oppervlakte van 250 cm^2 . Bereken de druk die de kist uitoefent.

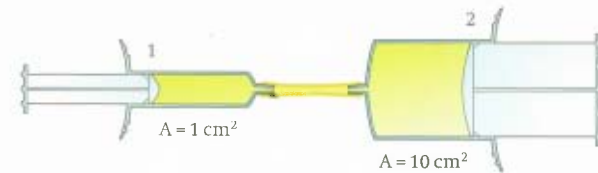
- 3 Het ijs op een sloot kan een maximale druk verdragen van $2 \text{ N}/\text{cm}^2$. De oppervlakte van de zolen en hakken van Jan is in totaal 350 cm^2 . Hij zakt niet door het ijs.
 - a Bereken het gewicht van Jan.
 - b Hoe groot is de massa van Jan?
 - c Kan Jan zonder problemen één voet optillen? Licht je antwoord toe.

Druk bij vloeistoffen

De druk op een vloeistof plant zich, net als in een gas, in alle richtingen voort. Dit is de wet van Pascal. Kijk maar naar dit voorbeeld: Twee injectiespuiten 1 en 2 zijn met elkaar verbonden door een slangetje. De zuiger van spuit 1 heeft een oppervlakte van 1 cm^2 . De zuiger van spuit 2 heeft een oppervlakte van 10 cm^2 (figuur 36).

Als we op zuiger 1 een kracht uitoefenen van 10 N, is de druk die de zuiger uitoefent $10 \text{ N}/\text{cm}^2$ (de oppervlakte is immers 1 cm^2). De druk plant zich in alle richtingen door de vloeistof voort, dus ook op zuiger 2 wordt een druk uitgeoefend van $10 \text{ N}/\text{cm}^2$. Omdat zuiger 2 10 keer zo groot is, werkt op zuiger 2 een 10 keer zo grote kracht. Om zuiger 2 op zijn plaats te houden is dus een kracht nodig van $10 \times 10 = 100 \text{ N}$.

FIG. 36 Twee injectiespuiten zijn met elkaar verbonden door een slangetje.



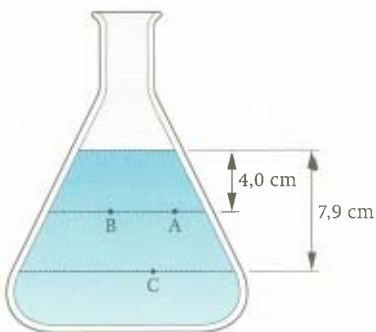
De druk die een vloeistof door zijn eigen gewicht uitoefent (bijvoorbeeld op de bodem van een glas), hangt af van de hoogte van de vloeistofkolom en van de dichtheid van de vloeistof. Omdat de druk op een vloeistof zich in alle richtingen voortplant, wordt er ook een druk op de wand van het vat uitgeoefend. Voor de druk van vloeistoffen gelden de volgende regels.

- Hoe dieper je in een vloeistof komt, hoe groter de vloeistofdruk wordt.
- Een vloeistof oefent druk uit in alle richtingen. Op een bepaalde plaats in de vloeistof is die druk in alle richtingen even groot.
- In een vat met vloeistof is op alle plaatsen op dezelfde diepte de druk even groot. Dit is de hoofdwet van de hydrostatica.

4 In het naar boven taps toelopende glas van figuur 37 zit glycerol. De dichtheid van glycerol is $1,26 \text{ g/cm}^3$. De punten A en B zitten beide $4,0 \text{ cm}$ onder de vloeistofspiegel, C zit $7,9 \text{ cm}$ onder de vloeistofspiegel.

- a** Vergelijk de druk in de punten A en B met elkaar.
- b** Vergelijk de druk in de punten A en C met elkaar.

FIG. 37 Een erlenmeyer gevuld met glycerol.



De wet van Boyle

De druk van een gas wordt bepaald door het aantal botsingen van de moleculen tegen de wand van het vat (per cm^2 per seconde). Als het volume van een gas wordt verkleind, zullen er per seconde meer botsingen plaatsvinden. De druk zal dan toenemen. Boyle onderzocht het precieze verband tussen volume en druk. Hij deed dat met een afgesloten hoeveelheid gas en bij constante temperatuur (om te zorgen dat de gemiddelde snelheid van de moleculen gelijk bleef). Het verband dat hij vond kun je eenvoudig voorspellen. Als we het volume van een hoeveelheid gas twee maal zo klein maken, botsen de moleculen per seconde twee maal zo vaak tegen elkaar en tegen de wand. Dan moet de druk dus twee maal zo groot zijn geworden (figuur 38).

Als de druk van het gas in het oorspronkelijke volume 100 kPa was, zal de druk van het gas in het twee maal zo kleine volume 200 kPa zijn. Wordt het volume opnieuw twee maal zo klein, dan zal de druk wéér twee maal zo groot worden, dus 400 kPa . Uit de tabel van figuur 39 blijkt dat het product van volume en druk constant is.

We kunnen zeggen dat druk en volume *omgekeerd evenredig* zijn:

als het volume n maal zo groot wordt, wordt de druk n maal zo klein. Voor n mag je elk geheel of gebroken getal invullen.

Dit verband wordt de wet van Boyle genoemd:

Het product van druk en volume van een afgesloten hoeveelheid gas is constant, mits de temperatuur niet verandert.

FIG. 38 Een vat is afgesloten door een beweegbare zuiger. De druk in het vat is af te lezen op een manometer.

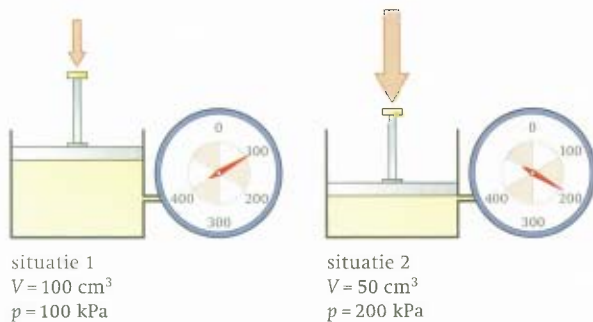


FIG. 39

meting	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$p \text{ (kPa)}$	$p \cdot V$
1	100	100	1000
2	50	200	1000
3	25	400	1000

Je kunt deze wet op twee manieren in formulevorm schrijven:

$$p \cdot V = \text{constant}$$

of:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

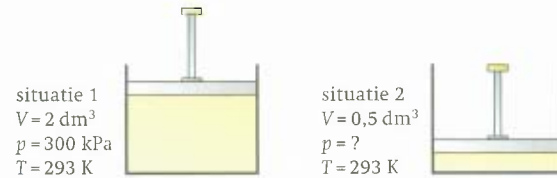
Eenheden

Het maakt niet veel uit welke eenheden je gebruikt bij de wet van Boyle. Je moet er wel voor zorgen dat links en rechts van het is-teken dezelfde eenheden staan. Druk je p bij het linkerlid uit in kPa, dan moet je dat rechts ook doen. Vul je V bij het linkerlid in dm^3 in, dan moet je dat rechts ook doen.

VOORBEELD 1

In een vat afgesloten door een zuiger zit $2,0 \text{ dm}^3$ lucht met een druk van 300 kPa . De temperatuur is 293 K (figuur 40). De lucht wordt samengeperst tot een volume van $0,50 \text{ dm}^3$. De temperatuur blijft 293 K . Bereken de nieuwe druk.

FIG. 40 Een vat dat is afgesloten door een beweegbare zuiger.



We mogen natuurlijk de wet van Boyle gebruiken, want:

- de temperatuur verandert niet;
- de hoeveelheid gas blijft constant.

Gegeven:

$$p_1 = 300 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 2,0 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 0,50 \text{ dm}^3$$

Gevraagd:

$$p_2$$

Formule:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Oplossing:

$$300 \times 2,0 = p_2 \times 0,50$$

$$p_2 = \frac{600}{0,50} = 1\,200 \text{ kPa}$$

Omdat p in het linkerlid in kPa werd ingevuld, vind je de druk in het rechterlid ook in kPa.

FIG. 41 Een injectiespuit.



- 1 In figuur 41 zie je een injectiespuit die wordt afgesloten met een vinger. Het volume onder de zuiger is $3,0 \text{ cm}^3$. De druk is 100 kPa . We drukken de zuiger naar beneden, zodat de druk 250 kPa wordt. De temperatuur verandert niet en er ontsnapt geen lucht.
Bereken het nieuwe volume.

- 2 Een ballon heeft een volume van $3,0 \text{ dm}^3$. De druk in de ballon is 100 kPa . Je blaast de ballon op. Het volume wordt dan $8,0 \text{ dm}^3$. De temperatuur verandert niet.
Waarom kun je de druk in de opgeblazen ballon hier niet uitrekenen?

- 3 Met een manometer wordt de gasdruk in een vat gemeten. Het vat heeft een volume van 100 cm^3 . Nadat het is gevuld met een gas, is de druk in het vat opgelopen tot 110 kPa . Met een injectiespuit wordt 20 cm^3 vloeistof toegevoegd, zonder dat er gas kan ontsnappen. De verdamping van de vloeistof in het vat is te verwaarlozen. De temperatuur blijft constant.
Bereken de druk in het vat direct na het inbrengen van de vloeistof.

De algemene gaswet

Als een bel warme lucht opstijgt, zullen niet alleen volume en druk veranderen, maar ook de temperatuur. Voor opstijgende warme lucht mag je de wet van Boyle dus niet gebruiken.

Als de temperatuur stijgt, neemt de gemiddelde snelheid van de moleculen toe. Daardoor neemt het *aantal botsingen* van de moleculen tegen de wand (per cm^2 per seconde) toe, maar ook de *kracht* van de botsingen. De druk wordt dus om twee redenen groter.

Bij een temperatuurdaling neemt de druk af. De moleculen hebben dan immers een lagere gemiddelde snelheid.

Als we de temperatuur steeds verder verlagen, blijken de moleculen bij een bepaalde temperatuur niet meer te bewegen. Er zijn dan geen botsingen meer. De druk is nul geworden. De temperatuur waarbij de moleculen niet meer bewegen, is de laagst mogelijke temperatuur. Deze temperatuur wordt het *absolute nulpunt* genoemd.

Het absolute nulpunt ligt bij $-273 \text{ }^\circ\text{C}$. Kelvin gebruikte het absolute nulpunt als beginpunt voor een nieuwe temperatuurschaal. Hij koos de schaal zó, dat een temperatuurverschil van één K overeenkomt met een temperatuurverschil van één graad $^\circ\text{C}$. Zo is 0 K gelijk aan $-273 \text{ }^\circ\text{C}$, en $0 \text{ }^\circ\text{C}$ gelijk aan 273 K .

Omrekenen doe je zo:

$$T(\text{in K}) = T(\text{in } ^\circ\text{C}) + 273$$

$$T(\text{in } ^\circ\text{C}) = T(\text{in K}) - 273$$

Het verband tussen druk, volume en temperatuur wordt gegeven door de algemene gaswet:

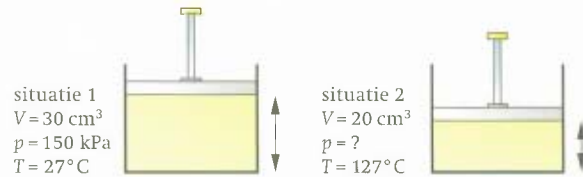
$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{constant}$$

of

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

De algemene gaswet geldt voor een constante hoeveelheid gas. *In de formule moet de temperatuur in kelvin uitgedrukt worden.*

FIG. 42 Een vat met gas afgesloten door een zuiger.



VOORBEELD 2

In een cilinder zit 30 cm^3 lucht onder een zuiger. De druk in de cilinder is 150 kPa en de temperatuur is $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

We verhogen de temperatuur tot $127 \text{ }^\circ\text{C}$ en persen de lucht samen tot het volume 20 cm^3 is geworden (figuur 42).

Bereken de druk onder de zuiger.

Gegeven:

$$p_1 = 150 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 30 \text{ cm}^3$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$V_2 = 20 \text{ cm}^3$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

Gevraagd:

$$p_2$$

Formule:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Oplossing:

$$\frac{150 \times 30}{300} = \frac{p_2 \times 20}{400}$$

$$p_2 = \frac{150 \times 30 \times 400}{300 \times 20}$$

$$p_2 = \frac{1\,800\,000}{6\,000} = 300 \text{ kPa}$$

- 4 In een vat met een beweegbare zuiger zit 100 cm^3 gas met een druk van 120 kPa . De temperatuur van het gas is $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Het volume wordt verkleind tot 65 cm^3 en de temperatuur wordt verhoogd tot $34 \text{ }^\circ\text{C}$.

- a Bereken de nieuwe druk.

Om het volume op 65 cm^3 te houden moet er een kracht op de zuiger worden uitgeoefend. Deze kracht valt weg, waarna het volume groter wordt. De druk wordt nu 110 kPa . De temperatuur blijft gelijk.

- b Bereken het volume van het gas na het wegvallen van de kracht.

- 5 Een fles met een volume van $1,0 \text{ dm}^3$ wordt zonder stop in een koelkast gezet. De temperatuur in de koelkast is $5 \text{ }^\circ\text{C}$. De druk van de buitenlucht tijdens de proef is en blijft 102 kPa . Na enkele uren wordt de fles uit de koelkast gehaald en onmiddellijk afgesloten. Vervolgens wordt de fles in een warme omgeving geplaatst, waardoor de temperatuur $44 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt. Vervolgens wordt de stop voorzichtig verwijderd.

- a Wat zul je waarnemen bij het verwijderen van de stop?

- b Bereken de druk in de fles vlak voordat hij wordt geopend.

- 6 In de cilinder van een pomp zit gas met een druk van 106 kPa . De temperatuur van het gas in de pomp is $21 \text{ }^\circ\text{C}$. De zuiger van de pomp wordt met kracht ingedruwd. Daardoor stijgt temperatuur van het gas tot $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Het volume van het gas is op dat moment 115 cm^3 en de druk is opgelopen tot 248 kPa .

Bereken het volume in de pomp voordat de zuiger werd ingedrukt.

H3 Oefenen met examenopgaven

- 1 Vroeger hadden sommige mensen een 'donderglas' aan de muur hangen (figuur 43). Als de luchtdruk plotseling daalt, verandert de hoogte van het waterniveau in de 'tuit' van het donderglas. Dit betekende meestal dat er onweer op komst was. Beredeneer of het water in de tuit stijgt of daalt als de luchtdruk daalt.
- 2 Aan een kraan hangt een waterdruppel.
 - a Waardoor blijft de druppel één geheel?
 - A Door de adhesie tussen de watermoleculen.
 - B Door de cohesie tussen de watermoleculen.
 - C Door de zwaartekracht.
 - b Waardoor blijft de druppel aan de kraan hangen?
 - A Door de adhesie tussen het water en de kraan.
 - B Door de cohesie tussen het water en de kraan.
 - C Door de cohesie van de kraan.
 - D Door de zwaartekracht.

FIG. 43 Een donderglas.



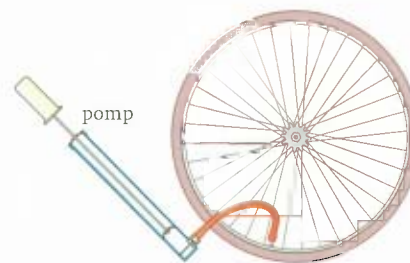
- 3 In twee bakken van verschillende grootte staat het water even hoog (figuur 44). Vergelijk de druk die het water in beide gevallen op de bodem uitoefent.
 - A Deze druk is het grootst in bak 1.
 - B Deze druk is het grootst in bak 2.
 - C Deze druk is in beide bakken even groot.

FIG. 44 Twee bakken met water.



- 4 Rob gaat een band oppompen (figuur 45). De oppervlakte van de zuiger in de pomp is $3,0 \text{ cm}^2$. Rob perst de lucht in de pomp samen tot een druk van $5,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Bereken bij deze druk de kracht van de lucht in de pomp tegen de zuiger.

FIG. 45 Het oppompen van een fietsband.



- 5 In een tekst over de molecuultheorie wordt een afkoeling, gevolgd door een fase-overgang als volgt beschreven: 'De moleculen gaan langzamer bewegen en blijven daarna op een vaste plaats trillen.' Welke van de volgende fase-overgangen wordt hier beschreven?
 - A condenseren
 - B rijpen
 - C smelten
 - D verdampen

- 6 Deze vraag gaat over de moleculen van een bepaalde stof.
Vergelijk van deze stof de snelheid van de moleculen bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bij 0 K .
- A De moleculen bewegen niet bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 0 K .
 - B De moleculen bewegen even snel bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 0 K .
 - C De moleculen bewegen bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ langzamer dan bij 0 K .
 - D De moleculen bewegen bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sneller dan bij 0 K .

- 7 Waar liggen het vriespunt en het kookpunt van water op de schaal van Kelvin?

	VRIESPUNT	KOOKPUNT
A	-273 K	-173 K
B	-273 K	0 K
C	0 K	100 K
D	0 K	273 K
E	273 K	100 K
F	273 K	373 K

- 8 Iemand neemt met een pipet een beetje water uit een rivier. De pipet wordt afgesloten met de vinger en dan uit het water gehaald (figuur 46).

Tussen het water en de vinger zit lucht.

a Vergelijk de druk van de lucht in de pipet met de druk van de buitenlucht. De druk van de lucht in de pipet is:

- A lager
- B gelijk
- C hoger

Door de pipet vast te houden, wordt de lucht erin warmer.

b Wat gebeurt daardoor met het waterniveau in de pipet?

- A Het waterniveau daalt.
- B Niets, het waterniveau blijft gelijk staan.
- C Het waterniveau stijgt.

FIG. 46 Een pipet.

