

Blok 6 | Wetmatigheden bij gassen



Blok 6 | Wetmatigheden bij gassen

Basisstof

P 2
De relatie tussen kracht en oppervlakte 1
P 3
Het meten van de luchtdruk 1
P 4
De relatie tussen de druk en het volume van een gas 3
P 5
De relatie tussen de temperatuur en het volume van een gas 4
T 1
Lucht oefent kracht uit 6
T 2
Druk 6
T 3
Het meten van de luchtdruk 7
T 4
De wet van Boyle 8
T 5
De wet van Gay-Lussac 9
T 6
Uitbreiding van het gasmodel 11
W 2
Druk 12
W 3
Het meten van de luchtdruk 13
W 4
De wet van Boyle 13
W 5
De wet van Gay-Lussac 14
W 6
Uitbreiding van het gasmodel 15

Volgorde waarin de paragrafen kunnen worden doorlopen (aanbevolen):
T 1, P 2, T 2, W 2, P 3, T 3, W 3, P 4, T 4, W 4, P 5, T 5, W 5, T 6, W 6.

Herhaalstof

H 1
De relatie tussen kracht en oppervlakte; druk 16
H 2
De relatie tussen de druk en het volume van een gas; de wet van Boyle 17
H 3
De relatie tussen temperatuur en volume van een gas; de wet van Gay-Lussac 18
H 4
Ruimte en vacuüm 20
H 5
Grafieken 21
H 1
Antwoordblad 24
H 2
Antwoordblad 24
H 3
Antwoordblad 25
H 4
Antwoordblad 26
H 5
Antwoordblad 26

Extra stof

38
Druk meten met een manometer 28
39
De fontein van Heron 29
40
De tempeldeuren van Heron 31

Wat je moet kunnen aan het eind van blok 6

Lucht oefent een kracht uit

1

Je moet een proef kennen, waaruit blijkt dat lucht naar **alle** kanten een kracht uitoefent.

Te vinden in:

T 1

2

Je moet met het gasmodel uit blok 4 kunnen verklaren, dat lucht naar alle kanten een kracht uitoefent.

T 1

Kracht, oppervlakte en druk

3

Je moet twee proeven kennen, waaruit blijkt dat als je lucht samenperst, niet alleen de kracht waarmee je dat doet belangrijk is, maar ook de oppervlakte waarop die kracht werkt.

P 2, proeven 1 en 2

4

a Je moet de relatie kennen tussen kracht, oppervlakte en druk (in woorden en in formulevorm).

T 2

b Je moet hiermee een eenvoudige berekening kunnen doen.

W 2, vragen 4, 5, 6, 7

5

Je moet weten waarom in de natuurkunde vaak een formule gebruikt wordt.

T 2

6

a Als je een gas in twee verbonden injectiespuiten in evenwicht wilt houden, moet je weten dat de zuigers een even grote druk moeten uitoefenen.

T 2

b Je moet dit kunnen toepassen in een opgave over een vat met twee of meer zuigers.

W 2, vraag 8

Het meten van de luchtdruk

7

Van de proeven van Berti en Torricelli moet je:

P 3, T 3

a de juiste opstelling kunnen herkennen;

b weten dat de luchtdruk de vloeistof omhoog duwt;

c weten dat je de luchtdruk meet door de stijghoogte van de vloeistof te meten;

d weten dat de stijghoogte **niet** afhangt van de doorsnede van de buis;

e kunnen aangeven waarom Torricelli kwik gebruikte in plaats van water.

P 3, T 3

8

Je moet weten hoe groot ongeveer de stijghoogte is:

a van het water bij de proef van Berti;

b van het kwik bij de proef van Torricelli.

T 3

9

Je moet:

a weten wat de officiële eenheid van druk is;

b twee oude eenheden van druk kennen.

De relatie tussen druk en volume bij gassen

10

Je moet de vier grootheden kennen, die je gebruikt om een gas te beschrijven.

T 5

11

Je wilt de relatie vinden tussen de druk en het volume van een gas. Je moet:

a weten dat je de andere twee grootheden van het gas dan konstant moet houden;

P 4, T 4

b de juiste proef kunnen herkennen, waarmee je deze relatie kunt vinden.

P 4

12

Je moet de wet van Boyle kennen, in woorden en in formulevorm.

T 4

13

Je moet een diagram dat de wet van Boyle weergeeft kunnen herkennen.

T 4

14		Te vinden in:
<i>a</i>	Je moet met ons gasmodel uit blok 4 de wet van Boyle kunnen verklaren.	T 4
<i>b</i>	Je moet weten dat ons gasmodel uit blok 4 door de wet van Boyle wordt bevestigd.	
15		
	Je moet bij een voorbeeld kunnen uitmaken of de wet van Boyle daar wèl of nièt geldt.	W 4, vraag 1
16		
	Je moet de wet van Boyle kunnen gebruiken bij een eenvoudig voorbeeld.	W 4, vragen 1 en 2

De relatie tussen temperatuur en volume bij gassen

17		
	Je wilt de relatie vinden tussen de temperatuur en het volume van een gas. Je moet:	
<i>a</i>	weten dat je de andere twee grootheden van het gas dan konstant moet houden;	P 5
<i>b</i>	de juiste proef kunnen herkennen waarmee je deze relatie kunt vinden.	P 5
18		
	Je moet:	
<i>a</i>	weten welke relatie bestaat tussen volume en temperatuur van een gas, als je de andere twee grootheden konstant houdt;	T 5
<i>b</i>	het diagram dat deze relatie weergeeft, kunnen herkennen.	T 5

Het absolute nulpunt en de absolute temperatuur

19		
	Je moet weten wat er met het volume en de temperatuur van een gas gebeurt, als je de grafiek van deze twee grootheden doortrekt.	T 5
20		
	Je moet weten dat in het absolute nulpunt de temperatuur -273°C is.	T 5
21		
	Van de absolute temperatuurschaal (kelvinschaal) moet je weten:	T 5
<i>a</i>	dat de graden op de kelvinschaal even groot zijn als die op de celsiusschaal;	
<i>b</i>	dat 0 K het absolute nulpunt is;	
<i>c</i>	dat $0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$.	

De wet van Gay-Lussac, uitbreiding van ons gasmodel

22		
	Je moet het diagram kunnen herkennen dat de relatie weergeeft tussen het volume en de absolute temperatuur van een gas.	T 5
23		
	Je moet de wet van Gay-Lussac kennen, in woorden en in formulevorm.	T 5
24		
	Je moet bij een voorbeeld kunnen uitmaken of de wet van Gay-Lussac daar wèl of nièt geldt.	W 5, vraag 1
25		
	Je moet de wet van Gay-Lussac bij een eenvoudig voorbeeld kunnen gebruiken.	W 5, vragen 3, 10
26		
	Je moet weten hoe ons gasmodel van blok 4 moet worden uitgebreid, om de wet van Gay-Lussac te kunnen verklaren.	T 6
27		
	Je moet weten wat het uitgebreide gasmodel zegt over de beweging van de molekulen bij de laagste temperatuur.	T 6

De relatie tussen kracht en oppervlakte

Hoe groot is de kracht die nodig is om lucht samen te drukken?

1

Verbind een brede en een smalle injectiespuit met behulp van een slangetje (zie de tekening). Schrijf op wat je ziet en wat je voelt, als je beide zuigers tegelijk met je duimen indrukt.

Je kunt goed merken, dat je op de grote zuiger een veel grotere tegenkracht moet uitoefenen, als je de kleine zuiger naar binnendrukt.

2

Neem de injectiespuit met de kleine doorsnede, sluit met één vinger de opening af. Probeer nu met je duim de zuiger zover mogelijk in te drukken. Herhaal deze proef met de grote spuit. Welk verschil merk je?

Hoe groot is de kracht die nodig is om lucht uit te rekken?

We proberen het volume van de lucht te vergroten door de zuiger uit te trekken.

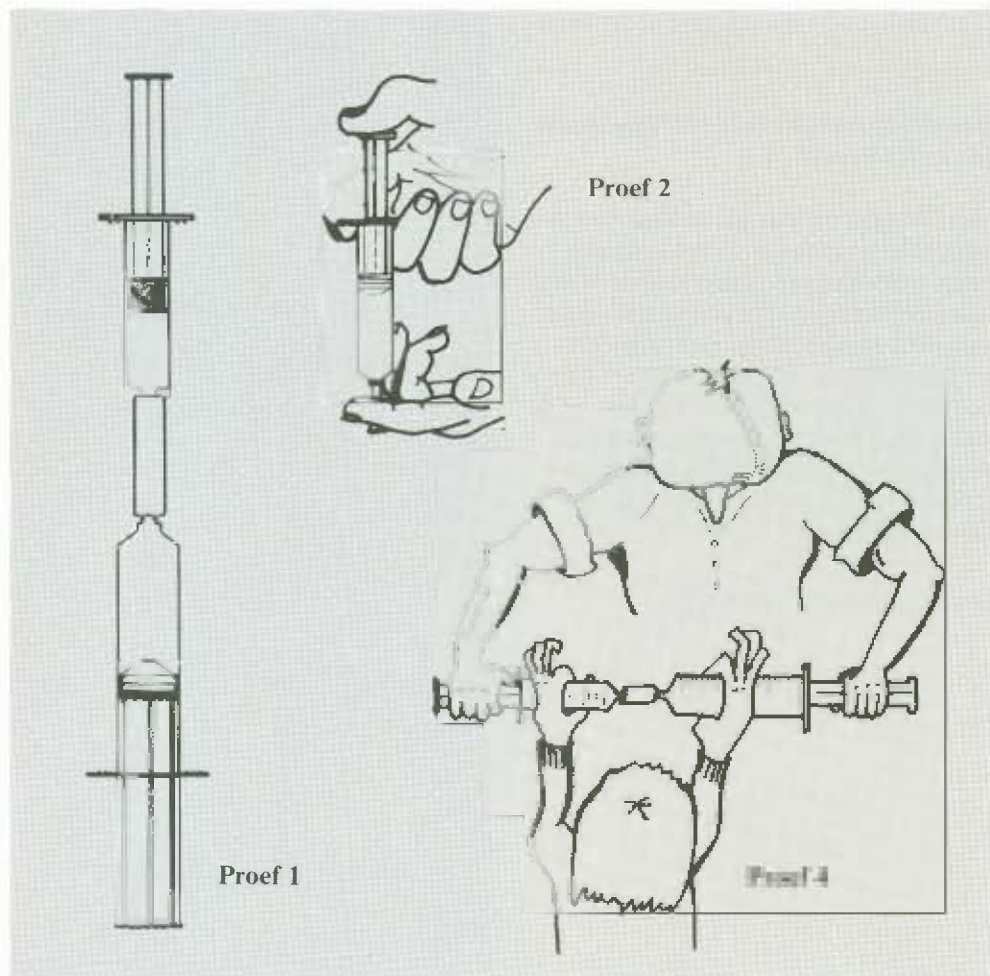
3

Neem de brede en de smalle injectiespuit. Probeer bij beide spuiten het volume van de lucht te vergroten door aan de zuigers te trekken. Bij welke spuit moet je de grootste kracht uitoefenen?

4

Druk beide spuiten geheel in, zodat de lucht er uit is.

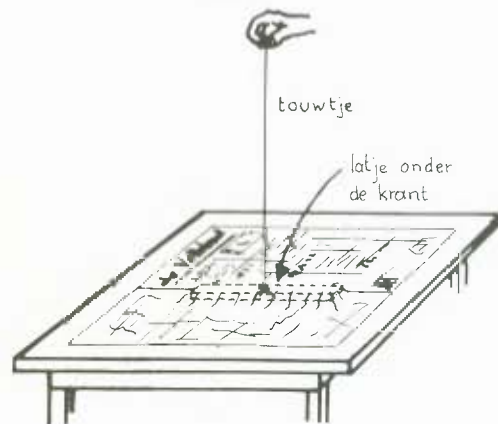
Verbind dan weer de spuiten met een slangetje. Vraag je buurman of hij de verbonden spuiten stevig wil vasthouden. Trek dan zelf aan beide zuigers, zodat het volume van de lucht in de spuiten wordt vergroot. Op welke zuiger moet je de grootste kracht uitoefenen?



Het meten van de luchtdruk

In T 1 zijn enkele proefjes besproken waaruit blijkt dat de lucht een kracht uitoefent. In T 2 hebben we de conclusie getrokken dat voor een gas de druk belangrijk is. Dus niet de totale kracht, maar de kracht per oppervlakte-eenheid. We zullen enige proeven doen om de grootte van de luchtdruk te bepalen.

Is de luchtdruk erg groot?



1*

Neem een latje dat ongeveer even lang is als een krant. Bind er in het midden een dun draadje aan. Leg het latje op tafel en trek het met een ruk omhoog. Prik een gaatje in het midden van een kranteblad en steek daar het draadje door. Strijk de krant goed vlak over het latje en de tafel. Trek nu nog eens met een ruk het latje omhoog. Welk verschil merk je?

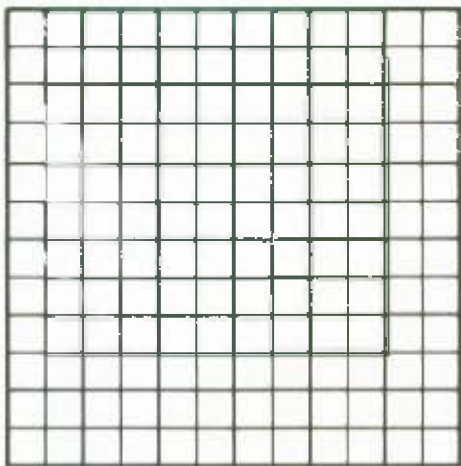
Hoe komt dat?

2

Duw een zuignap op een stuk formika of perspex. Welk gewicht kun je maximaal aan de zuignap hangen? Doe deze proef met gewichten van 10 N, 20 N, 50 N en 100 N.

Bepaal de oppervlakte van de zuignap als volgt:

zet de zuignap op het hieronder getekende ruitjespapier en omcirkel hem met een potlood. Tel het aantal hele en halve hokjes. Als je weet dat een heel hokje



Proef 2

0,25 cm² is, hoe groot is dan de oppervlakte van de zuignap?

Voor de druk geldt:

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}; \text{ in } \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}.$$

De druk is dus ongeveer $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$.

Bepaal de druk op deze manier nog eens met een zuignap met een grotere of kleinere oppervlakte.

Kracht = $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$

Oppervlakte = cm^2

Druk = $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$

Hoeveel water kan de lucht omhoog houden?

3

Vul een reageerbuis met water. Sluit hem met je duim af en zet hem omgekeerd in een bak met water. Haal dan je duim weg. Wat gebeurt er?

4

Met meer water.

Vul een grote glazen cilinder van ongeveer 4 liter met water. Doe er zoveel water in tot er een 'kop' op staat. Sluit de cilinder dan af door er een vetting glazen plaatje over heen te schuiven. Zet de cilinder omgekeerd in een bak met water en schuif het plaatje weg. Wat gebeurt er?

5

Dan hoger.

Vul een lange buis, waaraan een kraan zit, met water. Sluit hem met je vinger af en zet hem omgekeerd in een bak met

water. Wat gebeurt er?

Doe de kraan heel eventjes open. Wat gebeurt er? Kun je dit verklaren?

6

Hoe hoog?

Omdat het te riskant wordt om een nog langere buis gevuld met water om te draaien, gebruik je voor de volgende proef een doorzichtige slang van minstens 11 m lengte. Op de slang wordt iedere meter met een plakkerijtje aangegeven. Vul de slang voorzichtig met water. Doe een rubber stopje in het begin en het eind van de slang. Hang de slang volledig uit op een plaats op school of doe dit aan een balkon van de 3e of 4e verdieping van een flat. Stop de onderkant van de slang in een emmer en trek het onderste stopje eruit. Wat gebeurt er?

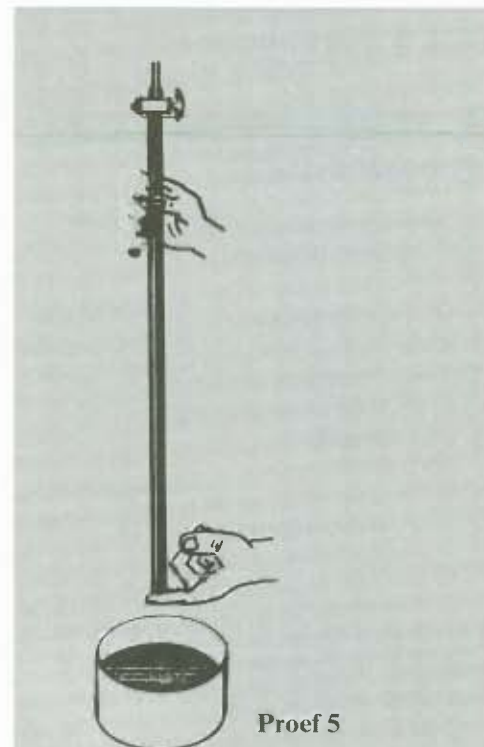
Hoe hoog staat het water?

Hoeveel is de druk van het aardgas groter dan de luchtdruk?

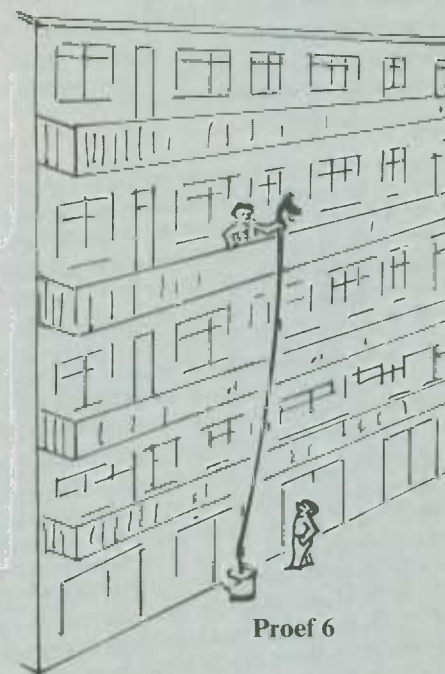
7

Meet de gasdruk van het aardgas met een open watermanometer. Voor een open manometer kan een glazen U-buis of een stuk doorzichtig plastic slang in U-vorm genomen worden, die je met water vult tot halve hoogte. Eén van de benen van de U-buis sluit je met een slang aan op de gaskraan. Zet de kraan open. Meet het hoogteverschil tussen beide waterniveaus. Hoeveel is de druk van aardgas groter dan de luchtdruk?

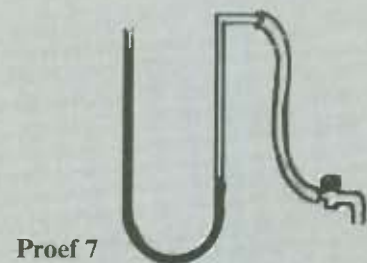
Dit is de overdruk van het gas.



Proef 5



Proef 6



Proef 7

Als je de zuiger van een fietspomp, waarvan je de slang hebt dichtgemaakt, omlaag duwt, voel je de druk van de afgesloten hoeveelheid lucht toenemen. We kunnen dus zeggen dat de druk toeneemt als het volume afneemt.

Je ziet op de foto een fietspomp die is aangepast voor de meting.

De **manometer** meet de druk van de lucht. Op de schaalverdeling die op de buis staat, kun je het volume aflezen. Met de kraan kun je regelen hoeveel lucht je voor de proef wilt gebruiken.

Zet de zuiger terwijl de kraan open staat op 10. Doe de kraan dicht en verplaats de zuiger naar 9, 8, 7 . . . Draai rustig om te zorgen dat de lucht niet warm wordt. Lees bij elke stand de druk af. Noteer je waarnemingen in de tabel.

Doe ook een aantal waarnemingen waarbij je de zuiger hoger dan 10 draait.

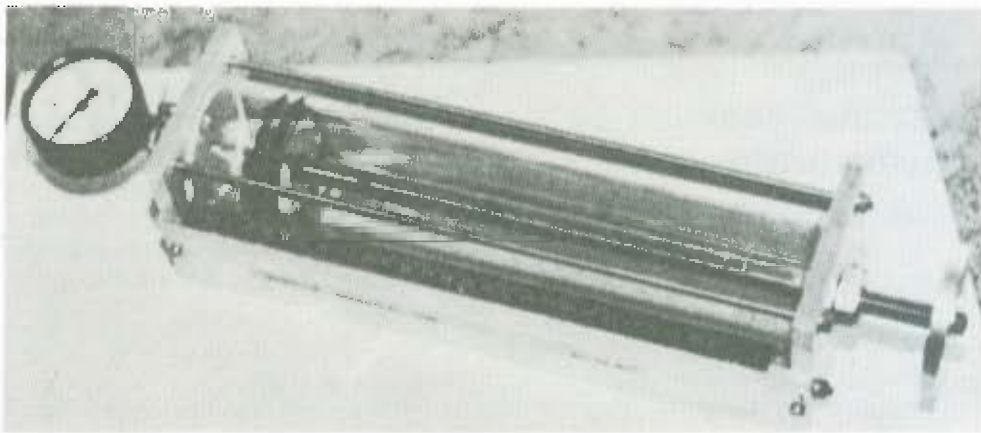
Wat gebeurt er met de druk,
— als je het volume 2 keer zo klein maakt?

— als je het volume 3 keer zo klein maakt?

– als je het volume 1,5 keer zo klein maakt?

– als je het volume 2 keer zo groot maakt?

– als je het volume 1,5 keer zo groot maakt?

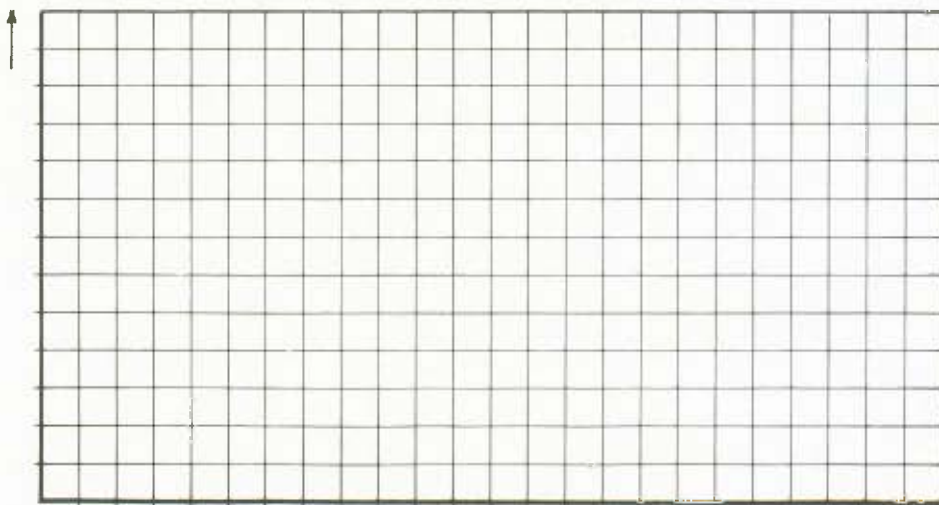
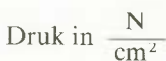


Lengte in cm	Volume in cm ³	Druk in N per cm ²	$\frac{1}{\text{volume}}$
-----------------	------------------------------	-------------------------------------	---------------------------

Teken in het assenstelsel een grafiek, waarin je de druk van de lucht uitzet tegen het volume van de lucht.



Schrijf op hoe je denkt dat de relatie tussen de druk en het volume van een afgesloten hoeveelheid gas is.



Ruimte voor schaal

Volume in cm^3

De relatie tussen de temperatuur en het volume van een gas

Inleiding:

De proef die je nu gaat doen is vrij ingewikkeld. Lees de tekst daarom eerst goed door, zodat je weet wat je gaat doen. Je doet deze proef met minstens twee personen.

Met de proef ga je bepalen hoe het volume van **een bepaalde hoeveelheid** lucht afhangt van de temperatuur. Je meet dus hoeveel die lucht uitzet of krimpt als de temperatuur verandert. Je moet wel de druk van die hoeveelheid lucht konstant houden.

In figuur A zie je een toestelletje waarmee je de proef kunt doen. Het is een glazen bolletje met een lange dunne buis. In het bolletje en in de buis zit lucht. Deze hoeveelheid lucht is van de buitenlucht afgesloten door een druppel water. Deze druppel kan zich in de buis verplaatsen. Als de lucht in het bolletje door afkoelen krimpt, duwt de luchtdruk de druppel naar binnen. De druppel verschuift dan tot de druk in het bolletje weer gelijk is aan de luchtdruk buiten. Als het bolletje wordt verwarmd gebeurt het omgekeerde. Dit is nu juist wat we nodig hebben. De luchtdruk buiten blijft gelijk. Door het verschuiven van de druppel blijft ook **de druk in het bolletje konstant** (gelijk aan de luchtdruk buiten).

Nu kan het volume van de afgekoelde hoeveelheid lucht alleen nog maar veranderen als de temperatuur verandert. De buis moet dun zijn zodat bij een kleine volumeverandering een goed meetbare verschuiving van de druppel optreedt. (Vergelijk dit met een kwikthermometer. Daar maak je een kleine volumeverandering van het kwik goed zichtbaar met een dun buisje).

Uitvoering van de proef.

Uit figuur B blijkt, dat je een korte reageerbuis gebruikt in plaats van het glazen bolletje. De dunne buis wordt met een rubber stop op het reageerbuisje bevestigd. Bij de tekening staat een lijstje van het materiaal dat niet getekend is.

Ga nu als volgt te werk:

- 1 Controleer of de reageerbuis en de dunne buis goed droog zijn. Anders meet je niet het volume van lucht, maar dat van een mengsel van lucht en waterdamp.
- 2 Zorg dat het korte uiteinde van de buis precies gelijk zit met de onderkant van de rubberstop.
- 3 Schuif de reageerbuis voorzichtig maar stevig op de stop.
- 4 Bevestig het geheel aan een statief. De dunne buis moet zo goed mogelijk horizontaal hangen.
- 5 Vul een bekerglas zover met water dat het reageerbuisje geheel in het water kan worden ondergedompeld.
- 6 Breng het water aan de kook. Lees intussen verder zodat je goed weet wat je straks moet doen. Verwijder het verwarmingselement als het water kookt.



Figuur A

7 Plaats het toestel zo, dat het reageerbuisje onder water zit. Roer met je thermometer om de warmte goed te verspreiden.

8 Als de temperatuur ongeveer 90°C is geworden spuit je een druppel water in de buis. Doordat de lucht krimpt schuift de druppel naar binnen.

9 Lees nu de temperatuur af en bepaal tegelijkertijd de plaats van de druppel, door afstand X te meten (zie tekening van de opstelling).

10 Noteer het getallenpaar (temperatuur en afstand X) in je meettabel.

11 Roer met de thermometer. Wacht tot de temperatuur enkele graden is gedaald. Meet dan opnieuw de temperatuur en de afstand X.

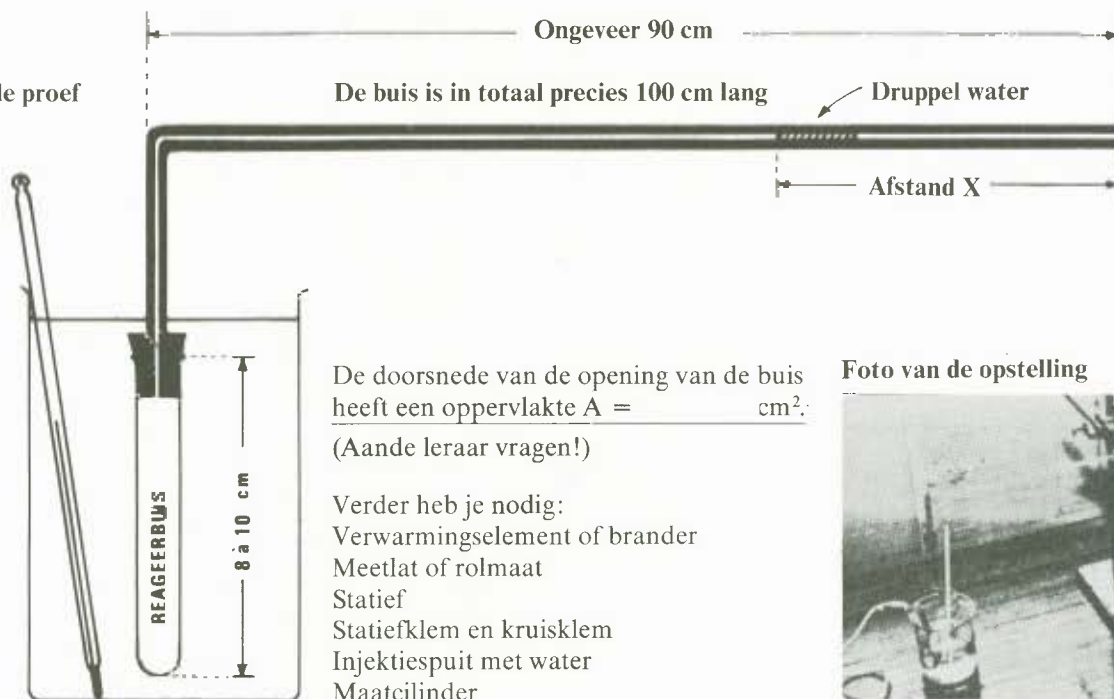
Probeer zoveel mogelijk metingen te doen. Meet bijvoorbeeld om de 10 graden. Ga door tot een zo laag mogelijke temperatuur. Als het water niet snel genoeg afkoelt, kun je koud water of zelfs ijs toevoegen. Roer steeds goed voor je afleest.

Als je genoeg metingen hebt gedaan, bepaal je het volume van de lucht in de reageerbuis.

Zet een streepje bij de onderkant van de stop. Het volume van de lucht kun je nu

Opstelling van de proef

Figuur B



De doorsnede van de opening van de buis heeft een oppervlakte $A =$ _____ cm^2 .
(Aande leraar vragen!)

Verder heb je nodig:
Verwarmingselement of brander
Meetlat of rolmaat
Statief
Statiefklem en kruisklem
Injektiespuit met water
Maatcilinder

Foto van de opstelling



Het volume van de lucht in de reageerbuis tot aan de onderkant van de stop noemen we V_o .

Werk nu de meettabel verder uit. Je vindt dan uiteindelijk de verschillende volumes van de hoeveelheid lucht bij de verschillende temperaturen.

Op het grafiekenpapier maak je nu een grafiek van de relatie tussen de temperatuur en het volume van de lucht.

Bespreek het resultaat met elkaar en met je leraar.

Schrijf hieronder op hoe volgens jou een bepaalde hoeveelheid lucht, bij konstante druk uitzet of krimpt wanneer we de temperatuur veranderen:

[illegible]

1	2	3	4	5
Temperatuur	Afstand	Lengte van de luchtkolom in de buis	Volume van die luchtkolom V_k	Totale volume van de afgesloten lucht
t in $^{\circ}\text{C}$	X in cm	$100 - X$ in cm	$A \cdot (100 - X)$ in cm^3	$(V_o + V_k)$ in cm^3
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

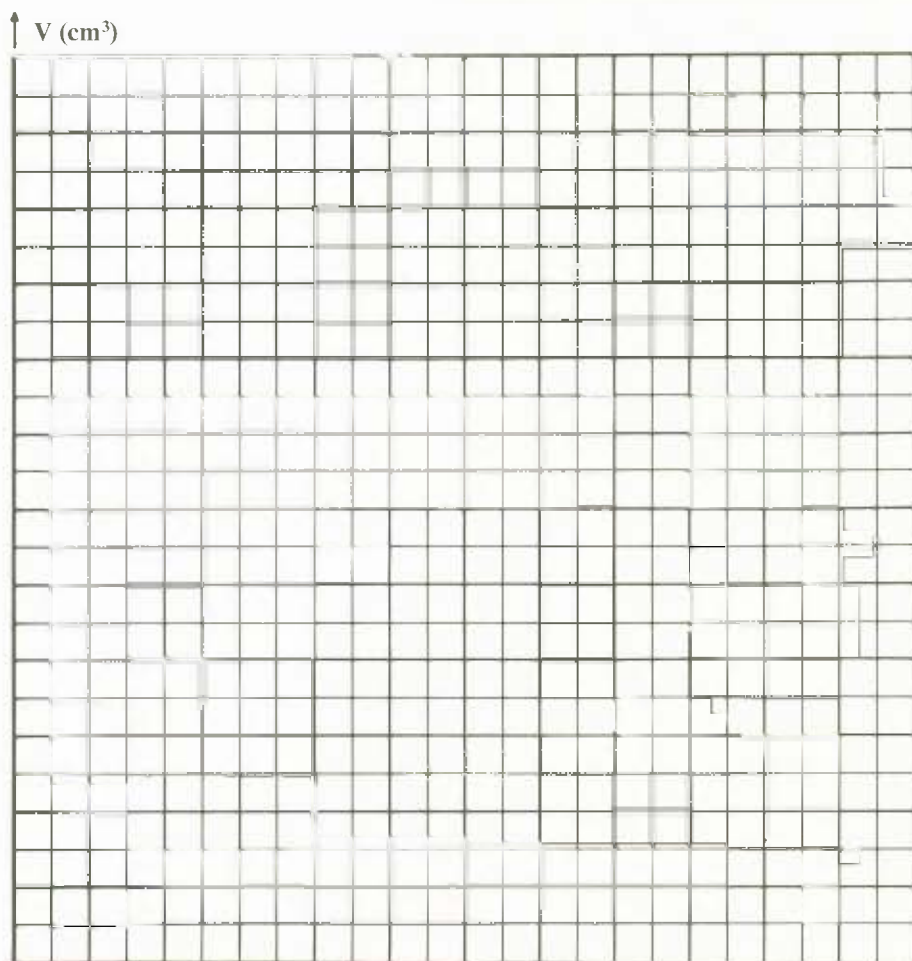
Kolom 3:

De lengte van de luchtkolom in de buis is $100 - X$ cm want de buis is 100 cm lang en in het gedeelte X zit water en lucht die

niet bij de afgesloten hoeveelheid hoort.

Kolom 4:

Het volume van een draad is lengte maal doorsnede.



Ruimte voor schaal

t (°C) —————▶

Grafieken papier

Lucht oefent een kracht uit

We zullen nog eens kijken naar een paar proefjes uit blok 4. De bedoeling hiervan is dat we duidelijk inzien dat lucht een kracht uitoefent.

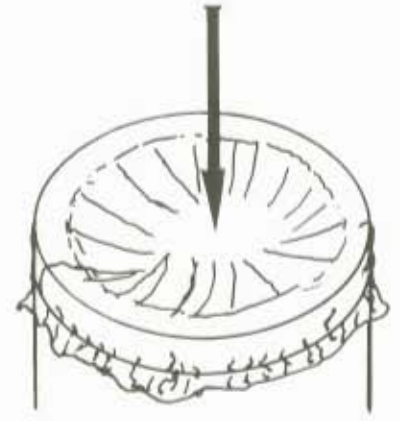
1

We hebben een cilinder waarover een stuk folie is gespannen. Wanneer we de lucht onder het papiertje wegzuigen, verdwijnt de kracht die door de lucht binnen de cilinder werd uitgeoefend. Dan blijft op het papiertje alleen de kracht over van de lucht buiten. Dit heeft tot gevolg dat het papiertje de cilinder in wordt gedrukt en vervolgens met een knal scheurt.

2

Aan een zuignap kunnen we een groot gewicht hangen zonder dat de zuignap loslaat. Uit ervaring weten we dat we een zuignap ook schuin kunnen bevestigen of met de 'vaakuumkant' naar beneden. We moeten dan toch een even grote kracht uitoefenen om de zuignap los te krijgen.

We zien dus dat de kracht die door de lucht wordt uitgeoefend naar alle kanten gericht is. In blok 4 hebben we dit verklaard door aan te nemen dat de molekulen voortdurend bewegen. Daarbij botsen ze voortdurend tegen elkaar en tegen alle voorwerpen in de lucht. De laag lucht die rond de aarde zit oefent met zijn gewicht dus niet alleen een kracht uit op het aardoppervlak. De kracht werkt in alle richtingen.



Wanneer we de lucht onder het papiertje wegzuigen, scheurt het met een knal.



Aan een zuignap kunnen we een groot gewicht hangen.

Blok 6 | Theorie 2

Druk

We hebben in onze proeven iets heel belangrijks gevonden. Als we lucht samenpersen of 'uitrekken', gaat het er kennelijk niet alleen om hoe groot de kracht is waarmee we dit doen. Het gaat er ook om hoe groot de oppervlakte is waarop de kracht werkt. We hebben het vermoeden dat zal gelden:

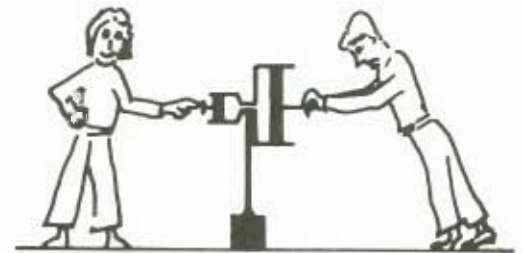
'Als de grote zuiger bijvoorbeeld drie maal zo groot is als de kleine, moeten we op de grote zuiger een drie maal zo grote kracht uitoefenen, om er voor te zorgen dat de ene zuiger de andere niet wegdukt'.

Als dit geldt, is er evenwicht. Op beide zuigers is dan de kracht per vierkante centimeter even groot. **De kracht per vierkante centimeter noemen we de druk.** De druk die door een zuiger op de lucht wordt uitgeoefend kunnen we dus vinden door de grootte van de kracht te delen door de grootte van de oppervlakte. In woorden:

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}; \text{ in Newton per vierkante centimeter.}$$

In de natuurkunde vindt men het vaak handig om afkortingen te gebruiken in plaats van de hele woorden. Voor de druk wordt de afkorting p van 'pressure' gebruikt, voor de kracht de afkorting F van 'force' en voor de oppervlakte de afkorting A van 'area'. Let erop dat de p een kleine letter is en de A en de F een grote letter, dat is nu eenmaal zo afgesproken. Als we een relatie tussen grootheden opschrijven met deze afkortingen, dan krijgen we een formule. De formule voor de druk wordt:

$$p = \frac{F}{A}; \text{ in } \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$



Als de grote zuiger 3 maal zo groot is ...

Zo'n formule is een handige manier om een relatie te onthouden. Met een voorbeeld zullen we deze relatie toelichten.

We hebben een zuiger met een oppervlakte van 2 cm^2 . Deze zuiger oefent een bepaalde druk p uit. We willen met een zuiger met een 3 keer zo grote oppervlakte een even grote druk uitoefenen.

Volgens de relatie $p = \frac{F}{A}$ moet dan de kracht 3 maal zo groot worden, opdat de kracht per cm^2 , dus de druk, gelijk blijft.

Als we gebruik maken van het begrip druk, kunnen we het volgende opschrijven:

Als we een gas in twee verbonden spuiten in evenwicht willen houden, dan moet de **druk** uitgeoefend door beide zuigers even groot zijn.

In onze proeven hebben we gemerkt dat een gas zelf ook een druk uitoefent. Als wij een druk uitoefenen op de lucht in een injectiespuit, dan oefent de lucht in de spuit op ons ook een druk uit. De lucht duwt kennelijk terug. Met ons molekuulmodel is dit goed te verklaren. De molekulen botsen tegen de wanden en dus ook tegen de zuiger. Door al die botsingen ondervindt de zuiger voortdurend een kracht. Als de oppervlakte van de zuiger groter is, botsen er meer molekulen tegen aan. De kracht die een grote zuiger ondervindt is dus groter. Het aantal botsingen per vierkante centimeter is op een grote of een kleine zuiger gelijk. Dus de druk op beide zuigers is gelijk.

Blok 6 | Theorie 3

Het meten van de luchtdruk

Als een buisje gevuld met water op zijn kop in een bak water wordt gezet, blijft het buisje met water gevuld. Daarbij doet het er niet toe welke diameter de buis heeft. Een reageerbuisje met een diameter van 1 cm, waarin 20 g water gaat, blijft gevuld. Ook een cilinder met een diameter van 10 cm, waarin 4 kg water gaat, blijft tot de 'nok' vol met water. Dit is een gevolg van de luchtdruk.

Omstreeks 1640 deed **Berti** de volgende proef.

Hij plaatste een glazen buis met een bol, welke geheel gevuld was met water, omgekeerd in een bak met water. Het water zakte wat, maar bleef daarna ruim 10 m boven het nivo van het water in de bak staan. De vraag was nu of de luchtdruk het water omhoog duwde of dat de lege ruimte (het vakuum) het water omhoog zoog. Berti heeft de proef ook gedaan met buizen waarin de bol een ander volume had. Ook met grotere bollen bleef het water ruim 10 m hoog staan. Dus niet het vakuum zuigt, want meer vakuum veroorzaakt geen grotere zuiging, maar lucht drukt het water omhoog. We kunnen dus zeggen dat de luchtdruk gelijk is aan de druk van een waterkolom van ruim 10 m.

Het doet er niet toe welke diameter de buis heeft, altijd komt het water ongeveer 10 m hoog. Niet het gewicht van het water is belangrijk, maar de druk. We zullen dat zien aan het volgende voorbeeld.

Stel dat een buis een doorsnede heeft van 1 cm^2 en het water staat 10 m ($1\,000 \text{ cm}$) hoog. Het volume van het water is dan $1\,000 \cdot 1 = 1\,000 \text{ cm}^3$.

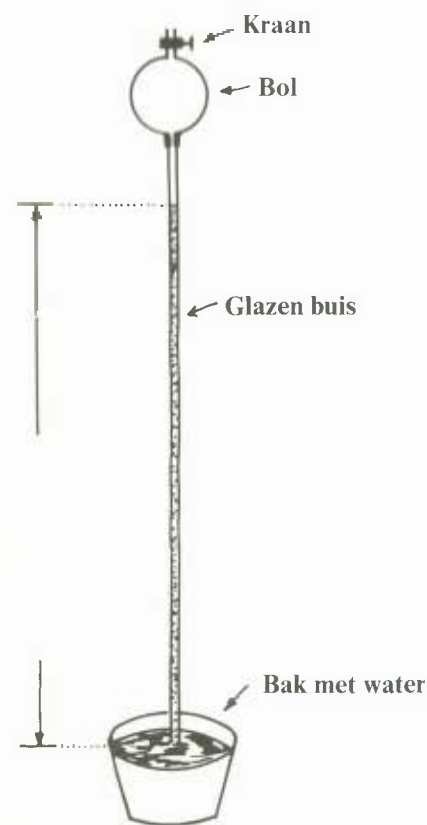
Dat water heeft een gewicht van 10 N. Op die 1 cm^2 werkt dus een kracht van 10 N.

Als de buis een doorsnede had van 2 cm^2 , was het gewicht van het water 20 N.

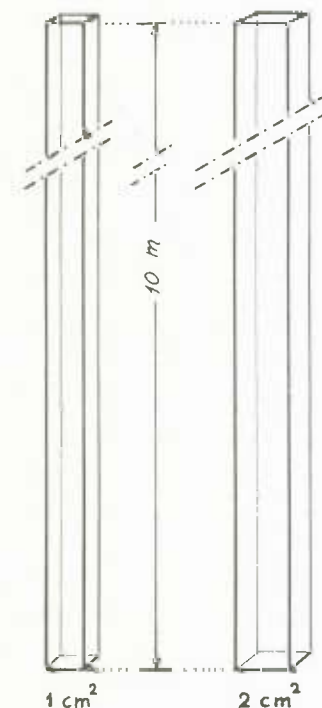
In beide gevallen is de druk gelijk:

$$p = \frac{10 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \text{ en } p = \frac{20 \text{ N}}{2 \text{ cm}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

In 1643 is de proef door **Torricelli** gedaan met kwik. De lengte van de kwikkolom was 13,6 maal zo klein. Omdat de dichtheid van kwik 13,6 maal zo groot is als van water, was de druk wel gelijk. Ruim 10 meter water komt overeen met 74 à 76 cm kwik.



Proef van Berti



Bij verschillende doorsnede blijft het water even hoog staan.

De officiële eenheid van druk is de Pascal (Pa).

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

Vaak gebruikt men nog oude eenheden voor druk. Zo zegt men meestal dat de luchtdruk 76 cm kwikdruk is in plaats van 100 000 Pa.

Op weerkaartjes wordt de luchtdruk in millibar opgegeven. 1 bar = 100 000 Pa.

Blok 6 | Theorie 4

De Wet van Boyle

Inleiding.

Als we een afgesloten injectiespuit indrukken, dan merken we dat volumeverkleining een drukverhoging tot gevolg heeft. In deze paragraaf gaan we nu de drukverandering bekijken als we het volume van een afgesloten hoeveelheid gas veranderen.

De wet van Boyle.

Door onze proeven vonden we de volgende relatie:

‘Als we het volume van een afgesloten hoeveelheid gas n keer zo klein maken, wordt de druk van het gas n keer zo groot’.

We zeggen dan: **De druk is omgekeerd evenredig met het volume.**

Dit geldt alleen als er tijdens de proef geen gas bijkomt of wegstroomt en als de temperatuur konstant blijft.

Boyle vond als eerste deze relatie. We noemen deze relatie dan ook de wet van Boyle.

Verklaring met het gasmodel.

We gaan uit van een afgesloten hoeveelheid gas. Daarin vinden we een kris-kras-beweging van heel veel molekulen. De druk op de wanden wordt door de botsende molekulen veroorzaakt.

We kijken eens wat er gebeurt als er alleen molekulen in het vat zitten die tussen twee tegenoverliggende wanden heen en weer bewegen. In figuur A zien we daarvan het model.

De druk op de bovenkant en de onderkant is afkomstig van de molekulen die vertikaal bewegen.

De druk op de zijkanten is afkomstig van de molekulen die horizontaal bewegen.

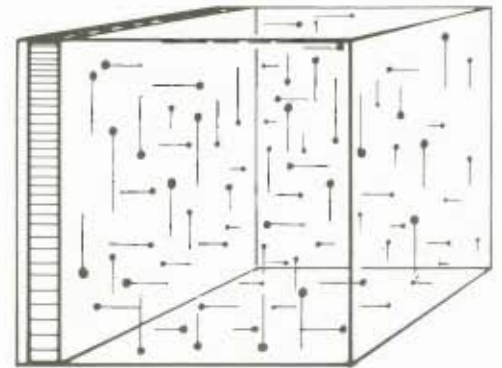
We maken het volume van het vat twee keer zo klein door de zuiger tot de helft in te drukken. In figuur B zien we de nieuwe situatie. Het aantal molekulen dat vertikaal beweegt, is gelijk gebleven, dus de totale kracht op de bovenkant en onderkant ook. Het oppervlak van de onderkant en de bovenkant is twee keer zo klein geworden. De druk op de onderkant en de bovenkant is dus twee keer zo groot geworden. Om dezelfde reden is de druk op de achterkant en de voorkant twee keer zo groot geworden. Let op, dat die molekulen niet getekend zijn.

De druk op de linkerkant en de rechterkant is twee keer zo groot geworden omdat de afstand tussen die kanten twee keer zo klein is geworden. De molekulen botsen gemiddeld twee keer zo vaak tegen die wanden. We kunnen ook zeggen dat er in dezelfde tijd gemiddeld twee keer zoveel botsingen op beide kanten plaats vinden. Deze veroorzaken een twee maal zo grote kracht op hetzelfde oppervlak. Dus de druk op die kanten is ook twee keer zo groot.

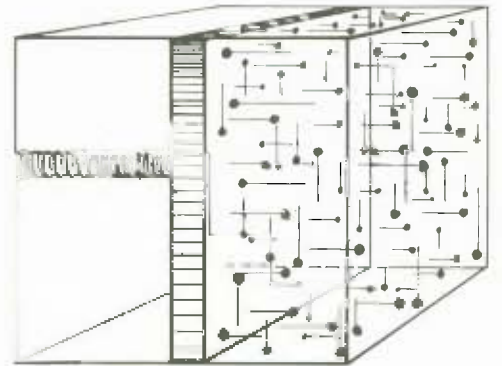
Bij een echte kris-krasbeweging bewegen de molekulen ook schuin. De verklaring wordt dan uitgebreider, maar het resultaat blijft hetzelfde. Omdat we steeds gewerkt hebben met hetzelfde aantal molekulen, mogen we zeggen:



Proef van Torricelli



Figuur A. Als molekulen alleen tussen twee tegenoverliggende wanden heen en weer bewegen.



Figuur B. Als we het volume twee keer zo klein maken, botsen er tegen elke wand twee keer zoveel molekulen. De druk wordt dan twee keer zo groot.

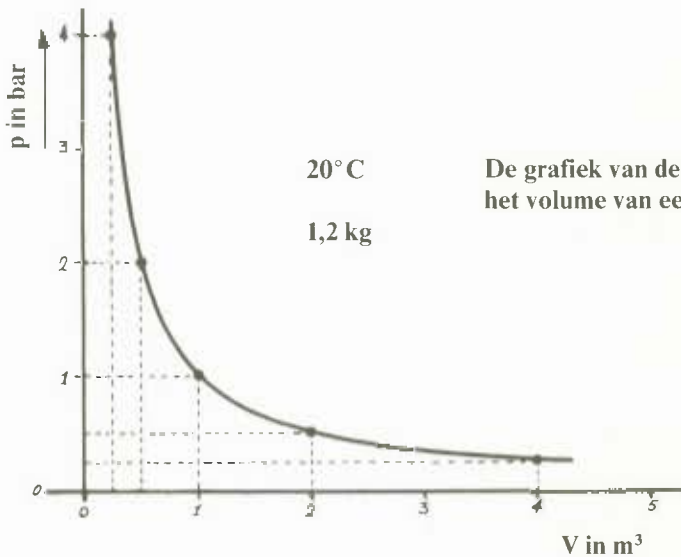
Voor een afgesloten hoeveelheid gas is de druk omgekeerd evenredig met het volume, als de temperatuur gelijk blijft.

Of wel:

$p \sim \frac{1}{V}$, als de temperatuur en de massa niet veranderen.

p en V in een grafiek

Bij een proef gaan we uit van 1 m³ lucht met een druk van 1 bar. Als we het volume veranderen, verandert voor de afgesloten hoeveelheid lucht ook de druk. We doen dit een aantal keren. In de tabel staan de waarden van het volume en de druk. In het diagram zijn deze waarden uitgezet.



p in bar.	V in m ³	p.V
1	1	1
1/2	2	1
1/4	4	1
2	1/2	1
4	1/4	1

Je ziet uit de tabel dat het produkt p.V steeds dezelfde waarde heeft. Je zou de wet van Boyle dus ook kunnen schrijven als:

p.V = konstant als de temperatuur en de massa niet veranderen.



Figuur A. Een bepaalde hoeveelheid lucht krimpt regelmatig als we de temperatuur verlagen.

Blok 6 | Theorie 5

De Wet van Gay-Lussac

De relatie tussen V en t.

Als we metingen aan een gas willen doen werkt het handig als we het in een afgesloten ruimte opsluiten. Er kan dan geen gas bij of uit zodat we steeds aan dezelfde hoeveelheid meten. Alles wat we verder in T 5 zeggen, geldt voor een **konstante hoeveelheid** gas.

Bij een gas spelen de grootheden druk (= p), volume (= V) en temperatuur (= t) een voorname rol. In P 5 hebben we de relatie tussen V en t bij konstante druk gevonden. We vonden dat een bepaalde hoeveelheid lucht 'regelmatig' krimpt als we de temperatuur verlagen. Dat konden we aflezen uit de grafiek die we hebben gemaakt. In figuur A is zo'n grafiek nog eens getekend.

We kunnen ons afvragen of we de grafiek mogen doortrekken.

In figuur B is dat gedaan. We zien dat de lijn de temperatuur-as snijdt bij -273°C.

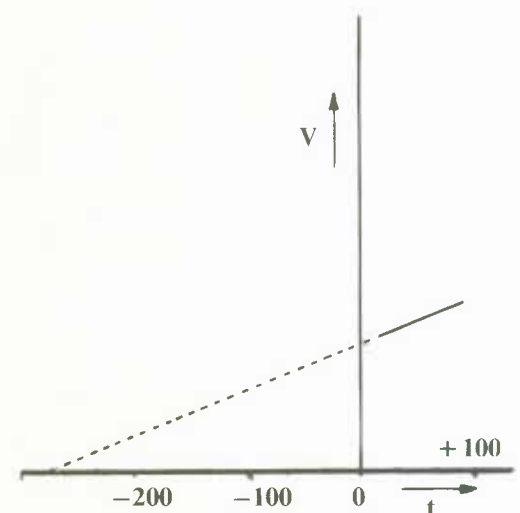
Wat betekent dit voor het volume?

Bij -273°C is het volume van het gas 0 m³ geworden. Het gas heeft zijn kleinst mogelijke volume gekregen. Kleiner kan het volume niet worden.

Wat betekent dat voor de temperatuur?

De temperatuur kan niet lager worden dan -273°C.

Uit andere soorten proeven is gebleken dat de temperatuur inderdaad niet lager kan worden. Deze laagste temperatuur noemen we het **absolute nulpunt**.



Figuur B. Als we de grafiek doortrekken vinden we het absolute nulpunt.

De kelvinschaal.

William Thomson (later Lord Kelvin) gebruikte het absolute nulpunt om een nieuwe temperatuurschaal te maken. Als nulpunt van zijn schaal koos hij het absolute nulpunt. Verder waren de graden op de nieuwe temperatuurschaal even groot als de graden op de celsiusschaal. Eén graad is steeds gelijk aan het honderdste gedeelte van het temperatuurverschil tussen het smeltpunt en het kookpunt van water. De nieuwe temperatuurschaal wordt de absolute temperatuurschaal genoemd. De temperatuur op die schaal wordt uitgedrukt in Kelvin (afgekort: K). Door deze keuze van het nulpunt worden alle temperaturen op de kelvinschaal 273 groter dan op de celsiusschaal.

Zo is bijvoorbeeld:

$$-273^{\circ}\text{C} = 0\text{ K}$$

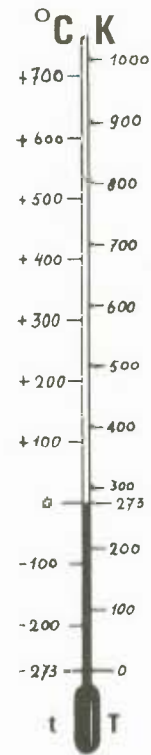
$$0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$$

$$100^{\circ}\text{C} = 373\text{ K}$$

$$1000^{\circ}\text{C} = 1273\text{ K}$$

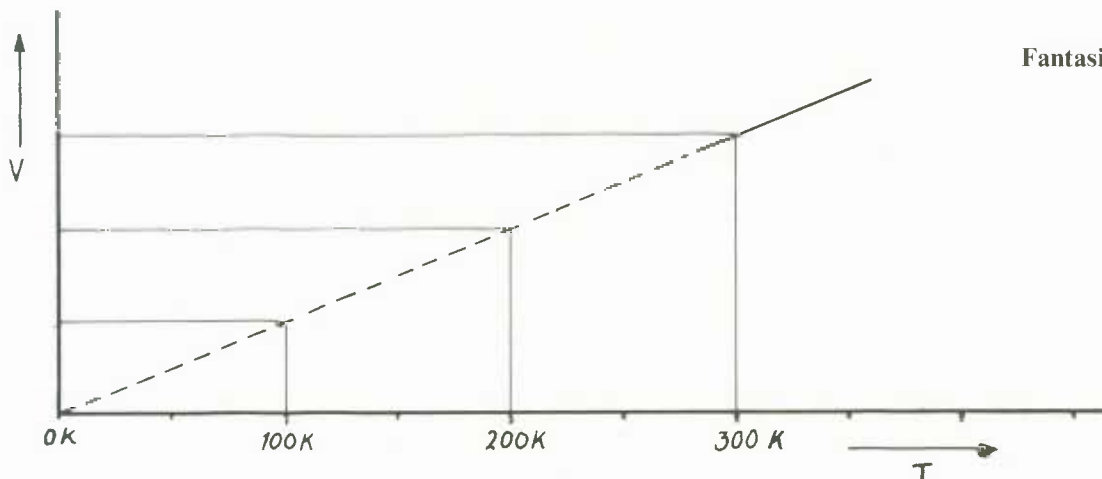
In de natuurwetenschappen is het dikwijls veel handiger om de kelvinschaal te gebruiken in plaats van de celsiusschaal. Buiten deze wetenschappen kom je de kelvinschaal vrijwel niet tegen.

Om duidelijk te maken of we met de absolute temperatuurschaal (de kelvinschaal) werken of met de celsiusschaal geven we de absolute temperatuur aan met T en de celsiustemperatuur met t.



De wet van Gay-Lussac.

We gaan uit van het diagram van figuur B. We zetten nu echter het volume uit tegen de absolute temperatuur. Dit levert ons het diagram van figuur C.



Figuur C. Als de absolute temperatuur $2\times$, $3\times$, ... zo groot wordt, wordt het volume ook $2\times$, $3\times$, ... zo groot.

Hieruit konkluderen we:

Het volume is recht evenredig met de absolute temperatuur voor een afgesloten hoeveelheid gas bij een bepaalde druk.

Ofwel:

$V \propto T$, als de druk en de massa gelijk blijven.

Deze relatie heet de wet van Gay-Lussac.

Uitbreiding van ons gasmodel



Gay-Lussac en het molekuulmodel van gassen.

In P 5 en T 5 hebben we gevonden en besproken, dat het volume van een gas voortdurend afneemt als we de temperatuur verlagen. Deze eigenschap van gassen kunnen we niet verklaren met ons gasmodel uit blok 4.

Bij de proef in P 5 bleef van de afgesloten hoeveelheid gas de druk konstant. De druk die een gas op de wand uitoefent wordt veroorzaakt door de botsende molekulen. Bij de wet van Boyle hebben we gezien, dat als het volume kleiner wordt de druk groter wordt. Dit konden we verklaren door te zeggen: de molekulen botsen vaker tegen de wand, omdat ze minder ruimte hebben.

Bij de wet van Gay-Lussac vinden we, dat het volume kleiner wordt, terwijl de druk gelijk blijft! Door de volumeverandering wordt het aantal botsingen groter. Toch blijft de druk gelijk. Dit kunnen we alleen verklaren als we aannemen dat de molekulen minder krachtig botsen. Dat wil zeggen dat de snelheid van de molekulen kleiner wordt.

We breiden ons gasmodel nu met het volgende kenmerk uit:

Bij verlaging van de temperatuur neemt de gemiddelde snelheid van de molekulen af.

Verklaring van het absolute nulpunt.

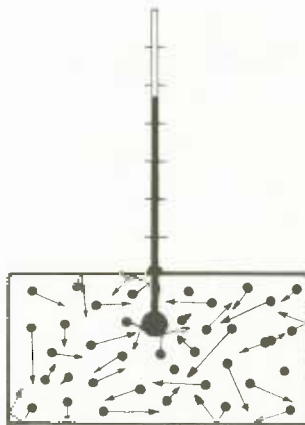
De temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de molekulen.

Als we de temperatuur laten dalen, neemt de gemiddelde snelheid van de molekulen af. Blijven we koelen dan zal de snelheid van de molekulen op een gegeven moment nul worden. Lager kan de snelheid niet worden; de molekulen staan stil. De temperatuur kan dan niet verder dalen.

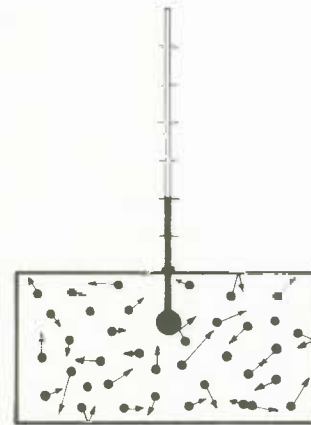
Er is dus een absoluut nulpunt van de temperatuur.

Opmerking

Deze verklaring van het absolute nulpunt is beter dan die in T 5. We kunnen namelijk wel begrijpen dat de molekulen stil kunnen staan. Dat een gas een volume nul krijgt is natuurlijk onmogelijk.



Hogere gemiddelde snelheid van de molekulen



Lagere gemiddelde snelheid van de molekulen

Druk

1
Waarom legt men een ladder of plank op het ijs als men iemand uit een wak haalt?

2
Waarom is bij een punaise de ene kant uiterst scherp, terwijl de andere kant juist een groot oppervlak heeft?

3
Waarom hebben moerasvogels vliezen tussen hun tenen, hoewel het geen zwemvogels zijn?

4
We hebben drie injectiespuiten A, B en C, die aan de onderkant dicht zijn. Zuigeroppervlakte van A = 2 cm^2 . Zuigeroppervlakte van B = 2 cm^2 . Zuigeroppervlakte van C = 5 cm^2 .
a Op zuiger B wordt een twee maal zo grote kracht uitgeoefend als op zuiger A. Hoeveel maal zo groot is de druk in spuit B?
b Op zuiger B wordt een kracht van 10 N uitgeoefend. Hoe groot is de druk in spuit B?
c Op zuiger C wordt een kracht van 20 N uitgeoefend. Hoe groot is de druk in spuit C?
Hoe groot moet de kracht zijn om een druk van 2 N per cm^2 te krijgen?
d In de zuigers B en C heerst dezelfde druk van 4 N per cm^2 . Hoe groot moet de kracht zijn die door zuiger B wordt uitgeoefend? En de kracht door zuiger C?



5
Een olifant heeft een gewicht van 60 000 N. De onderkant van een poot

heeft een oppervlakte van 600 cm^2 . Hoe groot is de druk die de olifant op de bodem uitoefent als hij op zijn achterpoten staat?

6
Een dame heeft een gewicht van 600 N. De dame loopt op hoge hakken. De oppervlakte van een hak is 1 cm^2 . Hoe groot is de druk die de dame op de bodem uitoefent als ze op haar hakken staat?



7
Hierbij zie je een stalen doos getekend. De doos heeft een lengte van 20 cm, een breedte van 10 cm en een hoogte van 5 cm. In de doos zit een gas dat samengeperst is. De druk van het gas is 100 N per cm^2 . Hoe groot is de kracht op de voorkant, hoe groot op de bovenkant en hoe groot op de zijkant?



8
Hierbij zie je een schematische tekening van een vat met lucht waarop vier zuigers zijn gemonteerd.
oppervlakte A = 80 cm^2
oppervlakte B = 20 cm^2
oppervlakte C = 60 cm^2
oppervlakte D = 40 cm^2

Op zuiger B werkt een kracht van 10 N. Bereken de krachten die op de andere zuigers werken als er evenwicht is.

9
Proef om thuis te doen.
Neem een fietspomp. Sluit met je vinger de opening (waar de lucht uitkomt) af en probeer de zuiger in te duwen. Probeer nu ook de volgende vragen te beantwoorden.
Welk verschil merk je tussen de kracht

die je op het handvat moet uitoefenen en de kracht die nodig is om het gaatje af te sluiten?
Maak een schatting van hoeveel maal zo groot de oppervlakte van de zuiger is als die van het gaatje.
Hoeveel maal zo groot was dus de kracht, die je op de zuiger moest uitoefenen, als de kracht waarmee je het gaatje dichtdrukte?

10
Proef om thuis te doen
Laat iemand op een luchtbed liggen en blaas het bed vol.
Hoe groot is de kracht die de persoon op het luchtbed uitoefent (zijn gewicht)? Hoe groot is de kracht die nodig is om het ventiel dicht te houden?
Hoeveel keer zo klein is deze kracht?



Het meten van de luchtdruk

1 Waarom is het beter twee gaatjes in een blikje te prikken in plaats van één, als je de vloeistof er uit laat lopen?

2 Waarom neemt men bij het bepalen van de luchtdruk lange smalle buizen en geen korte dikke buizen?

3 Iemand zegt dat hij zo hard kan zuigen dat hij limonade door een rietje wel 20 m omhoog kan zuigen. Is dit inderdaad mogelijk?



4 Van welke diepte kan men water met een pomp omhoog zuigen?

5 Boven in de buis bij de proef van Berti is het niet helemaal vacuüm. Wat zit er dan nog?

6 Wat zit er bij de buis van Torricelli boven het kwik? Heeft dit een grote invloed op de hoogte van de kwikkolom?

7 In een lange buis staat het water 10 m hoog (proef van Berti). Water weegt 10 000 N per m^3 . Hoe hoog staan dan de volgende vloeistoffen?

- a alcohol, die 8 000 N per m^3 weegt.
- b glycerine, die 12 500 N per m^3 weegt.

8 Een buis van Torricelli heeft een doorsnede van 1 cm^2 . Het kwik staat 76 cm hoog. Hoe hoog staat het kwik in een buis van 5 cm^2 ?

9 De luchtdruk is niet konstant. Hij kan variëren van 74 tot 78 cmk. Hoe ontstaat wind?

10 Waarom is de luchtdruk afhankelijk van de hoogte waarop men de meting doet?

11 Bergbeklimmers gebruiken bij het beklimmen van hoge bergen zuurstofcilinders. Waarvoor is dat nodig?

12 Waarom doen veel leraren de proef van Torricelli liever niet, hoewel hij niet zo moeilijk is?

13 Toen de burgemeester van Maagdenburg zijn beroemd geworden proef met de halve bollen deed, was hij nogal zeker van zichzelf. Waarom kon hij zo zeker zijn?

De wet van Boyle

1 Schrijf op of in onderstaande situaties de wet van Boyle geldt. Zo ja, bereken dan de druk in de nieuwe situatie.

a Een ballon is opgeblazen. Het volume is 200 cm^3 , de druk in de ballon is 11 N per cm^2 .

We leggen de ballon in de zon. Na verloop van tijd heeft de ballon een volume van 210 cm^3 .

b Een voetbal heeft een volume van 4500 cm^3 , de druk in de voetbal is 35 N per cm^2 .

Iemand gaat op de bal zitten. Het volume is dan 4000 cm^3 .

c Een autoband is vrijwel leeg. Het volume is $0,001 \text{ m}^3$, de druk is 10 N per cm^2 . De band wordt opgepompt tot een volume van $0,03 \text{ m}^3$.

d In een cilinder bevindt zich een zuiger. Het volume is 1000 cm^3 , de druk is 10 N per cm^2 .

De zuiger wordt in de cilinder geduwd tot een volume van 50 cm^3 .

2 We hebben een systeem van twee verbonden injectiespuiten A en B.

De druk in de spuiten is 10 N per cm^2 .

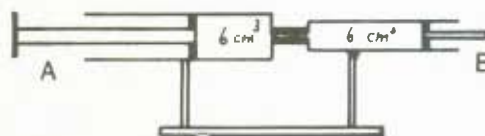
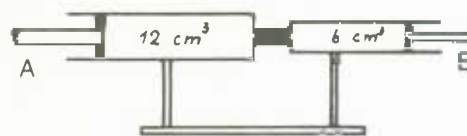
Het oppervlak van zuiger A is 3 cm^2 .

Het oppervlak van zuiger B is 2 cm^2 .

Bij de beginstand heeft spuit A een volume van 12 cm^3 en spuit B van 6 cm^3 .

Zuiger A wordt nu naar binnen gedrukt, terwijl zuiger B op zijn plaats blijft. Het volume van A is dan 6 cm^3 geworden, terwijl dat van B nog 6 cm^3 is. Hoe groot is dan de druk in het systeem?

Hoe groot is dan de kracht die het gas op zuiger A uitoefent? En op zuiger B?



De Wet van Gay-Lussac

1
Bij de proef in P 5 hebben we gezegd dat het toestel goed droog moet zijn voor je begint. Waterdamp zou de metingen kunnen storen.

a Wat kan er namelijk met waterdamp gebeuren als je gaat koelen?

b Wat zou dat voor gevolg hebben voor de hoeveelheid gas in het toestel?

c Probeer uit te leggen hoe de metingen hierdoor gestoord worden.

2
Hoe komt het dat niet alle meetpunten in de grafiek, die je in P 5 hebt gemaakt, op de rechte lijn liggen?

3
Bij een druk van 76 cm kwik heeft een hoeveelheid gas een volume van 1 liter als de temperatuur 0°C is. Maken wij bij dezelfde druk de temperatuur 273°C dan wordt het volume 2 liter.

Iemand beweert nu dat als je de temperatuur (bij konstante druk) 546°C maakt het volume 4 liter zal worden.

Een ander zegt dat dat niet waar is. Volgens hem wordt het volume dan 3 liter.

Wie heeft in dit geval gelijk? Kun je je antwoord bewijzen?

4
In T 5 hebben we gezien dat we het absolute nulpunt vinden als we de grafiek van het V-t-diagram doortrekken naar de lage temperaturen.

We kunnen dit ook doen met onze metingen uit P 5. We tekenen daarom hieronder opnieuw het V-t-diagram. Trek de

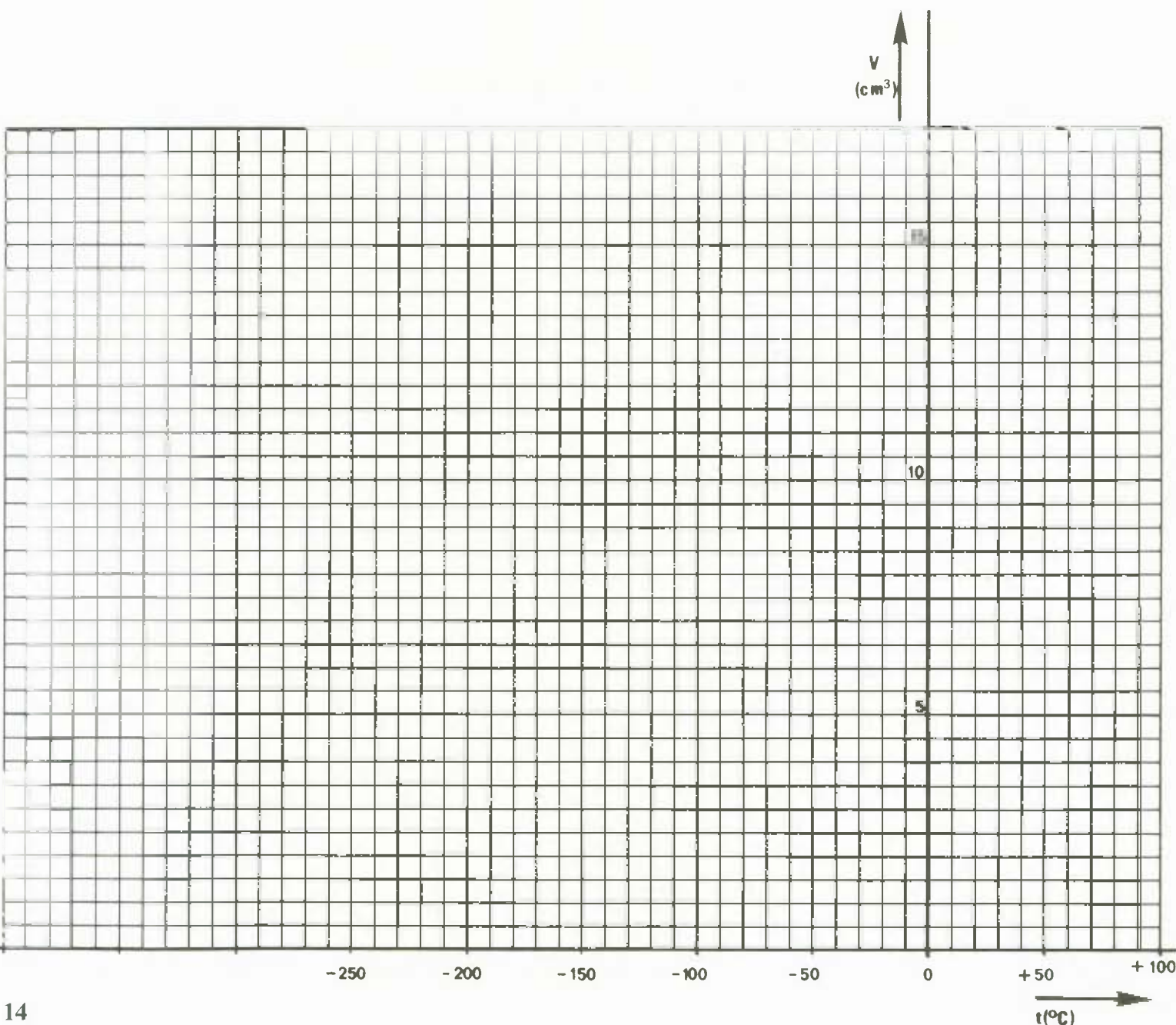
grafiek door en bepaal de temperatuur die bij jou het absolute nulpunt is.

Hoe groot is de afwijking van het hier gevonden absolute nulpunt ten opzichte van de werkelijke waarde?

5
Bekijk de bij 4 gemaakte grafiek. Wat zou je aan de proef moeten veranderen om het doortrekken nauwkeuriger te maken?

6
Voor deze vraag is een thermometer getekend. Breng zelf een schaalverdeling in Kelvin aan. Vermeld hele tientallen in deze schaal, op dezelfde manier als op de celsiusschaal is gedaan, dus 250 K, 260 K, 270 K, . . . Zie blz. 15.

7
Welke temperatuur wijst de thermometer bij vraag 6 aan volgens de celsiusschaal? En volgens de Kelvinschaal?

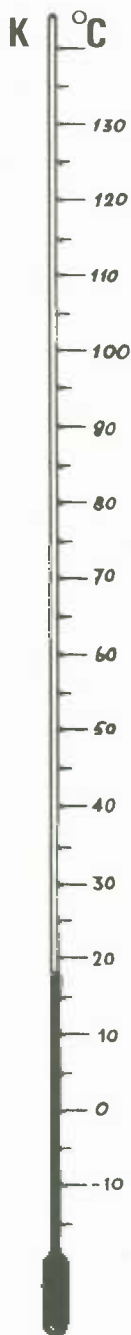


8
 Waarom is de thermometer die in T 5 is
 getekend een ‘fantasie thermometer’?

9 Waarom wordt in het dagelijks leven de celsiusschaal gebruikt?
Noem een voordeel van de kelvinschaal in de natuurkunde.

10
Van 1 liter zuurstof is de temperatuur 200 K. We houden de druk gelijk. Wat wordt het volume als we de temperatuur verhogen?

a tot 400 K?
b tot 250 K?
c tot 375 K?



Vraag 6

gemiddelde

T

Vraag 2

Blok 6 | Werkblad 6

Uitbreiding van het gasmodel

1 In T 6 spreken we van de gemiddelde snelheid van de molekulen. Dat moet, omdat niet alle molekulen dezelfde snelheid hebben (zie blok 4). Probeer te verklaren waarom van een bepaalde hoeveelheid gas de gemiddelde snelheid van de molekulen konstant **moet** blijven als we de temperatuur en het volume konstant houden.

2 Op een schaalverdeling is de absolute temperatuur (T) uitgezet. Daarboven is de gemiddelde snelheid van de molekulen van lucht weergegeven. Zie hieronder

- a Neemt de gemiddelde snelheid regelmatig toe, als de temperatuur toeneemt?
- b Is de absolute temperatuur recht evenredig met de gemiddelde snelheid van de molekulen?
- c Is de uitspraak van T 6: 'Temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de molekulen' juist?
- d Zouden de waarden voor de gemiddelde snelheid van bijvoorbeeld aardgasmolekulen hetzelfde zijn als voor lucht?

3 Zet in een diagram de gemiddelde snelheid van de molekulen uit tegen de absolute temperatuur (temperatuur horizontaal).

4 Uit de grafiek van opgave 3 blijkt dat bij stijgende temperatuur de gemiddelde snelheid van de molekulen steeds _____ stijgt.



5

Welke uitspraken zijn goed, welke fout?

a Als de **temperatuur** 2 keer zo groot wordt, wordt de **gemiddelde snelheid** van de molekulen 2 keer zo groot.

b Als de **absolute temperatuur** 2 keer zo groot wordt, wordt de **gemiddelde snelheid** van de molekulen 2 keer zo groot.

c Als de **absolute temperatuur** daalt neemt de **gemiddelde snelheid** van de molekulen af.

d Als de **absolute temperatuur** 3 keer zo laag wordt, wordt de **gemiddelde snelheid** van de molekulen 3 keer zo klein.

e Als de **temperatuur** 100°C daalt neemt de **gemiddelde snelheid** van de molekulen af met 80 m per s.

Goed zijn: Fout zijn:

6
In T 6 spreken we over de gemiddelde snelheid van de molekulen.
Bij het absolute nulpunt wordt over **snelheid nul** gesproken. Moeten we hier niet eigenlijk **gemiddelde snelheid nul** schrijven? Waarom?

De relatie tussen kracht en oppervlakte; druk

Je moet dit herhaalblad doen omdat je het verschil tussen kracht en druk nog niet helemaal door hebt. Druk is een moeilijk begrip, vooral omdat je in het dagelijks leven erg veel fouten maakt als je over druk spreekt. Meestal verwar je de begrippen kracht en druk met elkaar. We geven een tweetal voorbeelden:

'Jan drukte op de bel'. Oefende Jan een druk of een kracht uit?

'Door zijn grote gewicht zakte de auto in het losse zand weg. De kracht die de auto op de grond uitoefende was te groot'. Zakte de auto in het losse zand weg, omdat de kracht op het zand te groot was of omdat de druk op het zand te groot was?

In het eerste voorbeeld is de druk die Jan op de bel uitoefent niet van belang. Om de belknop in te 'drukken' moet Jan een bepaalde kracht uitoefenen. De auto die in het zand wegzakte was te zwaar. Je zou dus zeggen: oefende een grote kracht uit. Maar je weet dat men in zo'n geval een paar grote ijzeren matten onder de wielen van de auto legt. Als de auto op die matten staat zakt ze niet meer weg, omdat je dan dezelfde kracht over een grotere oppervlakte hebt verdeeld. Niet de kracht, maar de kracht per oppervlakte-eenheid (= de druk) bepaalt of de auto wegzakt.



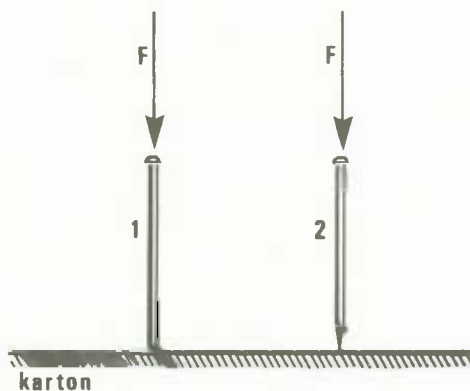
Niet de kracht, maar de druk bepaalt of de auto wegzakt.

Zo kun je doorgaan met voorbeelden van slordig taalgebruik. In het algemeen kun je zeggen dat in het dagelijks leven dikwijls van **druk en drukken** wordt gesproken als men **kracht en kracht** uitoefenen bedoelt.

Je moet dus goed op je woorden letten als je in de natuurkunde over druk spreekt. Druk is in de natuurkunde een nauwkeurig omschreven begrip. We herhalen hier de definitie uit T 2:

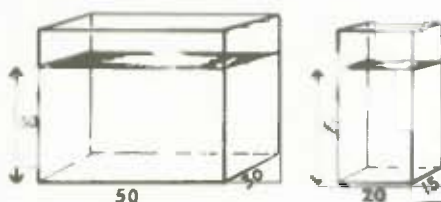
Druk is de kracht per eenheid van oppervlakte; in newton per vierkante centimeter.

We zullen nu een aantal gevallen behandelen waarbij je steeds goed onderscheid moet maken tussen kracht en druk.



Op beide spelden oefen je een even grote kracht (F) uit.

- 1 Je ziet twee spelden op een stuk karton. De ene speld is bot, de andere scherp.
 - a Als je op beide spelden dezelfde kracht uitoefent, welke speld zal dan het eerst in het karton doordringen?
 - b Op welke speld moet je de grootste kracht uitoefenen om hem in het karton te laten doordringen?
 - c Welke speld oefent de grootste druk uit op het karton als je op beide spelden dezelfde kracht uitoefent?
 - d Wordt het doordringen van de spelden in het karton bepaald door de kracht of door de druk?



- 2 We hebben twee aquariumbakken. De bodem van bak 1 is 50 cm lang en 30 cm breed. De bodem van bak 2 is 20 cm lang en 15 cm breed. Beide bakken bevatten water. De hoogte van het wateroppervlak boven de bodem is in beide bakken 30 cm. Water weegt 0,01 N per cm³. In welke bak is de druk op de bodem het grootst?

Je kunt het als volgt bepalen:

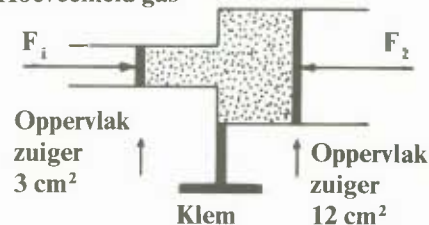
- a Bereken de volumes van het water in de bakken.
bak 1 : V1 = _____ cm³
bak 2 : V2 = _____ cm³
- b Bereken het gewicht van het water in beide bakken.
bak 1 : G1 = _____ N
bak 2 : G2 = _____ N
- c Hoe groot zijn de krachten op de bodems?
bak 1 : F1 = _____ N
bak 2 : F2 = _____ N
- d Hoe groot zijn de oppervlakten van de bodems?
bak 1 : A1 = _____ cm²
bak 2 : A2 = _____ cm²
- e Hoe groot zijn de drukken op de bodems?
bak 1 : p1 = _____ N/cm²
bak 2 : p2 = _____ N/cm²

Hoe luidt dus het antwoord op de vraag?

- 3 Hoe luidt het antwoord op de volgende vragen?
 - a Als op twee oppervlakten gelijke krachten werken, zijn dan de drukken op die oppervlakten ook gelijk?
 - b Als op twee oppervlakten gelijke drukken werken, zijn dan de krachten op die oppervlakten ook gelijk?

- 4 Een belangrijke eigenschap van gassen vonden we in P2: Een hoeveelheid gas wordt in evenwicht gehouden, als er gelijke **drukken** op worden uitgeoefend. Als je dit niet meer weet, moet je nog eens naar proef 1 van P2 kijken.
 - a De hoeveelheid gas in onderstaande figuur wordt in evenwicht gehouden, als F₁ = _____ × F₂.
 - b Als F₁ = 10 N, dan moet F₂ = _____ N zijn om evenwicht te houden.

Hoeveelheid gas



Je ziet 3 U-buizen getekend. De buizen bevatten water. Buis 1 is met een slang aangesloten op een gaskraan. Het water neemt daardoor de getekende stand in. Teken zelf in de buizen 2 en 3 hoe het water gaat staan als deze buizen op de gaskraan worden aangesloten. Controleer je tekeningen eventueel met een proef.



Blok 6 | Herhaalblad 2

De relatie tussen de druk en het volume van een gas; de wet van Boyle

Boyle beweerde over een gas:
De druk is omgekeerd evenredig met het volume, als de hoeveelheid gas en de temperatuur hetzelfde blijven.

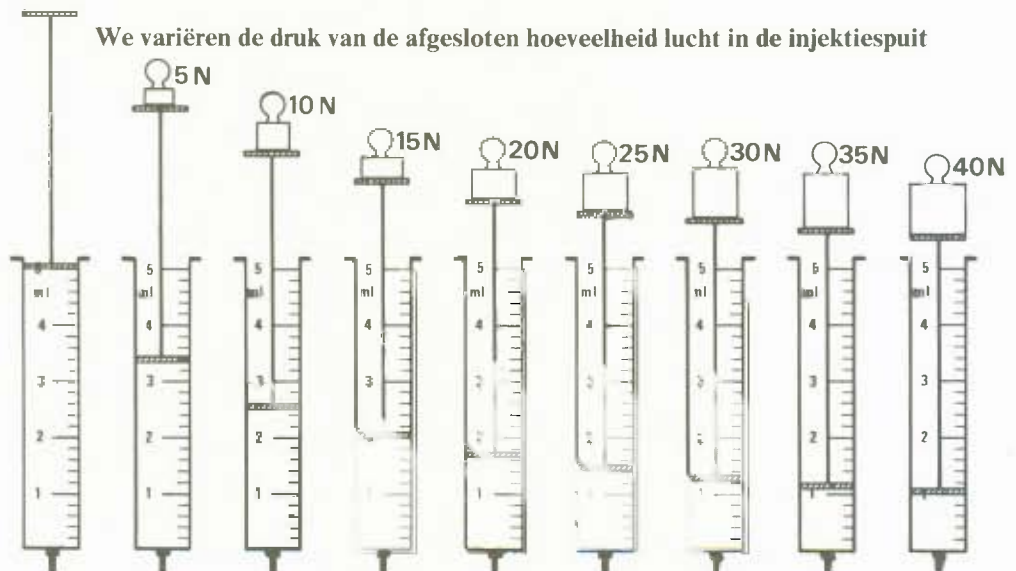
Werken met de wet van Boyle.

Om je nog wat meer met deze wetmatigheid vertrouwd te maken, zullen we je een aantal meetwaarden geven van een proef, die deze bewering controleert. Hier volgt de beschrijving van een proef zoals wij die voor jou gedaan hebben.

Bij dit experiment gebruikten wij een injectiespuit. De doorsnede van de injectiespuit was 1 cm^2 .

Er stond een maatverdeling tot 5 cm^3 op. We hadden de spuit aan de onderkant afgesloten en op de zuiger hadden we een klein plateau geplaatst. Het gewicht van de zuiger en het gewicht van het plateau zijn zo klein, dat ze te verwaarlozen zijn. We plaatsten de zuiger zo dat deze op $5,0 \text{ cm}^3$ stond. De druk van de hoeveelheid afgesloten lucht is dan de luchtdruk, te weten 10 N per cm^2 . Daarna plaatsten we op het plateau een gewicht van 5 N . Toen kwam er dus 5 N per cm^2 bij. De druk werd daardoor 15 N per cm^2 .

Doordat de druk was toegenomen, was het volume kleiner geworden. Het volume konden we direct op de injectiespuit aflezen. Alle waarnemingen die we deden staan hieronder. Lees bij elk plaatje het volume af ($1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$). Controleer je aflezing met een lineaal. Bereken de druk. Verzamel deze gegevens in de tabel.



Tabel

Meting	Druk in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	Volume in cm^3
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Tabel waarin je de gegevens over de druk en het volume overzichtelijk kunt noteren.

Vragen:

1
Als de druk toeneemt van 10 N per cm^2 tot 20 N per cm^2 , verandert het volume van cm^3 tot cm^3 .

Als de druk twee keer zo groot wordt, dan wordt het volume

Als de druk drie keer zo groot wordt, dan wordt het volume

Zoek in de tabel een voorbeeld hiervan op.

2
Als het volume van $2,5 \text{ cm}^3$ weer $5,0 \text{ cm}^3$ wordt, dan wordt de druk van N per cm^2 weer

Als het volume twee keer zo groot wordt dan wordt de druk

Hieruit volgt dat als je het volume vergroot, de druk daar evenredig mee verkleint.

Zijn er nog meer voorbeelden in de tabel die dit bevestigen?

3

Maak met behulp van de gegevens in de tabel een grafiek. Neem je grafiekenpapier dwars. Zet op de verticale as het volume uit. Neem voor 1 cm^3 een afstand van 1 cm op de as. Zet op de horizontale as de druk uit. Neem voor 10 N per cm^2 een afstand van 2 cm op de as.

Met behulp van bovenstaand experiment is op proefondervindelijke wijze het verband tussen de druk en het volume van een afgesloten hoeveelheid gas gevonden. Je kunt nu heel precies iets over de samendrukbaarheid van een gas zeggen.

Verklaren van de wet van Boyle.

De wet van Boyle kunnen we ook verklaren met ons molekuulmodel van een gas. Dit staat in T 4. Lees T 4 nog eens door en beantwoord de volgende vragen.

4

Door de zuiger van een injectiespuit omhoog te duwen, neemt de druk op het gas toe (zie bijvoorbeeld de zojuist beschreven proef).

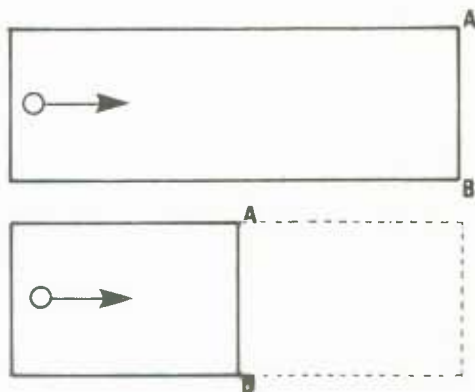
Hoe kun je daar met behulp van het gasmodel een voorstelling van maken?

5

Wat gebeurt er als de molekulen meer malen in een bepaalde tijd tegen de zuiger botsen?

6

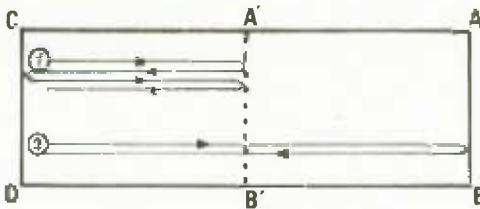
Veronderstel nu eens dat je in een doos 1 molekuul had (In werkelijkheid komt dit natuurlijk nooit voor). Dit molekuul beweegt heen en weer in de doos. Nu verschuif ik wand AB zodat ik nog maar een halve doos over heb, waarin het molekuul kan bewegen. In beide gevallen blijft het molekuul dezelfde snelheid houden.



Vraag 6

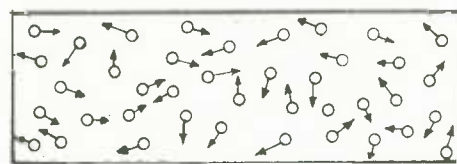
In welk geval zal het molekuul de meeste keren tegen de wand AB botsen gedurende een bepaalde tijd?

7



Als molekuul 2 één maal een baan heeft afgelegd van wand CD naar wand AB en weer terug, hoe vaak heeft molekuul 1 dan de baan van CD naar A'B' en weer terug afgelegd?

Vul aan: Maak je een ruimte twee keer zo klein en behoud je daarin hetzelfde aantal molekulen, dan wordt het aantal botsingen tegen een wand



Algemeen kunnen we dus zeggen:

Als we het volume van een vat, onder gelijk blijven van het aantal molekulen, 2, 3, 4 ... keer zo klein maken, dan wordt het aantal botsingen evenveel keer zo groot.

Blok 6 | Herhaalblad 3

De relatie tussen de temperatuur en het volume van een gas; de wet van Gay-Lussac

Sla de uitwerking van de proef in P 5 nog eens op. Bekijk deze en lees nog eens door wat je konklusies waren.

Deze proef zou je natuurlijk veel nauwkeuriger kunnen doen. Daarvoor zou je een groter volume van het gas moeten nemen, want dan is de uitzetting per graad celsius groter, waardoor je beter kunt meten. Ook zou je de temperatuur van het water, dus van het gas beter in de hand willen houden. Je zou er over kunnen denken het water met behulp van thermostaten langere tijd op een bepaalde temperatuur te houden. Het grote voordeel is dan dat het gas de tijd heeft om precies de temperatuur van het water te krijgen. Natuurlijk zou je dan veel tijd en veel geld voor betere apparatuur aan het experiment moeten besteden.

In een laboratorium hebben ze een nauwkeurig experiment voor je gedaan. Men nam een hoeveelheid helium van 4 gram bij een temperatuur van 0°C . Men vond een volume van $22,4 \text{ dm}^3$. Tijdens dit experiment liet men geen helium ontsnappen en hield men de druk heel nauwkeurig konstant.

Hieronder vind je een tabel met nauwkeurige gegevens:

Temperatuur in $^\circ\text{C}$	Volume in dm^3
0	22,4
10	23,2
20	24,0
30	24,8
40	25,6
50	26,5
60	27,2
70	28,1
80	28,9
90	29,7
100	30,4

Voorgaande gegevens kun je verwerken in een grafiek. Vul de meetgegevens in en teken de grafiek. Zie blz. 19 bovenste figuur.

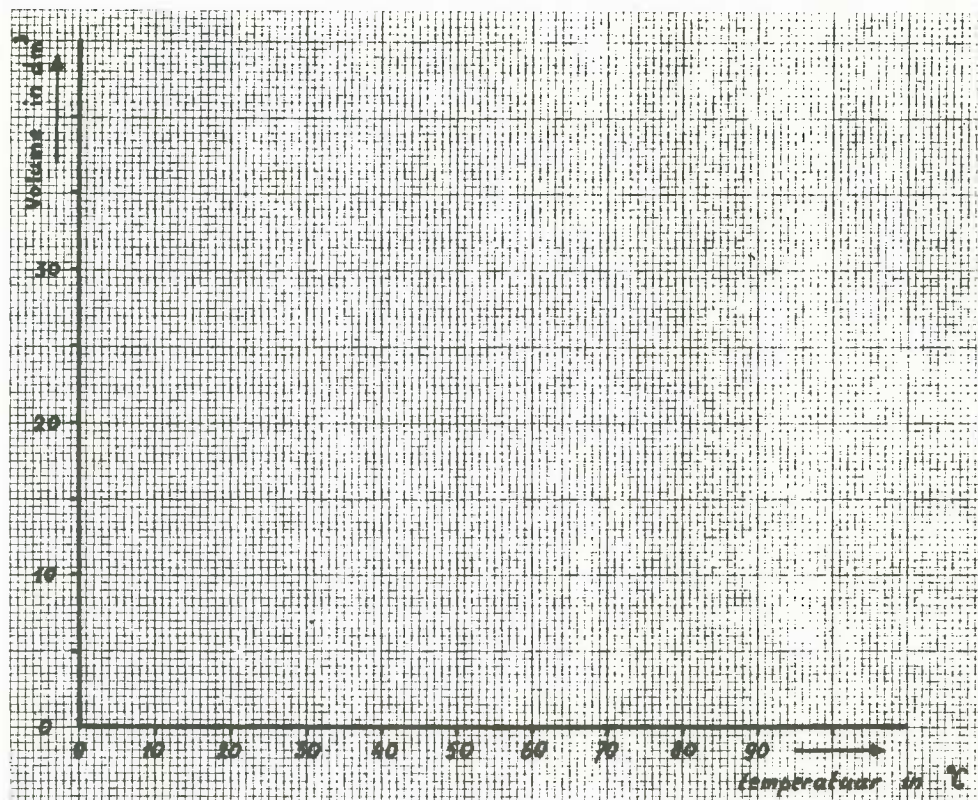
1

Voorspel welk volume 4 gram helium zal hebben

a bij -100°C ?

b bij 100°C ?

c bij -200°C ?



2
Zou je ook nog iets kunnen zeggen over het volume van het gas bij -300°C ?

3
Bekijk dit nog eens in een grafiek.
Vul de meetgegevens in onderstaand assenstelsel in en teken de grafiek.

Trek de grafiek door naar lagere temperaturen. Volgens de grafiek krimpt het gas voortdurend als de temperatuur daalt. Zoals je ziet is het volume bij een bepaalde temperatuur nul. Dat betekent dat het gas geen ruimte meer inneemt. Een volume van 0 dm^3 is al gek, je mag daarom de lijn zeker niet nog verder naar

beneden doortekenen, want dan krijg je minder dan niks.

Je kunt de temperatuur niet verder verlagen. We noemen deze laagste temperatuur daarom het absolute nulpunt.

4

Zet in grafiek 2 onder de temperatuurschaal in $^{\circ}\text{C}$ de temperatuurschaal in K.

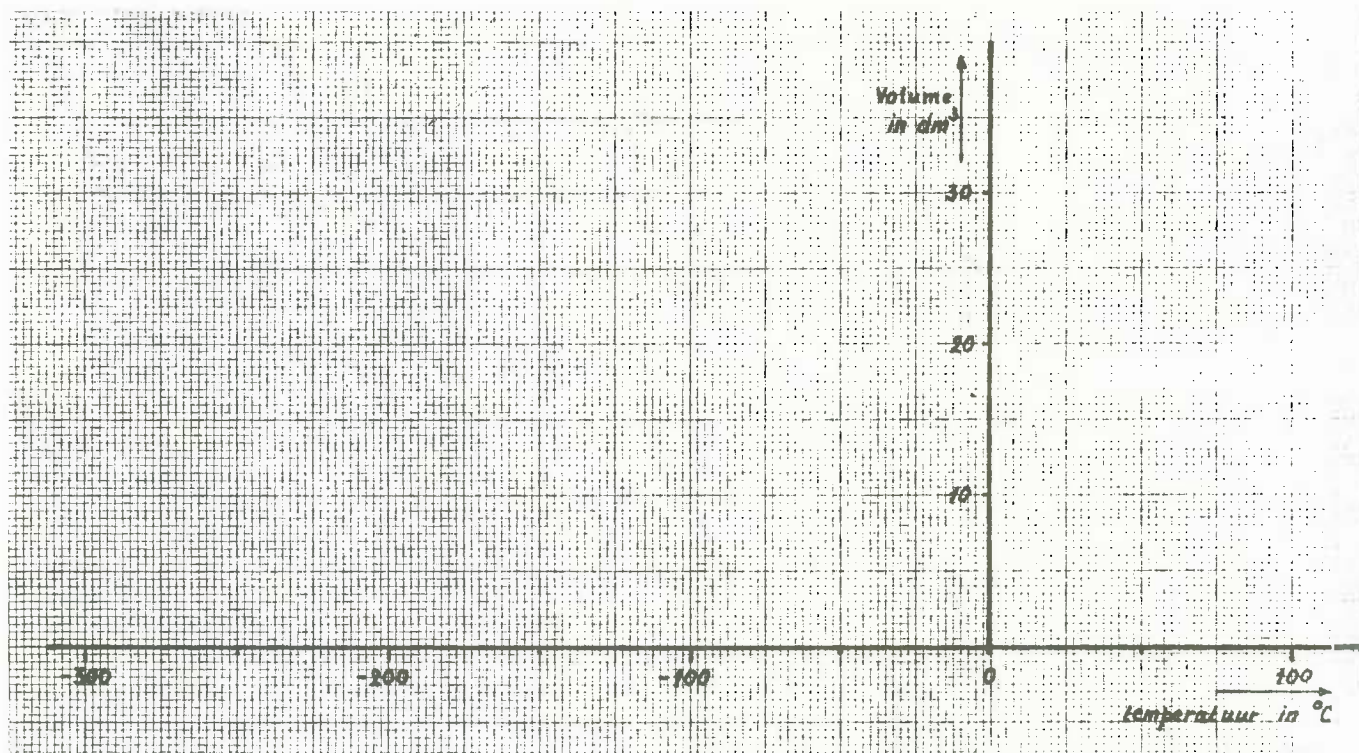
5

In een injectiespuit zit 1 liter lucht bij een druk van 10 N per cm^2 .

De temperatuur is -173°C ofwel 100 K .
De temperatuur stijgt tot -73°C ofwel 200 K .

a Hoe groot wordt het volume van de lucht in de spuit?

b Met welke temperatuurschaal kun je het beste rekenen?



Ruimte en vacuüm

Heel lang heeft men gedacht dat vacuüm niet kon bestaan. Men beredeneerde dat op de volgende wijze. In een volkomen lege ruimte ondervindt een lichaam geen weerstand en geen wrijving. Een bewegend voorwerp wordt in die ruimte niet afgeremd en dat voorwerp zou dus eeuwig blijven bewegen. Zo'n eeuwigdurende beweging komt op aarde niet voor. De Griekse wijsgeer Aristoteles (322 v.Chr.) stelde dat er daarom geen vacuüm kon zijn. Wanneer Aristoteles natuurkundige experimenten gedaan had, was hij mischien achter de waarheid gekomen, maar in zijn tijd vond men dat een wijsgeer niet met zijn handen mocht werken. Het heeft dan ook eeuwen geduurd voordat de theorie van Aristoteles over het vacuüm weerlegd is.

Pas tijdens de Renaissance (16e eeuw) ging men wat wetenschappelijker te werk en gingen de geleerden proeven doen. Mijnbouwers en mensen die naar water boorden was het bekend dat water met een gewone zuigpomp niet hoger opgezogen kon worden dan 10 meter. Dat water omhoog gezogen kon worden schreven de geleerden toe aan 'horror vacui': afschuw voor lege ruimte. Een lege ruimte zou onnatuurlijk zijn. Wanneer je boven het water iets zou wegzuigen dan zou het water vanzelf toestromen om de ruimte weer te vullen. Maar waarom komt het water dan niet hoger dan 10 meter? Galilei (1638) meende dat het vacuüm gewoon niet harder kon zuigen. In 1640 deed Berti zijn proef met de lange buis (zie T 3). Hij gebruikte voor zijn experiment een lange glazen buis met daarboven een bol (zie tekening). Het geheel vulde hij met water. Daarna stak hij de buis in een bak met water. Het water zakte dan tot een bepaald nivo. Hij deed de proef met ballen van verschillende grootte. Berti konstateerde: welke bol hij ook nam, het water zakte altijd tot 10 meter boven het nivo in de bak. Berti kwam tot de konklusie dat een grote bol met een grote vacuümruimte niet harder zuigt dan een kleine bol met een kleine vacuümruimte.

Als Berti na zijn experimenten de kraan bovenop de bol opende hoorde hij de lucht er met geraas in stromen. Maar hoe kon dat nu? Het vacuüm is uitgezogen, want het kan het water niet verder omhoog zuigen, maar hoe kan het dan nog wel lucht aanzuigen? Verder zag Ber-

ti dat tijdens het binnenstromen van de lucht het waternivo in de buis daalde. Berti kwam tot de volgende konklusie: dat water slechts tien meter hoog komt, wordt niet door het vacuüm veroorzaakt, maar door de luchtdruk buiten, die het water niet hoger kan stuwen. Vacuüm is niets, het heeft geen druk en het zuigt ook niet. Het idee van de luchtdruk was geboren.

Later heeft Torricelli (1643) de proef nog eens gedaan. Hij nam in plaats van water kwik. Kwik is per cm^3 13,6 maal zo zwaar. Het kwik hoefde dus maar 76 cm hoog te staan om dezelfde druk uit te oefenen. Wanneer het idee van Berti over de luchtdruk juist was, zou volgens Pascal (1648) het kwik in de bak van Torricelli bovenop een berg niet zo hoog komen als onder aan de berg. Omdat Pascal zelf erg zwak was liet hij een familielid de proef uitvoeren op de Puy de Dôme (1540 meter). Inderdaad stond het kwik bovenop de berg lager dan beneden.

Hoe groot is nu de luchtdruk?

Bekijk de tekening hiernaast eens. We hebben in P 3 deze opstelling gebruikt bij de proef van Torricelli. We zagen toen, dat het kwik in de buis 76 cm hoog stond. Op het oppervlak AB drukt buiten de buis de luchtdruk. Binnen de buis drukt alleen de kolom kwik van 76 cm. (Het vacuüm drukt immers niet). We hebben tijdens de proef gezien dat het kwik in evenwicht was. Maar dan moeten de drukken binnen de buis en buiten de buis op oppervlak AB wel even groot zijn. Samenvattend kunnen we zeggen, dat de luchtdruk gelijk is aan de druk van de kolom kwik in de buis.

Met de buis van Torricelli kunnen we dus de luchtdruk bepalen. De luchtdruk is ongeveer 76 cm kwikdruk.

Vragen

1

Als je de lucht die om de aarde zit vangt door kwik ('kwikzee'), hoe diep moet die zee dan zijn als de druk op het aardoppervlak hetzelfde blijft?

2

Wat zou er dan boven die zee zitten?

3

Verklaar waarom de buis van Torricelli helemaal vol met kwik blijft als je hem maar schuin genoeg houdt? (Vergelijk het met een buis in de kwikzee).

4

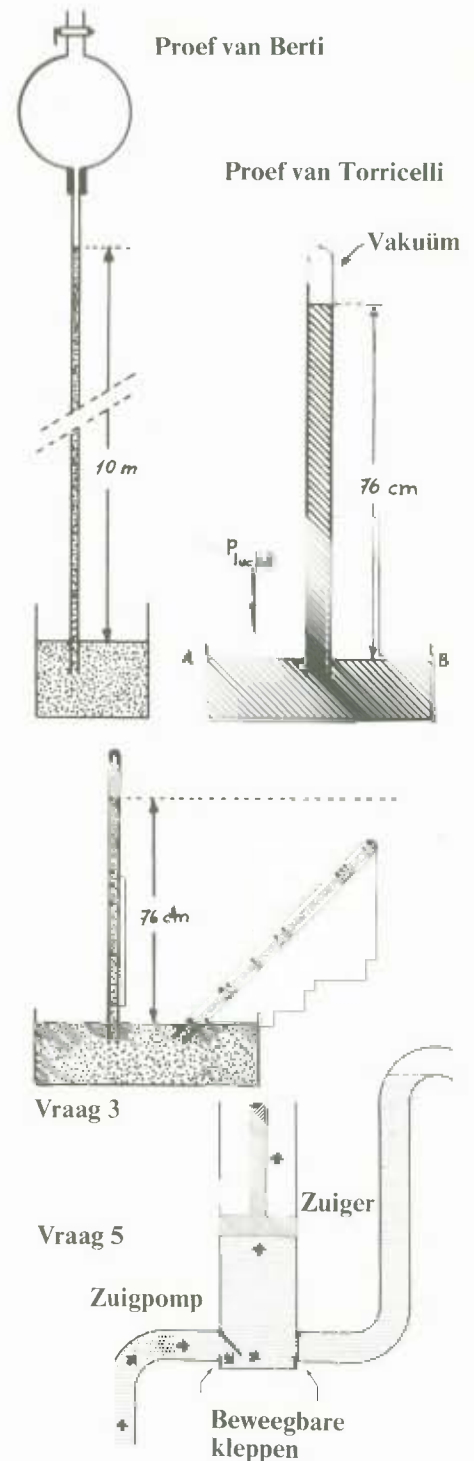
a Waarom is de luchtdruk boven op een berg minder hoog dan onder aan de berg?

b Hoe kun je dit merken? (zonder barometer).

5

Verklaar de werking van de getekende zuigpomp.

Geef ook aan hoe het water stroomt.



Grafieken

In dit blok hebben we weer gebruik gemaakt van grafieken. We zullen nog eens bekijken wanneer je een grafiek kunt maken, hoe je dat doet, wat je met een grafiek wel kunt doen en wat niet.

Wanneer kun je een grafiek maken?

Een grafiek kun je pas tekenen als je twee grootheden hebt waartussen een relatie bestaat. Daarom gaan we nog eens na wat grootheden zijn en wat een relatie is. Een grootheid is iets dat je kunt meten, dus vergelijken met een eenheid. De eenheid is dan de maat waarmee je meet. Vul het volgende maar eens in, dan zie je vanzelf wat een grootheid is en wat niet.

1

- a Hoe oud ben je?
- b Hoe lang ben je?
- c Hoe zwaar weeg je?
- d Wat is de kleur van je ogen?
- e Welke maat schoenen heb je?
- f Hoe is je gezondheid?
- g Wat is je lichaamstemperatuur?
- h Hoe ver woon je van school?
- i Hoe lang doe je over de afstand van school naar huis?
- j Hoe snel fiets je gemiddeld?

Grootheid	Eenheid
Leeftijd	Jaar

Sommige van deze grootheden en ook 'niet-grootheden' hebben iets met elkaar te maken, ze staan in relatie met elkaar. Een voorbeeld hiervan is je **lengte**, die verandert met je **leeftijd**. Ook je **schoenmaat** verandert met je **leeftijd**. Je **lichaamstemperatuur** kan iets zeggen over je **gezondheid**. Hoe groter de **afstand** van huis tot school, des te meer **tijd** heb je nodig om op school te komen. Maar er is

geen relatie tussen de kleur van je ogen en je **schoenmaat**. Er is ook geen relatie tussen je **lengte** en de **afstand** van school naar huis. De relaties tussen niet-grootheden zullen we verder buiten beschouwing laten en vanaf nu hebben we het alleen over relaties tussen grootheden. We willen zo precies mogelijk zeggen hoe een bepaalde relatie is. Je kunt wel zeggen, als ik ouder word, neemt mijn lengte toe. Maar de relatie tussen leeftijd en lengte is dan nog helemaal niet duidelijk. Wel duidelijk is een grafiek waarin metingen van je lengte op verschillende leeftijden zijn verwerkt. In zo'n grafiek vallen groeistuipten onmiddellijk op. De relatie tussen twee grootheden is vaak zo eenvoudig dat je hem in één of twee woorden kunt samenvatten: **evenredig** of **omgekeerd evenredig**. Vul het volgende maar eens in:

2

a Als je met konstante snelheid fietst, is de afstand die je aflegt

met de tijd, want

b De tijd waarin je van school naar huis fietst is

met de gemiddelde snelheid waarmee je fietst, want

c De druk van een bepaalde hoeveelheid gas is bij konstante temperatuur

met het volume, want

d Het volume van een bepaalde hoeveelheid gas is bij konstante druk

met de absolute temperatuur, want

e Jouw massa is

met je lengte, want

Hoe maak je een grafiek?

Bij het maken van een grafiek kun je verschillende gevallen onderscheiden. Soms is de relatie tussen twee grootheden al bekend, bijvoorbeeld evenredig. Er zijn ook gevallen waarbij die relatie niet bekend is. Dan moet de grafiek aangeven, hoe de relatie is.

Voorbeeld 1: de grafiek van een evenredigheidsrelatie.

Je weet nu dat de afstand die je fietsend aflegt evenredig is met de tijd dat je fietst. Wel moet je dan gedurende de hele afstand even snel of langzaam blijven fietsen. Wanneer we een grafiek gaan maken van die relatie, moeten we de gemiddelde snelheid weten.

Laten we voor de gemiddelde snelheid eens 15 km per uur nemen.

15 km per uur =

km per minuut

3

Vul nu de onderstaande tabel in:

Tijd in minuten	Afstand in km
10	
20	
30	
40	
50	
60	

Teken nu op millimeter papier een horizontale as en een vertikale as. Nu moet je bij die assen nog schrijven wat je er op uitzet: tijd of afstand.

In de natuurkunde is het gebruikelijk om dat wat je instelt (in dit geval de tijd) op de horizontale as te zetten. Dat wat je daarbij afleest (in dit geval de afstand) zet je op de vertikale as uit.

Voordat we de grafiek kunnen tekenen, moeten we nog de maat van ons diagram kiezen. (diagram = grafiek + assen). We kiezen voor 1 uur op de tijd-as, 6 cm, dus voor iedere 10 minuten 1 cm. Op de afstand-as kiezen we voor 15 km, 7,5 cm.

4

Nu kun je de grafiek gaan tekenen. Zet er wel bij wat het voorstelt, wat langs een bepaalde as staat enz.

Voorbeeld 2: een grafiek van de relatie 'omgekeerd evenredig'.

Je weet dat de tijd die je nodig hebt om van school naar huis te fietsen omgekeerd evenredig is met je snelheid. De afstand ligt vast. Je kunt daarvoor 5 km nemen of de werkelijke afstand in jouw situatie.

Nu kun je de onderstaande tabel invullen.

Tijd in uur	Gemiddelde snelheid in km per uur
5	
10	
15	
20	
25	

5 We kunnen weer een grafiek tekenen. De tijd zetten we uit op de horizontale as. De gemiddelde snelheid zetten we vertikaal uit.

6 Teken nu de grafiek van de relatie tussen gemiddelde snelheid en tijd. Zet erbij voor welke afstand de grafiek geldt.

7 a Welke vorm heeft de grafiek van de relatie tussen druk en volume voor een bepaalde hoeveelheid gas bij een konstante temperatuur? (tekenen!) Waarom?

b Teken de grafiek van de relatie tussen de absolute temperatuur en het volume voor een bepaalde hoeveelheid gas bij konstante druk. Leg uit waarom de grafiek zo loopt.

Bij de twee voorbeelden van grafieken, die we tot nu toe bekeken hebben was de relatie tussen de grootheden al bekend. We gaan nu eens een grafiek tekenen en bekijken, waarbij dat niet het geval is.

Voorbeeld 3: een grafiek bij gegeven meetpunten.

In P 5 hebben we een serie metingen gedaan om de relatie te vinden tussen de temperatuur en het volume van een afgesloten hoeveelheid gas bij konstante druk. We kregen een serie getallenparen. Niet iedereen kreeg dezelfde getallenparen. De één heeft zijn volume bepaald bij 80, 70, 60, 50 °C en de ander bij 82, 69, 61, 49 °C. Maar komt er dan nog wel dezelfde grafiek?

Vergelijk jouw grafiek uit P 5 eens met die van anderen en noteer de verschillen.

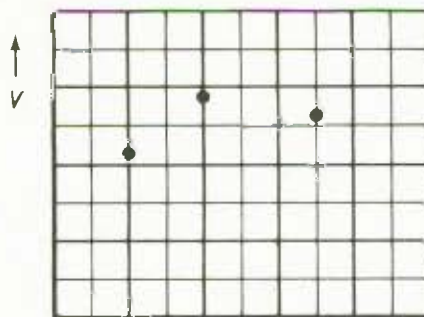


Diagram 1

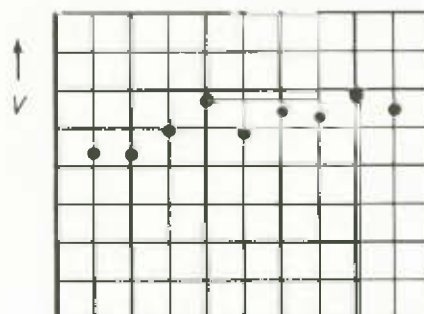


Diagram 2

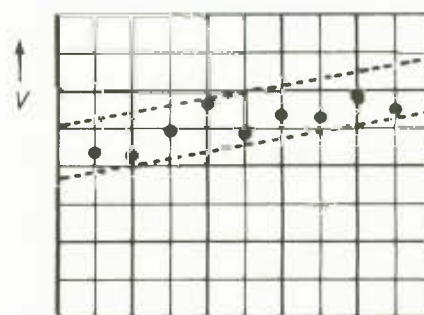


Diagram 3

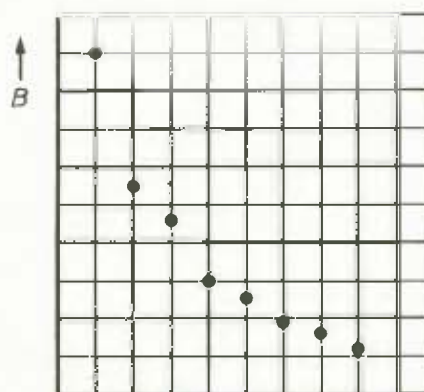


Diagram 4

zouden liggen. In de metingen zit altijd een onnauwkeurigheid. Als er in metingen een grote onnauwkeurigheid zit, dan moet je veel metingen doen. Kijk maar eens naar de twee diagrammen die hier naast getekend zijn.

In het eerste geval zou je geneigd zijn een kromme lijn door de punten te trekken. In het tweede geval krijg je een veel beter idee van de onnauwkeurigheid van de metingen. Je kunt twee stippellijnen trekken waartussen alle meetpunten liggen. Als je bij andere temperaturen het volume bepaalt, dan zullen de meetpunten hoogstwaarschijnlijk tussen de stippellijnen liggen.

We kunnen dus de relatie van temperatuur en volume het beste weergeven door een rechte lijn, die precies tussen de stippellijnen doorloopt.

8 Teken de grafiek van de relatie uit P 5 op dezelfde manier als voor diagram 2 gedaan is. Zit er nu nog verschil tussen de grafiek van jou en die van anderen? Hoe komt dat?

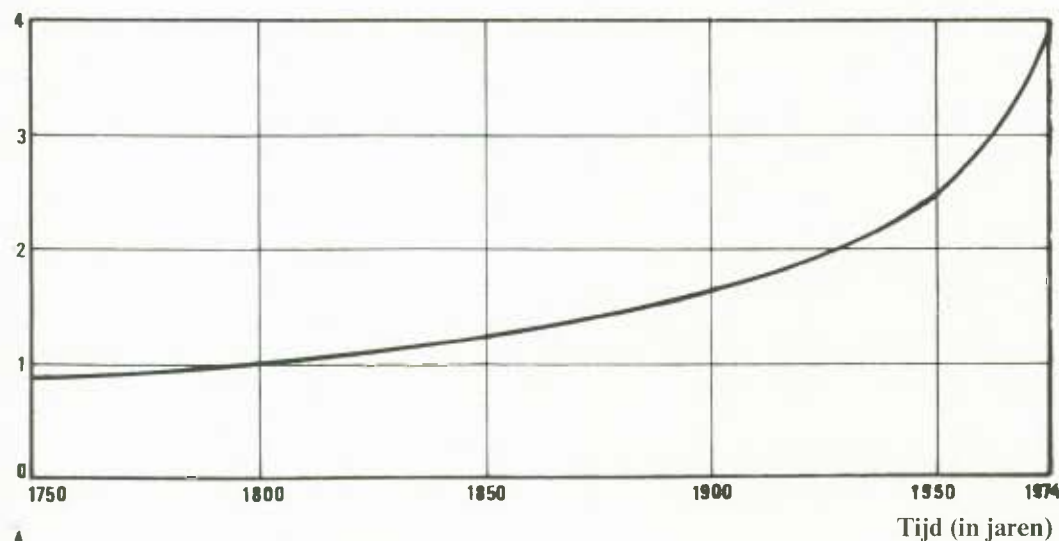
9 Teken de lijn in diagram 4. Welke relatie denk je dat er bestaat tussen de grootheden A en B?

Wat je wel en niet met een grafiek kunt doen.

We hebben gezien dat een grafiek gebruikt kan worden om een relatie op te sporen. Verder is een grafiek een handige manier om op eenvoudige wijze een relatie weer te geven. Een voorbeeld van dat laatste heb je gezien in W 6 van dit blok. De relatie tussen de gemiddelde snelheid en de absolute temperatuur kun je aangeven met 2 rijtjes getallen of door een grafiek. Deze relatie onder woorden te brengen, is erg moeilijk.

Een ander voorbeeld waarbij een grafiek verhelderend werkt zie je in het diagram dat weergeeft, hoe de wereldbevolking in de loop der tijden verandert.

We hebben gezegd, dat degene die de proef goed doet en de grafiek zonder fouten tekent, een rechte lijn krijgt. Toch zou het wel erg toevallig zijn wanneer alle meetpunten precies op één rechte lijn



Wereldbevolking (in miljarden)

10

Welke konklusies kun je trekken uit deze grafiek?

Soms mogen we een grafiek doortrekken (de lijn in het diagram verlengen).

Laten we eens nagaan of we de grafieken, die we tot nu toe besproken hebben, mogen doortrekken.

11

a Kun je uit de grafiek van voorbeeld 1 bepalen welke afstand je fietst in 8 uur?

b Kun je uit de grafiek van voorbeeld 2 halen hoeveel tijd je er over doet om thuis te komen bij een gemiddelde snelheid van 50 km per uur?

c Kun je uit jouw grafiek van de proef uit P 5 halen hoe groot het volume van de lucht is bij -50°C ?

want

d Kun je uit de grafiek van W 6 bepalen hoe groot de gemiddelde snelheid van de luchtmolekulen is bij 800 K?

want

e Kun je tenslotte uit de grafiek over de wereldbevolking bepalen, hoe groot de bevolking van de aarde zal zijn in het jaar 2000?

want

Toekomstvoorspellers doen vaak beweringen die ze gevonden hebben door grafieken door te trekken. Ze vergeten er meestal bij te zeggen: 'Als de ontwikkeling zo doorgaat'. Vaak weten ze niet eens of het zo door zal gaan.

Leerlingen die bijvoorbeeld een proef met een veer doen, denken dat een tienmaal zo grote kracht ook een tienmaal zo grote uitrekking zal geven. Als de veer na afloop van de proef in de uitgerekte stand blijft, is dat een bewijs dat er te ver is doorgetrokken.

Samenvatting.

Een grafiek geeft de relatie weer tussen twee grootheden.

Twee grootheden A en B zijn recht evenredig betekent:

Als A n keer zo groot wordt, wordt B ook n keer zo groot.

De grafiek is een rechte lijn door de oorsprong.

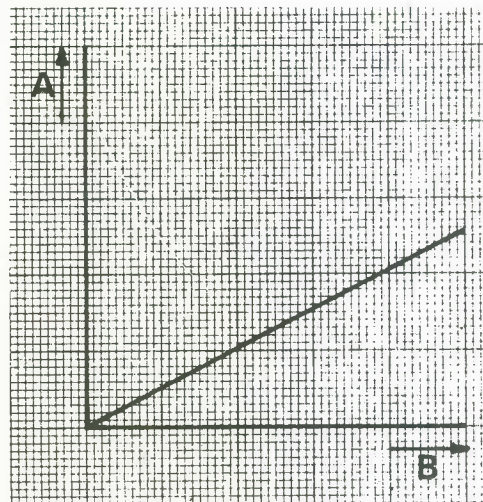
Twee grootheden A en B zijn omgekeerd evenredig betekent:

Als A n keer zo groot wordt, wordt B n keer zo klein.

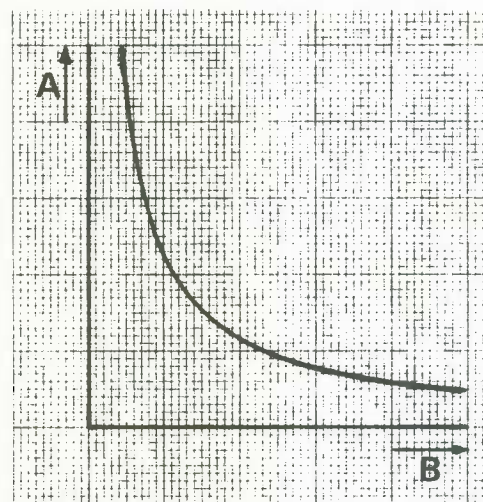
De bijbehorende grafiek noemen we een hyperbool.

De grootheid B die je instelt zet je horizontaal uit; de grootheid A die je daarbij afleest zet je vertikaal uit.

Bij onnauwkeurige metingen kun je er maar beter voor zorgen dat je veel meetpunten hebt. Dan kun je beter zien hoe de grafiek moet lopen. Uit een goede grafiek kun je de relatie precies aflezen. Doortrekken doe je alleen als je vermoedt, dat de relatie buiten het gebied van de meetpunten hetzelfde blijft.



Recht evenredig



Omgekeerd evenredig

Herhaalblad 1

De relatie tussen kracht en oppervlakte; druk

1

- a Speld 2.
- b Speld 1.
- c Speld 2, want deze heeft de kleinste kontaktoppervlakte.
- d Door de druk.

2

- a $V_1 = 50 \cdot 30 \cdot 30 = 45000 \text{ cm}^3$
 $V_2 = 20 \cdot 15 \cdot 30 = 9000 \text{ cm}^3$
- b $G_1 = 45000 \cdot 0,01 = 450 \text{ N}$
 $G_2 = 9000 \cdot 0,01 = 90 \text{ N}$
- c $F_1 = G_1 = 450 \text{ N}$
 $F_2 = G_2 = 90 \text{ N}$
- d $A_1 = 50 \cdot 30 = 1500 \text{ cm}^2$
 $A_2 = 20 \cdot 15 = 300 \text{ cm}^2$
- e $p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{450 \text{ N}}{1500 \text{ cm}^2} =$

$$\frac{450 \text{ N}}{1500 \text{ cm}^2} = 0,3 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} = \frac{90 \text{ N}}{300 \text{ cm}^2} =$$

$$\frac{90 \text{ N}}{300 \text{ cm}^2} = 0,3 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

De druk op de bodem is in beide bakken gelijk.

3

- a Dat hoeft niet. Bij gelijke krachten krijgt men alleen gelijke drukken als ze op even grote oppervlakten werken.
- b Dat hoeft niet. Bij gelijke drukken horen alleen gelijke krachten als de oppervlakten even groot zijn.

4

- a $F_1 = \frac{1}{4} F_2$
 De drukken moeten gelijk zijn. Op een $4 \times$ zo groot oppervlak moet dan een $4 \times$ zo grote kracht werken.
- b $F_2 = 40 \text{ N}$ want bij $F_1 = \frac{1}{4} F_2$ zijn de drukken gelijk.

5

In alle buizen wordt het verschil tussen de wateroppervlakken 25 cm, want alleen de hoogte van de vloeistofkolom bepaalt de druk. De doorsnede speelt geen rol.

Herhaalblad 2

De relatie tussen de druk en het volume van een gas; de wet van Boyle

Tabel voor de druk en het volume

Meting	Druk in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	Volume in cm^3
1	10	5,0
2	15	3,3
3	20	2,5
4	25	2,0
5	30	1,7
6	35	1,4
7	40	1,3
8	45	1,1
9	50	1,0

1

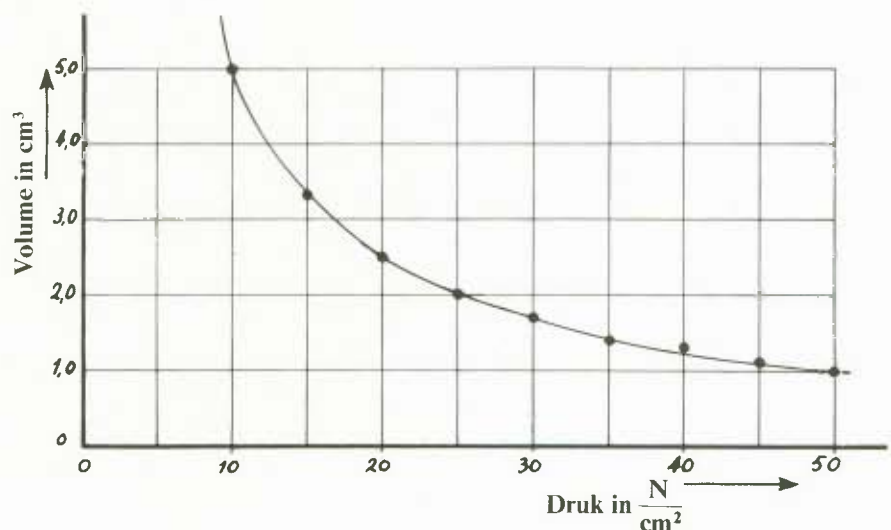
Als de druk toeneemt van 10 N per cm^2 tot 20 N per cm^2 , dan neemt het volume af van 5,0 tot 2,5 cm^3 .

Als de druk twee keer zo groot wordt, dan wordt het volume twee keer zo klein.
 Als de druk drie keer zo groot wordt, dan wordt het volume drie keer zo klein.
 Voorbeeld uit tabel: Als de druk toeneemt van 15 N per cm^2 tot 45 N per cm^2 , dan neemt het volume af van 3,3 cm^3 tot 1,1 cm^3 .

2

Als het volume van 2,5 cm^3 naar 5,0 cm^3 gaat, dan gaat de druk van 20 N per cm^2

3

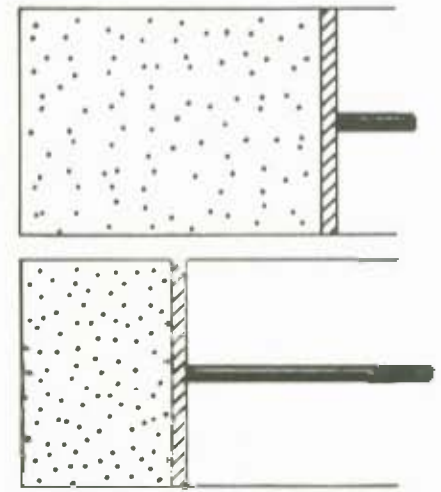


naar 10 N per cm^2 .

Als het volume twee keer zo groot wordt, dan wordt de druk twee keer zo klein.

Voorbeeld uit tabel: Als het volume toeneemt van 1,0 cm^3 tot 2,0 cm^3 , dan neemt de druk af van 50 N per cm^2 tot 25 N per cm^2 .

4



5

Als de molekulen vaker tegen de zuiger botsen dan neemt de druk op de zuiger toe.

6

De tijd tussen twee botsingen in het eerste geval is 2 keer zo groot als de tijd tussen twee botsingen in het tweede geval. De weg die het molekuul in het eerste geval moet afleggen is immers twee keer zo groot als in het tweede geval. In het tweede geval botst het molekuul de meeste keren tegen wand AB.

7

Molekuul 1 heeft dan 2 keer die afstand afgelegd.
 . . . 2 keer zo groot.

Herhaalblad 3

De relatie tussen de temperatuur en het volume van een gas; de wet van Gay-Lussac

1

- a $14,4 \text{ dm}^3$
- b $30,4 \text{ dm}^3$
- c $6,4 \text{ dm}^3$

2

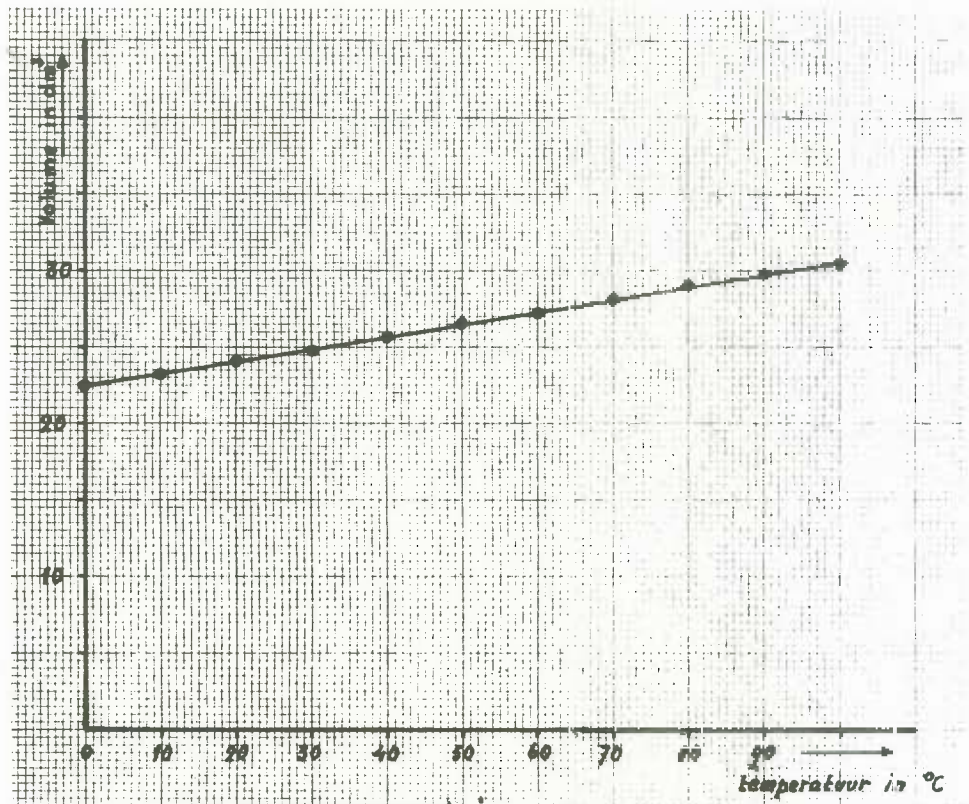
Neen, want dan heb je de lijn te ver doorgetrokken. Bij -273°C is het volume al nul.

5

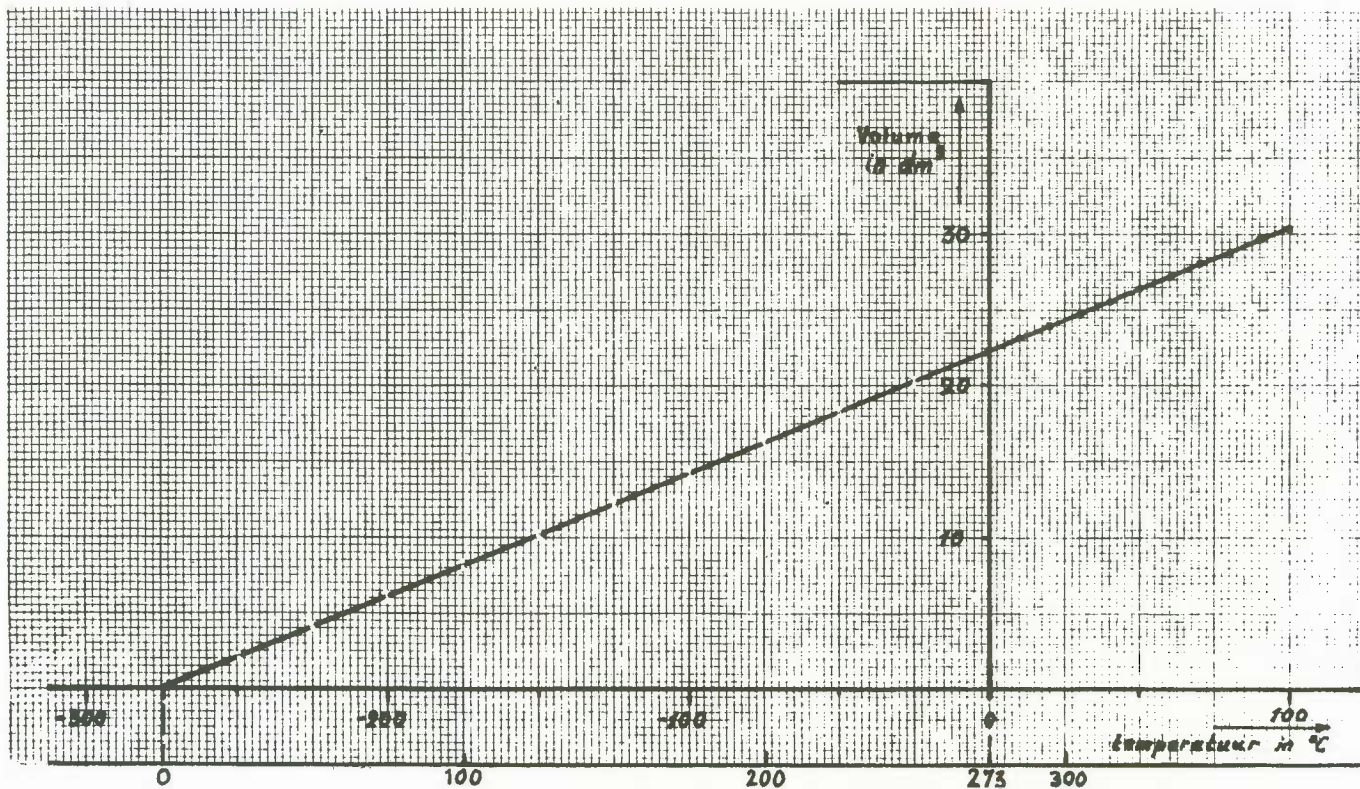
- a 2 liter bij -73°C ofwel 200 K .
- b Je kunt het gemakkelijkst rekenen met de temperatuurschaal in K.

V T

Als de temperatuur in K twee keer zo groot wordt, wordt het volume ook twee keer zo groot.



3 en 4



Herhaalblad 4

Ruimte en vacuüm

1

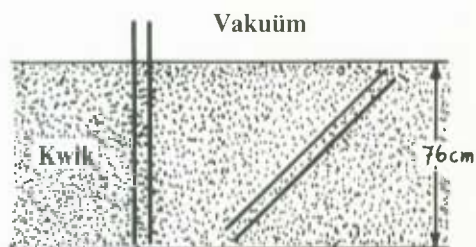
76 cm diep.

2

Niets, vacuüm. Er kan geen lucht boven zitten omdat die lucht druk zou gaan uitoefenen, en daardoor de druk op aarde hoger zou worden dan 76 cm kwikdruk.

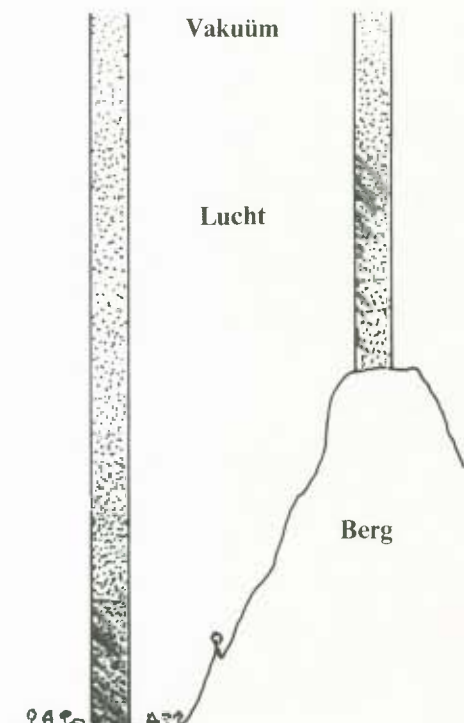
3

In de kwikzee zie je onmiddellijk waarom dat zo is: (zie tekening).



4

a Onder aan een berg is de luchtkolom langer dan boven op de berg. Bovenop de berg is het gewicht van de lucht op één cm^2 kleiner dan onder aan de berg. De druk (= gewicht per oppervlakte) is er dus lager.



b Bovenop de berg is de luchtdruk kleiner. De lucht wordt er minder samenge-drukt. Daarom is de lucht er ijler. Je kunt dat laatste merken aan je ademhaling.

5

Als de zuiger omhoog gaat, opent de linker klep zich en gaat de rechter klep dicht. Het water stroomt in de cilinder. Als de zuiger omlaag geduwd wordt, gaat de linker dicht en de rechter open. Het water wordt dan naar rechts geperst.

Herhaalblad 5

Grafieken

1

Grootheid	Eenheid
a leeftijd	jaar (jr)
b lengte	meter (m)
c gewicht	Newton (N)
d	—
e schoenmaat	?
f	—
g temperatuur	graad celcius ($^{\circ}\text{C}$)
h afstand	meter (m)
	kilometer (km)
i tijd	seconde (s)
	minuut (min)
	uur (h)
j snelheid	meter per seconde
	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
	kilometer per uur
	$\frac{\text{km}}{\text{h}}$

2

a Evenredig, want in $2\times$, $3\times$, $4\times$ zo-veel tijd leg je een $2\times$, $3\times$, $4\times$ zo grote afstand af.

b Omgekeerd evenredig, want bij een $2\times$, $3\times$ zo grote gemiddelde snelheid is de tijd die je er over doet $2\times$, $3\times$ zo klein.

c Omgekeerd evenredig want bij een $2\times$, $3\times$ zo groot volume is de druk $2\times$, $3\times$ zo klein.

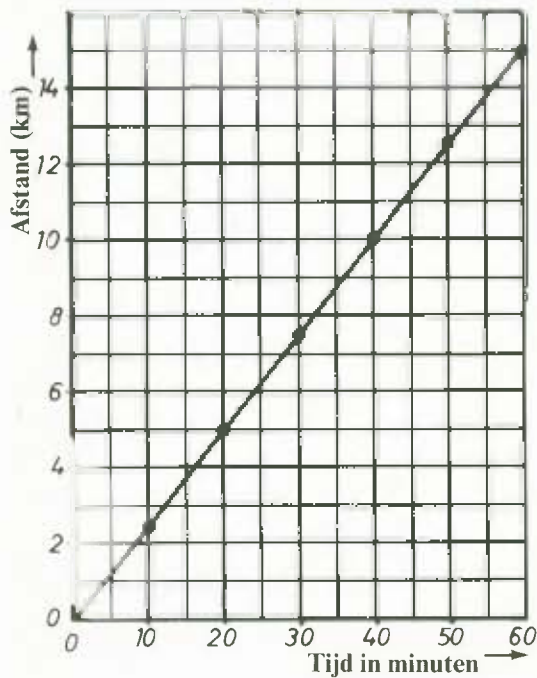
d Evenredig want bij een $2\times$, $3\times$ zo hoge absolute temperatuur (in Kelvin!) is het volume $2\times$, $3\times$ zo groot.

e **Niet** evenredig, want bij een $2\times$, $3\times$ zo grote lengte is de massa **meer** dan $2\times$, $3\times$ zo groot.

3

Tijd in minuten	Afstand in km
10	2,5
20	5,0
30	7,5
40	10,0
50	12,5
60	15,0

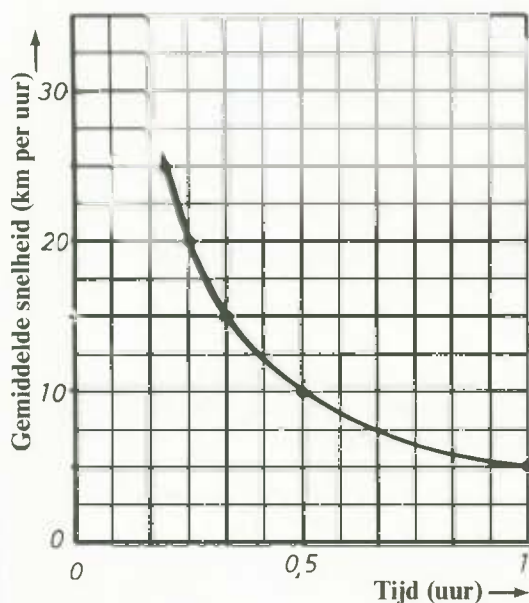
4



5

Gemiddelde snelheid (km/h)	Tijd (uur)
5	1,00
10	0,50
15	0,33
20	0,25
25	0,20

6



7

a Een kromme lijn, net zoals bij vraag 7, omdat de twee grootheden omgekeerd evenredig zijn.

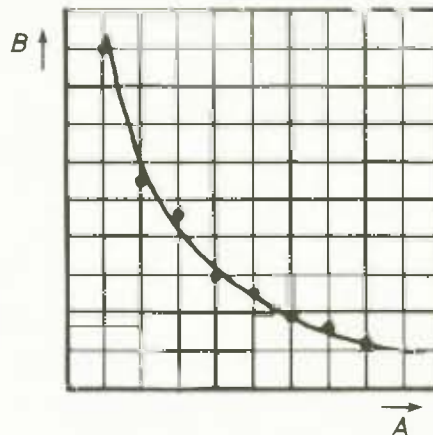
b Een rechte lijn door de oorsprong want de twee grootheden zijn evenredig.

8

Waarschijnlijk zit er nog een beetje verschil in, alhoewel de lijn op dezelfde wijze door de meetpunten en tussen de stippellijnen getrokken is. Het verschil komt omdat we met verschillende hoeveelheden lucht gewerkt hebben.

9

De vorm van de grafiek wijst erop, dat grootte B omgekeerd evenredig is met grootte A. Zie tekening.



10

Konklusie 1: de wereldbevolking is van 1750 tot 1974 vier maal zo groot geworden.

Konklusie 2: de toename van de wereldbevolking per jaar gaat steeds sneller.

11

a Ja, maar dan moet je wel met dezelfde snelheid door blijven fietsen.

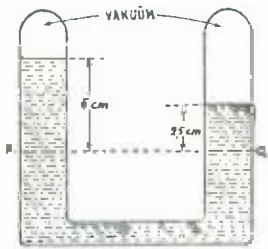
b Ja, als je het binnen 6 minuten doet.

c Ja, want dan is de lucht nog steeds een gas. (Zie tabel blok 5).

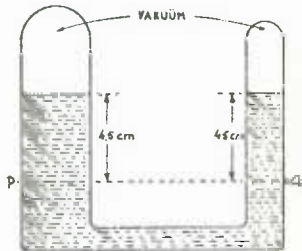
d Ja, want er is geen reden om aan te nemen dat de relatie dan anders is: 840 m per s.

e Neen, want het is niet zeker dat de wereldbevolking zo snel door blijft groeien.

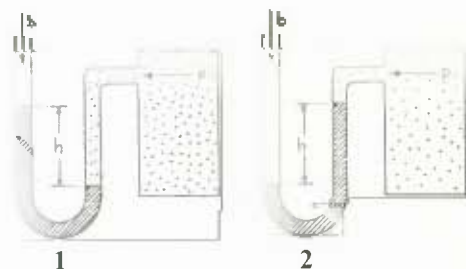
Druk meten met een manometer



Figuur a



Figuur b



Bourdon-manometer



In het praktikum van blok 6 heb je gezien dat je de luchtdruk kunt meten met een kolom water (Berti) of met een kolom kwik (Torricelli). Zo'n luchtdrukmeter heet een **barometer**. De barometers die je het meest tegenkomt hebben het model van een klok. In die barometers zit een metalen doos die door de luchtdruk wordt samengeperst. Een instrument waarmee je de druk van een willekeurig gas kunt meten heet een **manometer**. Zo'n manometer kan werken met een vloeistofkolom, zoals bij de watermanometer waarmee je de druk van het aardgas bepaalde. Er zijn ook manometers die eruit zien als een klok, zoals op het apparaat waarmee je de wet van Boyle hebt gevonden of op gascilinders.

Om de werking van een vloeistofmanometer te begrijpen moet je eerst eens naar de figuren a en b hiernaast kijken. In die figuren zie je twee met elkaar verbonden buizen waarin water zit.

Vraag 1

Wat gebeurt er met het water in figuur a?

Vraag 2

Wat gebeurt er met het water in figuur b?

Om je antwoorden te controleren moet je eens uitrekenen hoe groot in beide figuren de druk van de waterkolom is boven de punten P en Q.

Aanwijzing:

$p = \frac{F}{A}$. Neem voor het gemak in figuur a het oppervlak A gelijk aan 1 cm^2 . Neem

in figuur b het oppervlak bij P vier keer zo groot als dat bij Q.

Vraag 3

Hoeveel centimeter waterdruk is de druk bij P en Q in de figuren a en b?

Konklusies:

Vul aan: een vloeistof verkeert in evenwicht als de druk op één horizontaal vlak overal

Gesloten manometers.

De gesloten manometer is een U-buis waarvan één been afgesloten is. De vloeistof staat in beide benen niet even hoog, maar toch is er evenwicht. Volgens de konklusie is de druk in P en Q gelijk. Waarom? Hoe groot is dus de gasdruk?

Als je de werking nader wilt bestuderen, kun je dit opzoeken in een natuurkundeboek dat wel op school aanwezig is.

Open manometers.

In de tekeningen hiernaast is b de buitenluchtdruk.

Bij (1) heeft het gas een overdruk van $h \text{ cm}$ kwik; bij (2) een onderdruk van $h \text{ cm}$ kwik. Bereken de druk van het gas bij (1) en (2) als h is 25 cm en b is 76 cm kwikdruk.

Metaalmanometers.

In de techniek worden nog andere manometers gebruikt, meestal metaalmanometers. De Bourdon-manometer heeft een metalen tong. De werking van deze manometer kun je vergelijken met een rollong, die je wel eens op de kermis koopt.

De membraan-manometer heeft een metalen gegolfde plaat (dat is het membraan).

Vraag 4

Twee Bourdon-manometers werken volgens hetzelfde principe. De ene wijst maximaal 4 bar. aan, de andere 200 bar. Wat kan de oorzaak van het verschil zijn?

Vraag 5

Geeft een Bourdon-manometer de druk of de overdruk van een gas aan?

Vraag 6

De luchtdruk is 76 cm kwikdruk. In de buis hiernaast zit gas boven het kwik. Hoe hoog zou het kwik staan als er geen gas in zat? Hoe hoog is de druk van het gas?

Opdracht:

Bekijk een aantal manometers en maak daarvan tekeningen, waaruit blijkt hoe ze werken. Ga eens naar de bibliotheek en kijk in encyclopedieën of in bijvoorbeeld 'hoe werkt dat?'.

Blok 6 | Extra blad 39

De fontein van Heron

Wij verzamelen op school oude natuurkunde apparaten. Van een schoolhoofd kregen we enige jaren geleden wat oude apparaten kado. Bij deze apparaten zat ook het apparaat dat in fig. 1 is getekend.

Het geheel is netjes in glas uitgevoerd en ziet er erg mooi uit. Het enige probleem was dat we geen enkele notitie hadden van het doel van dit apparaat.

We zijn toen gaan zoeken in oude natuurkunde leerboeken.

In een boek uit 1910 vonden we uiteindelijk iets over het apparaat. Het bleek een uitvoering te zijn van de 'Fontein van Heron'. Dit apparaat is al vele tientallen jaren uit de natuurkundeboeken verdwenen. Toch zitten er een aantal leuke aspecten aan.

We drukken eerst een stuk tekst en een tekening uit dat natuurkundeboek af.

Je ziet dat we een zin in de tekst dikgedrukt hebben. Om de betekenis van die zin te begrijpen moet je je eens even een U-buis voorstellen. Als er in zo'n U-buis water zit staan de wateroppervlakken in de beide benen van de buis even hoog. Dit wordt ook wel de wet van de 'kommuniserende vaten' genoemd. Zie figuur 2. Zie ook E 38.

Dat de vloeistofspiegels even hoog moeten staan kun je als volgt beredeneren. In beide benen drukt de lucht met dezelfde druk op de vloeistof. De vloeistof is dus wat dat betreft in evenwicht.

De vloeistofkolommen in de benen van de buis oefenen ook druk uit. Om elkaar in evenwicht te houden zullen ook de drukken van beide vloeistofkolommen even groot moeten zijn. In blok 6 hebben we geleerd dat alleen de hoogte van een vloeistofkolom de druk bepaalt.

Dan zal er dus evenwicht zijn als beide vloeistofkolommen evenhoog zijn.

Een fontein zou er bijvoorbeeld uit kunnen zien als in fig. 3. Volgens de bovenstaande redenering kan de fontein niet hoger spuiten dan het wateroppervlak in het reservoir. Een gevolg van dit alles is bijvoorbeeld dat in flatgebouwen een pomp nodig is om de bovenste verdiepingen van water te voorzien, want de watertoren is meestal niet hoog genoeg. Zie fig. 4.

Het is dus inderdaad 'eigenaardig' dat bij de fontein van Heron het water hoger spuit dan het oppervlak in het reservoir (fles f).

Als je de tekst bij figuur 139 goed hebt gelezen zul je de oorzaak van het eigenaardig gedrag wel gevonden hebben. De lucht in de fles wordt samengeperst en de hoge druk van de lucht perst het water naar buiten. De fontein van Heron is geen echt kommuniserend vatenstelsel, want er zit lucht tussen de twee hoeveelheden water.

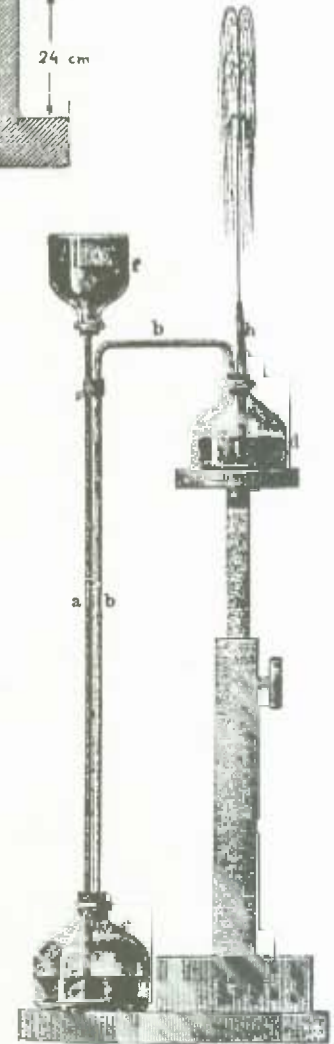
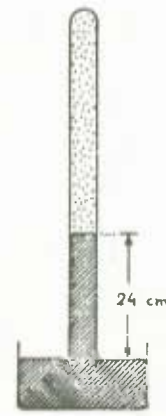


Fig. 139.
Fontein van Heron.

Eene z.g. **fontein van Heron** (120 v.C.) kan het eenvoudigst vervaardigd worden door eene flesch zonder bodem f (fig. 139) van eene buis a te voorzien, die tot beneden in de flesch c reikt; het water in f zal dan door de buis a dalen en de lucht uit c door bb naar de flesch d drijven. De lucht in d verkrijgt daardoor grotere spankracht en doet de vloeistof, welke vooraf in de flesch d is gebracht, door het buisje h naar boven spuiten. **Het eigenaardige van den toestel is hierin gelegen, dat de straal bij deze fontein hooger opspuit dan de waterspiegel in f.** Doorgaans wordt aan het werktuig een schoone vorm gegeven en wordt het tot versiering gebruikt; enkele malen hebben toestellen, die op het beginsel van de fontein van Heron berusten, bij mijnwerken toepassing gevonden.

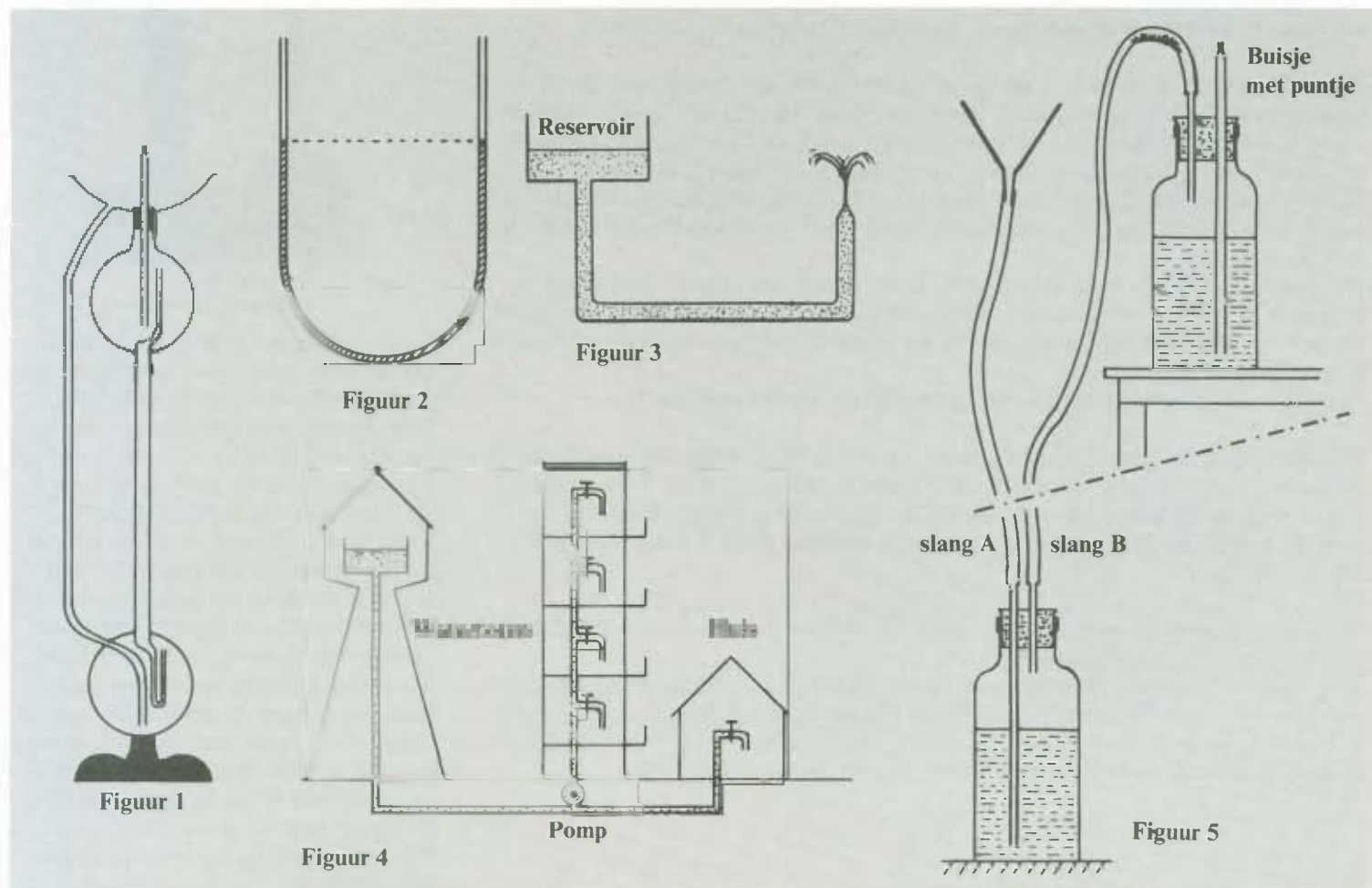
We gaan nu een fontein van Heron bouwen. Je hebt nodig:

- 2 flessen (melkflessen met brede hals of grote erlemeyers)
- 2 stukken slang van ongeveer 1 m lengte
- 1 trechter
- 2 kurken die op de flessen passen
- 4 stukjes glazen buis van ongeveer 25 cm en twee van 10 cm.

Laat de amanuensis aan één van de buisjes van 25 cm een puntje trekken. Boor in beide kurken twee gaatjes. De buisjes moeten precies in die gaatjes passen, zodat er geen lucht tussen de kurk en de buisjes kan ontsnappen. In fig. 5 zie je hoe je de buisjes in de kurken moet schuiven. Gebruik wat vet of glycerine; dan glijden de buisjes gemakkelijker in de kurk. In fig. 5 kun je verder zien hoe het toestel wordt opgebouwd. Vul de flessen voor de helft met water voor je de kurken erop doet. De fles waaraan slang A met de trechter zit, zet je op de grond. De andere fles zet je op de tafel.

Houd de trechter iets boven het wateroppervlak in de bovenste fles. Giet nu wat water in de trechter. Meestal zal er nu niets gebeuren. Dat komt omdat in slang A nog luchtballen zitten. Deze moeten we eerst verwijderen. Laat de trechter langzaam zakken tot alle luchtballen verdwenen zijn. Meestal moet je de trechter dan naast de fles die op de grond staat brengen. Als de luchtballen uit slang A verwijderd zijn, breng je de trechter weer omhoog. De fontein zal nu gaan spuiten.

Als je de fontein lang wilt laten spuiten, zul je telkens het water in de trechter moeten aanvullen. Als de onderste fles vol is, of de bovenste leeg, houdt de werking van het apparaat op.



Vragen en opdrachten

1

Ga na in hoeverre het door jou gebouwde toestel overeenkomt met dat in figuur 139.

2

Kun je de verschillende onderdelen van jouw toestel ook ontdekken in figuur 1?

3

Geef de onderdelen in figuur 5 een nummer en zet dezelfde nummers bij de overeenkomstige onderdelen in figuur 1.

4

Welke vloeistofkolom veroorzaakt de samenpersing van de lucht in de bovenste fles?

5

Kun je nu een 'truc' bedenken om de fontein uit figuur 3 hoger te laten spuiten? Maak een tekening.

6

Hoe hoog kan de fontein maximaal spuiten?

Nog wat wetenswaardigheden:

Het toestel van figuur 1 bevat onderin een gebogen buisje dat eigenlijk overbodig is. Door dit buisje echter kun je het toestel, nadat het is uitgewerkt, snel weer gebruiksklaar maken. Als je het toestel op z'n kop houdt stroomt het bovenste bolletje weer tot het juiste nivo vol.

Het boek waaruit we de tekst en figuur 139 hebben gehaald is:

'Beknopt Leerboek der Natuurkunde'

van Dr. H. van de Stadt

13e druk, 1910 (bewerkt door Dr. H. v.d.

Stadt en Dr. B. Mellink Jr.)

Uitg. Tjeenk Willink, Zwolle.

Blok 6 | Extra blad 40

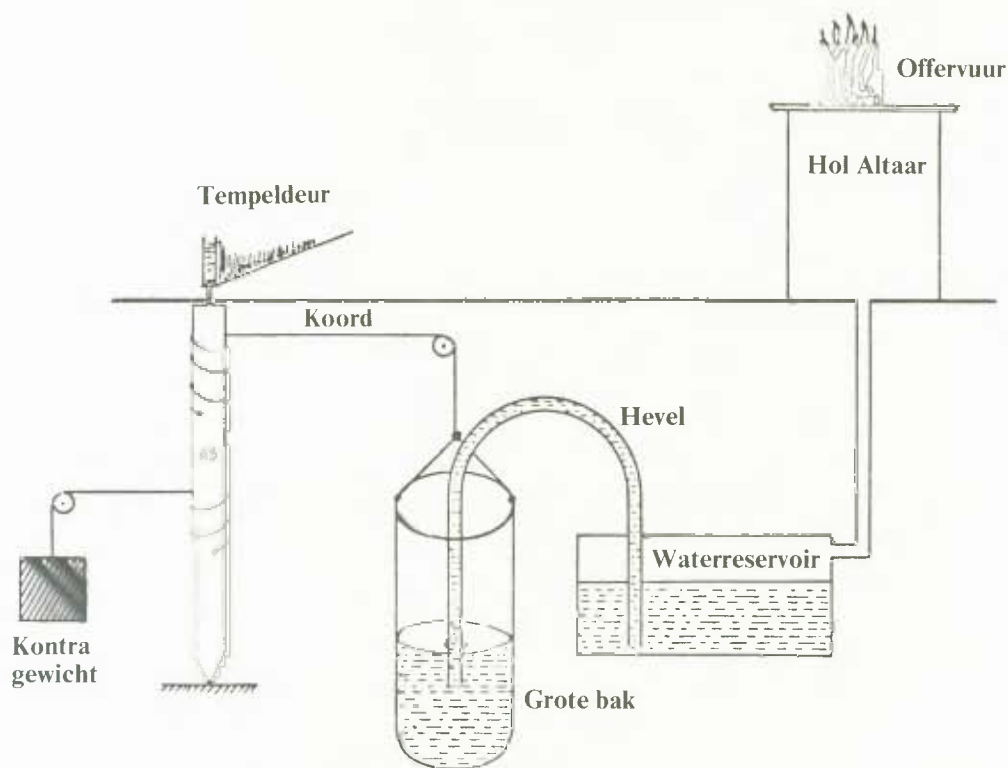
De tempeldeuren van Heron

Heron (of Hero) van Alexandrië was een Grieks ingenieur, die waarschijnlijk in de eerste eeuw voor Christus leefde. Van hem zijn een aantal werken bekend op het gebied van de wiskunde en de natuurkunde. Vele natuurkundeproeven worden aan hem toegeschreven. Zijn grootste bekendheid heeft hij wel gekregen met zijn constructie voor het automatisch openen van de tempeldeuren.

Als de priester 's morgens op het altaar het offervuur ontstak, openden zich de tempeldeuren vanzelf, hetgeen als een groot wonder werd gezien. Dat grote wonder was in werkelijkheid een ingenieuze constructie waarbij gebruik werd gemaakt van een aantal natuurkundige verschijnselen.

Hoewel de precieze constructie niet bewaard is gebleven, heeft men met behulp van historische gegevens de zaak kunnen reconstrueren. Het moet ongeveer als volgt hebben gewerkt:

Het altaar bevatte een afgesloten ruimte gevuld met lucht. Als het vuur ontstoken werd zette de lucht in het altaar uit. Via een buis was het altaar verbonden met een waterreservoir. De warme lucht drukte het water via een hevel in een grote bak. Deze bak was via een koord verbonden met de as die de deur liet draaien. Doordat de bak zich met water vulde werd deze zo zwaar dat hij de as liet draaien. De deur opende zich dan. Als 's avonds het vuur weer werd gedoofd kromp de lucht in het altaar weer. Het water in de bak werd terug geheveld en een kontragewicht zorgde ervoor dat de deur zich weer sloot.



Opdracht 1.

Maak een hevel met een stuk plastic slang en een paar emmers. Zoek uit onder welke voorwaarde je kunt hevelen.

Zoek in een encyclopedie op hoe een hevel werkt.

Schrijf een kort verslag van je bevindingen.

Opdracht 2.

Hiernaast zie je een tekening van een aquariumhevel. De bedoeling is, dat het water uit het aquarium ernaast wordt geheveld.

Hoe komt het dat het water naar het kleinere bakje wordt geheveld, terwijl de slang in het aquarium lager is dan in het bakje?



Aquarium

