
Natuurkunde voor het MBO

deel 1

A.G.A. van der Meer

J.A. Tijmensen

B. Taken

© 2020, Syntax Media, Utrecht

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische veelelvoudingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van Artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprerecht (www.reprerecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting UvO (www.stichting-uvo.nl).

ISBN 978-94-91764-42-4

Ontwerp omslag: Lapis Vivus grafisch ontwerp, Oosterbeek
Ontwerp en opmaak binnenwerk: AlphaZet prepress, Bodegraven
Tekstredactie: Redactie & zo, ir. Caroline van der Meulen

Illustratieverantwoording:

Foto omslag ©CI2004lhy, Dreamstime.com

afb 2-0 ©Newlight, Dreamstime.com

afb 3-0 ©James Kirkikis, Dreamstime.com

afb 4-0 ©Andre Durão, Dreamstime.com

afb 5-0 ©Vladislav Zhukov, Dreamstime.com

afb 5-12 Bert Taken

afb 6-0 ©Dmitry Naumov, Dreamstime.com

afb 7-9 www.tec-science.com

afb 7-11 www.tec-science.com

afb 7-12 ©Eevlva, Dreamstime.com

afb 8-0 ©Gigraa, Dreamstime.com

Overige afbeeldingen: Fons van der Meer

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Zij die desondanks rechten menen te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Vragen en opmerkingen over deze uitgave kunt u richten aan:
Uitgeverij Syntax Media BV
Hooghiemstraplein 124
3514 AZ Utrecht

e-mail: info@syntaxmedia.nl

www.syntaxmedia.nl

Woord vooraf

Natuurkunde voor het MBO is een grondige herziening van de eerdere uitgave *Natuurkunde voor het MLO*, de bekende boeken van Jan Tijmens en Bert Taken die al ruim twintig jaar in het laboratoriumonderwijs worden gebruikt. *Natuurkunde voor het MLO* is geworteld in het traditionele natuurkundeonderwijs voor de MBO-analist, met kennis en vaardigheden zoals deze beschreven staan in de eindtermen van 1998.

Inmiddels is er veel veranderd. Einddoelen voor het MBO-onderwijs zijn geformuleerd in beroepscompetenties. De nadruk is hierdoor komen te liggen op beroepshouding en vaardigheden. Op zich een goede zaak. De kwalificatiedossiers geven echter geen antwoord op de vraag wat je op school aan *kennis* moet opdoen om in verschillende werksituaties competent te zijn of te worden. Wat je vooral mist, is de kijk op brede achtergrondkennis nodig om processen te begrijpen en inhoudelijk te communiceren op de werkvloer. Waarbij de werkvloer niet één specifieke plek is maar sterk kan variëren. Kennis ook die nuttig is als basis voor een vervolgopleiding op het HBO.

Natuurkunde is in deze context belangrijk, want levert kennisconcepten als: massa, kracht, druk, straling, lichtbreking, golflengte, spanning, vermogen en energie. Zonder besef van de elementaire begrippen uit de natuurkunde tast de laborant in een modern laboratorium in het duister. Reden voor ons om de kennisdoelen zoals ze uit de oude eindtermen volgen, in deze herziening niet overboord te zetten. Leerdoelen aan het begin van een hoofdstuk zijn dan ook grotendeels gehandhaafd, zij het vriendelijker geformuleerd.

Het goede is behouden en het oude gemoderniseerd.

De inhoud is op veel punten aangepast aan de huidige tijd. Minder historische context in de uitleg en minder zijpaden. Hier en daar is de relatie met laboratoriumwerk versterkt. Ook de presentatie is verbeterd: minder compact, groter lettertype, duidelijker voorbeelden, functionele afbeeldingen, en gebruik van kleur in de boeken.

Daar waar de eerdere uitgave *Natuurkunde voor het MLO* nog uit zeven delen bestond, bestaat de herziening uit drie wat omvangrijker delen. In deel 1 van deze herziening zijn de onderwerpen uit het eerdere deel 1 en 2 samengevoegd.

De *uitwerkingen* van de opgaven staan online, evenals *zelftests* (zie www.syntaxmedia.nl bij Natuurkunde voor het MBO deel 1). In principe kan de student met dit eerste deel zelfstandig aan de slag gaan. In de praktijk heeft hij zonder twijfel ook de docent nodig. Van deze docent horen wij graag óf en hoe het beter kan.

maart 2020

Fons van der Meer
Jan Tijmensens
Bert Taken

Inhoud

Woord vooraf	V
1 Grootheden en eenheden	1
1.1 Grootheden en eenheden	2
1.2 Afgeleide grootheden en eenheden	4
1.3 Voorvoegsels en de wetenschappelijke notatie	9
1.4 Eenhedenvergelijking	10
1.5 Oplossen van vraagstukken	13
Samenvatting	14
2 Meetnauwkeurigheid en afronden	16
2.1 Significante cijfers	17
2.2 Afronden van een berekende waarde	18
2.3 Soorten fouten	21
2.4 Onnauwkeurigheid in meetinstrumenten	25
2.5 Juiste notatie van meetwaarden en meetfouten	29
2.6 Onnauwkeurigheid in een berekende waarde	30
2.7 Onnauwkeurigheid bij afhankelijke fouten en wiskundige verbanden	35
2.8 De statistische toevallige fout	38
Samenvatting	42
3 Bewegingen	44
3.1 Snelheid	45
3.2 Eenparige rechtlijnige beweging	49
3.3 Versnelling	50
3.4 Eenparig versnelde rechtlijnige beweging	52
3.5 Verdiepingsvraagstukken	54
3.6 Grafische weergave van bewegingen	58
3.7 Vrije val	61
Samenvatting	63
4 Krachten	65
4.1 Traagheidswet	66
4.2 Kracht als oorzaak van versnelling	67
4.3 Massa, zwaartekracht en gewicht	68
4.4 Dichtheid	70
4.5 Bepaling van dichtheid	72
4.6 Actie en reactie	76
4.7 Wet van Hooke	77
4.8 Verdiepingsvraagstukken	79

4.9	Relatieve dichtheid	80
4.10	Pyknometer	82
	Samenvatting	84

5 Vectoren en evenwicht 86

5.1	Scalairen en vectoren	87
5.2	Optellen van vectoren	88
5.3	Zwaartepunt van een voorwerp	91
5.4	Soorten evenwicht	92
5.5	Ontbinden van vectoren	93
5.6	Moment van een kracht	96
5.7	Hefboomwet	98
5.8	Balansen	100
	Samenvatting	104

6 Druk 106

6.1	Definitie van druk	107
6.2	Hydrostatische kracht en druk	109
6.3	Wet van Pascal	112
6.4	Communicerende vaten	113
6.5	Wet van Archimedes	114
6.6	Capillaire werking	116
6.7	Bepaling dichtheid vloeistof met communicerende vaten	117
6.8	Verdiepingsvraagstukken	119
6.9	Zinken, zweven, stijgen en drijven	120
6.10	Hydraulische druk	125
6.11	Densimeter	127
6.12	Osmose	131
6.13	Toepassingen osmose	134
	Samenvatting	136

7 Uitzetting van vaste stoffen en vloeistoffen 139

7.1	Temperatuurmeting door uitzetting	140
7.2	Temperatuurschalen	141
7.3	Lengte-uitzetting	143
7.4	Volume-uitzetting	147
7.5	Temperatuursensoren	150
7.6	Verdiepingsvraagstukken	151
7.7	Dichtheid en temperatuur	152
	Samenvatting	153

8 Gasdruk 155

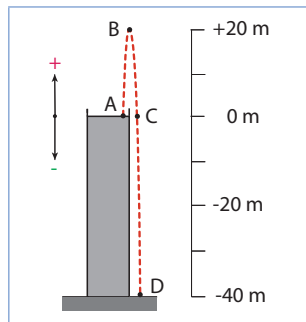
8.1	Druk van een gas	156
8.2	Luchtdruk	157
8.3	Model van een ideaal gas	159
8.4	Bepaling van de gasdruk	160
8.5	Wet van Boyle	164

8.6	Gay-Lussac	166
8.7	Algemene gaswet	169
8.8	Partiële druk (wet van Dalton)	171
8.9	Laboratoriumpraktijk	174
8.10	Verdiepingsvraagstukken	178
8.11	Massa en dichtheid van een gas	178
8.12	Wet van Dalton	182
	Samenvatting	183

Antwoorden	186
-------------------	------------

Register	196
-----------------	------------

VOORBEELD 1



Een worp omhoog.

Gegeven

Een voorwerp wordt vanaf een 40 m hoge toren omhooggeworpen en bereikt een maximale hoogte van 60 m. Ten slotte treft het de grond. Kies het oriëntatiepunt boven op de toren en houd omhoog als positieve richting aan.

Gevraagd

Bepaal voor elk van de punten A tot en met D:

- a de grootte en de richting (teken) van de verplaatsing
- b de richting (het teken) van de snelheid
- c de grootte en de richting (het teken) van de versnelling

Oplossing

Teken een verticale getallenrechte met het nulpunt bij de top van de toren. Omhoog nemen de getalwaarden toe. Voor de verplaatsing, de snelheid en de versnelling gelden dan de waarden zoals in de tabel staan vermeld.

De tekens van de grootheden bij een worp omhoog

punt	verplaatsing (m)	snelheid	versnelling (m/s ²)
A	0	+	-9,81
B	+20	0	-9,81
C	0	-	-9,81
D	-40	-	-9,81

VOORBEELD 2

Een voorwerp wordt met een snelheid van 17 m/s omhooggeworpen. Waar bevindt het voorwerp zich na 3,0 s en welke snelheid heeft het dan?

Gegeven

$v_0 = 17 \text{ m/s}$, $s_0 = 0 \text{ m}$, $t = 3,0 \text{ s}$, $a = -9,81 \text{ m/s}^2$ (oriëntatiepunt op de grond, positieve richting omhoog)

Gevraagd

s_t en v_t

Oplossing

Voor de verplaatsing geldt: $s_t = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Invullen: $s_t = 0 + 17 \times 3,0 + \frac{1}{2} \times (-9,81) \times 3,0^2 = 6,9 \text{ m}$.

Voor de snelheid geldt: $v_t = v_0 + a \cdot t$

Invullen: $v_t = 17 + (-9,81) \times 3,0 = -12 \text{ m/s}$.

De snelheid is negatief, wat betekent dat het voorwerp in negatieve richting beweegt (naar beneden).

- Opgave 45** Een voorwerp valt van een hoogte van 25,7 m. Hoelang duurt het voor het voorwerp de grond raakt?
- Opgave 46** Een voorwerp voert een vrije val uit met een beginsnelheid van 0 m/s. Bereken de verplaatsing in de vierde seconde.
- Opgave 47** Een voorwerp wordt met een snelheid van 14,7 m/s omhooggeworpen. Wanneer bereikt het voorwerp het hoogste punt?
- Opgave 48** Een voorwerp wordt omhooggeworpen en bereikt een hoogte van 32 m. Wanneer bereikt het voorwerp het hoogste punt?
- Opgave 49** Een voorwerp wordt met een snelheid van 22 m/s omhooggeworpen. Hoe hoog komt het voorwerp?
- Opgave 50** Een vuurpijl wordt omhooggeschoten en bereikt een hoogte van 140 m. Met welke snelheid werd de pijl weggeschoten?
- Opgave 51** Een meisje staat op een 40 m hoge toren en gooit een bal loodrecht omhoog. Na 5,0 s hoort ze de bal beneden op de grond vallen. Met welke snelheid gooide ze de bal omhoog?

Samenvatting

Basisstof (niveau 3, 4)

- *Gemiddelde snelheid* wordt gegeven door:

$$\bar{v} = \frac{s_{t_2} - s_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad \text{of} \quad \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (3.1)$$

- *Eenparige rechtlijnige beweging* is een beweging met een constante snelheid langs een rechte lijn.

Voor de eenparige rechtlijnige beweging geldt:

$$s_t = s_0 + v \cdot t \quad (3.2)$$

- *Eenparig versnelde rechtlijnige beweging* is een beweging met een constante versnelling langs een rechte lijn.

Voor de eenparig versnelde rechtlijnige beweging geldt:

$$\bar{a} = \frac{v_{t_2} - v_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad \text{of} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3.3)$$

$$s_t = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (3.4)$$

$$v_t = v_0 + a \cdot t \quad (3.5)$$

- *Afgelegde weg* is de daadwerkelijk afgelegde afstand tijdens een beweging.
- *Gemiddelde snelheid* is de verplaatsing in een periode gedeeld door de tijdsduur van die periode.
- *Oriëntatiepunt* is het vaste punt ten opzichte waarvan de verplaatsing van een voorwerp wordt gemeten.
- *Snelheid* (v) is de verandering van de verplaatsing per tijdseenheid.
- *Verplaatsing* (s) is de afstand tot een oriëntatiepunt.
- *Versnelling* (a) is de verandering van de snelheid per tijdseenheid.
- *Vertraging* (a) is een positieve waarde die aangeeft hoeveel de snelheid per seconde afneemt (in dat geval is de versnelling negatief).

Verdieping (niveau 4)

- *Gravitatieversnelling* (g) is de versnelling van een voorwerp tijdens een vrije val.
- *Richtingscoëfficiënt* is de helling (steilheid) van de curve in een diagram (grafiek).
- *Plaatsvergelijking* is de vergelijking (functievoorschrift) waarin s als functie van t staat weergegeven.
- *Snelheidsvergelijking* is de vergelijking (functievoorschrift) waarin v als functie van t staat weergegeven.
- *Vrije val* is een valbeweging in het luchtledige.

Krachten



$(25 + 5 + 2,5 + 1,5) \text{ kg} \times 2 = 68 \text{ kg}$. Er is een kracht nodig om iets in beweging te krijgen. Zolang de halter niet beweegt, is de som van de krachten op de halter gelijk aan nul. Welke kracht moet deze atlete leveren om de halter niet te laten vallen?

Voorkennis (niveau 3, 4)

- Je kunt grootheden en eenheden gebruiken.
- Je weet hoe je moet afronden.
- Je kunt met een kracht en vooral zwaartekracht eenvoudige berekeningen uitvoeren.
- Je weet wat versnelling en met name zwaartekrachtversnelling is.
- Je kunt rekenen met dichtheid.

Basisstof (niveau 3, 4)

- Hoe bereken je de versnelling met gegeven kracht en massa?
- Hoe bereken je het gewicht (in natuurkundige betekenis)?
- Hoe bereken je de dichtheid van een stof?
- Hoe luidt de wet van Hooke voor een veer?
- Wat is een pyknometer en hoe gebruik je deze voor de meting van de dichtheid van een vloeistof?
- Welke drie wetten van Newton zijn er?

Verdieping (niveau 4)

- Wat is het verschil tussen dichtheid en relatieve dichtheid?
- Hoe meet je de dichtheid van een vaste stof met behulp van een pyknometer?

Bij de afbeelding

Zij moet ten minste het gewicht compenseren:

$$G = 68 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 667 \text{ N}.$$

Opgave 1

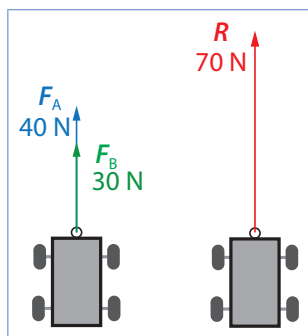
Geef van elk van de volgende grootheden aan of het een scalair of een vector is.

- a kracht
- b massa
- c snelheid
- d inhoud
- e gewicht
- f temperatuur
- g dichtheid
- h versnelling
- i tijd

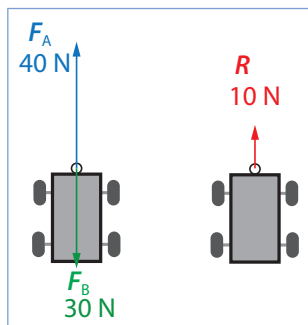
5.2 Optellen van vectoren (niveau 3, 4)

Een wagentje met zwenkwielen wordt voortgetrokken. Jongen A trekt met een kracht van 40 N en meisje B met een kracht van 30 N. De richting waarin de kar gaat bewegen, wordt bepaald door de som van beide krachten. De som van twee vectoren wordt de *resultante* genoemd:

De *resultante* van twee of meer vectoren is één vector met gelijke werking als de andere vectoren samen.



Krachten in dezelfde richting.



Krachten in tegengestelde richting.

Voor de grootte en de richting van een resultante zijn er drie mogelijkheden:

- vectoren met dezelfde werklijn;
- vectoren loodrecht op elkaar;
- vectoren niet loodrecht op elkaar.

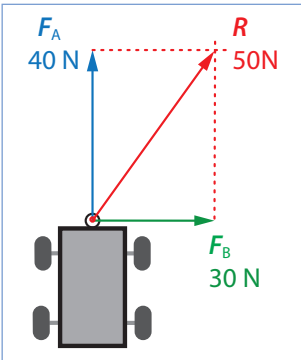
Vectoren met dezelfde werklijn

De *werklijn* van een vector is de lijn die je krijgt als je de vectorpijl oneindig ver naar beide zijden verlengt.

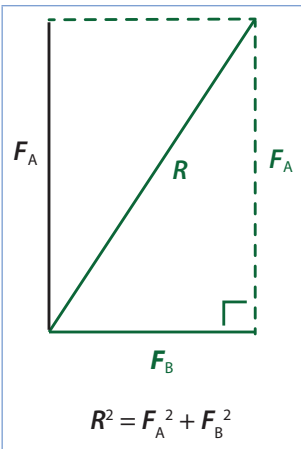
Wanneer twee krachten dezelfde werklijn hebben, zijn er twee mogelijkheden: ze hebben dezelfde richting of ze zijn tegengesteld.

In de eerste afbeelding hebben de krachten F_A en F_B dezelfde werklijn en richting. Dan kun je de krachten gewoon bij elkaar optellen. De resultante R is 70 N groot en heeft dezelfde richting als F_A en F_B .

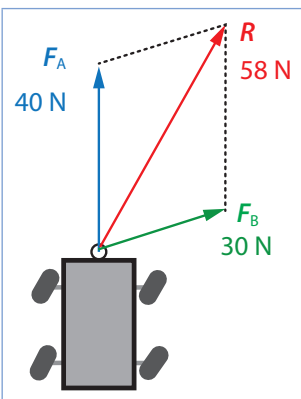
In de tweede afbeelding hebben de krachten F_A en F_B dezelfde werklijn maar zijn ze tegengesteld. Nu moet je de krachten van elkaar aftrekken. De resultante R is 10 N groot en heeft dezelfde richting als de grootste kracht F_A .



Krachten loodrecht op elkaar.



Stelling van Pythagoras.



Krachten onder scherpe hoek.

Vectoren loodrecht op elkaar

Staan de beide krachten loodrecht op elkaar dan gaat het wagentje niet bewegen in de richting van A en ook niet in de richting van B, maar in een richting daartussenin. De juiste richting kun je vinden door met behulp van beide krachten (die als vectoren worden voorgesteld) een rechthoek te maken. De diagonaal met hetzelfde aangrijpingspunt als beide krachten geeft dan de resultante. Het wagentje beweegt in de richting van de resultante.

De grootte van de resultante kun je berekenen met behulp van de stelling van Pythagoras. In de afbeelding *Stelling van Pythagoras* zie je dat een rechthoekige driehoek wordt gevormd door de krachten F_A , F_B en R .

Volgens de wet van Pythagoras geldt: $R^2 = F_A^2 + F_B^2$.

We passen deze regel op het wagentje toe, dus:

$$40^2 + 30^2 = R^2.$$

$$R^2 = 2500 \rightarrow R = \sqrt{2500} = 50 \text{ N}$$

Vectoren niet loodrecht op elkaar

In de afbeelding *Krachten onder een scherpe hoek* maken de beide krachten F_A en F_B een hoek van 70° met elkaar. De richting van de resultante kun je vinden door met behulp van beide krachten een parallellogram te maken. De diagonaal met hetzelfde aangrijpingspunt als beide krachten geeft dan de resultante. Het wagentje gaat bewegen in de richting van de resultante.

Het berekenen van de grootte van de resultante is in dit geval iets moeilijker. Maar we kunnen de grootte en richting ook vinden door de lengte van de vectoren na te meten. Wanneer je de tekening op een schaal van 1:10 tekent – dat betekent dat je kracht F_A (40 N) 4,0 cm lang tekent en kracht F_B (30 N) 3,0 cm lang – vind je dat de resultante R 5,8 cm lang is. De grootte van de resultante bedraagt daarom 58 N.

De *resultante* (of *somvector*) R van twee vectoren met hetzelfde aangrijpingspunt is gelijk aan de diagonaal van het parallellogram dat wordt gevormd door beide vectoren.

Wet van de communicerende vaten

In communicerende vaten met dezelfde vloeistof, liggen de vloeistofoppervlakken in één vlak, als:

- de vaten van boven open zijn;
- de vloeistof in rust is;
- geen van de vaten heel nauw (capillair) is.

Hoofdwet van de hydrostatica

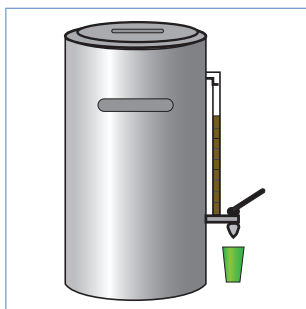
In een horizontaal vlak van dezelfde vloeistof is de druk overal even groot. Voorwaarde is dat de vloeistofdelen met elkaar in verbinding staan en in rust zijn.

Opgave 21

Het linkerbeen van een U-buis wordt van boven afgesloten. In het rechterbeen wordt een hoeveelheid vloeistof gegoten.

- Geldt de wet van de communicerende vaten altijd wanneer de vloeistof in rust is?
- Geldt de hoofdwet van de hydrostatica altijd wanneer de vloeistof in rust is?
- Zullen de vloeistofoppervlakken altijd even hoog staan wanneer de vloeistof in rust is?

Opgave 22



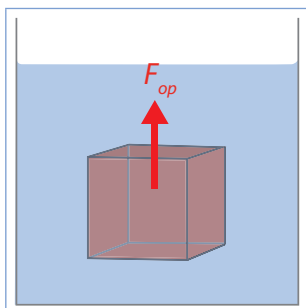
Koffieketel.

Aan de buitenzijde van een koffieketel (zie afbeelding) zit een doorzichtige buis, het peilglas.

- Waardoor maak je hiermee het vloeistofniveau in het apparaat zichtbaar?
- De vloeistof in het peilglas staat in verbinding met de vloeistof in het apparaat. Waarom moet de bovenzijde van het peilglas verbonden zijn (met de damp) boven de vloeistof in het apparaat?

6.5 Wet van Archimedes (niveau 3, 4)

Een vloeistof oefent een hydrostatische kracht en druk uit in alle richtingen. Een voorwerp dat zich in een vloeistof bevindt, ondervindt dan ook een kracht op alle zijden. Bij de kubus in de afbeelding werken er op alle zijden hydrostatische krachten. De hydrostatische krachten op de zijvlakken zijn even groot en heffen elkaar daarom op. De hydrostatische kracht op het onderste vlak is groter dan die op het bovenvlak. Dit resulteert in een kracht naar boven. Deze kracht heet de *opwaartse kracht*. Deze blijkt gelijk te zijn aan het gewicht van een hoeveelheid vloeistof met hetzelfde volume als de kubus. Archimedes toonde aan dat dit ook voor onregelmatig gevormde voorwerpen geldt. Dit staat bekend als de *wet van Archimedes* (287-212 v.Chr.).



Resulterende kracht (opwaartse kracht) op een kubus.

Wet van Archimedes

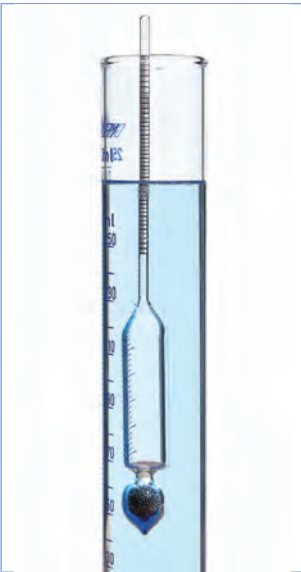
Een voorwerp ondergedompeld in een vloeistof ondervindt een opwaartse kracht gelijk aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.

$$F_{\text{opwaarts}} = G_{\text{verplaatste vloeistof}} \quad (6.4)$$

De wet van Archimedes betekent dus bijvoorbeeld, dat een stuk drijfhout waarvan 100 cm^3 onder water steekt, een opwaartse kracht ondervindt die even groot is als het gewicht van 100 cm^3 water!

Densimeter

Een nuttige toepassing van de wet van Archimedes is dichtheidsmeting met een *areometer* of *densimeter*. Een densimeter drijft in een vloeistof en ondervindt daarbij een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof. Het gewicht van de densimeter is daarom even groot als het gewicht van de hoeveelheid vloeistof die hij verplaatst. Daarom zal een densimeter verder in een vloeistof zakken wanneer de dichtheid van een vloeistof kleiner is. Door de densimeter af te lezen bij het vloeistofniveau, kun je de dichtheid van die vloeistof bepalen.



Densimeter.

Vaak is een densimeter geijkt ten opzichte van de dichtheid van water bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$, die gelijk is aan $0,998 \text{ g/cm}^3$. In dat geval meet je eigenlijk niet de dichtheid, maar de *relatieve dichtheid* van een vloeistof. Als je niet nauwkeuriger hoeft te meten dan in 3 significante cijfers, mag je stellen dat de gemeten relatieve dichtheid gelijk is aan de feitelijke dichtheid uitgedrukt in g/cm^3 .

VOORBEELD

Een diepzeeduiker heeft een volume van $72,0 \text{ dm}^3$. Hoe groot is de opwaartse kracht in het zeewater?

Gegeven

$$V = 72,0 \text{ dm}^3 = 0,0720 \text{ m}^3, \rho_{\text{zeewater}} = 1024 \text{ kg/m}^3 \text{ (opgezocht)}$$

Gevraagd

$$F_{\text{opwaarts}}$$

Oplossing

$$F_{\text{opwaarts}} = V \cdot \rho \cdot g$$

Hieruit volgt:

$$F_{\text{opwaarts}} = 0,0720 \text{ m}^3 \times 1024 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 723 \text{ N}$$

- Hoe groot is het volume van elk van de gassen afzonderlijk?
- Hoeveel procent van de botsingen tegen de wand neemt elk van de gassen voor zijn rekening?
- Wat zou de druk van de stikstof zijn als alle andere gassen verwijderd zouden worden? Beantwoord deze vraag ook voor elk van de andere gassen.

Opgave 13

In een lokaal bevindt zich 300 m^3 lucht met een druk van $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. De onderlinge afstand is dan ongeveer $10 \times$ zo groot als de diameter van de gasdeeltjes. Hoe groot zou het volume van de lucht worden als alle gasdeeltjes stijf tegen elkaar geperst zouden worden?

Opgave 14

Waarom is het gas in een vol tankje campinggas geen ideaal gas?

Opgave 15

Waarom is waterdamp onder normale omstandigheden geen ideaal gas?

Opgave 16

Een mengsel van koolstofdioxide (CO_2) en waterdamp is geen ideaal gas. Hoe zou dat komen?

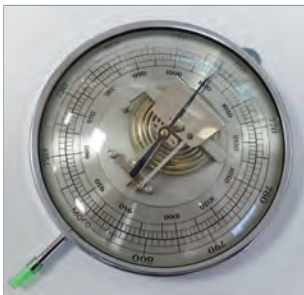
8.4 Bepaling van de gasdruk (niveau 3, 4)

De druk van een gas kun je meten met een barometer of een manometer. We spreken over een *barometer* als het meetapparaat de luchtdruk meet, en over een *manometer* als het meetapparaat de druk van een afgesloten hoeveelheid gas meet. Met een manometer kun je bijvoorbeeld meten:

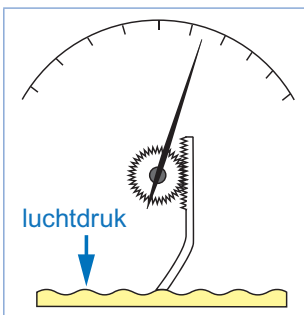
- de druk van een gas in een gascilinder;
- de druk van de lucht in een autoband;
- de druk van de waterdamp in een stoomketel.

De buis van Torricelli wordt niet echt vaak gebruikt als barometer. De opstelling is kwetsbaar en kwikdamp is giftig. Men gebruikt daarom meestal een metaalbarometer.

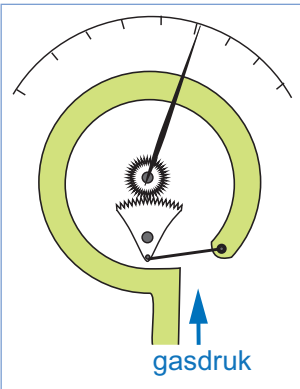
De *metaalbarometer van Vidi* bestaat uit een vacuüm metaalen doosje. De luchtdruk drukt het doosje in elkaar. Dit wordt tegengewerkt door een sterke veer, die aan het deksel is bevestigd. Als de luchtdruk toeneemt, wordt het deksel naar binnen gedrukt. De kleine beweging van het deksel wordt met behulp van radertjes of hefboompjes overgebracht op een wijzer, die langs een schaalverdeling beweegt.



Metaalbarometer van Vidi.



Principe metaalbarometer Vidi.

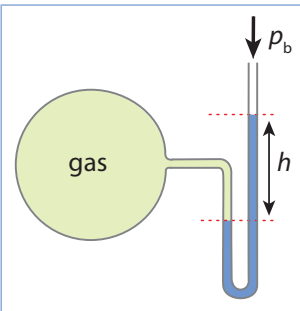


Principe Bourdonbarometer.

Bij de *metaalbarometer van Bourdon* wordt de verandering van de gasdruk op een andere manier op de wijzer overgebracht. Deze metaalbarometer bestaat uit een holle, buigzame buis die wordt aangesloten op het gas. Bij een hoge gasdruk zal de holle buis zich strekken en wat rechter worden. Daardoor zal de wijzeruitslag veranderen. Bij een lage druk zal de buis zich juist meer krommen, zodat ook lage drukken kunnen worden gemeten.

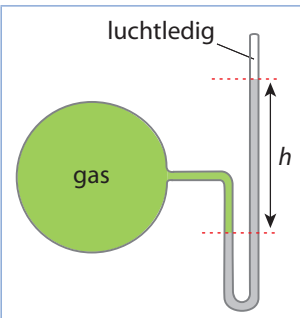
Een *open manometer* wordt gebruikt als de druk van het gas niet veel afwijkt van de luchtdruk. Bij de open manometer staat een van de benen in verbinding met de buitenlucht, terwijl het andere verbonden is met de ruimte waarin het gas zich bevindt. Als de vloeistof in de manometer in rust is, geldt:

$$p_{\text{gas}} = p_{\text{vloeistof}} + p_b = h \cdot \rho \cdot g + p_b$$



Open manometer.

Dit is de totale druk van het gas. Ook wel: *absolute gasdruk*. Wanneer de druk van het gas groter is dan de buitenluchtdruk, spreken we van een *overdruk*. De overdruk geeft aan hoeveel de druk van het gas groter is dan de luchtdruk. Bij een open manometer is de overdruk van het gas dus gelijk aan $h \cdot \rho \cdot g$. Wanneer de druk van het gas kleiner is dan de buitenluchtdruk, spreken we van een *onderdruk*.



Gesloten manometer.

Bij een *gesloten manometer* is één been van boven gesloten. De ruimte boven dat vloeistofniveau is vacuüm (luchtledig). Het andere been is open. Hierop sluit je het gas aan waarvan je de druk wilt bepalen. Als de buis met kwik is gevuld, lijkt zo'n gesloten manometer op de buis van Torricelli.

Een gesloten manometer wordt gebruikt als de druk van het gas veel kleiner is dan de buitenluchtdruk. Het meetbereik van een gesloten manometer wordt bepaald door de gebruikte vloeistof en de lengte van het lange been:

- Als het lange been 20 cm lang is en met kwik gevuld, draagt de hoogst meetbare druk 20 cm Hg. Omdat 1 cm Hg overeenkomt met circa $1,333 \cdot 10^3$ Pa, komt 20 cm Hg overeen met $20 \times 1,333 \cdot 10^3$ Pa ofwel ongeveer 27 kPa. Het meetbereik is dan 0–27 kPa.
- Als het lange been 100 cm lang is en met kwik gevuld, bedraagt de hoogst meetbare druk 100 cm Hg, ofwel ongeveer 133 kPa. Het meetbereik is dan 0–133 kPa.

Antwoorden

Hoofdstuk 1

Grootheden en eenheden

- 1 a meter (m)
b kilogram (kg)
c kelvin (K)
d mol (mol)
- 2 a U of V (V)
b E (J)
c S (dpt)
d N (heeft geen eenheid:
is dimensieloos)
e R (Ω)
f F (N)
- 3 a $68,8^\circ$
b 1,4 rad
- 4 a 0,17 m
b 0,258 m
c 1895 m
d 12,4 m
- 5 a 20 km
b 66,7 mm
c 16,3 cm
d 48 dm
- 6 a $0,0250 \text{ m}^2$
b $0,30 \text{ m}^2$
c 620 cm^2
d $22,5 \text{ dm}^2$
- 7 a $0,025 \text{ m}^3$
b $3,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$
c 760 dm^3
d $4,4 \cdot 10^4 \text{ cm}^3$
- 8 a $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
b $25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
c 556 L
d 20 mL
- 9 a $3,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
b 1550 kg/m^3
c $1,2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
d 998 kg/m^3
- 10 a $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
b $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
c $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
d $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
- 11 a $4,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
b $5,6 \cdot 10^4 \text{ kg}$
c $4,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
d $3,4 \cdot 10^7 \text{ m}^2$
e $7,89 \cdot 10^{-8} \text{ s}$
- 12 a 3,2 mm
b 20 km
c 8 MHz
d $5 \mu\text{g}$
e 78 ns
f 6,2 Gm
- 13 a $3,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$
b $2,34 \cdot 10^{-7} \text{ s}$
c $7,30 \cdot 10^5 \text{ m}$
d $2,75 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$
e $1,1 \cdot 10^{10} \text{ Hz}$
- 14 a 10^{-12}
b 10^{-15}
c 10^{12}
- 15 a m^2
b m^3
c kg/m^3
d $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$
e m^{-1}
f $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
g $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$
h $\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{mol} \cdot \text{K})$
- 16 De vergelijking is niet juist.
17 De vergelijking is niet juist.
18 1,1 kg

Hoofdstuk 2

Meetnauwkeurigheid en afronden

- 1 a 4
b 3
c 2
d 1
e 4
f 4
g 3
h 6
- 2 a $3(11,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3)$
b $9(2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s})$
c 4(2,417)