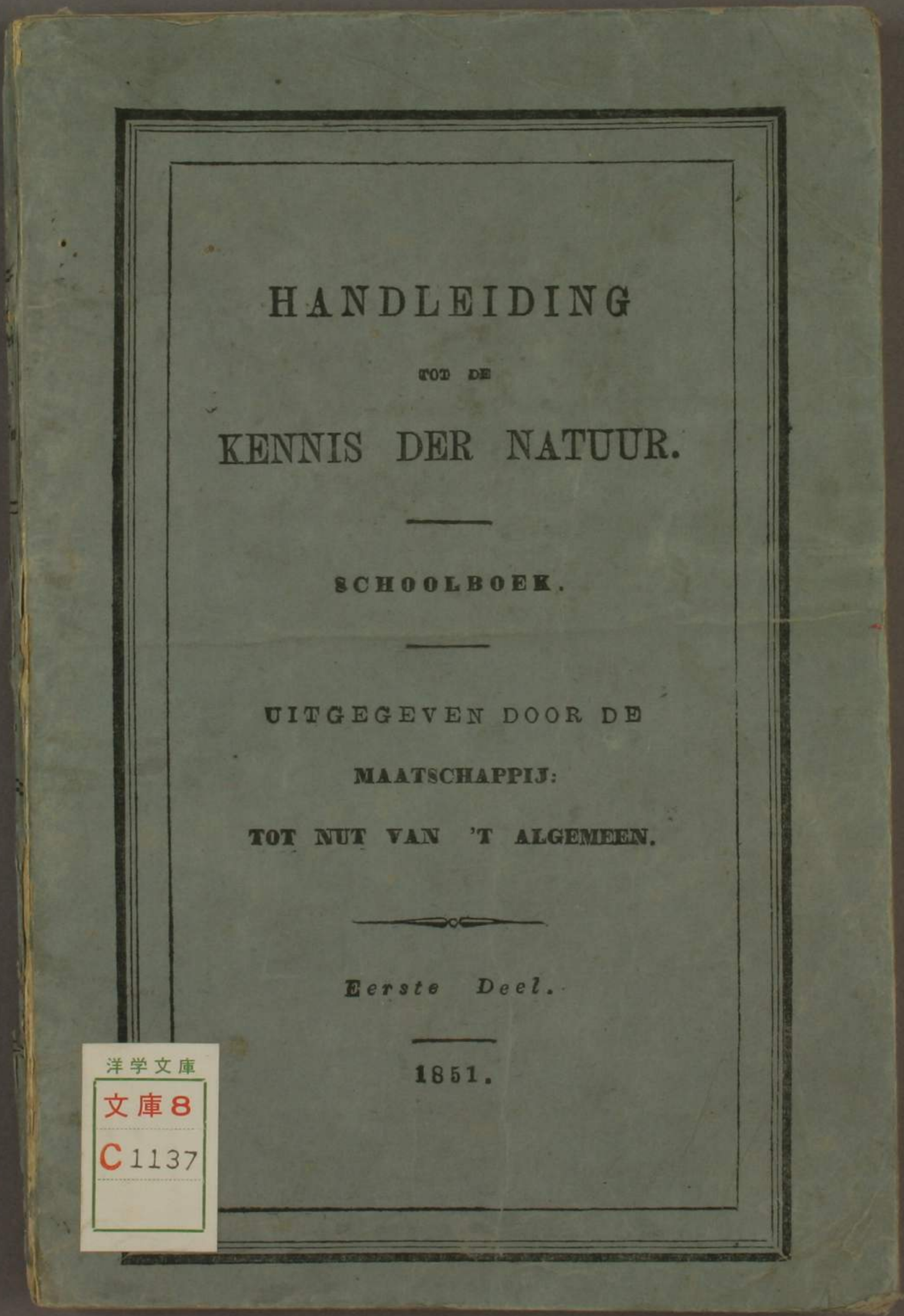


洋学文庫  
文庫 8  
C 1137



十  
七  
九

4

HANDLEIDING.

HANDLEIDING

NATUR

HANDLEIDING.

十  
七  
九

HANDLEIDING

TOT DE

KENNIS DER NATUUR.

SCHOOLBOEK.

UITGEGEVEN DOOR DE

MAATSCHAPPIJ:

TOT NUT VAN 'T ALGEMEEN.

1851.

LEIDEN,

D. DU MORTIER en ZOON.

HANDLEIDING.



642 113

HANDLEIDING

TOT



KENNIS

SCHOOLBOEK

UITGEGEVEN DOOR DE

MAATSCHAPPIJ

TOT NUT VAN 'T ALGEMEEN

1881

ERIDEN

D. DE NORTHER - BOEK

65- 1119



VOORBERIGT.

Toen de Maatschappij: Tot Nut van 't Algemeen, nu meer dan eene halve eeuw geleden, het Natuurkundig Schoolboek, het Werk van den verdienstelijken JOH. BUIJS, in 't licht gaf, durfde zij zich naauwelijks vleijen, dat zij daardoor aan den wensch van zoovele duizenden onzer Landgenooten, gedurende zoovele volgende jaren, zou voldoen. Intusschen heeft de steeds vernieuwde behoefte aan herdruk van het Werk, de overzetting daarvan in meer dan ééne vreemde taal, het groot aantal exemplaren, alom verspreid; maar bovenal de eenparige getuigenissen van zoovelen, die verklaren aan hetzelfde een' schat van leering verschuldigd te zijn, het be- moedigend bewijs gegeven, dat onze Maatschappij het doel, dat zij er zich mede voorstelde, volkomen bereikt heeft.

Dan — de Natuur-wetenschap is, gedurende de jongst verloopene vijftig jaren, zoo al niet van grondslagen, al-

thans van omvang en gestalte aanmerkelijk veranderd. Hare grenzen zijn verder uitgezet; later onderzoek heeft onderscheidene duistere punten opgehelderd en van menig verschijnsel eene andere en meer voldoende verklaring gegeven.

De Maatschappij heeft dit een en ander ingezien, en begrepen, dat zij, bij het ontstaan van nieuwe behoeften, ook nieuwe middelen van bevrediging moest aan de hand geven. Met die gedachte vatte zij eerst het voornemen op, haren vroegeren arbeid te herzien — een plan dat echter spoedig bleek onuitvoerbaar te zijn. Daarna beproefde zij door het uitschrijven eener Prijsvraag in 't jaar 1840, en vervolgens bij herhaling, in 't bezit van een nieuw Natuurkundig Schoolboek te geraken. Doch ook hier zag zij zich in hare hoop teleurgesteld. Vond men al in enkele ingekomen Antwoorden zóoveel voortreffelijks, dat men aan de Auteurs eenig blijk van onderscheiding mogt aanbieden, men was niet zoo gelukkig er een te ontvangen, waaraan men den uitgelooften Eereprijs met ruimte kon toewijzen. Na herhaalde mislukking besloot men in 1845 een' anderen weg in te slaan, en, met vermindering der onzekere kansen van Prijsvragen, een bekwaam Schrijver tot het vervaardigen van het verlangde Werk bepaald uit te noodigen.

Had de Maatschappij aanvankelijk reden zich over dit haar besluit te verheugen, omdat zij den uitstekenden

Geleerde, den Utrechtschen Hoogleraar W. WENCKEBACH, bereid vond aan hare uitnoodiging te voldoen, hoe zeer moest zij niet betreuren, dat, in het begin van 1847, 's mans plotselinge dood, zoo treffend voor bloedverwanten en vrienden, voor het Vaderland en de Wetenschap, ook de uitvoering van hare plannen op nieuws voor eene poos achteruit zette. En toch mogt zij niet geheel ontmoedigd, veelmin ondankbaar zijn. De edele geest, die met evenveel warmte als helderheid van inzicht de taak ondernomen had, was niet werkeloos gebleven, zoo lang hij werken kon. Na WENCKEBACH'S verscheiden vond men niet alleen een voortreffelijk aangelegd plan, maar ook eene uitvoerige, in de meeste deelen uitgewerkte schets van het hem opgedragen Geschrift. Het was een kostbare voorraad van bouwstoffen, die hier en daar aanvulling, doch voor 't overige alleen beschaving en zamenvoeging behoeften, om voor het gewenschte oogmerk bruikbaar te zijn.

Het Hoofdbestuur der Maatschappij heeft daarom niet gearzeld, deze nalatenschap, hozeer met eene treurige herinnering verbonden, te aanvaarden. Het mogt dit bovendien met te meer gerustheid doen, nadat de Heer C. J. MATTHES, Hoogleraar in de Wis- en Natuurkunde aan het Athenæum Illustre te Amsterdam, met belangeloze heuschheid en ter liefde van zijn' overleden' Ambtgenoot, zich verbonden had, den afgebroken' arbeid op te vatten, het ontbrekende aan

te vullen, en verder het handschrift voor de pers gereed te maken.

Het is de vrucht van deze verschillende pogingen, die alsnu der Nederlandsche Jeugd aangeboden wordt. De Maatschappij vertrouwt, dat zij, die zich van het aangeboden hulpmiddel zullen bedienen, tevens zullen weten te waarderen, dat twee bekwame mannen hunne schoonste gedachten, hunnen kostbaren tijd en arbeid ten beste hebben gegeven om anderen nuttig te zijn.

Welk gebruik men voorts van het hulpmiddel behoort te maken, om er de meeste vrucht van te trekken, dit wijzen de navolgende opmerkingen van den Heer MATTHES zelve aan, die hij bij een vriendelijk schrijven van den 30sten Julij, jl., aan het Hoofdbestuur heeft medegedeeld:

“Het voorlaatste blad van wijlen WENCKEBACH'S arbeid is thans ter perse, en van 't weinige, dat nog overig blijft, wacht ik ieder oogenblik eene proef. Het wordt dus tijd aan Voorberigt en titel te denken, waaromtrent ik de vrijheid neem, het een en ander in 't midden te brengen.

“De strekking, door den Schrijver gegeven aan het boek, waarvan de vervaardiging hem door de Maatschappij: *Tot Nut van 't Algemeen*, werd opgedragen, was aan het Hoofdbestuur in 't algemeen bekend en door hetzelfde

goedgekeurd. Het moest een Werk zijn, dat het verdienstelijk, maar verouderd *Natuurkundig Schoolboek* van wijlen JOH. BUIJS met vrucht kon vervangen, en dus geschikt wezen, om in handen van een kundig Onderwijzer aan jongelieden op bevattelijke wijze juiste begrippen bij te brengen van de allereerste gronden van Natuurwetenschap.

“Vermits nu alle Natuurwetenschap op de ervaring berust, zoo stelde de Schrijver zich voor, in de eerste plaats de zintuigen te leeren oefenen, en de noodzakelijkheid van geregeld en volledig waarnemen te doen uitkomen; voorts de gewoonte in te prenten van opmerkzaam nadenken over al wat ons dagelijks omringt, dat dikwijls belangrijker is dan het minder gewone; verder het verstand te gewennen, om uit werkingen met omzigtigheid tot oorzaken te besluiten, en zich nimmer met losse verklaringen tevreden te stellen, maar liever dan zich die te laten opdringen, in den twijfel een' spoorslag tot nieuw en dieper onderzoek te blijven vinden. Eindelijk beijverde hij zich om te gelegener tijd de grenzen onzer kennis aan te wijzen, opdat de waan vroegtijdig mogt worden tegengegaan, alsof men alle ding bij nader onderzoek kon te weten komen. Daarbij trachtte hij echter te waken, dat men niet tot een tegenovergesteld uiterste oversloeg en tot bijgeloof verviel, door, waar het pas had, de aandacht te vestigen op het ontbreken van allen grond voor menig

ondersteld verband, dat in strijd is met geheel de inrigting der Natuur.

“Wat den omvang en de orde van het bedoelde Natuuronderwijs betreft, zoo meende de Schrijver zich door geene wetenschappelijke indeeling te mogen laten binden. Het kwam er toch niet zoo zeer op aan, of het voorgedragene tot het gebied van deze of gene bijzondere Natuurwetenschap behoorde, als wel, of de jeugdige scholieren het konden begrijpen. Dit bepaalde dan ook de door hem in acht genomen opvolging der behandelde onderwerpen. De leerling moest beginnen met zulke zaken, als door gewone waarneming hem reeds gemeenzaam zijn, opdat hij geleidelijk mogt worden opgevoerd tot hetgene door eenvoudige proeven alleen, met toestellen, die overal bij de hand of ligt verkrijgbaar zijn, geleerd kan worden.

“Op volledigheid kan derhalve dit Werk, naar den aanleg zelve, geen aanspraak maken. Met opzet toch heeft men er zaken, die elders niet wel met stilzwijgen voorbijgegaan mogen worden, uit weggelaten, omdat zij nog te veel op onderstellingen berusten, of, voor de vereischte duidelijkheid, eene te groote uitvoerigheid gevorderd zouden hebben. Voornamelijk meende de Schrijver er zich op te moeten toeleggen, om behoefte tot onbevooroordeeld onderzoek te doen ontstaan; om behoedzaamheid in te scherpen in het maken van gevolgtrekkingen; om het verband en de aaneenschakeling, die de ons omringende verschijnselen

laten ontdekken, helder te doen uitkomen, en alzoo lust voor de beschouwing der Natuur op te wekken en eerbied en ontzag voor den wijzen Formeerder en Onderhouder in te boezemen, zonder dit telkens door ingelaschte uitroepingen van bewondering opzettelijk aan te dringen.

“Het Hoofdbestuur gaf mij zijn genoegen te kennen, dat ik de zorg voor de uitgave van WENCKEBACH'S nagelaten handschrift op mij nam. Ik heb getracht mij naauwgezet van die taak te kwijten, zonder dat ik gewaagd heb aan den aanleg en de wijze van behandeling iets te veranderen. Sommige hoofdstukken, met name die van het *Licht*, de *Electriciteit* en de *Dieren*, waarvan alleen het opschrift bestond, heb ik er geheel aan moeten toevoegen. In hoever mijne poging, om het reeds afgewerkte in gelijken geest voort te zetten, gelukt is, staat aan mij niet te beoordeelen. De opdracht, om eens anders arbeid, waarvan enkel het eerste ruwe opstel aanwezig was, te beschaven, naar diens bedoeling verder uit te werken en te voltooijen, was niet van de gemakkelijkste, en dit moge ter verontschuldiging strekken voor de vertraging, die de uitgave door mijn toedoen ondervonden heeft.

“Met opzigt tot den te kiezen titel, wensch ik in bedenking te geven, of het niet best ware, dien van *Natuurkundig Schoolboek* te behouden, ten zij men, om allen schijn te vermijden, als handelde het boek uitsluitend over eigenlijk gezegde Natuurkunde, dien van *School-*



boek der Natuur daarvoor in de plaats mogt willen stellen. Het woord *Schoolboek* daarin op te nemen, is, dunkt mij, noodzakelijk. Daardoor toch wordt het gebruik, waarvoor het bestemd is, gekenmerkt, om namelijk op de scholen gelezen te worden, ten aanhooren van een' Onderwijzer, die, waar hij daartoe aanleiding meent te vinden, er van het zijne toe doet, 't zij tot opheldering door meerdere voorbeelden of tot opwekking van ernstigen en verheffenden aard."

En zoo dan ontvang de leergrage kweekeling zoowel als de Onderwijzer dit geschenk uit de hand der Maatschappij. Het zij voor beiden een leidraad ter verkrijging en vermeerdering van die kennis, die zeker wel het meest geschikt is, om 's menschen hart te stemmen tot bewondering van het geschapene en tot dankbare aanbidding van den wijzen en liefderijken Schepper.

AMSTERDAM, September, 1851. OP LAST DER MAATSCHAPPIJ:

*P. M. van Mees.*  
Secretaris.

INHOUD.

INLEIDING.	Bladz.
I. Ligchamen worden waargenomen met de Zintuigen. . . . .	1.
II. Algemeene en Bijzondere Eigenschappen. . . . .	4.
III. Verdeeling der Ligchamen. . . . .	5.
IV. Veranderingen der Ligchamen. Verschijnselen. . . . .	7.
V. Waarnemingen en Proeven. . . . .	8.
VI. Krachten. . . . .	9.
VII. Grootte en Rigting van Krachten. . . . .	12.
VIII. Evenwigt. Traagheid. . . . .	15.

EERSTE AFDEELING.

MEEST ALGEMEENE EIGENSCHAPPEN EN VERSCHIJNSELEN DIE AAN DE LIGCHAMEN WORDEN WAARGENOMEN.

I. Uitgebreidheid. . . . .	18.
II. Gedaante. . . . .	21.
III. Ondoordringbaarheid. . . . .	22.
IV. Vervolg. Poreus- of IJlheid der Ligchamen. . . . .	28.
V. De Deelen der Ligchamen. . . . .	32.
VI. Samenhang van gelijksoortige Deelen. . . . .	36.
VII. Samenhang van ongelijksoortige Deelen. . . . .	41.
VIII. Buigzaamheid. Rek- en Persbaarheid. . . . .	46.
IX. Veërkracht der Ligchamen. Terugstootingsvermogen. . . . .	49.
X. Over Hooren en Geluid. . . . .	55.

TWEEDE AFDEELING.

ZWAARTEKRACHT.

I. Vallen. . . . .	64.
II. Zwaar zijn. . . . .	72.

	Bladz.
III. Weegschaal. Wegen. . . . .	76.
IV. Soortelijk gewigt. . . . .	79.
V. Zwaartepunt. . . . .	82.
VI. Hefboom. . . . .	86.
VII. Drukking van vochten. . . . .	91.
VIII. Drijven en zinken. . . . .	96.
IX. Waterpas. . . . .	102.
X. Drukking van lucht. . . . .	105.
XI. Blaasbalg; pomp; Barometer. . . . .	116.
XII. Gewigt van lucht. Zweven in lucht. . . . .	125.

## DERDE AFDEELING.

## WARMTE.

I. Over Warmte in 't algemeen. . . . .	130.
II. Opwekking en verspreiding van Warmte. . . . .	133.
III. Uitwerkingen der Warmte. Uitzetting. . . . .	139.
IV. Vervolg. De Thermometer. . . . .	142.
V. Over smelten en stollen. . . . .	147.
VI. Over verdampen en neêrslaan. . . . .	153.
VII. Werktuigelijke beweging, voortgebracht door warmte. . . . .	161.
VIII. Verbranding. . . . .	166.
IX. Verbranden en branden. . . . .	172.
X. Verkolen. . . . .	175.

## VIERDE AFDEELING.

## LIGHT.

I. Licht in 't algemeen. . . . .	180.
II. Schaduwen en Lichtsterkte. . . . .	186.
III. Breking der lichtstralen. . . . .	190.
IV. Over Kleurschifting en Kleuren. . . . .	194.
V. Over Brandglazen en Lenzen in 't algemeen. . . . .	197.
VI. Over Beelden van Lenzen en Spiegels. . . . .	200.
VII. Over Gezigkundige Werktuigen. . . . .	206.
VIII. Over de Oogen en het Zien. . . . .	212.

## VIJFDE AFDEELING.

## SCHEIKUNDIGE BESTANDDEELLEN DER LICHAMEN.

I. Water. . . . .	217.
II. Enkelvoudige en Zamengestelde lichamen. . . . .	220.
III. Enkelvoudige stoffen. . . . .	224.
IV. Roesten. Gisten. Zuurworden. Bederven. . . . .	229.
V. Scheikundige verwantschap. . . . .	233.

## ZESDE AFDEELING.

## ELECTRICITEIT EN MAGNETISMUS.

	Bladz.
I. Over Electriciteit in 't algemeen. . . . .	237.
II. Mededeeling en werking op afstand. Verdeeling der Electriciteit. Leidsche flesch. . . . .	240.
III. Galvanismus. . . . .	243.
IV. Magnetismus. Electricische Telegrafien. . . . .	248.

## ZEVENDE AFDEELING.

## DELFSTOFFEN.

I. Over Grondsoorten. . . . .	253.
II. Keisteenen. . . . .	259.
III. Oer. IJzer-erts. . . . .	263.
IV. Ligging der Grondsoorten. . . . .	264.
V. Veranderingen van den Grond. . . . .	269.
VI. Steenen. Steenkolen. Zout. . . . .	271.

## ACHTSTE AFDEELING.

## PLANTEN.

I. Over Planten in 't algemeen. . . . .	275.
II. Onderscheid tusschen Planten. . . . .	278.
III. Zamenstel der Planten. . . . .	280.
IV. Wasdom der Plant. . . . .	283.
V. Plantensappen en hunne beweging. . . . .	287.
VI. De Planten en de Lucht. . . . .	291.
VII. Leven en Sterven van Planten. . . . .	295.
VIII. Bloeyen en vrucht dragen der Planten. . . . .	297.

## NEGENDE AFDEELING.

## DIEREN.

I. Over Dieren in 't algemeen. . . . .	300.
II. Bestanddeelen der Dieren. . . . .	302.
III. Spijsvertering. . . . .	305.
IV. Bloedsomloop en Ademhaling. . . . .	309.
V. Zenuwleven der Dieren. . . . .	312.
VI. Bewegingswerktuigen der Dieren. . . . .	318.
VII. Vervolg. Willekeurige en onwillekeurige Bewegingen der Dieren. . . . .	325.
VIII. Verschillende Tijdperken des dierlijken Levens. . . . .	330.

## TIENDE AFDEELING.

## DE AARDE ALS GEHEEL.

	Bladz.
I. De vorm der Aarde. . . . .	334.
II. Meting van den Aardbol. . . . .	336.
III. Gevolgen van de rondheid der Aarde. . . . .	339.
IV. Vervolg. Vorm en Hoogte van den Dampkring. . . . .	342.
V. Verschijnselen in den Dampkring. Wind. . . . .	345.
VI. Vervolg. Wolken; Regen. . . . .	351.
VII. Sneeuw; Hagel; Dauw; Rijp; IJzel. . . . .	355.
VIII. Over Onweder. . . . .	360.

## ELFDE AFDEELING.

## DE STERRENHEMEL.

I. Schijnbare Dagelijksche Beweging. . . . .	367.
II. Sterrenbeelden . . . . .	372.
III. Dagelijksche Beweging; Vervolg. . . . .	375.
IV. Nadere Beschouwing van de Beweging der Zon. . . . .	378.
V. De Beweging en Schijngestalten der Maan. Eclipsen. . . . .	384.
VI. Vorm en Afmetingen van de Loopbanen van Zon en Maan. Grootte der Ligchamen zelve. . . . .	389.
VII. De Zon staat stil; de Aarde beweegt zich. . . . .	394.

## INLEIDING.

## I.

Ligchamen worden waargenomen met de Zintuigen.

Wanneer wij eene hand uitsteken, en gewaarworden, dat de hand stuit, dat zij belet wordt zich verder uit te strekken, dan zijn wij verzekerd, dat daar, waar de hand stuit, een *stoffelijk voorwerp* aanwezig is. Wij noemen dus al wat eene zekere ruimte inneemt, en de hand verhindert, om in die ruimte in te dringen, een *stoffelijk voorwerp*. In plaats van de hand te gebruiken, kunnen wij ook elk ander deel van ons ligchaam bezigen, en wij ondervinden dan hetzelfde; wij voelen een' tegenstand, eene drukking tegen ons ligchaam: en deze gewaarwording, dit gevoel is het, dat ons tot het bestaan van ligchamen buiten ons doet besluiten.

Het eene ligchaam geeft ons, wanneer wij het aanraken, een ander gevoel dan het ander: wij voelen, dat het eene groot, het andere klein, het eene plat, het andere rond, het eene glad, het andere ruw, het eene droog, het andere nat, het eene koud, het andere heet is; wij voelen, dat het eene ligchaam in rust, het andere in beweging is. Het gevoel doet ons dus ook de ligchamen van elkander onderscheiden en er *eigenschappen* aan toeschrijven; wij erkennen tevens, dat er verschillende soorten van ligchamen zijn.

Maar het *gevoel* geeft ons alleen kennis van de ligchamen, die onder ons bereik zijn. Hadden wij maar dat eene zintuig, dan zouden wij geen verderaf gelegene ligchamen

kunnen leeren kennen; het bestaan van deze blijkt ons door onze andere zintuigen: door het gezigt, door het gehoor, door den reuk. Wij zien den man, die op den weg of op de straat ons voorbijgaat, wij zien den toren van het dorp, de zon en de maan, en dat zien is ons genoeg, om ons overtuigd te houden, dat het bestaande stoffelijke voorwerpen zijn, met andere woorden: dat als wij er bij konden komen en ze aanraken, onze hand een' tegenstand zou ondervinden. Ook het gezigt doet ons eigenschappen gewaarworden; wij zien, dat het eene ligchaam groot, het andere klein is, het eene wit, het andere zwart, een derde rood of groen gekleurd is; wij zien, dat de toren stilstaat, dat de wolk drijft.

Zoo echter het *gezicht* alleen ons het bestaan en de eigenschappen der lichamen moest doen kennen, zouden wij ons ligt kunnen bedriegen. Iemand plaatse een ligchaam vóór een' spiegel en ga er zelf ook vóór staan, en hij ziet het ligchaam er achter. Het gevoel geeft hem de zekerheid, dat het ligchaam er vóór is, en dus de overtuiging, dat zijne oogen hem misleidden. Wel worden wij gewaar, dat een beeld zich nooit achter den spiegel, of in het water vertoont, of er is indedaad een voorwerp vóór den spiegel of boven het water; maar tevens ontdekken wij daarbij, dat het voorwerp, hetwelk wij zien, zich niet altijd daar bevindt, waar het zich aan onze oogen vertoont. Een kind, dat eene afbeelding van een voorwerp of van een' persoon ziet, meent dat voorwerp zelf te zien; eerst door nader zien of door voelen komt het tot de overtuiging, dat niet het afgebeelde voorwerp zelf daar is. Waar dus gevoel en gezigt ons verschillende indrukken geven, is die van het gevoel de ware.

Ook door het *gehoor* doen wij kennis op: wanneer wij het gezang van een' vogel hooren, die in het gras of het gehoopte verscholen zit, geeft het geluid, dat wij hooren, ons de zekerheid, dat er ergens een vogel is, al kunnen wij hem zien noch voelen. Wanneer wij het slaan van eene klok hooren, zijn wij zeker, dat er in de eene of andere kamer, in den gang, of op den toren eene klok aanwezig is. Wanneer wij hooren spreken, zijn wij zeker,

dat ergens een mensch is. Maar als wij een geluid hooren, dat wij nooit te voren gehoord hebben, weten wij daardoor alleen, dat er ergens een geluidgevend ligchaam is. Kwam niet het gevoel of het gezigt hier te hulp, of hadden wij daardoor niet reeds vroeger den aard van het geluidgevend ligchaam leeren kennen, zoo zou het gehoor alleen ons maar weinig leeren van zijne eigenschappen. Zelfs omtrent de plaats, waar het geluidveroorzakend ligchaam is, laat het gehoor alleen ons in onzekerheid. Uit hetgeen wij hooren maken wij op, waar de klok zich bevindt die wij hooren slaan, en dit besluit is dikwijls juist; somtijds evenwel gebeurt het, dat het niet juist is. Wanneer wij door eene straat gaan, meenen wij dikwijls de klok achter de huizen aan de eene zijde te hooren, terwijl onze oogen ons kort te voren de overtuiging gegeven hebben, dat de toren, waarin de klok hangt, inderdaad achter de huizen staat aan de andere zijde van de straat; en de ondervinding, vroeger verkregen, doet ons besluiten, dat waar gehoor en gezigt ons strijdige waarnemingen geven, die van het gezigt de ware zijn.

Eindelijk geeft ook de *reuk* ons kennis van de aanwezigheid van lichamen. Als wij een' zekeren bekenden reuk gewaarworden, weten wij, dat er eene roos of eene andere bloem niet ver van ons is; een andere reuk geeft ons kennis, dat er azijn in onze nabijheid is. Maar ook hier is het niet alleen de reuk, waardoor wij die kennis opdoen; deze doet ons alleen een' eigenaardigen geur waarnemen, maar wanneer wij dien geur aan eene roos toeschrijven, dan doen wij zulks, omdat wij vroeger hebben waargenomen, dat die bepaalde reuk slechts dan bespeurd wordt, als wij eene roos konden zien of voelen. De azijnreuk zou ons eene onbepaalde gewaarwording geven, en niets meer, indien wij niet vroeger ondervonden hadden, dat die reuk alleen dan wordt waargenomen, als azijn dicht bij ons is.

Al onze zintuigen geven ons kennis van het bestaan van lichamen; zij leeren ons hunne eigenschappen kennen. Het eene leert eigenschappen, die het ander nooit zou hebben doen kennen; het is dus nuttig zooveel mogelijk

al onze zintuigen te gebruiken. Maar het blijkt, dat ook het verstand werkzaam zijn moet, als wij door middel van hetgeen wij met de zintuigen waarnemen, de lichamen zóó willen leeren kennen, als zij werkelijk zijn, en dat wij, om ons oordeel op goede gronden te doen steunen, zoo veel mogelijk waarnemingen omtrent alles wat ons omringt, en wel nauwkeurige en volledige waarnemingen, moeten doen. Want wie enkel ter loops of eenzijdig waarneemt, wie zich vergenoegt met hetgeen zijne zinnen toevalligerwijze van de voorwerpen gewaarworden, zal in de besluiten, welke hij daaruit afleidt, zich dikwerf bedriegen. Wij zeggen dan, dat onze zintuigen ons misleiden, maar het is ons verstand, dat ons voorbarige besluiten doet trekken uit hetgeen onze zintuigen ons laten waarnemen.

## II.

## Algemeene en Bijzondere Eigenschappen.

Wanneer wij op de eigenschappen der lichamen letten, worden wij gewaar, dat vele lichamen gelijke eigenschappen bezitten. Wanneer wij een' eik wél gezien hebben, wanneer wij het eigenaardige van stam en takken, van bladeren en vruchten hebben nagegaan, en wij gezien daarna een' anderen eik, dan vinden wij dezelfde gedaante terug, dezelfde aaneenvoeging van deelen, een' gelijken stand en meer andere trekken van overeenkomst. Vandaar, dat wij aan beide boomen denzelfden naam geven, dat wij ze beiden eiken noemen, en dat wij dienzelfden naam aan alle boomen geven, die dezelfde eigenschappen vertoonen. Bij andere boomen daarentegen vinden wij andere vormen en grootten, eene andere gedaante van blad en bloesem, en wij geven er daarom andere namen aan; wij noemen ze beuken, wilgen, populieren, linden. Maar van een' anderen kant, bij al dat in 't oog vallende verschil, komen die onderscheidene boomsoorten toch in sommige eigenschappen met elkander overeen: zij hebben alle een' stam, alle takken en bladeren, zij zijn alle door wortels in den grond bevestigd — daarom heeft men aan allen te zamen den naam van boomen gegeven. Door het gebruiken van dien naam

duiden wij dus eigenschappen aan, die aan een grooter aantal lichamen eigen zijn, dan die welke wij ons voorstellen, wanneer wij van eene bijzondere soort van boomen, van eiken of beuken spreken. Wij merken dus aan hetzelfde ligchaam tweederlei soort van eigenschappen op: *algemeene* en *bijzondere*; de eerste zijn die, waarin het met soortgelijke lichamen overeenkomt, de andere die, waardoor het daarvan verschilt. Ook die algemeene eigenschappen kunnen weder onderscheiden worden in meer en minder algemeene. Onder de eigenschappen welke alle boomen met elkander gemeen hebben, zijn er sommige, die niet alleen aan boomen, maar ook aan eene menigte andere lichamen, aan heesters en struiken, aan graan en gras, aan mos en wier eigen zijn. Alle ontwikkelen zich uit eene zaadkorrel, alle worden grooter of groeijen, komen tot vollen wasdom en verwelken weder. Deze meer algemeene eigenschappen zijn het, welke wij aanduiden, als wij aan al de opgenoemde voorwerpen gezamenlijk den naam geven van *planten*.

Onder de groote menigte van eigenschappen, welke wij aan de lichamen opmerken, zijn het de algemeene, wier kennis voor ons de belangrijkste is, en waarmede wij ons vooral zullen bezig houden.

## III.

## Verdeeling der Lichamen.

De overeenkomst en het verschil der lichamen in eigenschappen geeft van zelf aanleiding, om sommige lichamen bij elkander te voegen, andere van elkander te scheiden, met één woord, om ze in soorten te verdeelen. Dit kan op verschillende manieren geschieden: wij kunnen bijv. die lichamen bij elkander voegen, welke in kleinte of grootte, of in andere opzigten gelijk zijn. Maar het komt er hier op aan, om op die eigenschappen te letten, welke de voornaamste, de meest wezenlijke zijn. En zoo verdeelt men de lichamen vooreerst in die, welke door menschen bewerkt zijn, en door die bewerking eigenschappen ontvangen hebben, die zij te voren niet hadden, en in die, welke niet door menschen veranderd zijn geworden.

De eerste noemt men *kunstgewrochten*, de laatste *natuurlichamen*. Een boom en een dier zijn natuurlichamen, rotsen en bergen insgelijks. De houten tafel, die uit den boomstam is vervaardigd, het linnen, dat uit de vlasplant is bereid, de marmeren plaat en de ijzeren kagchel zijn voortbrengselen van kunst. Kunstgewrochten worden vervaardigd uit stoffen, welke de natuur oplevert. Die bereide stoffen hebben, ook nadat zij bewerkt zijn, ten deele nog de eigenschappen van de lichamen, die tot hunne bereiding gebruikt zijn geworden: het linnen heeft de vastheid en buigzaamheid van den stengel der vlasplant, het leder de taaheid van de ossenhuid. Om de kunstvoortbrengsels te leeren kennen, is het dus noodig, eerst met de eigenschappen der natuurlichamen bekend te zijn. Om linnen, leer, enz. te leeren kennen, is het noodig eerst een denkbeeld van de vlasplant, van de ossenhuid te hebben. De kennis van de eigenschappen der natuurlichamen is derhalve noodig, om die der kunstgewrochten te kunnen verwerven. Zij moet dus voorafgaan, en is de belangrijkste, omdat wij die eigenschappen overal weder vinden: zij zijn het waartoe wij ons thans zullen bepalen.

Onder *natuur* verstaan wij al die lichamen te zamen, welke niet door de kunst zijn veranderd geworden.

De natuurlichamen kunnen worden verdeeld: in die welke in de aarde gevonden worden, met andere woorden, die waaruit de aarde zelve bestaat, *delfstoffen* genaamd; wij kennen die als zand, klei, hardsteen, krijt, metaalertsen, steenkolen, enz.: in die welke op en boven de oppervlakte der aarde voorkomen; daartoe behooren vooreerst de zoogenaamde vloeistoffen *water* en *lucht*, ten tweede de levende wezens, die de oppervlakte der aarde bewonen, en die wij wederom in *planten* en *dieren* onderscheiden: eindelijk in die welke ver van de aarde verwijderd zijn, zoo als de maan en de zon, gewoonlijk *hemellighamen* geheeten. Wij zullen de algemeene eigenschappen van elke dier groote afdeelingen der natuurlichamen later opzettelijk overwegen, en nagaan welk denkbeeld men aan elken dier namen moet hechten.

## IV.

## Veranderingen der Lichamen. Verschijnselen.

Wanneer wij dezelfde lichamen herhaaldelijk beziën en onderzoeken, vinden wij er niet altijd dezelfde eigenschappen aan, bijv.: ijs wordt water, water gaat over in stoom. Wij zeggen dan, dat het ligchaam *veranderingen* heeft ondergaan. Vele zulke veranderingen worden voortgebracht door kunstbewerkingen: het hout wordt door schaven, zagen en slijpen glad, door verwarmen droog; door verwen gekleurd, door polijsten glanzig. De ruwe steen verkrijgt door zagen en beitelen de gedaante van een stoep, of een paal, of een kolom. Maar vele andere veranderingen worden niet door menschenhanden bewerkstelligd, en deze noemt men *natuurverschijnselen*. De klei wordt, als zij vocht opneemt, week en kneedbaar; als de zon schijnt, droogt zij weder uit, wordt hard en barst.

In andere gevallen zien wij het ligchaam niet van aard of oppervlakte veranderen, maar, terwijl gedaante en kleur dezelfde blijven, zien wij het van plaats verwisselen: de wolken bijv. drijven door de lucht, zon en maan komen dagelijks op en gaan weer onder, de vogel vliegt. Ook die beweging, van der menschen wil onafhankelijk, behoort tot de natuurverschijnselen.

Sommige natuurverschijnselen zien wij dikwijls plaats grijpen; andere alleen onder bijzondere omstandigheden, zoo als bijv. het ontstaan van een' regenboog, waartoe een vochtige toestand des dampkrings en een schijnen der zon van achter den waarnemer vereischt wordt. Het opmerken van zulke veranderingen maakt ons dikwijls nader bekend met de eigenschappen der lichamen, die ze ondergaan.

De benaming *verschijnselen*, waarmede men al die veranderingen en bewegingen te gader bestempelt, is zeer gepast. De kennis toch door de zinnen ons aangebragt, betreft eigenlijk alleen de wijze hoe de lichamen ons toe *schijnen*, hoe zij zich aan ons voordoen. Want men moet wel in 't oog

houden, dat wij zelve met onze zintuigen mede tot de natuur behooren, en dus aan dergelijke veranderingen en bewegingen onderworpen zijn; hetgeen op ons oordeel over hetgeen wij waarnemen, invloed uitoefent. Men zal dat best inzien, als men bedenkt, hoe wij, in een schuit varende, of op een' spoorweg rijdende, dikwijls moeite hebben ons te overtuigen, dat wij zelve het zijn die bewegen, en niet de voorwerpen aan den kant, die toch schijnbaar ons voorbij gaan.

## V.

## Waarnemingen en Proeven.

Vele eigenschappen der lichamen worden ons bekend, als wij maar oplettend zijn op hetgeen er dagelijks rondom ons gebeurt, en ons gewennen om na te denken over hetgeen wij waarnemen. Men behoeft enkel op te letten, om te merken, dat marmer en metaal koud is, wol en hout niet; dat vogels vliegen kunnen, en visschen zwemmen; dat papier gemakkelijk brandt, goud en zilver niet; de dagelijksche ondervinding leert een' ieder, dat een stuk steen valt, wanneer men het loslaat.

Er zijn intusschen andere eigenschappen, die zich niet van zelve aan onze zintuigen aanbieden, die eerst dan merkbaar worden, wanneer wij de lichamen in een' bepaalden toestand brengen. Wanneer eene glazen buis, die onder en boven open is, in eene kom met water staat, gebeurt er niets bijzonders, maar wanneer wij den mond aan het bovineinde van de buis brengen en daaraan zuigen, zien wij het water in de buis omhoog gaan. Om dat verschijnsel te kunnen gewaarworden, werd er eene voorbereiding vereischt, er heeft iets bepaalds vooraf moeten geschieden. Wanneer een blaasbalg stil in de hand gehouden wordt, gebeurt er niets; maar als wij daarmede bewegingen maken, alsof wij vuur wilden aanblazen, en wij de hand vóór de pijp van den blaasbalg houden, zoo wordt er iets bijzonders waargenomen, en voelen wij wind.

In het eene dus zoowel als in het andere geval neemt men waar. Geschiedt dit zonder eenige voorbereiding, zoo

noemen wij het eenvoudig *waarnemen*; maar moet er vooraf de eene of andere inrigting of eenige toestel gemaakt worden, zoo spreken wij van *eene proef doen*. Wij verkrijgen dus onze kennis van de eigenschappen en de veranderingen der lichamen door *waarnemen* en *proeven doen*.

## VI.

## Krachten.

Wanneer wij hetgeen er om ons heen voorvalt oplettend nagaan, komen wij gedurig tot de vraag: waarom gebeurt dat? waarom heeft dat ligchaam die eigenschap? Elke uitwerking toch heeft eene oorzaak; de verschijnselen der natuur moeten dus ook oorzaken hebben. Het is aan die oorzaken, dat men den naam van *krachten* gegeven heeft. Daar wij nu in 't vervolg meermalen van krachten zullen spreken, is het noodig, dat wij daarover vooraf in het algemeen bepaalde denkbeelden vaststellen. De oorzaak van een verschijnsel is niet met de zinnen waar te nemen, alleen het verschijnsel zelf; al wat wij van de oorzaak kunnen zeggen, moet dus afgeleid worden uit hetgeen de verschijnselen ons leeren.

Wanneer wij met de hand een' zwaren steen van den grond opligten, worden wij gewaar, dat daartoe eene inspanning van ons ligchaam noodig is; wij zeggen dan, dat wij kracht noodig hebben om den steen op te ligten. Wanneer wij een' bal ver weg werpen willen, is daartoe insgelijks kracht noodig, even zoo om een' kruiwagen voort te duwen, om een ligchaam in den vijzel fijn te stampen en dergelijke meer. Hetgeen wij bij ons zelve gevoelen, nemen wij ook waar bij anderen, en niet alleen bij menschen maar ook bij dieren. Wanneer wij den boer den grond zien ompitten, wanneer wij den timmerman zien schaven, den steenhouwer een' steen zien doorzagen, zeggen wij, dat zij kracht aanwenden. Wij zeggen, dat een paard kracht noodig heeft om een' geladen wagen voort te trekken; dat een vogel kracht noodig heeft om te vliegen. Bij het gebruik van het woord kracht in al die gevallen is het duidelijk, dat wij datgene kracht noemen, wat de oorzaak

is van de beweging, die er plaats heeft. Geen beweging ontstaat zonder uitoefening van kracht. Ook dat leert ons de eigen ondervinding; wij zeggen wel: er is geen kracht noodig, om een veer te bewegen, om een snipper papier of een zandkorrel op te rapen, maar dat is eene oneigenlijke uitdrukking, wij willen dan alleen te kennen geven, dat er niet dan eene geringe kracht toe vereischt wordt.

Kracht is dus oorzaak van beweging; beweging het gevolg van krachtaanwending. Die kracht wordt door een menschelijk of dierlijk ligchaam uitgeoefend, en door haar wordt een ander ligchaam in beweging gebragt. Maar ook omgekeerd is kracht de oorzaak, die eene beweging doet ophouden of althans vertragen. Wanneer wij een ligchaam, dat van eene helling neêrghijdt, grijpen, en door het vast te houden doen stilstaan, gevoelen wij, dat wij eene dergelijke inspanning gebruiken, als wanneer wij een' bal wegwerpen, of een' pijl afschieten. Wanneer de schipper, met het touw in de hand, dat aan de schuit is vastgemaakt, aan den wal springt, terwijl de schuit nog in de vaart is, en aan dat touw naar achteren trekt, om de schuit te doen stilhouden, oefent hij evenzeer kracht uit als wanneer hij, om de stilliggende schuit in beweging te brengen, begint naar voren aan de lijn te trekken. Is de schuit in snelle beweging, dan zien wij, ten gevolge van de door hem aangewende kracht, die beweging wel verminderen, maar toch niet dadelijk ophouden; gebruikt hij nog meer kracht, dan komt de schuit eindelijk geheel tot stilliggen. Wij zien dus hier, dat kracht ook de oorzaak is, die beweging doet vertragen of geheel ophouden.

Maar er is nog een geval, waarin kracht gebezigd wordt, zonder dat daarbij beweging ontstaat, of een bewegend ligchaam tot rust gebragt wordt. Wanneer ik met de hand op de tafel, of tegen den muur druk, span ik mij insgelijks in, oefen ik ook kracht uit, ofschoon de tafel, de muur op hare plaats blijft. Om een zwaar ligchaam in de hand te houden, zonder dat ik deze nog beweeg, om eene mand op het hoofd te dragen, is kracht noodig; even zoo, wanneer een ezel een' last op zijn' rug torscht.

Ofschoon in deze gevallen geen beweging ontstaat of op-

houdt, zoo wordt toch door de kracht eene uitwerking voortgebragt, maar eene uitwerking van een' anderen aard, namelijk *drukking*. Het ligchaam, waarop zij werkt, kan zich niet bewegen, omdat het op de eene of andere manier daarin belet wordt; maar diezelfde kracht, die nu drukking voortbrengt, zou beweging doen ontstaan, zoodra de belemmering slechts wierd weggenomen.

Als ik een' pijl op een' boog heb gespannen, dan zullen, zoo lang ik den pijl nog vasthoud, mijne vingers eene drukking tegen het benedeneinde ontwaren; laat ik hem eindelijk los, dan gaat die drukking over in beweging, en de pijl snort henen. Heb ik een' vlieger opgelaten, dan trekt hij aan het touw, dat ik in de hand heb, maar zoodra ik hem vier, schiet hij verder uit, en dat met te meer vaart, naar mate het trekken sterker was.

In de aangehaalde voorbeelden komt altijd een ligchaam voor, van hetwelk de kracht uitgaat, en een ander, waarop die werkt; bij het werpen van een' bal is de hand het ligchaam hetwelk de kracht uitoefent, de bal datgene waarop de kracht werkt, hetgeen de uitwerking ondervindt. Onder het voortbrengen van die uitwerking zien wij steeds het ligchaam dat werkt, in aanraking komen met dat hetwelk de werking ondergaat.

Het denkbeeld van *kracht* is ontleend aan menschen en dieren, maar wordt vervolgens ook aan niet levende lichamen toegeschreven. Wanneer een bal, die in beweging is, tegen een anderen, die stilligt, aanstoot, dan brengt hij dien in beweging, even als hij zelf door de hand in beweging is gebragt; en even als de hand kracht heeft uitgeoefend om hem te bewegen, zeggen wij ook, dat de stootende bal kracht uitoefent op den anderen, die gestooten wordt, en die stillag. Omdat wij hier gelijksoortige uitwerking zien, schrijven wij die dus ook aan eene soortgelijke oorzaak toe. In 't algemeen zeggen wij, wanneer een ligchaam, van welken aard ook, een ander in beweging brengt, dat het eerste kracht uitoefent op het laatste. Hetzelfde zeggen wij, wanneer een bewegend ligchaam door de werking van een ander tot rust gebragt wordt, bijv. wanneer een vallend ligchaam door tegen den grond te stuiten tot rust



komt, dan oefent de grond eene kracht op dat ligchaam uit; wanneer een pijl, in de schijf indringende, zijne beweging verliest, dan heeft de schijf eene kracht op den pijl uitgeoefend. Eindelijk, weder even als bij levende wezens, wanneer een zwaar ligchaam op eene tafel ligt en door die tafel belet wordt naar den grond te vallen, dan oefent de tafel eene kracht op dat ligchaam uit; wij zeggen dan: de tafel draagt dat ligchaam en wij gebruiken daarbij hetzelfde woord, als wanneer wij van een' mensch spreken, die een' last op zijn' rug, of op zijne schouders draagt, juist omdat wij beide gevallen voor gelijksoortig houden.

## VII.

## Grootte en Rigting van Krachten.

Krachten kunnen grooter en kleiner zijn, dat leert onze eigene ondervinding. Wij worden gewaar, dat wij ons veel meer moeten inspannen om een' zwaren kegelbal te werpen, dan om een' lichten in beweging te brengen; wij hebben meer kracht noodig om een gewigt van 25 of 50 pond op te ligten dan een gewigt van één pond. Moet een zwaar rijtuig in beweging gezet worden en is één paard daartoe niet in staat, dan spannen wij er twee of meer voor, en de vereenigde kracht van deze doet wat de mindere kracht van een enkel paard niet kan gedaan krijgen. Moet een zwaar heiblok opgebeurd worden, en is de kracht van 4 of 6 man niet toereikend, dan worden er 10 of meer man aan geplaatst, en te zamen zien wij dat zij in staat zijn, het honderden ponden zware blok op te ligten. In 't algemeen, wij ondervinden, dat wij des te meer kracht noodig hebben, naar mate wij een ligchaam van meer gewigt in beweging willen brengen. Vandaar dat wij gewoon zijn de hoeveelheid der kracht, die wij zien uitoefenen, te schatten vooreerst naar het gewigt van het ligchaam, dat daardoor in beweging wordt gebracht; dat wij aannemen, dat er driemaal zoo veel kracht noodig is om een ligchaam van 150 pond op te ligten dan een van 50; dat er om een' spoortrein van 30 metrieke tonnen gewigt (elk van 1000 Nederl. ponden) in beweging te zetten, anderhalfmaal zooveel kracht noodig

is als voor den stoomtrekker met zijn' geladen voorraadwaggen alléén, zoo die te zamen 20 tonnen wegen.

In deze voorbeelden is de schatting goed, maar in andere gevallen niet; want de hoeveelheid kracht, die noodig is, hangt dikwijls niet alleen af van het gewigt van het ligchaam, maar ook van de snelheid, die men er aan begeert te geven. Willen wij denzelfden steeds even zwaren bal in beweging brengen, maar hem nu een grootere dan een kleinere snelheid mededeelen, zoo worden wij alweder gewaar, dat daartoe meer kracht noodig is in 't eerste geval, dan in 't laatste, en wel des te meer, naar mate de snelheid van den bal grooter moet wezen. Wij men met hetzelfde rijtuig spoediger rijden, dan spant men er meer paarden voor; moet het anker spoediger geligt worden, dan zet men meer manschappen aan het braadspil waaraan het wordt opgehaald. Men gebruikt dus meer kracht, om grooter snelheid te bekomen. De kracht moet in het algemeen ook in dezelfde verhouding grooter zijn, als de snelheid, die wij aan een ligchaam willen mededeelen, grooter is. Willen wij bij gevolg aan een ligchaam van 6 ponden eene snelheid geven van 12 ellen in de secunde, dan wordt daartoe zesmaal zooveel kracht gevorderd als om aan een ligchaam van 3 ponden eene snelheid van 4 ellen mede te deelen. Immers ware het om een zelfde snelheid te doen, dan vorderde het ligchaam van 6 ponden reeds het dubbel van de kracht noodig voor dat van 3 ponden. Maar om bovendien de snelheid driemaal zoo groot te doen zijn, is het een vereischte eene driemaal dubbele of zesvoudige kracht aan te wenden.

Bij ons zelve oordeelen wij, door middel van ons inwendig gevoel, over de hoegroothed der kracht, die wij aanwenden. Bij anderen besluiten wij uit de uitwerking, die wij zien voortbrengen, tot de hoegroothed der kracht die zij aanwenden, door namelijk te letten zoowel op de hoegroothed van den last als op de snelheid van beweging. Zien wij twee paarden gespannen voor even zware wagens, maar het eene zijn' wagen veel sneller voorttrekken dan het andere, dan zeggen wij, dat het eerste paard meer kracht aanwendt dan het andere. Zien wij den eenen kruijer een' veel

zwaardder bevrachten kruiwagen even snel voortkruifen als een ander den zijnen veel minder beladen, dan zijn wij overtuigd, dat de eerste veel meer kracht uitoefent dan de tweede.

Ook bij ons zelve, zoo het op eene juiste schatting aankomt, moeten wij op dergelijke wijs te werk gaan. Ons gevoel toch is geen naauwkeurige maatstaf, en men kan zijn eigen kracht het best leeren kennen aan het grootst mogelijk gewigt, dat men in staat is op te ligten. Een volwassen mensch van gewone kracht wordt gerekend met één hand 75 Ned. ponden van den grond te kunnen opheffen.

Wanneer een kracht eene beweging langzamer doet worden of geheel doet ophouden, laat zich hare hoegrootheid op dezelfde wijze meten. Als men een schuit in hare vaart stuit, door een touw, dat er aan bevestigd is, om een' paal aan den oever te slaan, dan is de kracht, die men daarbij zelf aanwendt, gevoegd bij die, welke de paal uitoefent bij het schuren daarlangs van het touw (welke laatste kracht zeer aanzienlijk wordt, als men eenige malen het touw om den paal heenslaat), gelijk aan de kracht, die noodig is geweest, om de schuit van den toestand van stilliggen de snelheid te geven die zij had. Een kogel, die een dunne plank zou doorboren, zal in een dik stuk hout maar tot zekere diepte indringen en daar rustig blijven zitten. De kracht, die hier de beweging eerst vertraagt en vervolgens opheft, is de tegenstand door het hout uitgeoefend; zij evenaart die, welke gevorderd werd om aan den kogel de onderstelde snelheid te geven.

En dient de kracht alleen om drukking voort te brengen, dan hebben wij insgelijks in hare uitwerking den maatstaf van hare hoegrootheid. Staat een gewigt van 50 pond op eene tafel en een van 25 op eene andere, dan oefent de eerste tweemaal zooveel kracht uit als de tweede.

De krachten verschillen niet alleen van elkander in hoegrootheid, maar ook in een ander opzigt. Wanneer een ligchaam zich beweegt, dan beweegt het zich in eene bepaalde rigting, en de reden, waarom het zich in die rigting beweegt en in geen andere, kan daarin alleen gelegen zijn, dat de kracht in die rigting op het ligchaam gewerkt heeft. Pijl en boog kunnen hier wederom ten voorbeeld strek-

ken, behalve een menigte overbekende spelen, het knikkeren, om er een te noemen; immers moet daarbij onze duim in een bepaalde rigting veëren, om den knikker in diezelfde rigting voort te stuwen. Wij onderscheiden de krachten dus ook naar hare rigting.

Wanneer aan een ligchaam twee touwen worden vastgemaakt, en er aan beiden tegenlijk in verschillende rigtingen getrokken wordt, dan beweegt het ligchaam zich niet in de rigting, waarin de kracht, die aan het eene touw trekt, het tracht te bewegen; ook niet in de rigting, waarin de andere kracht werkt, maar in een rigting die tusschen beide in ligt. Die rigting ligt juist midden tusschen de andere in, wanneer de beide trekkrachten even groot zijn; zijn zij daarentegen niet even sterk, dan zal de middenrigting nader bij die van de grootste kracht komen.

## VIII.

## Evenwigt. Traagheid.

Wordt een ligchaam door twee even sterke krachten, in tegenovergestelde rigtingen getrokken, dan komt het niet in beweging, dan zeggen wij dat het *in evenwigt* is.

Denken wij ons bijv. een' hond, dien wij met eenige moeite aan een touw terughouden, dan wordt er door den hond en door ons naar weërszijden even sterk getrokken aan dat touw, zonder dat het zich verplaatst, ziedaar dan evenwigt. Maken wij het touw, in stede van het langer in de hand te houden, aan een' ring in den muur vast, dan mogt het schijnen of het geval anders ware, en de hond alleen trok; maar dan moest het touw, daaraan gehoor gevende, in de rigting waarin de kracht wordt aangewend zich voortbewegen. Het is dus de ring, die nu doet hetgeen onze hand zoo straks deed, immers hij houdt nu den hond terug, en daar hij hem niet tot zich doet naderen, trekt hij, gelijk wij deden, juist even hard als de hond; het touw is wederom in evenwigt. Die benaming *evenwigt* is eigenlijk ontleend aan twee lichamen die elkaander opwegen, gelijk plaats zou vinden, als men aan de beide einden van een koord gelijke gewigten bond, en het

vervolgens over een rol henen sloeg; 't is klaar, dat het dan stil zou blijven hangen, en dat geen van beide gewigten zou kunnen doorschieten en het ander ophijschen, want ieder eind van het koord wordt wel door het gewigt dat er aan hangt omlaag, maar daarentegen door het ander gewigt juist evenveel omhoog getrokken.

Zijn wij gewoon alle verandering en beweging, die wij aan de stoffelijke voorwerpen waarnemen, aan krachten toe te schrijven, welke in de lichamen waarvan zij uitgaan huisvesten, alzo aannemende, dat de stof uit zich zelve niet in beweging komt, maar dat er altijd dergelijke oorzaken, die wij krachten noemen, voorhanden zijn, wij moeten die zoogenaamde *lijdelijkheid*, *werkeloosheid* of *traagheid* der stof evenzeer doen gelden, wanneer een ligchaam van beweging tot rust komt. Zoo min als een bal van zelf opvliegt, kan hij van zelf tot rust komen; zoo min als een wagen zonder aangewende kracht in beweging geraakt, kan hij stilstaan; ten zij wederom krachten hem daartoe nopen. Het schijnt echter daarmede anders gesteld te zijn. Komt toch een ligchaam dat in beweging is, enkel aan zich zelf overgelaten, niet meestal tot rust? Inderdaad het schijnt zoo, maar het is zoo niet, en er worden altijd wederom krachten vereischt, om die nieuwe verandering van toestand te doen ontstaan. Indien de beweging van het ligchaam door geen nieuwe krachten tegengewerkt wierd, bij dat ligchaam alleen zich bleef bepalen, en zich niet ook aan andere omringende lichamen mededeelde (hetgeen noodzakelijk met vermindering van snelheid gepaard gaat, want die omringende lichamen bieden daarbij tegenstand), dan bestond er geen reden, waarom de beweging niet onveranderd zou voortduren.

De pijl, die den hoog verlaten heeft, zou ongetwijfeld met zijne eens verkregen snelheid op zijn' regtlijnigen weg volharden en nimmer tot rust komen, bijaldien er niet terstond nieuwe krachten op aanvingen te werken. Die krachten zijn hier zwaartekrachten en de tegenstand der lucht. Zoodra is de pijl niet vrij, of hij begint te vallen; hij wordt aangetrokken door den ganschen aardbol, waarboven hij zich bevindt; hij moet telkens luchtdeeltjes op zijde

duwen, en hun dus iets van zijne beweging afgeven — en ziedaar de reden waarom hij vertraagt in zijne opschietende vaart, een' boog beschrijft en eindelijk op den grond nederkomt.

Bestond bij den voortrijdenden wagen dezelfde tegenstand der lucht niet, en ware er geen wrijving, zoo van de naven der wielen tegen de assen, als van hunne velgen en banden tegen den weg die bereden wordt, de wagen zou slechts eenmaal in gang behoeven te worden gebracht, en zonder ons verder toedoen blijven voortloopen. De paarden die men er voor spant moeten, even als de stoomtrekker voor den trein, aanvankelijk kracht aanwenden om de voertuigen zelve in beweging te zetten, maar daarna hebben zij alleen tegenstand der lucht en wrijving te overwinnen. Vandaar, dat het zooveel gemakkelijker gaat, als de weg effen en hard, dan als hij hobbelig en zandig is. De stoomtrekker zou zoo groot een' trein niet kunnen medevoeren als wij dikwijls zien, ware niet de weg eene ijzeren spoorbaan, en dus de wrijving gering.

Werpt men een steentje in het water, dan valt het in 't oog, hoe de bewegende deelen, terwijl zij zelve allengs tot rust komen, hunne bewegingen aan belendende waterdeelen overdoen, gelijk blijkt uit de zich al uitbreidende rimpels op het water. De bewegingen van elk deel worden daarbij des te kleiner, naar mate het aantal deelen die de beweging overnemen, grooter is.

Elke beweging van eenig ligchaam, die afneemt en verdwijnt, wordt in het ligchaam zelf opgeheven door nieuwe krachten die er op werken; in 't algemeen verdeelt en breidt zij zich uit over omringende lichamen. Allergewigtigst is die opmerking, en men kan zich van de waarheid daarvan niet genoeg overtuigen.

## EERSTE AFDEELING.

MEEST ALGEMEENE EIGENSCHAPPEN EN VERSCHIJNSELEN DIE AAN  
DE LIGCHAMEN WORDEN WAARGENOMEN.

### I.

#### Uitgebreidheid.

Stof, dit weten wij reeds, is datgene wat aan ons gevoel zich openbaart, door den tegenstand dien het biedt, door de belemmering die wij ondervinden, om de bepaalde ruimte in te dringen die het beslaat. In het denkbeeld van stof en stoffelijk voorwerp liggen dus noodzakelijk twee eigenschappen: die van eene zekere ruimte in te nemen, en die van andere stof te beletten, in diezelfde ruimte te dringen. Aan de eerste eigenschap geeft men den naam van *uitgebreidheid*, aan de tweede die van *ondoordringbaarheid*.

Elk ligchaam beslaat eene plaats, het heeft eene zekere grootte. Elk ligchaam is dus uit stofdeelen zamengesteld. Hoe groot de ingenomen ruimte zij, doet er niets toe; ook de kleinste lichamen beslaan eene bepaalde ruimte; ook de zandkorrel, de deeltjes van een fijn poeder, de lichaampjes die in den zonnestraal zweven, hebben uitgebreidheid. Die ruimte kan zóó klein zijn, dat wij de lichamen met het bloote oog niet meer vermogen te erkennen; maar dan behoeven wij ze slechts door een vergrootglas te zien, om gewaar te worden, dat zij evenzeer lengte, breedte en hoogte of dikte hebben als de grootere lichamen.

Wanneer twee lichamen evenveel ruimte innemen, zeg-

gen wij, dat zij gelijken *inhoud* hebben, ook wel dat zij *even groot* zijn. Dit laatste beteekent echter somtijds alleen, dat zij even lang zijn. Twee menschen kunnen even lang zijn, en daarbij niet even dik, alsdan noemt men ze even groot, en toch is het zeker, dat hunne lichamen niet evenveel ruimte innemen. Wij houden ons aan de zoo even opgegeven meer algemeene beteekenis, en zeggen: een ligchaam is driemaal zoo groot als een ander, wanneer het driemaal zooveel ruimte inneemt, of, wat hetzelfde beduidt, driemaal zooveel uitgebreidheid heeft. Zoo heeft een groote dobbelsteen die twee duimen hoog, breed en dik is, achtmaal zooveel uitgebreidheid als een van gewone grootte, van één' duim namelijk. Immers als ik hem midden doorzaagde, zou ik twee stukken van de gewone breedte verkrijgen, maar die nog de dubbele hoogte en dikte behielden. En als ik elk van de twee stukken wederom ter helft afsnam, zou ik er vier hebben, waarvan nu nog maar alleen de dikte het dubbel bedroeg van een' duim. Eene derde doorzaging zou mij eindelijk acht dobbelsteenen van de gewone grootte geven. Die ruimte welke een duims-dobbelsteen inneemt, plagt men ook wel een' cubieken duim te heeten, waarmede men nimmer een' zoogenaamden vierkanten duim of duim in 't vierkant mag verwarren. Men zou dus de uitgebreidheid van den grooten dobbelsteen ook kunnen aanduiden met te zeggen: twee duim in 't cubiek, en daarvan kunnen opgeven, dat zij gelijkstaat met acht cubieke duimen. Men zal nu tevens begrijpen wat eene cubieke palm of el beteekent; dat eene kubieke palm duizend cubieke duimen, en eene cubieke el duizend cubieke palmen of duizendmaal duizend, dat is, een millioen cubieke duimen bevat.

Een liniaaltje voor evenwijdige lijnen van één' duim breedte en dikte, en vijf palmen lengte, zal blijkbaar vijftig cubieke duimen uitgebreidheid of inhoud hebben.

Denken wij ons nu eens eene plank, die twee duimen dik, twee palmen breed en drie ellen lang is, zoo zal de mogelijke verdeling in duims-dobbelsteenen ons gemakkelijk overtuigen, dat de ruimte die zij beslaat  $2 \times 20 \times 300 = 12000$  cubieke duimen houdt, of 12 cubieke ellen. In 't algemeen leert ons de meetkunde, dat om van

dergelijk een balkvormig ligchaam den inhoud te berekenen in cubieke eenheden, men enkel de getallen die de lengte, breedte en dikte in de eenheid van maat uitdrukken, met elkander vermenigvuldigen moet. De meetkunde stelt ons daarenboven in staat om, ook wanneer de lichamen zoodanige verdeling in geheele of gedeelten van dobbelsteenen bezwaarlijk of in 't geheel niet toelaten, toch hunnen inhoud te bepalen. Zoo kan men bijv. van een' biljartbal en een' knikker, beiden van matige grootte, aantonen, dat de eerste nagenoeg twintigmaal zooveel inhoud heeft als de laatste, en, als de biljartbal juist 5 duimen middellijn heeft, bijna  $65\frac{1}{2}$  cubieke duimen moet bevatten.

Ten opzichte van de hoegrootheid, is er een verbaazend verschil tusschen de lichamen die de natuur ons aanbiedt, gelijk reeds blijkt, als wij de geheele aarde met de enkele lichamen die zich daarop bevinden vergelijken. En toch is de aarde geenszins het grootste ons bekende ligchaam, maar zij wordt door de zon, zoo als wij later zullen zien, ver overtroffen. De lichamen die zich op de aarde bevinden, verschillen te dezen aanzien onderling nog weder evenveel, als de grootste hunner, met de geheele aarde vergeleken. Hoeveel ruimte beslaat niet een volwassen olifant in vergelijking van een' mensch, een mensch weder met betrekking tot een vlieg; en toch is de vlieg nog een ontzaggelijk groot dier, wanneer wij ze vergelijken met de kleinste bekende onder de zoogenaamde afgietseldiertjes, die men niet dan met een sterk vergrootglas kan ontwaren.

Wij leeren hieruit, dat de woorden *groot* en *klein* alleen eene betrekkelijk bepaalde beteekenis hebben; dat wij een ligchaam niet groot kunnen noemen, dan wanneer wij het met een ander vergelijken. Eene molhoop is voor een mier een tamelijk hooge berg. Willen wij ons dus duidelijk uitdrukken, zoo moeten wij bij 't spreken over het groot zijn van voorwerpen, altijd dat andere voorwerp er bij noemen, waarmede wij ze vergelijken; of degene tot wien wij spreken, moest reeds te voren weten, welk ander voorwerp wij bedoelen. zoo als dat in 't dagelijksch leven meestal het geval is.

## II.

## Gedaante.

De ruimten welke de verschillende lichamen innemen, zijn niet alleen verschillend in *grootte*, maar ook in *gedaante* of *vorm*. Wanneer wij een' houten dobbelsteen die een palm lang, breed en hoog is, doormidden zagen, en de beide helften weder aan elkander vastlijmen, dan is hij in een langwerpig ligchaam veranderd, dat 2 palm lang, 1 palm breed en  $\frac{1}{2}$  palm hoog is. De ruimte die nu door het ligchaam wordt ingenomen, is even groot gebleven, maar de gedaante is veranderd. Omgekeerd kunnen twee lichamen gelijke gedaante hebben, en toch zeer in grootte verschillen. Een voorbeeld hiervan hebben wij reeds gegeven in den biljartbal en den knikker, die beiden volkomen rond zijn, die beiden ballen zijn, maar waarvan de eerste veel grooter is dan de laatste. Maken wij van klei een' bal van een pond gewigt, dan kunnen wij dien bij weging verdeelen in acht stukken, die ieder  $1\frac{1}{4}$  ons zwaar zijn, en van die stukken kunnen wij weder kleinere ronde ballen maken, die wij dan zullen bevinden, dat juist half zoo groot zijn in middellijn, als de groote bal.

Ten opzichte der gedaante kunnen wij de lichamen in drie soorten verdeelen: in die welke zeer lang zijn in vergelijking van hunne breedte en dikte, zoo als dunne draden, staven, balken; in die welke eene groote lengte en breedte hebben bij weinig dikte, zoo als een vel papier, een stuk linnen, eene dunne ijzeren plaat; en in die waar lengte, breedte en dikte niet of niet veel van elkander verschillen, zoo als een kogel, een teerling, een dier, een huis, een steen, enz.

Door allerlei bewerkingen, door snijden, slijpen, vijlen, draaijen, boren, smeden, pletten, trekken, geven wij aan de stoffen eene bepaalde gedaante en grootte. Maar vele lichamen hebben van zelve, zoo als men zegt, eene bijzondere gedaante, ook zonder dat zij eenigerhande kunstbewerking hebben ondergaan. Die gedaante is voor sommige altijd dezelfde, en daardoor een kenmerk om de eene soort van de andere te onderscheiden. Dat is het geval met

dieren en planten: elk van deze heeft eene eigenaardige gedaante, welke bij dieren van dezelfde soort en bij planten van dezelfde soort steeds dezelfde is. Maar ook bij de niet levende lichamen vinden wij daarvan vele voorbeelden, bijv. bij zout, suiker en aluin. Wanneer wij het grove zout, dat nog niet fijn gestampt is, van nabij bezien, dan merken wij op, dat het eene gedaante heeft die zamengesteld is uit een menigte teerlingen of dobbelsteenen, altijd op dezelfde wijze met de scherpe kanten aan elkander verbonden. Aluin vertoont zich onder eene andere, ofschoon ook regelmatige gedaante. Zoo ook suiker, gelijk de standvastige vormen van de zoogenaamde klontjes aanwijzen. Wanneer men keisteenen die een hollen klank hebben, doorslaat, vindt men inwendig somtijds ook regelmatige vormen. Waar diezelfde soort van lichamen in den natuurstaat gevonden worden, hebben zij altijd dezelfde vormen, niet altijd dezelfde grootte, en omgekeerd zien wij dien eigen' vorm van zout bijv. alleen bij zout, nimmer bij suiker of aluin.

Nog hebben die eigenaardige vormen iets bijzonders, dat zij namelijk, ofschoon niet door kunst gemaakt, altijd door zuiver platte vlakken begrensd zijn; men noemt zulke regelmatige platvlakkige natuurligchamen *kristallen*.

Bij water, olie, bier, azijn en dergelijke zien wij dikwerf regelmatige ronde of langwerpige ronde vormen: wij noemen die druppels. Zij vertoonen zich alleen bij kleine hoeveelheden; grootere hoeveelheden hebben zelden eene zelfde gedaante.

### III.

#### Ondoordringbaarheid.

Een tweede kenmerk der stof is de *ondoordringbaarheid*. Men verstaat daaronder, dat waar de stofdeelen van één ligchaam zich bevinden, niet te gelijker tijd die van een ander ligchaam kunnen zijn. Leg ik een boek op de tafel, dan kan ik daar wel een tweede boek boven op, of naast aan leggen, maar ik kan het niet in dezelfde ruimte brengen waar het eerste ligt. Waar de eene mensch staat, kan niet op hetzelfde oogenblik een ander mensch staan.

Is die ondoordringbaarheid wezenlijk eene eigenschap van alle stof? Er zijn verschillende gevallen, waarin twee lichamen tegelijk op dezelfde plaats schijnen te zijn. Wanneer ik een' priem in een stuk hout steek, of een' spijker in een plank sla, dan schijnen priem, of spijker, en hout gelijktijdig op dezelfde plaats te zijn. Dat is intusschen niet het geval. Waar de spijker zich nu bevindt, waren te voren wel deelen van het hout, maar op 't oogenblik zijn die daar niet meer; zij zijn ter zijde gedrukt. Dat blijkt, wanneer men een paar rechte krijtstrepen op het hout trekt, en daar tusschen in den spijker slaat; want dan ziet men, dat de strepen krom zijn geworden, hetgeen aantoonst dat sommige houtdeelen ter zijde zijn uitgeweken. Hout en spijker zijn dus niet te gelijker tijd op dezelfde plaats, maar het eene gaat uit den weg, en dan neemt het andere die ruimte in. Zoo gebeurt het omgekeerd, dat als het tweede ligchaam weggenomen wordt, het eerste zijne vorige plaats herneemt. Steek bijv. een stokje in het mulle zand, en haal het er vervolgens weder uit: van stonden aan heeft de opening zich van nieuws gesloten. Trek eene kurk van eene flesch, die er stevig op zat, de kurk is dadelijk dikker geworden; zij heeft eene ruimere plaats ingenomen, dan waartoe het inwendige van den hals, waar zij met kracht was ingestampt geworden, haar beperkt had.

Somtijds echter moeten wij wel erkennen, dat twee lichamen tegelijk in dezelfde ruimte zich bevinden, wanneer wij bijv. water op hout druppelen of op steen; wij zijn dan zelfs gewoon te zeggen: het water dringt in het hout, in den steen in. Hier althans zouden wij niet zeggen, dat de hout- of steendeelen uit hunne plaats gaan, om ruimte te maken voor de waterdeelen, en toch levert ook dat bij naauwkeuriger toezien geen' grond, om uitzonderingen te maken. Hetgeen hier plaats heeft is inderdaad niet anders dan wat wij duidelijker bij eene spons kunnen waarnemen. Als daar water op druppelt, begrijpen wij dadelijk, dat dat water zich plaatst in de holten, die er tusschen de sponsdeelen in zijn, en dat dus spons- en waterdeelen niet dezelfde ruimte innemen. Zoo zien wij ook aan het hout, bij naauwkeurig onderzoek, dat er ledige tusschenruimten

tusschen de houtdeelen zijn, en wij begrijpen, dat het water zich daarin plaatst. Maar bovendien, de houtdeelen gaan waarlijk uit den weg voor die van het water. Ieder weet, dat hout, als het nat wordt, opzwellt, dat is, dat het meer ruimte inneemt dan toen het droog was. Bij vochtig weder klemt eene houten deur, omdat zij breeder geworden is, en dus niet meer past in het kozijn. Bij droogte, gaan de vochtdeelen weër uit het hout; dan krimpt het op nieuws, de houtdeelen komen weër digter bij elkander, en herneemen hunne vorige plaats.

Bij steen evenwel kunnen wij niet altijd tusschenruimten bemerken, en daar dringt water toch ook in. Dikwerf valt dat reeds aan de kleurverandering van den steen te zien, als hij nat wordt, wanneer het bijv. op een stoep of tegen een' paal regent. Doch het blijkt ook op andere wijzen. Wanneer wij een droog stuk gebakken steen nemen, dat drie oncen weegt, en wij laten er langzaam  $\frac{1}{2}$  lood water op druppelen, zoo zal er niets van dat water afloopen, het is er dus ingetrokken. Wegen wij nu den steen, zoo vinden wij hem inderdaad  $\frac{1}{2}$  lood zwaarder geworden; verwarmen wij hem dan sterk, zoo zien wij er het water weder als wasem uit voor den dag komen. Dat er dus werkelijk water in dezelfde ruimte geweest is waarin de steen was, is zeker; maar wat moeten wij nu hieruit besluiten? of dat steen ook ledige tusschenruimten heeft, maar zó klein, dat onze oogen niet scherp genoeg zijn om ze te zien; of dat steendeelen niet ondoordringbaar zijn, en dat ondoordringbaarheid dus geen eigenschap van alle stof is. Doch zou water wel een ligchaam zijn? Wij zijn niet gewoon er dien naam aan te geven, omdat de waterdeelen niet aan elkander vastzitten. En als water geen ligchaam is, dan vervalt de zwaarigheid van zelve. Voor wij dus verder gaan, dienen wij ons daarvan wél te overtuigen. Maar water heeft inderdaad die eigenschappen, welke wij hierboven aan een stoffelijk voorwerp toekenden. Wij behoeven maar met de vlakke hand tegen het water eene snelle beweging te maken om te voelen, dat het ook tegenstand biedt, dat het op onzen tastzin werkt even als hout en steen en metaal.

Dat water eene ruimte inneemt, zoodat geene andere stof-

deelen in die ruimte zich tegelijk kunnen bevinden, blijkt ook wanneer wij er een ligchaam indompelen; de waterdeelen wijken dan ter zijde, hetgeen zich het duidelijkst vertoont, als wij er fijn poeder, asch bijv., op gestrooid hebben; de aschdeelen, die op het water rusten, gaan dan zichtbaar naar den kant. Ook wanneer het water troebel is, kunnen wij enkele deelen in hunne beweging met het oog volgen. Maar alle twijfel wordt weggenomen, als wij een glas tot aan den rand volschenken, en er dan nog eenige kleine lichamen, stukjes geld bijv., in brengen. Doen wij dat schielijk, zoo loopt het water over; maar ook al gaan wij daarbij zeer behoedzaam te werk, zoodat er geen water uitloopt, zoo zien wij toch dat het water rijst, en tot eene merkbare hoogte boven den rand bel gaat staan. Dat het zelfs voor nog kleiner ligchaam, hetwelk er in gebragt wordt, wijkt, kunnen wij zien, wanneer wij water gieten in een fleschje met een' zeer naauwen hals, en het er zoo ver mede aanvullen totdat het in den hals staat; brengen wij er dan bijv. een klein steentje in, zoo zal het uitwijken van de waterdeelen, die voor het steentje plaats maken, hieraan blijken, dat het water hooger gaat staan in den hals van het fleschje. En omgekeerd leert ook de proef, dat in water 't welk niet uitwijken kan, een ander ligchaam niet kan ingebracht worden, vermits het water dan zeer krachten tegenstand biedt, zoodat zelfs de vrij dikke wanden van een kanon bezweken, zoodra men het daarin opgesloten water tot op minder dan  $\frac{1}{20}$  van de ruimte die het oorspronkelijk besloeg, wilde zamenpersen.

Het is dus zeker, dat water, niet minder dan steen, een ligchaam is; en van andere vochten, zoo als bier, wijn, olie, azijn, blijkt dat op dezelfde wijze, als wij er soortgelijke proeven op doen.

Er zijn nog veel fijnere stoffen dan water, die insgelijks den naam van lichamen verdienen. Daartoe behooren lucht en andere dergelijke zelfstandigheden die, omdat zij met de lucht veel overeenkomst hebben, den naam dragen van *luchtsoorten*; men noemt ze anders gewoonlijk *gassen*.

Lucht kan zichtbaar gemaakt worden op meer dan eene wijze. Wanneer wij eene spons, zonder ze te knijpen, in eene

kom met water dompelen, zien wij uit de spons, door het water heen, luchtbellens opborrelen, die zich als kleine ronde blaasjes vertoonen. Wanneer wij een leë fleschje, met den hals naar beneden, in water dompelen, en het dan in dier voege omkeeren, dat het geheel in 't water blijft, maar dat de hals hooger dan de buik van het fleschje komt, zoo zien wij insgelijks de lucht in eene reeks van bellen uit het fleschje naar boven gaan. Nog duidelijker worden wij dat gewaar, wanneer wij een bierglas in water het onderst boven keeren, zoodat het vol water loopt; het vervolgens omgekeerd naar boven ophalen, maar zóó, dat de rand onder water blijft, en dan weder het ledige fleschje in het water dompelen, even als straks, en den hals onder het bierglas brengen. Wij zien dan de luchtbellens uit het fleschje opstijgen in het bierglas, het water daaruit nederzakken en het fleschje zich met water vullen.

Lucht is ook voelbaar. Wanneer wij de hand spoedig heen en weder bewegen op een' geringen afstand van het geslacht, dan worden wij de lucht gewaar door een gevoel van koude. Blazen wij, met behulp van een' blaasbalg, dan wordt dat gevoel sterker. Is de lucht door andere oorzaken in beweging geraakt, of, zoo als wij zeggen, waait de wind, zoo is het wederom de lucht, die wij voelen. Ook door het gehoor worden wij hier, en in andere gevallen, de aanwezigheid van de lucht gewaar. Wij zeggen dan: de wind fluit, raast, of buldert; bij het eerste uitschenken van eene volle flesch hooren wij het geluid van de indringende lucht, het zoogenaamde klokken der flesch. Het bestaan van lucht als iets stoffelijks vordert, dat ook zij ruimte inneemt, en dat in dezelfde ruimte tegelijk met de lucht geen andere stofdeelen zich kunnen bevinden. Blaast men eene blaas op, en bindt die toe, neemt men ze dan tusschen beide handen en drukt er sterk tegen, dan voelt men, dat men de blaas niet kan ineenspersen, zoo lang de lucht ze van binnen vult. Maken wij echter, al is het maar door een' prik van een speld, eene kleine opening in de blaas, dan is het niet moeilijk, de blaas geheel plat te drukken; maar dan hooren wij ook onder het plat drukken de lucht door dat gaatje naar buiten stroomen, en voelen het het, wanneer wij ~~de blaas~~

*de blaas*

dig bij het gezicht brengen. Het was dus de tegenstand der lucht in de blaas, die het zamendrukken belette.

Neemt men een ledig fleschje met naauwen hals, en giet men daar water in, dan zien wij, als het ingieten wat spoedig geschiedt, dat water er niet in dringen maar grootendeels er buiten langs afloopen; het is omdat wij, door den hals met water te vullen, de lucht belet hebben naar buiten uit te wijken. Ook bij een' wijderen hals gebeurt hetzelfde dikwijls bij schielijk inschenken, wanneer wij er een' trechter op zetten, die juist in den hals past; maar ligten wij den trechter een weinig op, zoodat, terwijl het water door den trechter indringt, de lucht uit de flesch tusschen hals en trechter uitwijken kan, dan gaat het ingieten gemakkelijk en zonder overstorten.

Zoomin als wij vocht in eene ruimte kunnen gieten, waaruit de lucht niet vermag te ontwijken, kunnen wij vocht uit een naauwe opening uitschenken, als niet tegelijk lucht binnen kan komen. Als bij het theeschenken uit een' trekpot het deksel juist op den rand sluit, en er geen gaatje in het deksel is, wil de thee dikwerf niet uit de tuit loopen. Men moet dan zoo langzaam schenken, dat de tuit slechts ten deele door de uitlopende thee gevuld is, en er eene ruimte overblijft, om de lucht binnen te laten. Kan de lucht daarentegen door een gaatje in het deksel binnenkomen, of ligt men het deksel op, dan gaat het schenken veel spoediger.

Zelfs bij een glas met zeer wijde opening, kan men gewaarworden dat lucht water tegenhoudt. Wanneer men een bierglas in de lucht omkeert en regtstandig in water naar beneden brengt, dan zal men het water slechts even van onderen het glas zien inkomen. En dat het de lucht is die het water verhindert, wordt duidelijk, wanneer men dezelfde proef doet met een glas zonder, of met doorboorden bodem, waarover men eene blaas gebonden heeft. Dan gebeurt hetzelfde; maar prikt men in die blaas eene opening, zoo ziet men dadelijk de lucht in bellen opstijgen, en het water in het glas tot boven toe opklimmen.

Nog nader kan men zich overtuigen, dat er in een omgekeerd ondergedompeld glas lucht voorhanden blijft, die



zich door geen opklimmend water laat verdringen, als men er eene spons in brengt, die alsdan niet nat wordt, of een kaarsje, dat nog eenigen tijd blijft branden. Daarop berust de inrigting van de duikerklok en den duikerhelm.

Water en lucht zijn dus inderdaad, zoowel als hout en steen en ijzer, van stoffelijken aard, want zij zijn uitgebreid en bieden tegenstand.

## IV.

## Vervolg. Poreus- of IJlheid der Ligchamen.

Is water wezenlijk een ligchaam, en dringt water toch in steen en andere ligchamen in, zoo moeten wij in de tweede plaats, ten einde na te gaan of ook die stoffen inderdaad ondoordringbaar mogen genoemd worden, onderzoeken, of er tusschenruimten voorhanden zijn.

In sommige ligchamen ziet ons oog dadelijk ontelbare kleinere of grootere openingen, zoo als bij spons, zwam, kurk, puimsteen. Snijdt men een' houtstam of den stengel eener plant dwars door, dan ontwaart men in die doorsnede eene menigte openingen, zoodat, als men er een dun dwars schijfje van neemt, men er geheel doorheen kan zien. Wij begrijpen dus klaar, hoe het vocht in de planten van het eene deel naar het andere gaan kan. Andere ligchamen vertoonen eerst openingen, wanneer men ze onder een genoegzaam sterk vergrootglas brengt. Ook de menschelijke huid heeft zulke openingen, en hierdoor geschiedt de uitwaseming; haar aantal, bij een volwassen mensch, wordt geschat op 2,270000, door elkander van eene grootte die overdwars niet meer bedraagt dan  $\frac{1}{25}$  streep.

De oppervlakten der bladeren, vooral de onderste, vertoonen mede eene menigte openingen, die van haren eigenaardigen vorm en veranderlijke wijdte den naam van *mondjes* of *mondigen* hebben verkregen. Het blad van de gewone sering onderscheidt zich hier bijzonder: de bovenzijde vertoont niet van die openingen, men telt er daarentegen van onderen niet minder dan ruim 200 over eene uitgebreidheid van 1 vierkante streep.

In vele ligchamen vormen dus de stofdeelen geen volko-

men gesloten geheel, maar zijn sommige althans door grootere of kleinere tusschenruimten van elkander gescheiden. Het is derhalve niet onwaarschijnlijk, dat er ook in de overige ligchamen zulke openingen aanwezig zijn, ofschoon te klein om gezien te kunnen worden. Ja, blijkens eene andere waarneming, moeten wij zelfs veel verder gaan, en het er noodzakelijk voor houden, dat de stofdeelen elkander nergens eigenlijk aanraken. Denkt men zich een' teerling van het een of ander, waartegen gelijktijdig van alle zijden gedrukt wordt, dan neemt hij eene kleinere ruimte in dan te voren. Dat nu, zou niet mogelijk zijn, als de deelen zonder eenige tusschenruimten onmiddellijk aan elkander sloten; en deze eigenschap, van *zamendrukbaar* te zijn, vindt men bij steen, glas, metaal, met één woord bij eene menigte van die ligchamen, waarin op 't oog geen tusschenruimten ontdekt kunnen worden. Nog meer: wanneer men in den winter een' metalen draad neemt, de lengte daarvan in eene warme kamer nauwkeurig meet, en die meting herhaalt na den draad in de koude buitenlucht gebragt te hebben, dan bemerkt men, dat hij wat korter geworden is, hetgeen zich weder evenmin laat verklaren, als men niet aanneemt, dat, althans in den warmen draad, de deelen niet onmiddellijk aan elkander grensden.

Het is op deze laatste wijze, dat men ook voor water en lucht het bewijs verkrijgt voor ruimten tusschen de deelen. Heeft men eene wijde flesch met langen nauwen hals, waarop een kurk gedaan en door de kurk een glazen pijp gestoken is; laat voorts de flesch zoo ver met water gevuld zijn, dat het tot eene zekere hoogte in de pijp staat; brengt men vervolgens de flesch des zomers in een' kouden kelder, of zoo het winter is, uit de warme kamer in de koude buitenlucht, dan ziet men na korten tijd, dat het water in de pijp lager staat. Daar er nu niets uitgelopen is, zoo is het water ingekrompen, en dus moeten de stofdeelen digter bijeengekomen zijn, dan zij vroeger waren. Dat gebeurt nu ook met lucht, en wel in nog veel sterker mate, gelijk wij later zullen zien.

Tegen die zamendrukbaarheid staat eene andere alge-

meene eigenschap der lichamen over: *uitzetbaarheid*, dat is, de vatbaarheid om, hetzij door uitrekking of verwarming, grooter ruimte te beslaan dan aanvankelijk. Ook dat strekt ter bevestiging van het gestelde. Bijaldien toch de stofdeelen van een ligchaam zonder tusschenruimten vlak aan elkander sloten, zou de minste uitzetting van dat ligchaam de stofdeelen waaruit het is zamengesteld, van elkander losmaken, en dus hun onderling verband noodzakelijk verbreken.

Dat eigenaardige nu van den bouw of het samenstel der lichamen, dat de stofdeelen, waaruit zij bestaan, zich op grooter of kleiner afstand van elkander bevinden, is men gewoon *poreus-* of *ijlheid* te noemen. Alle lichamen zijn dus ijl, maar het eene meer, het andere minder.

Wij besluiten uit het aangevoerde, dat ook het indringen van water in steen een indringen in die tusschenruimten is, zoodat het genoemde verschijnsel met de ondoordringbaarheid der stof niet in strijd is.

Dat water of ander vocht door leër heendringt, kan ons nu in 't minst niet bevreemden. Daarbij gebeurt toch niet anders, dan wat er plaats heeft, als men water door linnen of katoen heenperst; het gaat door de openingen heen.

Wanneer wij in 't omgekeerde geval waarnemen, dat een vocht door een ligchaam heengaat, zoo is ons dat een proefondervindelijk bewijs, dat dat ligchaam kleine openingen heeft, al kunnen wij ze niet zien. Dat blijkt bijv. van palmhout, doordien wij met behulp van eene luchtpomp zelfs kwik er doorheen kunnen drijven. Zoo heeft men ook het bestaan van poriën in goud bewezen, doordien men een' gouden bal die met water gevuld was, heeft ingedrukt, ten gevolge waarvan zich op de oppervlakte wasem vertoonde. Trouwens een ieder weet, dat men een gouden voorwerp niet met kwik in aanraking moet brengen, omdat dit er jadelijk indringt, zoodat het goud, zonder den vorm op te offeren, er niet weër van kan gezuiverd worden; wederom een bewijs van poreusheid. Van het lood blijkt die eigenschap op dezelfde wijze nog duidelijker. Als men toch een stafje lood ombuigt, en over den rand van een glas met kwik hangt, zoodat het eene uiteinde in het

kwik is gedompeld, dan stijgt het er allengs in op, en druppelt eindelijk het andere uiteinde weër uit.

Uit hetgeen wij van de, ook in vochten aanwezige, tusschenruimten gezegd hebben, verklaren wij de volgende feiten:—

Werpt men in een lang smal glas, dat tot op zekere hoogte met water gevuld is, een weinig broodsuiker, dan ziet men eerst eenige luchtbelllen oprijzen, die van poriën tusschen de suikerdeelen getuigen. Zoodra dat nu heeft opgehouden, lette men naauwkeurig op de hoogte van het water in 't glas, en wachte voorts tot een goed deel der suiker, zoo niet alles, is opgelost geworden; men zal dan bespeuren, dat het water iets lager staat, waarvan wij deze reden geven, dat suiker de bestaande tusschenruimten tusschen de waterdeelen heeft ingenomen.

Vult men eene glazen buis op nagenoeg twee derde van de lengte met water, giet men vervolgens voorzigtig alcohol of wijngeest daarop, en sluit men eindelijk de buis met een kurkje of stopje, zoodat er bij omkeering of schudding niets kan uitlekken, dan zal, na vermenging der beide vloeistoffen, de ruimte die zij innemen, merkbaar minder bevonden worden, dan die zij aanvankelijk te zamen besloegen. Wij mogen het er voor houden, dat ook hier alcohol gedrongen is in de ruimten tusschen de waterdeelen, of water in de ruimten tusschen de wijngeestdeelen, of dat het een zoowel als het ander heeft plaats gevonden.

Nemen wij een stuk steen van eene bepaalde grootte, bijv. van een palm lang, hoog en breed, stampen wij dat tot poeder, en schudden wij dat poeder in een bakje dat juist ook een palm lang, breed en hoog is, dan worden wij gewaar, dat het steenpoeder er niet in kan, dat het nu meer ruimte noodig heeft dan vroeger. Dat wordt veroorzaakt, doordien er nu tusschen de steendeeltjes veel meer ruimten zijn, dan toen zij vroeger tot een' geheel verbonden waren, of dat er nu grootere tusschenruimten zijn dan vroeger. Door op het poeder te drukken, kan men de deelen wat digter oopenpakken, en te weeg brengen, dat zij kleiner ruimte innemen; maar het zal niet gelukken, de deelen weder zoo dicht bijeen te brengen, als zij waren toen zij als steen nog een geheel uitmaakten. De-

zelfde hoeveelheid stof beslaat inderdaad dezelfde ruimte als vroeger, maar nemen wij er de tusschenruimten bij, dan is de geheele ruimte grooter geworden; schijnbaar heeft het ligchaam meer uitgebreidheid of grootte verkregen. Wij moeten dus onderscheid maken tusschen de *wesenlijke* en *schijnbare* grootte van een ligchaam.

Hoezeer die schijnbare grootte soms verschillen kan, leert ons de ondervinding in het meten van stoffen bij de maat. Het schudden van een ton met turf, het tikken tegen een bakje met vogelzaad, maakt dat de turven of de zaadkorreltjes zich beter vlijen, de open vakken kleiner worden, en dezelfde ton meer turven, hetzelfde bakje meer zaadjes kan bevatten, dan men eerst zou meenen.

In het dagelijksch leven bepaalt men *hoeveelheden* nu eens door wegen, dan weder door meten. Als dezelfde hoeveelheid van een' zelfden aard altijd evenveel ruimte besloeg, zou het geen verschil maken, maar dat is er ver van af. Zou dus wegen niet wel de beste manier zijn om hoeveelheden te bepalen?

Nemen wij een ligchaam, waarin zich vele en groote openingen bevinden, bijv. een stuk hout dat niet van de dichtste soort is, en maken wij dat tot zaagsel, dan kunnen de deelen nu nader bijeengebragt worden, dan zij vroeger waren, zoodat het houtzaagsel minder ruimte inneemt, dan het stuk besloeg: wij zeggen dan, dat houtzaagsel grooter digtheid heeft dan hout. Steenpoeder daarentegen heeft minder digtheid of meer ijtheid dan steen.

Maakt men kurk fijn, dan vindt men, dat het kurkpoeder maar  $\frac{3}{4}$  van de ruimte van het kurk in zijn geheel beslaat; waaruit wij dus moeten afleiden, dat van de ruimte, die door een stuk kurk beslagen wordt, althans niet meer dan  $\frac{3}{4}$  door de kurkdeelen zelve wordt ingenomen, en dat  $\frac{1}{4}$  van die ruimte door de openingen wordt beslagen.

## V.

### De Deelen der Ligchamen.

De ligchamen kunnen niet alleen in deelen verdeeld worden; maar vele bestaan blijkbaar, terwijl zij nog in hun

geheel zijn, uit naast elkander geplaatste wel onderscheidbare deeltjes, die in de eerste plaats onze aandacht verdienen. Aan sommige ligchamen, gegoten ijzer bijv., onderscheiden wij korrels; aan gesmeed ijzer, vooral aan lei die doorgebroken wordt, vinden wij op elkander liggende plaatjes; hout vertoont vezels. Bij de zoogenaamde kristallen hebben die deelen, wij merkten dat reeds vroeger op, zelfs altijd een' eigenaardigen regelmatigigen grondvorm. Andere ligchamen, daarentegen, glas bijv., doen op de breuk geen dergelijke onderscheidbare deeltjes zien. Waar zij zich echter opdoen, houde men ze geenszins voor de uiterste of kleinste deelen, de eigenlijk gezegde stofdeelen, waaruit een ligchaam bestaat. Dat deze zeer veel fijner moeten zijn, blijkt als wij eens onderzoeken, in hoe veel en in hoe kleine deelen men door kunst een ligchaam wel verdeelen kan, met andere woorden, hoe ver de *deelbaarheid* gaat.

Er zijn vele bewerkingen die het verdeelen ten doel hebben. Koffij en rijst worden fijn gemalen; van hout komt door zagen zaagsel; steen wordt fijn gestooten en gestampt; het verfhout wordt geraspt; stoffen die reeds verdeeld zijn, worden door wrijven in nog kleinere deelen verdeeld. Zien wij nu, hoeveel kleine deelen men op eene van die manieren wel kan verkrijgen.

Nemen wij een stukje mahogany-hout dat 1 wigtje weegt, en snijden wij dat aan kleine brokjes, dan is het niet moeilijk het op die wijze in 1000 deelen te verdeelen; waren die deelen alle even zwaar, dan zou elk deeltje maar  $\frac{1}{1000}$  wigtje wegen. Het valt daarbij ligt te berekenen, hoe klein elk deeltje zijn kan, zoo wij aannemen dat zij alle van gelijke grootte zijn. Want een duims-dobbelsteen van mahoganyhout wordt bevonden iets meer te wegen dan een wigtje, zoodat een duizendste deel daarvan, dat is (vermits een cub. duim 1000 cub. strepen houdt) een dobbelsteen van een streep, iets meer zou wegen dan  $\frac{1}{1000}$  wigtje. Onze brokjes zullen dus slechts weinig kleiner zijn dan een streep in 't cubiek. Hadden wij derhalve het stukje hout, in plaats van het te snijden, fijngeraspt, dan mogen wij het er voor houden, dat het raspel althans nog duizendmaal fijner verdee-

ling oplevert; de deelen, nu millioenste deelen, zouden door elkander iets kleiner dan dobbelsteentjes of teerlingen zijn van  $\frac{1}{10}$  streep hoogte, breedte en dikte.

Merkwaardig is de deelbaarheid van metaal. Trekt men een rond zilveren staafje, dat vooraf verguld is, waartoe men niet meer goud gebezigt heeft dan een stukje van de grootte eens gewonen dobbelsteens, met kracht door eene opening, die een weinig kleiner is dan de dikte van het staafje, dan verandert het in een dunner en langer staafje. Gaat men hiermede voort, terwijl men steeds nauwere openingen neemt, dan heeft men gevonden, dat men op die wijze eindelijk een draad kan verkrijgen, altijd nog van verguld zilver, ter lengte van wel 400000 ellen. Die draad kan zó geplet worden, dat zij een lint oplevert van genoegzame breedte om eene verdeling toe te laten in weér vier smallere reepen. Die reepen kan men gemakkelijk knippen in eindjes van  $\frac{1}{10}$  streep, welke eindjes of plaatjes dan twee gouden oppervlakten vertoonen, waartusschen zich zilver bevindt. De mogelijkheid is hieruit gebleken, om een stukje goud, niet grooter dan een gewonen dobbelsteen, in 32000 millioenen deeltjes te verdeelen.

Wanneer men een zeer fijn poeder op een glaasje strooit, waarop ter wijde van een streep lijntjes zijn gescheden, dan kan men met behulp van een vergrootglas gemakkelijk over zulk eene wijde 100 poederkorreltjes naast elkander tellen; waaruit wij mogen afleiden, dat een vierkante streep er 10000 kan bevatten. Zulke kleine deelen zijn wij gewoon stofjes te heeten, maar daaronder moeten wij ons niet anders denken dan zeer kleine lichaampjes. Want wij hebben geen regt, om het er voor te houden, dat die zoogenaamde stofjes, al vermogen wij ze met het bloote oog nauwelijks te ontwaren, niet even goed holten en tusschenruimten zouden bevatten als grootere voorwerpen. Immers wij zien bij de verdeling, zoover als wij ons, door het vergrootglas en op velerlei andere manieren, kunnen overtuigen dat die gaat, aan de deelbaarheid der lichamen, ofschoon zij noodzakelijk wel ergens moet ophouden, nog volstrekt geen einde, en zullen dat waarschijnlijk wel nimmer zien. Van ongemeene deelbaarheid leveren

sommige verfstoffen een treffend bewijs op. Een stukje indigo, dat niet meer weegt dan  $\frac{1}{1000}$  wigtje, is in staat aan 10 kannen of ponden, dat is aan 10000 wigtjes water een zeer merkbare blaauwe tint mede te deelen. Eén wigtje water nu neemt geen kleiner plaats in dan een gewone duims-dobbelsteen; men zal zich dus die hoeveelheid gemakkelijk gescheiden kunnen verbeelden in 1000 deelen, en ziedaar dan  $\frac{1}{1000}$  wigtje indigo verdeeld in 10 millioenen deeltjes.

De reuk doet ons die deelbaarheid nog veel verder erkennen. Een klein stukje muskus in een ruim vertrek geeft er jaren achtereen een eigenaardigen geur aan, die zeer merkbaar blijft in weérwil van veelvuldige luchtverversching, en niettegenstaande er van het stukje haast niet afgaat, daar het gewigt bijkans hetzelfde blijft.

Maar als wij, met behulp van sterke vergrootingen, doordringen in de wereld van levende wezens die een enkelen druppel stilstaand water bewonen, ontwaren wij diertjes, zoo bovenmate klein, dat wij twifelen of een nog aanzienlijker vergrooting er ons welligt niet nog kleinere zou laten ontdekken, die nu onzen blik ten eenemale ontgaan. En onder degene die wij nog even waarnemen, zijn er van eene hoogst zamengestelde bewerktuiging. Onze verbeelding duizelt en verliest zich, als wij ons een begrip trachten te maken van de onvergelijkelijke fijnheid en vloeibaarheid der vochten, die hunne lichaampjes doorloopen; van de kanaaltjes, die ze doorlaten; van de vliesjes, die wederom het inwendige dier vaatjes bekleeden. Dan moeten wij de hoop wel opgeven, van immer met onze zintuigen de uiterste stofdeelen te kunnen bereiken, die voor geen verdere verdeling meer vatbaar zijn; die, zelve geen lichamen, de bestanddeelen zijn der lichamen. Die uiterste stofdeelen kan men zich niet meer met poriën denken, zij moeten volkomen digt zijn; want waren er nog holten of openingen in voorhanden, dan bestond nog altijd de mogelijkheid in onze voorstelling om ze vancen te scheuren, en dus op nieuws te verdeelen.

## Zamenhang van gelijksoortige Deelen.

Wanneer wij een ligchaam verdeelen, en de deelen weder op en naast elkander plaatsen, zoo als zij te voren gelegen waren, dan maken zij, te zamen genomen, weder hetzelfde uit wat wij te voren zagen; maar er bestaat dit verschil, dat de kleine lichamen niet meer aan elkander hechten, dat zij niet meer één geheel uitmaken. Nemen wij een der kleine lichamen op, dan blijven de andere op hunne plaats liggen; hadden wij datzelfde deel aangevat, toen het nog met de overige één ligchaam uitmaakte, zoo zouden wij bij het opligten daarvan ook de andere deelen opgeligt hebben. Dat aan elkander vastzitten der deelen is eene eigenschap van vele lichamen, van hout, van steen, van metaal, van glas, en wij noemen deze daarom *vaste lichamen*; bij andere worden wij *niet* gewaar, dat de deelen, die zich naast en boven elkander bevinden, in die mate aan elkander vastzitten; dit laatste is het geval met water, bier, melk, wijn, olie, azijn; aan dergelijke stoffen geven wij den naam van *vloeistoffen*. Wanneer wij een staafje in water dompelen, en het er weder uithalen, zien wij dat een druppel water aan het staafje blijft hangen; dat heeft zich dus van de overige waterdeelen afgescheiden, en het blijkt, dat de deelen van den druppel niet aan de overige waterdeelen vastzaten. *Vloeijen* noemen wij het gemakkelijk heenschuiven van de deelen van een ligchaam langs elkander; vandaar de benaming *vloeistof*.

Wat is de grond van dat verschil tussehen vaste lichamen en vloeistoffen? Waaróm gaan al de onderste deelen van een vast ligchaam mede naar boven, wanneer wij de bovenste opligten? met andere woorden, hoe komt het, dat al de deelen van zulke lichamen aan elkander vastzitten? Deze vraag dringt zich daarom niet aan ons op, omdat het verschijnsel zóó dikwerf voorkomt, dat wij, er aan gewoon geworden, geen bijzondere aanleiding vinden om er over na te denken. Ondertussehen, juist omdat het zoo dikwerf voorkomt, verdient het meer dan anders onze aandacht, en wij zullen zien, dat juist dat vastzijn der vaste lichamen

met vele andere belangrijke zaken in een naauw verband staat.

Een ligchaam gaat niet van zelf naar boven, maar in tegendeel, wanneer het door niets ondersteund, en ook niet vastgehouden wordt, gaat het naar beneden, of valt het. Als wij dus het bovendeel van een ligchaam opligten, en daarbij tegelijk het onderdeel zien naar boven gaan, dan moet er eene oorzaak zijn, eene kracht, die op dat onderdeel werkt; en dat er die inderdaad is, blijkt, wanneer wij in elke hand een der deelen van het ligchaam nemen en ze van elkander trachten te scheiden. Wij worden dan gewaar, dat er kracht toe noodig is; er moet dus wederkeerig eene kracht in het ligchaam zijn, die de deelen aan elkander verbindt en die overwonnen moet worden door de grootere kracht, welke de hand uitoefent; die kracht, welke een ligchaam vast doet zijn, noemt men *kracht van zamenhang*.

De kracht onzer handen is groot genoeg, om een' dunnen katoenen draad door trekken in tweeën te scheiden, een zeer dun touwtje insgelijks; neemt men daarentegen koord, dan gaat het reeds moeilijker, en een dik touw vordert daartoe eene nog veel grooter kracht, 't geen ons niet kan bevreemden, want er moeten hier veel meer deelen van elkander gescheiden worden. De kracht ook die vereischt wordt, is zeer verschillend, naar mate men vele deelen tegelijk, of het een na het ander wil losmaken, waarvan men zich klaar kan overtuigen, met bijv. een blad papier óf te verscheuren, óf uiteen te trekken. Ten einde de kracht, die noodig is om een touw vaneen te trekken, van nader bij te leeren kennen, kan men het aan een' haak bevestigen, en er dan al meer en meer gewigt aan hangen. Hoe dikker het touw is, des te meer zal het kunnen houden. Gaat men voort met er meer gewigt aan te hangen, dan zal eindelijk het touw breken. Nemen wij nu in plaats van een dik touw eene ronde houten staaf van gelijke dikte, en hangen wij daar ook gewigt aan, dan zal ook daar hetzelfde gebeuren, maar het noodige gewigt zal grooter of kleiner zijn dan bij het touw. Doen wij dezelfde proef bij allerlei lichamen, en nemen wij altijd gelijke dikten, dan vinden wij dat

alle, ook de stevigste, ten laatste loslaten; dat het daartoe noodige gewigt verschillend is, naar mate van den aard van 't ligchaam; dat dus de kracht van zamenhang, bij verschillende lichamen, niet even groot is. Veel gewigt is noodig bij ijzer, minder bij koper, nog weër minder bij hout; zeer weinig zamenhang hebben klei, was en dergelijke. Hoe grooter de zamenhang is, des te meer kracht moeten wij ook bezigen, om de deelen op de eene of andere wijze vaneen te scheiden, om een ligchaam door te snijden, of in stukken te hakken, of in tweeën te zagen. Welk een verschil is er niet tusschen de kracht die noodig is om een stuk gerookt rundvleesch, of spek; om een brood, of een' even grooten klomp boter door te snijden! Bij vloeistoffen is daar geen voelbare kracht toe noodig; evenwel ook bij de vloeistoffen vinden wij, dat de deelen nog eenigen merkbaaren, hoewel niet grooten zamenhang hebben. Nemen wij eene balans, aan welker eenen arm een schaal hangt, en aan den anderen een plaat, en brengen wij schaal en plaat in evenwigt, door aan een van beide zijden zooveel gewigt op te leggen als daartoe noodig is; plaatsen wij dan daaronder eene kom met water, die wij vullen totdat het water van onderen de plaat aanraakt, en leggen wij vervolgens kleine gewigtstukjes op de schaal, dan zal deze, ondanks dat zij nu zwaarder is dan de plaat, niet doorslaan, de plaat blijft blijkbaar als aan het water kleven. Maar gaat men nu voort met gewigtjes op de schaal te leggen, dan zal eindelijk de schaal doorslaan en de plaat van het water losraken. Men zal echter tevens waarnemen, dat aan de plaat eene laag vocht is blijven hangen, en dat dus het overwigt dat in de schaal gelegd werd, niet de plaat van het water, maar water van water heeft losgerukt.

Dat de vochtdeelen elkander met eene, al is het dan ook niet groote kracht vasthouden, blijkt mede uit het ontstaan van *druppels*. Wanneer onder aan een pijpje een druppel blijft hangen, dan kunnen wij dien druppel in onze voorstelling in een onderste en bovenste deel verdeelen, en vragen: waarom blijft dat onderdeel aan het ander hangen? waarom valt het niet naar beneden zoo als

andere lichamen doen, die niet ondersteund worden. De reden daarvan kan geen andere zijn, dan dat de deelen elkander vasthouden. Eerst wanneer de druppel groot wordt, wanneer het gewigt van het onderdeel grooter is dan de kracht van zamenhang die het aan het bovendeel verbindt, valt het af; waarbij het merkwaardig is, dat dat onderdeel, zoodra het van het ander afgescheiden is, van zelf weder eene ronde gedaante aanneemt. Is de kracht van zamenhang bij verschillende vaste lichamen niet even groot, zij verschilt ook bij de vochten in sterkte, hetgeen blijkt uit de ongelijke grootte der druppels van water, wijngeest, olie, azijn en andere vloeistoffen, die onder gelijke omstandigheden zich vormen. Zoo zijn bijv. de wijngeestdruppels altijd kleiner dan de waterdruppels, wanneer men ze bij een' zelfden warmtegraad en geheel op dezelfde wijze laat ontstaan.

Wij zien dus, dat vloeistoffen tot zekere mate met vaste lichamen de eigenschap gemeen hebben, dat de deelen elkander vasthouden, en dat die kracht bij de vaste lichamen slechts grooter is dan bij de vochten. Er zijn dan ook stoffen die den overgang tusschen beiden uitmaken. Boter is in den winter, en ook des zomers wanneer het niet al te warm is, een vast ligchaam; maar wordt het zeer warm, dan smelt de boter, zij gaat over in eene vloeistof; het juiste oogenblik waarop zij van vast vloeibaar wordt, is niet wel nauwkeurig aan te geven. Siroop is een ander voorbeeld van zulk een' tusschentoestand. Bij groote warmte is zij vloeibaar gelijk water; zij vormt ronde druppels bij het uitschenken, maar in de koude wordt zij *half vloeibaar*, zij laat zich nog even schenken, maar vormt in stede van druppels lange draden. Hetzelfde is het geval met honig. Zoo als hier de deelen aan elkander blijven hangen, doen zij het ook aan de vingers, wanneer men ze aanraakt, zij *kleven*; de half vloeibare stoffen zijn daarom te gelijk *kleverig*. Wanneer men een ligchaam in water steekt, en daardoor een' kuil er in maakt, maar vervolgens dat ligchaam er weder uittrekt, dan hernemen de waterdeelen terstond hunne plaats, en het oppervlak is weër effen. Bij eene halfvloeibare stof daarentegen kan men, door er een' vinger in te

steken, een deukje of kuiltje maken dat eenigen tijd blijft, en eerst langzaam verdwijnt.

Diezelfde kracht die de deelen van een ligchaam bij elkander houdt, is ook de oorzaak, dat deelen, die op een afstand van elkander zijn, weder digter bijeenkomen. Bij de vaste lichamen zien wij dat, als wij een ligchaam uitgerekt hebben en het daarna loslaten, het krimpt dan van zelf weder in; de deelen gaan naar elkander toe, zonder dat wij ze door drukking digter bijeenbrengen. Vele vaste lichamen verkeeren, zoo als wij later zien zullen, in dat geval. Bij de vochten zien wij dat ook, en wel bij die stoffen welke wij half vloeibare noemden. Wanneer men siroop met een' dunnen straal laat uitloopen, ziet men, als die straal wat dik wordt en het onderdeel zich afscheidt en naar beneden valt, het bovendeel naar boven opkrimpen, en zich weder zamentrekken tot een' veel korteren draad of langwerpigen druppel; de deelen zijn daarbij digter bij elkander gekomen. Een verschijnsel van gelijken aard is het volgende. Wanneer men op een verglaasd bord of schoteltje een weinig water uitwrijft, dan ziet men dat water dikwerf, zoo als wij zeggen, optrekken; d. i. de waterdeelen, die in een dun laagje verspreid waren, vereenigen zich tot een laagje van minder omvang, maar van meer dikte. Ook dat kan aan geen andere oorzaak worden toegeschreven dan aan eene kracht, die de waterdeelen als 't ware naar elkander toe trekt.

Dat digter bijeenkomen der deelen, dat van zelf inkrimpen gebeurt intusschen bepaaldelijk, wanneer de onderlinge afstanden der deelen altoos uiterst gering blijven. Als wij een stuk hout doorsnijden, en de twee stukjes op een' afstand van  $\frac{1}{10}$  streep naast elkander leggen, zien wij ze niet naar elkander toegaan, en dat heeft geen plaats al liggen zij op een zeer glad oppervlak, waar zij gemakkelijk overheen kunnen glijden. Ook al hangen wij ze naast elkander ieder aan een' draad op, zoodat zij weér zeer digt bij elkander komen, dan gebeurt het evenmin. Zelfs al mogten wij de deelen weder op elkander leggen, oogenschijnlijk juist zoo als zij te voren hebben vastgezeten, dan zouden zij zich toch niet weder tot een geheel vereenigen, ofschoon hun afstand nu nog veel kleiner dan  $\frac{1}{10}$  streep is; die zeer kleine afstand

is dus nog te groot, om de kracht waarvan wij spreken werkzaam te doen zijn. Bij andere stoffen zien wij hetzelfde. Als wij, door de stukken tegen elkander te drukken, de deelen nog digter bijeenbrengen, blijven zij toch meestal niet aan elkander hangen. Dat gebeurt intusschen somtijds, bij een stuk lood bijv., dat versch doorgesneden is, en waarvan men de doorsneden tegen elkander drukt; en best gelukt het bij elasticke gom, waarvan de deelen daarna dikwerf weder even vast aan elkander zitten, alsof zij volstrekt niet gescheiden geweest waren, mits men zorge, de doorgesneden stukken versch weder bij elkander te brengen.

Ook bij andere vaste stoffen intusschen zijn verschillende bewerkingen mogelijk, waardoor de deelen tot een geheel vereenigd worden, zoo als hameren en smeden. Door de groote kracht worden hier de deelen zoo digt bijeengebragt, dat zij eindelijk weder zamenhangen. Bestond er geene kracht van zamenhang, dan zouden wij met die bewerkingen het beoogde doel niet bereiken; het is dus hier niet het hameren of smeden dat die uitwerkingen voortbrengt, daardoor wordt alleen aan die kracht gelegenheid gegeven om datgene te doen, wat ons zonder haar ondanks alle moeite niet zou gelukken. Hoe belangrijk is dus voor den mensch het bestaan dier kracht! Waar zij zich niet uit, helpt ons werken niet; de smid weet, dat verroeste ijzerdeelen onderling niet vasthouden, hoe hard hij ze op elkander drukt. Ook bij vochten zien wij iets dergelijks. Als twee waterdruppels op een glad oppervlak, bijv. op een stuk glas, zeer digt bijeengeschoven worden, zien wij ze plotseling ineenvloeijen en een' grooteren druppel vormen; men kan dat zelfs meermalen herhalen, en daardoor een' steeds grooteren druppel maken.

## VII.

### Zamenhang van ongelijkscoortige Deelen.

Niet alleen gelijksoortige deelen, maar ook *ongelijksoortige*, werken op elkander, of, gelijk men zich uitdrukt, trekken elkander aan. Wanneer men de hand in water steekt en ze er weér uithaalt, dan blijven er waterdeelen aan

de hand hangen; er moet dus eene aanhechting plaats hebben tusschen de huid en het water.

Het is eene bekende eigenschap van een aantal vloeistoffen, dat zij aan vaste lichamen blijven hangen; wij zeggen dan, dat die lichamen nat worden; wij zien dat bij hout, steen, metaal, als het in aanraking gebragt wordt met water, wijn, bier, melk, azijn, enz. Er zijn echter ook gevallen, waarin het niet gebeurt. Als het oppervlak van een lichaam met eene vette stof besmeerd is, blijft er geen water aan hangen; zoo is het ook bekend, dat de veeren der watervogels niet nat worden in het water.

Die onderlinge aantrekking van ongelijksoortige stoffen is weder eene hoogst belangrijke eigenschap. Zij komt veelvuldig in het dagelijksch leven voor; dikwijls trekken wij er nut van; zij maakt het verbinden van verschillende lichamen tot een geheel mogelijk, hetgeen wij kennen onder den naam van lijmen, plakken, metselen. Wij brengen de stoffen maar los op elkander; de twee steenen met eene laag verschen kalk er tusschen maken aanvankelijk geen geheel uit; eerst na verloop van een langer of korter tijd worden wij gewaar, dat zij inderdaad tot één geworden zijn. Er heeft dus eene werking der steen- en kalkdeelen plaats, en was die werking er niet, dan zou hetgeen wij menschen er aan mogten doen, niets baten; de steenen zouden geen muur, de muren geen huis worden: al wat wij er aan verrigten, komt enkel hierop neder, dat wij de stoffen in een' toestand brengen, waarin de kracht van zamenhang kan werken.

De genoemde werking vindt vooral dikwerf plaats tusschen vaste lichamen en vochten. Wanneer men een glas voorzigtig inschenkt, kan men daarmede voortgaan totdat het water boven den rand uitsteekt, zonder dat het overloopt. Het is duidelijk, dat het glas het water terughoudt. Wanneer water in eene kom in rust is, staat het overal even hoog of waterpas, behalve aan den rand, maar wanneer men een glazen buisje, dat 1 streep breed, en onder en boven open is, in water steekt, dan zien wij het water daarin opklimmen en eene zekere hoogte bereiken, die hooger is dan die waarop het water er rondom staat, en omstreeks 3 dui-

men bedraagt; bij wijdere buisjes gaat die opklimming niet zoo ver, bij naauwere nog verder. Een dergelijk verschijnsel zien wij, als wij, in plaats van een buisje, twee vlakke en behoorlijk gereinigde glazen platen bezigen en die zoo aan elkander brengen, dat de randen aan den eenen opstaanden kant elkander aanraken, en dat zij aan den anderen kant, door een tusschengestoken houtspaan of toegevouwen kaartblad, een weinig van elkander afstaan. Houdt men die dan regt op en neer in het water, zoodat hun onderkant er even ingedompeld is, dan ziet men het water er overal tusschen opklimmen, en daar het meest, waar de beide platen tegen elkander liggen: is het glas ter dege schoon, dan vormt de bovenkant van het water eene regelmatig gekromde lijn.

Dat opzuigen van vocht tusschen glazen platen ziet men dikwerf bij dakvensters, waar twee ruiten zoo op elkander gelegd zijn, dat de onderkant der bovenste ruit aan de buitenzijde over den bovenkant van de onderruit heengaat. Regent het nu, en stroomt de regen langs de bovenste ruit naar beneden, dan gaan de druppels over den onderrand heen, zij klimmen tusschen beide ruiten op, en loopen over den bovenrand der onderste langs de binnenzijde van deze naar beneden, waardoor dan binnen 's huis eene lekkaadje wordt veroorzaakt. Dat opzuigen, en bij gevolg dat inwateren, zal des te sterker plaats vinden, naar mate de ruiten digter tegen elkander aanliggen; om het te beletten, moet men de ruiten of geheel en al op elkander doen sluiten, hetgeen bij gewone, dat is niet geslepen glasplaten nooit het geval is, of zij moeten zoo ver over elkander heenreiken, dat het water niet hoog genoeg er tusschen kan opklimmen, om over den bovenrand der onderruit te loopen.

Even zoo is ook het inwateren door zeer smalle retsen, hetgeen bijv. bij niet naauwkeurig sluitende ramen plaats heeft, aan opzuigen, d. i. aan aantrekking tusschen vaste lichamen en vochten toe te schrijven.

Gelijk het water in naauwe pijpjes en tusschen glasplaten opklimt, zoo gebeurt hetzelfde in de openingen van een lichaam, welks ondereind in het water wordt gehouden. Hangt men eene drooge spons met eene punt in water, dan



gaat het water van zelf daarin naar boven, en de spons wordt nat; wij zeggen dan, dat de spons het water opzuigt. Hetzelfde heeft plaats, wanneer men een draad katoen of wol in water hangt. Is het water in een glas, en hangt men den draad over den rand van het glas naar beneden, dan ziet men het water in den draad opklimmen, in het overhangende deel zijn' weg vervolgen en er onder weder uitdruppelen, en dat gaat voort, totdat het glas water geheel leëg geloopt is. Ook andere vochten worden aldus opgezogen. Dagelijks maken wij van die eigenschap gebruik in de lampen met katoenen pitten, waar de olie uit de lamp, door middel van de pit, gedurig aangevoerd wordt naar de vlam, om daar te verbranden; even zoo wordt bij eene gewone vet- of waskaars, het vet of het was, na alvorens door de hitte gesmolten te zijn, door de pit opgezogen, en dus daarheen gevoerd waar de verbranding geschiedt. Valt een druppel vocht op een linnen tafellaken, dan zien wij spoedig dat vocht zich over een groot gedeelte van het linnen uitbreiden. Laten wij eenige druppelen water op een' hoop droogen tabak vallen, dan is het niet noodig, dien om te schudden, ten einde het vocht door de geheele hoeveelheid te verdeelen. Maakt men een baksteen aan de eene zijde nat, dat dringt het vocht van zelf door den steen heen.

Nog belangrijker is een dergelijk verschijnsel in een' lossen grond. Niet alleen dringt het water, dat als regen nedervalt, tusschen de deelen van den grond naar beneden; maar ook omgekeerd wanneer de bovengrond, na langdurige hitte, droog geworden is, stijgt het water uit diepere lagen door dat vermogen naar boven, en voert voedsel toe aan die planten, wier wortels wat dieper in den grond gaan, en die alzoo blijven doorgroeijen; terwijl de planten, wier wortels niet zoo diep gaan, in den droogen bovengrond het noodige voedsel blijven missen, en verkwijnen als er niet spoedig regen komt.

Even zoo als het vocht uit den ondergrond naar de hogere aardlagen opstijgt, klimt het ook uit den grond in voorwerpen, die boven op den grond staan en die openingen hebben. Vandaar het vochtig worden van muren, hetgeen in meer-

dere of mindere mate plaats vindt, naar gelang de ijzheid der steenen, waaruit de muur is opgemetseld, kleiner of grooter is. Zijn de tusschenruimten tusschen de deelen van den steen zeer wijd, dan zal, even als in een wijd pijpje, het water niet hoog opstijgen; zijn zij naauwer, dan gaat het hooger. Wil men het op deze wijze vochtig worden der muren, bekend onder den naam van *uitslaan*, beletten, dan moet men tusschen den grond en de onderste laag steenen een ligchaam brengen, dat geen water doorlaat, bijv. lood of cement.

Ook lucht wordt door andere lichamen opgezogen. Als men water verhit, komen er luchtbelllen te voorschijn. Door koking zal men bijkans al de lucht het water uit kunnen drijven, zoodat versch gekookt water er nagenoeg van bevrijd is; maar laat men het eenigen tijd open en bloot staan, zoo dringt er weder lucht in. Zelfs heeft men bevonden dat alle vaste lichamen lucht houden, de dichtste metalen niet uitgezonderd; men behoeft deze maar met een laagje water te overgieten, en dan te verwarmen, om er de lucht uit te voorschijn te zien komen.

De aantrekking tusschen de deelen van een vast ligchaam en die van een vocht is dikwijls zóó sterk, dat de indringende waterdeelen den zamenhang der vaste deelen overwinnen, en dat deze uiteengaan; dat dus het ligchaam ophoudt een vast ligchaam te zijn. Dit gebeurt bijv. wanneer wij een' klomp suiker of een stuk zout in water leggen. Men zegt dan, dat de suiker of het zout opgelost wordt.

In andere gevallen daarentegen doet die aantrekking verre onder voor de aantrekking der vloeistofdeeltjes op elkander. Ofschoon bijv. een baksteen, een brok hardsteen of marmmer op water gelegd, terstond zinkt, gelijk een ieder weet, zoo blijven die lichamen, tot fijn poeder gestampt, er op drijven. En niet alleen steenpoeder, maar ook kleine deeltjes metaal, die nog veel zwaarder dan water zijn, zoo als ijzervijlsel, kan men gemakkelijk op water laten drijven. Neemt men eene naalnaald, die niet te dik is, bijv. N<sup>o</sup>. 5 of een hooger nummer, en legt men die met drooge vingers voorzigtig op water, dan ziet men een deuk in het water ontstaan; maar de naald blijft daarin liggen en valt niet op

den bodem; iets dergelijks ziet men, wanneer men nauwkeurig het loopen van sommige diertjes op het water nagaat, elke poot veroorzaakt eene kleine diepte, maar de diertjes zinken er niet in. Al die voorwerpjes zouden, daar zij zwaarder zijn dan water, uit dien hoofde moeten zinken en zulks des te eer wegens de bijzondere kracht die het water er op uitoefent. En toch drijven zij, enkel door de kracht van onderlingen samenhang der vloeistofdeeltjes, die hier zóóveel meer bedraagt dan de genoemde aantrekking op de vlottende lichaampjes zelve, dat de grootere zwaarte van deze niet eens in staat is tegen dat meerdere op te wegen, en alzoo den samenhang van het water te verbreken.

## VIII.

## Buigzaamheid. Rek- en Persbaarheid.

Wij hebben gezien, dat wij ons alle, en dus ook de vaste lichamen moeten voorstellen als te bestaan uit stofdeelen, die op uiterst geringe afstanden van elkander geplaatst, maar tevens door de kracht van samenhang aan elkander verbonden zijn. Terwijl bij vloeistoffen de deelen, al worden zij gescheiden, daarom toch bij hereeniging niet minder samenhangen dan te voren, zoo is het te dezen aanzien met vaste lichamen anders gesteld. Hunne stofdeelen kunnen alleen tot zekere mate verder van elkander verwijderd worden, of de samenhang is opgeheven, het verband is verbroken en kan niet meer geheel als vroeger hersteld worden. De vatbaarheid dit vele vaste lichamen bezitten om eene andere gedaante aan te nemen, doordien sommige stofdeelen om andere heenbewogen zijn geworden, zonder eenig nadeel aan den samenhang toe te brengen, noemen wij *buigzaamheid*. Nemen wij bijv. een liniaal, en trekken wij daarop eene regte krijtstreep, dan liggen die deelen waarover de krijtstreep heen getrokken is, in eene regte lijn. Brengen wij nu de uiteinden nader bij elkander, dat is, buigen wij het liniaal, dan zal de streep eene kromme lijn geworden zijn, dus zijn dan ook de daaronder liggende houtdeeltjes niet meer op eene regte lijn gelegen, hunne onderlinge plaatsing is veranderd; en te gelijker tijd is

de vorm van het ligchaam, waartoe zij behooren, gewijzigd. Hout bezit die buigzaamheid in sterke mate, dat is, het kan eene groote verplaatsing van sommige zijner deelen om andere ondergaan, zonder dat de samenhang er onder lijdt. Eene dunne plank kan zeer sterk krom gebogen worden, zonder te breken. Houten balken doen het zelfs bij eene aanmerkelijke dikte; zoo als wij, bij de balken waarop in de woonhuizen de vloeren en zolders rusten, dikwerf waarnemen. Ook vele andere lichamen hebben die eigenschap. Metalen staven en platen buigen zeer gemakkelijk door; en metaaldraad heeft den naam van draad juist daarom ontvangen, omdat het even als draden van wol, van vlas, van zijde, eene zeer groote buigzaamheid bezit. Minder buigzaam is been en ivoor, steen nog minder; eene dunne marmeren plaat intusschen buigt reeds door haar eigen gewigt door, wanneer zij in het midden ondersteund wordt. Bij dikkere en niet lange lichamen is de buigzaamheid minder merkbaar. Er is intusschen een middel, om te onderzoeken of stoffen, waarvan men zich geen dunne draden of platen kan verschaffen, ook van vorm kunnen veranderen. Men maakt er een paar ballen van, die zuiver rond zijn, men besmeert den eenen met het een of ander vet, dat zichtbaar afgeeft, en laat er den anderen, dien men zuiver gehouden heeft, tegen aanvallen: de moet, die de laatste dan vertoont, heeft te groote uitgestrektheid, dan dat de aanraking zich tot een enkel punt zou bepaald hebben, en dat er geen indrukking, dus geen beweging van deelen om andere heen, zou hebben plaats gegrepen.

Buigt men een ligchaam, dan komen altijd sommige deelen verder van elkander, andere digter bijeen. Wordt een balk in het midden ondersteund, dan buigt zij zóó door, dat de bovenkant langer, de onderkant korter wordt, terwijl er tusschen beiden een lijn ligt, die, ofschoon ook krom gebogen, evenwel hare lengte behouden heeft. Nauwkeurige metingen kunnen ons gemakkelijk daarvan overtuigen. *Buiging* is dus een zamengesteld verschijnsel, waarbij én verlenging én verkorting plaats vindt. Beiden kunnen echter ook afzonderlijk bestaan. Hangen wij een' metaaldraad aan zijn eene uiteinde op, en aan het andereind een schaal-

tie, waarin wij gewigten plaatsen, dan nemen wij waar, dat onder de werking van een gewigt dat gemakkelijk door den draad kan gedragen worden, deze, ofschoon niet brekende, langer en tevens dunner wordt. Die eigenschap draagt den naam van *rekbaarheid*. Niet enkel metaal, maar ook andere vaste lichamen bezitten ze in meerdere of mindere mate. De rekbaarheid van vlas, katoen, wol, haar, is bij uitstek groot. Doch het sterkste voorbeeld van rekbaarheid leveren spinrag- en zijwormdraden op. Deze draden ontstaan uit eene half vloeibare kleverige stof die uit het ligchaam van spin of zijworm voor den dag komt, en aan de lucht blootgesteld, vastwordt. Men heeft bevonden dat een zijdedraad een zevende deel langer kan uitgerekt worden dan hij is zonder te breken. Omgekeerd kan men de lichamen ook enkel *persen*, dat wil zeggen, in een bepaalde rigting zoo sterk drukken, dat zij in die rigting korter worden, 't welk gepaard gaat met eene zijdelingsche uitzetting. Plaatst men bijv. eene kolom, en bezwaart men die met een' aanzienlijken last, dan zal zij in lengte iets af en in dikte een weinig toenemen. Bij de meeste lichamen is de drukking, die noodig is om ze merkbaar ineen te persen, niet gering. Andere lichamen laten zulks daarentegen zoo gemakkelijk toe, dat die eigenschap een middel aan de hand geeft om er vloeisoffen, zoo die er in bevat mogten zijn, uit te verwijderen. Even als de rekbaarheid, zoo heeft ook de vatbaarheid der lichamen om geperst te kunnen worden hare grenzen. Bij glas zal men die grens al spoedig kunnen bereiken: door het bovenmate te drukken, hoe voorzigtig men daarbij ook te werk ga, loopt men gevaar het te breken. Aan sommige metalen daarentegen zal men die drukking zonder nadeel zelfs met horten en stooten kunnen mededeelen, door het te hameren; het goud bijv. heeft eene hooge mate van hamerbaarheid.

*Hard* wordt een ligchaam genoemd als het weinig vormverandering duldt zonder te breken; *week*, als het omgekeerd veel en gemakkelijk verbogen, uitgerekt of ingedrukt kan worden, zonder letsel te lijden. Zoo is steen, glas, porselein, aardewerk hard; rood koper, vooral lood is week, veel weeker nog zijn was, klei, boter, en zijde.

*Bros-* en *taaiheid* zijn wederom twee eigenschappen, die tegen elkander overstaan. Wordt er weinig kracht vereischt om een hard ligchaam te breken, dan zegt men dat het *bros* is, bijv. gehard staal, glas. Kost het daarentegen veel kracht om een week ligchaam in tweeën te trekken, dan kent men aan hetzelfde *taaiheid* toe; leder kan daarvan tot voorbeeld dienen. Men noemt eindelijk een week ligchaam *kneedbaar*, welks deelen zich gemakkelijk van elkander laten scheiden, dat bovenal het geval is met klei.

## IX.

## Veërkracht der lichamen. Terugstootingsvermogen.

Als men een reep lood of een stuk tin buigt en daarna loslaat, zoo blijven zij gebogen. Een ganzenschacht daarentegen, een ivoren vouwbeen, een baleintje, eene houten lat, een boomtak herstellen zich van de buiging die wij ze voor 't oogenblik doen ondergaan, zoodra zij weër vrijgelaten worden. Zet men een' hoepel regt overeind op den grond, en drukt men hem met de hand een weinig in, dan is hij na het opheffen der hand toch weër even rond als te voren. Hetzelfde gebeurt, sterker nog, met stalen veëren van rijtuigen of van uurwerken. Zij keeren, zonder dat wij er iets aan doen, van zelve tot hare vorige gedaante terug. Eene opgerolde stalen veër springt weër los; eene ontrolde veër rolt, losgelaten, zich zelve weër op. Lichamen nu, die laatstgemelde verschijnselen vertoonen, heeten *veërkrachtig*; een baleintje, eene lat, enz. worden gezegd te veëren. Haren van menschen en dieren doen dit mede in hooge mate; zoo ook zijde- en spinragdraden, en vooral de naar die eigenschap genoemde veërkrachtige gom. Zijden stoffen, en niet het minst het Chinesche krip, kan men frommelen, zonder dat er kreuken in komen. Duwt men voorzigtig met den vinger ergens tegen een spinneweb, zoodat het geheel wordt ingebogen, en laat men het vervolgens weër aan zich zelf over, zoo zijn de draden terstond weër even regt gespannen als te voren. Buigt men een stukje gom-elastiek, het herneemt zijn' oorspronkelijken vorm, zoodra men met het buigen ophoudt. Merkwaaardig

is het, dat genoemde drie lichamen alle vast geworden kleverige vloeistoffen, en dus in zooverre van eenerlei aard zijn.

Minder in 't oog vallend is het terugkeeren tot den vorigen toestand, als een ligchaam enkel in de lengte is uitgerekt geworden, zonder dat men het heeft gebogen. De veërkrachtige gom maakt in dat opzigt eene uitzondering. Nemen wij echter het gewigt, waarmede een metaaldraad bijv. bezwaard en gespannen is geworden, weër weg, dan kan men toch wel zien, dat hij wat inkrimpt; hij zal zelfs juist tot zijne vorige lengte terugkomen, mits maar de vroegere uitrekking niet overmatig was. Zoo zal ook omgekeerd een ligchaam, na door een' sterken druk geperst te zijn geworden, zich daarna weër uitzetten en zijne vroegere lengte herkrijgen. Het sterkste voorbeeld daarvan levert de spons, die men geheel in de hand besluiten en van allen kant zamendrukken kan, zonder dat zij daarna het minst aan uitgebreidheid blijkt verloren te hebben.

Wringt of draait men een ligchaam ineen, zoo zien wij dat het zich wederom herstelt, zoodra men het weër aan zich zelf overlaat. Duidelijk en veelvuldig nemen wij zulks waar als wij te vergeefs met duim en voorsten vinger een flesch of kruik trachten te ontkurken. Ook ontwingt zich iedere draad dien wij ineendraaijen, weër van zelven.

Dat alles begrijpen wij onder den naam van *veërkracht*. In 't algemeen bedoelen wij daarmede de eigenschap der lichamen, om, na eenigerhande verandering van vorm, door uitwendig vermogen te weeg gebracht, hetzij buiging, rekking, persing of wringing, hunne aanvankelijke grootte en gedaante te hernemen, zoodra de aangewende kracht heeft opgehouden te werken.

In die veërkracht der lichamen is de grond gelegen van 't geen men terugkaatsen noemt. Bijaldien eens een geheel onveërkrachtige bal van eene zekere hoogte loodregt op eene geheel onveërkrachtige plaat viel, die volmaakt waterpas lag, zoo zou hij onmiddellijk na de botsing onbewegelijk stil blijven liggen. De kracht, die zich in den bal onder het vallen als verzameld had, de zoogenaamde hoeveelheid van beweging, zou zich hebben uitgeput met in de plaat en den

ganschen grond, waarmede deze een geheel uitmaakte, bewegingen en verplaatsingen van deelen te doen ontstaan, die echter wegens haar overgroot aantal ten eenemale onmerkbaar zouden zijn. Dat zien wij echter nooit gebeuren, als wij een ligchaam op een' steen laten vallen. Een bikkkel bijv. springt weër op, waarvan de reden in niets anders dan in de veërkracht van bikkkel en steen moet gezocht worden. Immers de indrukken in beiden te weeg gebragt, ten gevolge van den schok, zijn niet blijvend; als veërkrachtige lichamen herstellen zij zich, en de snelheid van den botsenden bikkkel wordt hem voor een deel teruggegeven. Des te volkomener zal de terugkaatsing zijn, naar mate de veërkracht aanzienlijker is. Ivoor is een zeer veërkrachtig ligchaam: vandaar, dat op een zuiver biljart, met banden die behoorlijk veëren, de bal die regt op den band afgestooten wordt, bijna met dezelfde snelheid terugkomt. Het is de veërkracht van het gespannen touw, waarop de koorddanser zijne kunsten verrigt, die maakt dat het, na door 's mans gewigt doorgebogen te zijn geweest, weër opspringt en hem alzoo helpt om zich hooger op te geven, dan hij anders zou vermogen te doen. Diezelfde eigenschap roept de paardrijder te hulp, als hij hooge of verre sprongen wil doen, bijv. over één of meer paarden. Hij neemt dan een' kleinen aanloop en valt met geheel het gewigt van zijn ligchaam op een plank, die in het midden niet ondersteund is, opdat de veëring dier plank hem grooter vaart geve, en hem over de daar vlak achter geplaatste voorwerpen heen helpe.

De genoemde bewegingen van touw en plank leveren nog iets opmerkelijks op, dat onze aandacht niet mag ontgaan. Wanneer men een lang touw regtuit spant, en met den kant van een liniaal even tegen het midden stoot, dan wijkt het touw uit ten gevolge van dien stoot; het neemt eene bogt aan, waarbij tevens uitrekking plaats heeft. Want het is duidelijk, dat het nu langer is, dan toen het nog in eene regte lijn gespannen was. Onmiddellijk daarna zien wij het touw tot dien regten stand terugkeeren, omdat het veërkrachtig is. Maar daar blijft het niet eens bij: wij zien het vervolgens naar den tegenovergestelden kant uit-

wijken en andermaal eene bogt aannemen; waarbij het dus op nieuws uitgerekte wordt. Dezelfde veërkracht belet het alweder in dien stand te blijven, en de eigen bewegingen herhalen zich eenige keeren achter elkander, en wel zóó, dat de uitwijkingen van de middelste deelen van het touw naar beide zijden het grootst zijn, en de deelen, die meer naar de bevestigde uiteinden gelegen zijn, des te minder uitwijken, naar mate zij minder ver daarvan verwijderd zijn. Wij noemen die heen- en wedergaande beweging somtijds *slingering*; bij houten planken *zweeping*. Geschiedt zij met eenigen spoed, zoodat wij ze met het oog niet meer vermogen na te gaan, dan geven wij haar den naam van *trilling*. Is het touw lang genoeg, dan zien wij die beweging duidelijk; is het korter, dan wordt het bezwaarlijk, ja eindelijk onmogelijk ze in bijzonderheden na te gaan; maar men kan ze voelen, wanneer men het touw even met den vinger aanraakt, 't geen mede het geval is met de snaar van eene viool of eenig ander muzikinstrument. Uit het gezegde blijkt, dat alleen een veërkrachtig ligchaam in zulke trillingen geraakt. Waar wij dus deze waarnemen, mogen wij besluiten, dat het ligchaam tot de veërkrachtige behoort; en het is op die manier, dat wij ons zelve gemakkelijk overtuigen kunnen, dat veërkrachtigheid eene zeer algemeene eigenschap der vaste lichamen is. Het dreunen van de straat en van de muren van een huis, wanneer een zwaar rijtuig voorbij rijdt, geeft te keunen, dat de straatsteen en de muren der huizen veërkrachtig zijn. Een stoot brengt eene koperen klok, een bier- of wijnglas insgelijks in eene zeer voelbare trilling, een nieuw bewijs, dat metaal en glas veërkrachtig zijn. Dat bewijs laat zich ook op vloeistoffen toepassen: immers ook deze kunnen door een' stoot in trillende beweging gebracht worden. Giet men een bierglas vol water, en stoot men even tegen den rand, zoodat het glas trilt, dan ziet men dikwerf de oppervlakte van het water in eene dergelijke sterke beweging komen, die nog duidelijker wordt, als men te voren een fijn poeder, wat hars bijv., op het water gestrooid heeft. Men kan de proef ook aldus inrichten, dat men een stuk van eene glasruit neemt, daarop eene dunne laag water giet, vervolgens

weër tegen den rand van het glas stoot, of, nog beter, er met een' strijkstok langs strijkt; het water geraakt dan in trillingen, die zeer regelmatig zijn.

Hoogst veërkrachtig is de dampkringslucht, en zijn in 't algemeen alle luchtsoorten of gassen. Heeft men toch eene blaas met dampkringslucht of andere gassen gevuld en zorgvuldig digtgebonden, zoo zal men ze niet alleen kunnen zamendrukken, maar men zal tevens bevinden dat de blaas, bij opheffing van den druk, hare vorige gedaante terstond herneemt. Die ongemeene veërkracht der lucht heeft in later tijd aanleiding gegeven, dat men bedden en kussens met lucht gevuld, heeft vervaardigd, die voor het zachtste dons niet behoeven te wijken. De gassen dragen uit dien hoofde dan ook den naam van *veërkrachtige vloeistoffen*, waarmede men geenszins wil te kennen geven, dat de drupvormige vloeistoffen niet veërkrachtig zijn, maar alleen dat de gassen die eigenschap in eene bijzonder hooge mate bezitten.

Andere lichamen keeren wel tot hunne vorige gedaante terug, maar niet geheel en al. Een regte stok, die al te sterk gebogen wordt, blijft wel niet zoo krom als hij losgelaten is, maar wordt toch ook niet weder geheel regt. Een ronde bal, die sterk geperst wordt, wordt niet weder volkomen rond. Een draad, die door al te zwaar gewigt is uitgerekte, krimpt wel weder, maar blijft toch iets langer, dan hij te voren was. Ook eene veër zal, na lang gespannen te zijn geweest, van hare veërkracht verloren hebben. Zelfs van eenen last die niet groot is, maar die lang gewerkt heeft, blijft de werking ook later zichtbaar: een balk, die lang gedrukt en dus lang gebogen geweest is, zal niet weder geheel regt worden.

Het is hier de plaats om tegen een verkeerd begrip te waarschuwen, waartoe de benaming *veërkracht* alligt leidt. Men meene toch niet, dat daarmede een kracht of vermogen op zich zelf aangeduid wordt, aan sommige lichamen in meerdere, aan andere in mindere mate eigen. Het is veeleer eene werking, die het gevolg is van twee vereenigde krachten, 't geen ons klaar blijken zal als wij de waargenomen verschijnselen van zoogenaamde *veërkracht*

aan een nauwkeurig onderzoek onderwerpen. Al die verschijnselen zullen ons overtuigen, dat voor een' bepaalden evenwigtstoestand van eenig ligchaam gevorderd wordt, dat de stofdeelen zich op bepaalde afstanden van elkander bevinden. Immers maakt men die afstanden grooter door uitrekking, of kleiner door persing, dan herstellen zij zich van zelve weër, gelijk men zegt; er heeft, voor zoover noodig, inkrimping en uitzetting plaats. Maar van zelf gebeurt er niets; alle werkingen hebben oorzaken die wij in 't algemeen krachten noemen. Aan een overwigt van het vermogen van zamenhang, waarmede wij reeds bekend zijn geworden, schrijven wij toe, dat de met geweld op onnatuurlijk vergrooten afstand gebragte stofdeelen elkander weër naderbij komen. Doch daarmede is de aard der zogenoemde veërkracht nog niet volledig verklaard. De verschijnselen wijzen nog op eene andere kracht, die zich alsdan openbaart, als de stofdeelen op 'al te gering een' afstand van elkander mogten geraken, en die dus noodzakelijk in een *afstootingsvermogen* bestaat. Die twee krachten, het vermogen van *zamenhang* en van *afstooting*, bestrijden elkander gedurig en houden elkander in bedwang, waardoor het schoonste evenwigt en de tegenwoordige orde van het geschapene gehandhaafd wordt. In de onderlinge verhouding toch, die tusschen beiden bestaat, ligt de grond der drie toestanden van *vastheid*, *vloeibaarheid* en *luchtvormigheid*, die wij aan de lichamen waarnemen. In laatstvermelden toestand heeft blijkbaar het vermogen van terugstooting de overhand. Want de deeltjes van een gas of damp trachten zich zoo ver immer mogelijk van elkander te verwijderen en oefenen eene drukking rondom zich uit, die men hunne *spanning* noemt, anders hunne *veërkracht*, vermits deze zich bij de luchtsoorten en dampen toch enkel tot afstooting bepaalt. IJs, water en stoom leveren ons een voorbeeld van een zelfde ligchaam, dat in die drie onderscheiden toestanden voorkomt. Dat wij de meeste metalen nog niet in den vorm van damp kennen, is hoogst waarschijnlijk daaraan toe te schrijven, dat wij er tot dusver niet in mogten slagen een' genoegzamen graad van hitte te weeg te brengen.

## Over hooren en geluid.

Met de veërkracht der lichamen staat in een naauw verband het ontstaan van *geluiden* en het *hooren*.

*Hooren* is eene gewaarwording door middel van de ooren, maar eene gewaarwording van eene eigene soort. Het oor kan even als andere lichaamsdeelen voelen. Als wij het oor aanraken, er tegen drukken of stooten, dan merken wij zulks, doch op geen andere wijze dan of eenig ander lichaamsdeel den indruk ontvangen had; hooren is iets wat daarvan geheel verschilt. Hetgeen wij hooren, noemen wij *geluid*. Een ieder weet bij het gebruiken dier beide woorden, wat daarmede bedoeld wordt. Wat intusschen hooren en geluid eigenlijk is, daaromtrent geven zij ons geenerlei opheldering. Daartoe is het noodig, dat wij de aandacht vestigen op 't geen er bij het hooren van geluiden valt waar te nemen.

De dagelijksche ondervinding leert ons, dat, als alles om ons heen geheel in rust is, er geen geluid gehoord wordt; wij duiden dit aan met te zeggen dat het *stil* is. De beide spreekwijzen: in rust zijn en geen geluid geven, stilzijn, worden door ons gebezigd alsof zij van dezelfde beteekenis waren. Nog meer, wanneer wij naauw toelisteren, overtuigen wij ons, dat bijna nooit een ligchaam zich beweegt, of er wordt eenig geluid gehoord, en wel een geluid, dat verschilt naar den aard van het ligchaam, dat zich beweegt. Het gaan, loopen, springen, zelfs het ademen van menschen; het zwemmen en vliegen van dieren; het rijden van wagens; het slaan en stooten tegen hout, steen, glas en metaal; het schuren van linnen, papier, zijde; het branden van een vuur, het koken van water, het uitgieten van vocht, het stroomen van lucht, alles geeft geluid. Wij zeggen daarom bij verkorting, dat wij bijv. een rijtuig hooren, maar meenen daarmede, dat wij een geluid hooren, dat van een rijtuig afkomstig is.

Hoe moeilijk is het niet, zich zóó te verplaatsen of te verroeren, dat men niet gehoord wordt! Hoe voorzigtig moet de jager zijn, om aan het wild zijne tegenwoordigheid

niet te verraden door zijne beweging, ook dan wanneer het onmogelijk is dat hij gezien wordt! zeer zeker zouden wij nog meer iedere beweging hooren, als wij daaraan behoefte hadden, en er ons dus meer moeite toe gaven. De blinde hoort veel van 't geen den ziende ontgaat, niet omdat deze 't niet ook zou kunnen hooren, maar omdat hij het minder noodig acht er naar te luisteren, daar hij de lichamen en hunne bewegingen gemakkelijker door zijn gezigt gewaarwordt.

Wij mogen het er derhalve voor houden, dat geluid door *beweging* van lichamen veroorzaakt wordt. Maar niet elke beweging brengt daarom een duidelijk hoorbaar geluid voort. Vele bewegingen worden slechts met moeite gehoord, andere zeer gemakkelijk; dat dit van den aard der beweging afhangt, blijkt daaruit, dat als wij opzettelijk geluid willen voortbrengen, wij eene bepaalde soort van beweging maken. Hoedanig die beweging moet zijn, laat zich het best nagaan aan het schellen, het klokluiden, aan het slaan op de trommel, aan het spelen op 't klavier, den triangel of eenig ander muzikinstrument.

Bij eene schel of klok wordt het geluid voortgebracht door het aanslaan van den klepel tegen den binnen- of buitenwand der schel of klok, doch dat aanslaan geschiedt maar een oogenblik, waarna de klepel zich weder van de schel, of omgekeerd, de klok van den klepel verwijdert; gebeurt dit niet, en blijven beiden in aanraking, dan houdt het geluid bijna dadelijk op. Even zoo stoot de trommelstok maar een oogenblik tegen het trommelvel, en wordt dan weder opgeligt. Op het klavier worden de toonen mede te weeg gebracht door zeer korte stooten tegen de snaren.

Het ligchaam nu dat gestooten wordt, de schel of klok, het trommelvel of de snaar geraakt op die wijze in eene *trillende beweging*. Wij voelen die duidelijk, als wij onmiddellijk na den stoot het ligchaam betasten. Een korte stoot tegen een ligchaam, dat zonder merkbaren tegenstand ter zijde uitwijkt en daardoor niet in trillende beweging geraakt, geeft geen of ten hoogste een zeer zwak geluid, een stoot tegen wol, katoen, tegen een lohangend touw of eene losse snaar, tegen een' klomp klei of was, zijn hiervan voor-

beelden. Trillen kunnen daarenboven alleen lichamen, die veërkrachtig zijn. Metaal bijv. is veërkrachtig, en eene metalen schel, eene metalen klok, een triangel, een metalen staafje, dat aan één uiteinde vastgehouden wordt, geeft geluid, zoodra men er tegen stoot; eene glazen plaat, een stuk steen insgelijks; eene snaar, een koord, een trommelvel geven enkel een duidelijk geluid, als zij gespannen zijn, waardoor zij genoegzamen tegenstand bieden niet alleen, maar ook meer veërkracht ontwikkelen.

Trilling is eene heen- en weder gaande beweging der deelen, geen verplaatsing van het geheele ligchaam. Als wij het geheel snel heen en weder bewegen, ontstaat er geen helder geluid, maar dan alleen, als de stoot de deelen onderling in beweging brengt, waarbij het voorts nog een vereischte is, dat de trilling een' zekeren spoed hebbe. Eene zeer lange ijzeren staaf geeft, wanneer zij aan een uiteinde wordt ingeklemd en gestooten, weinig geluid; duidelijker wordt dit bij eene kortere staaf, die wij spoediger zien heen en weder gaan, en het duidelijkst bij eene zeer korte, waarbij de trillingen zoo spoedig elkander opvolgen, dat wij ze niet meer vermogen te onderscheiden.

Juist omdat er trilling noodig is, mag de klepel na den stoot niet tegen de klok aan blijven rusten, want dan zou hij de trillende beweging belemmeren en verstoren.

Een harde stoot geeft een sterk geluid, een zachte stoot een zwak geluid; een harde stoot brengt het ligchaam verder uit zijn' gewonen stand, buigt bijv. de snaar verder in dan een zachte; de sterke geluiden worden dus voortgebracht door trillingen van aanmerkelijke uitgebreidheid, de zwakke door trillingen van weinig uitgebreidheid.

Onder de menigte van geluiden onderscheiden wij vooral die, welke, terwijl zij aangenaam voor het gehoor zijn, een' meer- of minderen tijd aanhouden, en die wij *muzikale toonen* noemen. Dat deze ontstaan, wanneer het geluidgevend ligchaam in elkander opvolgende snelle trillingen geraakt die gelijk van duur zijn, kan men in vele gevallen zichtbaar maken. Wanneer eene snaar een' zuiveren toon geeft, trilt of de geheele snaar, of wel hare beide helften, of zij verdeelt zich in een aantal gelijke deelen, die ieder afzonderlijk

trillen. Wil men hiervan eene overtuigende proef nemen, zoo spanne men eene snaar derwijze, dat zij met een' strijkstok gestreken, een' goeden toon geeft. Men neme voorts eenige smalle strookjes papier van bijv. 4 strepen lengte en minder dan eene streep breedte; men vouwe die in 't midden toe, en zette er eenige van op de snaar. Strijkt men nu de snaar op nieuws, zoo ziet men de papiertjes door de trilling alle opspringen; het papiertje, dat op het midden geplaatst is, waar de snaar de grootste beweging heen en weder maakt, springt het hoogste; de andere des te minder, naar mate zij digter bij de bevestigde einden zich bevinden. Men ondersteune verder de snaar door een kammetje juist in het midden, en strijke weder, dan zal niet alleen de helft, die gestreken wordt, trillen, maar ook de andere helft, en bij beiden zal men door middel van die papiertjes, ruitertjes geheeten, zien, dat de middelste punten die zijn, welke zich het sterkst bewegen. Men brenge vervolgens het kammetje op een derde van de lengte, en strijke dat derde deel wederom zuiver aan, dan zal men waarnemen, dat het punt, 't welk op twee derde afstands gelegen is, mede in rust blijft; dat de beweging daarentegen het sterkste is op een zesde, drie zesde en vijf zesde der lengte; dat de snaar zich dus in drie deelen van gelijke lengte verdeeld heeft, die ieder afzonderlijk trillen. Hetzelfde gebeurt bij eene ondersteuning op een vierde, een vijfde, enz. der lengte. Ondersteunt men daarentegen in zulk een punt, dat de lengte van het gestreken deel geen evenmatig deel van die der geheele snaar is, dan heeft er ook geene regelmatige verdeling van trillingen over de snaar plaats, en ons oor verneemt geen' zuiveren toon.

Iets dergelijks kan men zien bij eene vierkante glasruit, waarvan de rand zóó afgeslepen is, dat men met een' strijkstok tegen dien rand kan strijken, en alzoo een' helderen toon kan doen ontstaan. Die toon zal verschillen naar de plaatsen waar men de ruit vasthoudt en strijkt, doch indien hij maar zuiver is, trilt de ruit op eene hoogst regelmatige wijze, die voor het oog zeer zichtbaar wordt als men ze te voren met fijn zand bestrooid heeft. Dat zand toch zal even als de ruitertjes op de snaar, overal opspringen behalve daar,

waar geene op- en neêr gaande beweging voorhanden is. Dien ten gevolge verzamelt zich al het zand naar die plaatsen van rust, de zoogenaamde knooplijnen, en vormt de fraaiste figuren, die voor dezelfde ruit, mits zij geheel op dezelfde wijze behandeld wordt, alswanneer steeds de eigen toon zich laat hooren, altijd dezelfde zijn, terwijl zij voor verschillende toonen ook geregeld verschillen.

Bij gemis aan eene dergelijke glasruit (of metalen plaat, die evenzeer voor gezegde proef kan worden gebezigd) zal men het verschijnsel, ofschoon dan ook minder duidelijk, kunnen waarnemen aan een' fijngeslepen' roemer. Vult men dien bijna bordevol met vocht, en strijkt men hem ergens tegen een bepaald punt van den rand met een' strijkstok, dan geeft hij een' toon, en het vocht, dat de trillingen van het glas overneemt, zal de regelmatigheid dier bewegingen aantonen.

Het laatst aangevoerde, dat de trillingen van het geluidgevend ligchaam op belendende voorwerpen blijkbaar worden overgebracht, leidt ons van zelf tot de verklaring van het hooren. Drukt men eene stalen stemvork, na ze te hebben aangeslagen, terstond met de punt tegen het een of ander ligchaam aan, zoo zal dit mede trillen en het geluid versterken. De gestreken snaar eener viool brengt de geheele kast van het instrument in zeer merkbare trilling. Spant men een vliesje of ook een blaadje dun papier strak over een houten raampje heen, dan zal, als men dat raampje met een voorwerp in aanraking brengt, dat een' krachtigen vollen toon geeft, of het maar op korten afstand daarvan houdt, het vlies of papier insgelijks aan het trillen geraken, en wel zóó sterk, dat eenig zand, hetgeen er te voren op gestrooid was geworden, in hevige beroering komt. In het oor bevindt zich nu ook een vliesje, het trommelvlies geheeten, en het is daaraan, dat de trillingen van het geluidgevend ligchaam worden overgedaan, waardoor de gehoorzenuw, die achter dat trommelvlies geplaatst is, een indruk ontvangt, dien zij overbrengt naar de hersens. De vraag is nu nog maar: hoe deelen zich de geluidstrillingen aan het trommelvlies mede? Het antwoord ligt voor de hand: door middel der lichamen, die zich tusschen het geluid en het oor in bevinden. Als men het eene oor be-



dekt of toestopt, en in het ander het uiteinde brengt van een koord, waaraan een metalen, liefst zilveren lepel hangt, dan zal het tikken van den lepel, tegen eene tafel bijv., ons de gewaarwording geven van het gebom eener zware klok. De trillingen van den lepel veroorzaken overeenkomstige trillingen in het koord en planten zich op die wijze op het trommelvlies over. Het is zeer mogelijk, wat geloofwaardige berigten vermelden van onbeschaafde volken, wier zintuigen meestal scherper zijn dan de onze, om met het oor op den grond aan het dreunen daarvan het naderen van krijgsvolk, dat zich nog op een' aanzienlijken afstand bevindt, te bemerken. Dat dreunen toch is niet anders dan de voortgeplante trillingen, die van den grond door het oor worden overgenomen.

Behalve in zeer enkele gevallen, waarvan wij er een paar aanhaalden, schijnt het ligchaam, dat ons de geluidstrillingen moet overbrengen, te ontbreken. Doch de geheele ruimte waarin wij leven, is met lucht vervuld, en dat hoogst veërkrachtige ligchaam is bij uitstek geschikt om, in aanraking met het geluidgevend voorwerp, op zijne beurt in trilling te geraken en het geluid op ons zintuig voort te planten. De goede diensten, welke de lucht te dezen aanzien bewijst, blijken uit de navolgende proef. Plaatst men onder de klok eener luchtpomp een wekkertje op eene katoenen onderlaag, om de mededeeling van geluid door behulp van belendende vaste lichamen zoo al niet uit te sluiten, althans aanmerkelijk te verzwakken, dan zal het de lucht in de klok, die het wekkertje omvat, wel moeten zijn, die ons het tikken er van doet hooren. Ten volle overtuigen wij ons, dat het inderdaad zoo is, als wij vervolgens de klok luchtledig pompen: het geluid neemt dan al af in sterkte en is ten laatste nauwelijks meer te vernemen; maar zoodra aan de lucht weërvrije toegang gegeven wordt, krijgt het geluid zijne vorige duidelijkheid terug. Wij worden in die overtuiging bevestigd als wij bedenken, dat hoe kouder en dus hoe digter de vrije dampkringslucht is, des te sterker alle geluid gehoord wordt, maar vooral als wij in aanmerking nemen, dat, omgekeerd op hooge lergen, en bovenal in luchtballons, naar de getuigenis van luchtreizigers, de voortplanting van het geluid

zoo verzwakt wordt, dat men zijne stem verheffen moet, wil men verstaan worden: in die hoogere streken toch is de lucht, in weërwil van de meerdere koude die daar heerscht, gelijk wij later zullen aantoonen, veel ijler, en derhalve veel minder veërkrachtig.

Als aan het eene einde van een lange reeks van metalen buizen door kloppen of stooten een geluid gemaakt wordt, en men luistert aan het andere uiteinde, dan hoort men het geluid dubbel, daar het niet enkel door de buizen zelve, maar tevens door de daarin vervatte lucht wordt voortgeplant. Dit feit leert ons eene nieuwe bijzonderheid kennen, dat er namelijk tot die voortplanting tijd gevorderd wordt, anders toch zou men de verdubbeling des geluids niet vermogen te onderscheiden.

Wij hooren een geluid niet op hetzelfde oogenblik, waarop het wordt voortgebracht, maar iets later. Als men zich op eenigen afstand bevindt van eene smidse, waar gewerkt wordt, ziet men duidelijk den hamer op het aanbeeld eerder nederkomen dan men den slag hoort. De tijd die er verloopt, eer het geluid het oor bereikt, is dan ook des te grooter, hoe grooter de afstand is. Een ieder kan dit zelf onder vinden, door zich van de plaats waar een geluid ontstaat, al verder en verder te verwijderen, maar zoo, dat hij de beweging, die het geluid veroorzaakt, steeds kan zien. Het schieten met geweer is daartoe bijzonder geschikt; men ziet het vuur zooveel te vroeger, eer men het schot hoort, als men verder van den schutter verwijderd is. Uit proeven met kanon en naauwkeurige metingen is gebleken, dat men op omstreeks 333 ellen afstands het geluid juist eene secunde later hoort, dan wanneer men er vlak bij is; op tweemaal 333 of 666 el, 2 secunden later; dus op een uur gaans van 5555 el, ruim  $16\frac{2}{3}$  secunden later.

Vandaar de schatting van den afstand, waarop men het hoort onweëren. Men telt het aantal secunden, die verlopen tusschen het licht en de slagen; zooveel secunden als men geteld heeft, zooveel malen 333 ellen is de uitbarsting van ons verwijderd. Vandaar, dat de soldaat, als hij het vuur van den vijand even zien kan, nog tijd heeft om den kogel, die op hem aankomt, te ontwijken. Op-

merkelijk is het voorkomen van troepen, die men in de verte ziet marcheren. Zij loopen op de maat, en houden toch niet volkomen gelijken tred, 't geen men aan de golvende beweging der hoofden zien kan. En het kan ook niet wel anders; want de muziek gaat voorop, en zal dus door de voorsten het eerst, door de volgenden telkens iets later, door de achtersten het allerlaatst vernomen worden.

Nog neemt men waar, dat het geluid des te zwakker gehoord wordt, hoe verder men zich verwijderd. Dit is een gevolg van de uitbreiding der trillingen, die bovendien naar alle kanten plaats heeft. Bevinden zich eenige menschen rondom het geluidgevend ligchaam, dan hooren zij alle tegelijk; de trillingen deelen zich dus in alle rigtingen mede, en even als de golven in het water, die van één punt uitgaan, hoe langer hoe meer deelen in beweging brengen, maar daardoor ook de beweging van elk deel geringer wordt, even zoo zullen op grooten afstand de trillingen zwakker worden, en dus ook de indrukken op ons gehoor verflaauwen.

Hoe ver het geluid kan worden vernomen, dit hangt dus af van de oorspronkelijke sterkte, maar tevens van de meer of min gunstige omstandigheden, waaronder de voortplanting van hetzelfde geschiedt. Het voorbeeld van den grootsten afstand, waarop geluid is gehoord geworden, levert het laatste beleg van *Antwerpen*, waarvan wij lezen, dat men het geschutgebulder tot in het *Saksisch Hartsyebergte*, en dus op eenen afstand van 80 geographische mijlen, heeft waargenomen.

Roepers en huizen, waarvan men zich somtijds bedient, ten einde de stem verder te doen reiken, zijn daarom zoo doeltreffend, daar zij vooreerst het geluid door hun medetrillen versterken, maar vooral ook omdat zij door het geluid te bepalen bij de rigting, die men het wil uitzenden, de verspreiding daarvan naar alle kanten verhinderen.

Bij het hooren onderscheiden wij niet alleen de soorten van geluiden, hunne sterkte of zwakte, maar ook de plaats van het geluidgevend ligchaam. In vele gevallen kunnen wij, zoodra wij eene klok hooren, zeggen of die klok voor of achter ons, aan onze regter- of linkerhand hangt. Als in een donker vertrek iemand spreekt, merken wij aan zijne

woorden, waar ergens hij zich in het vertrek bevindt. Wij gaan nog verder, met uit het gehoorde te besluiten, hoever het geluid van ons verwijderd is. In beide gevallen bedriegen wij ons echter dikwijls. Meestal, wel is waar, zien wij, dat het geluid juist de rigting verraadt, waarin wij trillende lichamen moeten zoeken. Verkeerdelijk echter leiden wij daaruit af, dat dit altijd het geval is. Als men in de straten van eene stad of van een dorp geluiden hoort, weeft men dikwerf uit vroegere waarneming, dat bijv. de klok, die men hoort slaan, links hangt, terwijl het geluid van de regterhand schijnt te komen. Kunnen wij er dan, bij al ons hooren, nooit op rekenen, of het ligchaam wel daar is, van waar het geluid gehoord wordt? Die gevolgtrekking is niet noodzakelijk, want als wij wel opletten, zien wij, dat de vergissing dan alleen plaats heeft, als er zich tusschen ons oor en de oorzaak des geluids, behalve lucht, ook nog andere lichamen bevinden. En dat kan ons niet bevreemden, want die lichamen, ofschoon zij in staat mogten zijn de geluidstrillingen over te nemen en aan de lucht wederom af te geven, zullen toch een beletsel opleveren, daar de voortplanting in eene en dezelfde middelstof gemakkelijker geschiedt dan bij overgang in telkens verschillende middelstoffen. Het is derhalve vooral de mededeeling door de lucht, die om de in den weg staande lichamen heen gaat, waarmede men te doen heeft, en daardoor ontstaat verandering in de rigting waarin men hoort. Op het vrije veld stemmen gehoor en gezigt overeen omtrent de rigting, waar het ligchaam zich bevindt. Wij moeten dus eeniglijk dan op onze hoede zijn, als er belemmeringen in onze nabijheid zijn.

Even zoo is het gelegen met ons oordeel over den afstand, waarop wij verwijderd zijn van de oorzaak des geluids. Wij hooren een geluid, dat sterker of zwakker is, en die waarneming is altijd juist. Maar daar de ondervinding ons geleerd heeft, dat geluiden des te zwakker gehoord worden, hoe verder de oorzaak verwijderd is, trekt ons verstand uit de waargenomen sterkte een besluit omtrent den afstand, en hierin kan het verstand dwalen, omdat een sterk geluid op een' grooten afstand, en een zwak geluid op een' kleinen afstand denzelfden indruk op ons oor kunnen maken.

## TWEEDE AFDEELING.

### ZWAARTEKRACHT.

#### I.

##### Vallen.

Een ieder weet wat er gebeurt, als men een' steen in de hand neemt, en de hand wegtrekt zonder den steen een' stoot te geven; de dagelijksche ondervinding leert ons, dat de steen alsdan, zoo als men zegt, van zelven naar beneden gaat, naar den grond toe, en dat die beweging voortduurt, totdat de steen tegen den grond stuit; welke beweging naar omhoog wij *vallen* noemen. Herhalen wij die proef in plaats van met een' steen, met allerlei andere lichamen, met een boek, met een stuk hout, met een' turf, dan zien wij hetzelfde gebeuren. Ook dit is algemeen bekend; maar vragen wij naar de bijzonderheden van dat vallen: In wat rigting het plaats heeft? Met welke snelheid een vallend ligchaam zich beweegt? Of alle lichamen zonder onderscheid, en of zij alle even snel vallen? — dan merken wij terstond, dat, of het verschijnsel ons al zeer gemeenzaam zij, eene oppervlakkige beschouwing ons weinig of niets daarvan leert, en dat er een opzettelijk onderzoek noodig is, om er nauwkeurige kennis van te verkrijgen.

Als een ligchaam geheel vrij valt, dan zien wij het, zoo als wij zeggen, regt, liever loodregt naar beneden gaan, d. i. het doorloopt een' regtlijnigen weg, in de rigting van een vrijhangend peillood, waaronder men niets anders verstaat dan een koord, dat strak gespannen is door een er aan hangend, doorgaans looden, gewigt. Men kan dat aan-

schouwelijk maken met het ligchaam dicht bij het boveinde van 't peillood los te laten; men neemt dan waar, dat het zich gedurende den ganschen vrijen val altijd even ver van dat peillood blijft bevinden. Geven wij daarentegen aan het ligchaam, op 't oogenblik dat wij het loslaten, een' zijdelingschen stoot, dan gaat het met een' boog naar beneden; het doorloopt dan een' kromlijnigen weg en een' boog van verschillende kromming, naar mate de rigting, waarin wij het den stoot geven, verschillend is, waterpas of schuins, hetzij naar beneden of naar boven. Is het vallende ligchaam niet geheel vrij, dan is de rigting, waarin het naar beneden gaat, anders. Leggen wij het op eene helling, die zoo steil is, dat het van zelf daarvan afglijdt, dan zien wij het eerst glijden totdat het aan den rand gekomen is, en dan een' boog beschrijven. Iets dergelijks gebeurt er, als men het ligchaam van eene gladde, niet hellende tafel, waar men het op gelegd heeft, met een' stoot doet afvliegen. Alleen zal het dan bij den boogswijzen val wat verder vooruit vallen, mits de vaart, waarmede het den rand der tafel verlaat, juist even groot is als die, waarmede het dien der helling verliet, en als beide randen even hoog verheven zijn boven den grond, waarop het ligchaam ten laatste nederkomt. Nemen wij een' bal of knikker in de hand, en geven wij dien schuins naar boven een' stoot, dan zal de boog eerst opwaarts gaan en dan naar beneden; dit gebeurt ook met een' geweer- of kanonskogel. Eindelijk kunnen wij een' bal ook loodregt omhoog werpen; wij zien hem dan eerst regt opstijgen tot eene zekere hoogte, en daarna op zijn' zelfden weg terugkomen.

Ook vochten vallen even als vaste lichamen. Men denke maar aan den regen; is de wind stil, dan daalt elke druppel regt naar beneden. Als wij in den bodem van een vat met water eene loodregte opening maken, dan schiet de waterstraal ook loodregt naar beneden. Is er daarentegen eene zijdelingsche tuit aan, dan spuit het water er volgens een' boog uit, die, als de tuit opwaarts gerigt is, zijn grootste hoogte op eenigen afstand van de tuit heeft; de onderscheidene boogswijze uitstroomingen, bij verschil van stand der tuit, kan ons een gewone filtreer-koffijkan vertoonen.

Als wij een blad papier uitgebreid in onze beide handen nemen, en dat insgelijks loslaten, zoo zal het niet zoo loodregt naar beneden gaan als een steen; het zal eindelijk wel op den grond neder komen, maar eerst een' korten tijd zweven, en dikwijls heen en weder gaan, eer het er ligt. Andere lichamen, die even als een vel papier, zeer dun zijn of over 't geheel bij eene groote oppervlakte weinig gewigt hebben, verkeerden in hetzelfde geval, beddeveëren bijv., zoo ook zeer kleine lichaampjes, als pluusjes en fijn poeder. Ten langen laatste intusschen komen zij evenzeer op den grond te land, en dat de reden der waargenomen vertraging en afwijking van de rigting des peilloods niet in den aard van de aangehaalde stoffen te zoeken is, blijkt voldingend als wij ze zamenpersen; zij vallen dan niet anders dan een steen bijv. doen zou. Het is dus enkel de meerdere uitbreiding, welke de lichamen bezitten, die hier verschil doet zien, en wij mogen daaruit nu reeds als hoogst waarschijnlijk afleiden, dat dit verschil enkel aan den tegenstand der lucht moet worden toegeschreven. 't geen trouwens opzettelijke proefnemingen met vallende lichamen in 't luchtledige buiten allen twijfel gesteld hebben.

Een en ander doet het er ons derhalve voor houden, dat alle vaste lichamen en vloeistoffen, ten minste als zij geheel vrij zijn, loodregt naar beneden vallen, dat daarentegen het vallen alleen dan volgens een' boog of met zijdelingse uitwijkingen geschiedt, als nog eenige andere oorzaak, een stoot of een tegenstand, op het ligchaam werkt.

Waterdamp en rook zien wij in onregelmatige kringen opstijgen in plaats van nederkomen. Het mogt alzoo schijnen of veêrkrachtige vloeistoffen niet aan dezelfde valwet onderworpen waren; wij zullen echter nader zien, dat dit maar eene schijnbare uitzondering is, en dat alle lichamen zonder onderscheid te dezen aanzien op geheel dezelfde wijze vallen.

Eene andere vraag is: hoe snel valt een ligchaam? En met die vraag hangt eene tweede zamen: vallen alle lichamen even snel? Op beide vragen kunnen alleen naauwkeurige proeven antwoord geven.

Snelheid meten wij, door na te gaan, hoeveel wegs een

bewegend ligchaam in één bepaald tijdsdeel, bijv. in éene secunde, doorloopt.

Laat men een ligchaam, een' looden kogel bijv., op eene willekeurige hoogte boven den grond los, juist op 't oogenblik dat men een' tik van een uurwerk hoort, dan zal men kunnen waarnemen, hoeveel tikken er verlopen, eer men den slag van het ligchaam op den grond hoort. Of wel men zal zich met het ligchaam juist zoo hoog boven den grond kunnen plaatsen, dat het losgelaten, evenveel tijd besteedt om beneden te komen, als er tusschen 2 of 3 of 4 tikken verloopt. Doet men dit, dan vindt men, dat men het 4.9 el boven den grond moet loslaten, om het in eene secunde tijds beneden te doen komen. Gaat men nu 2 maal zoo hoog, en laat men den kogel weêr vallen, dan vindt men niet, dat de weg van 9 el en 8 palm in tweemaal zooveel tijd wordt afgelegd, maar in minder; het blijkt dus reeds, dat het vallend ligchaam in de tweede secunde meer wegs aflegt dan in de eerste, dat de beweging versnelt. Laat men den kogel steeds van eene grootere hoogte vallen, dan blijkt het eindelijk, dat men  $4 \times 4.9$  el of 19.6 el hoog moet klimmen, om den kogel juist 2 seconden te doen besteden. Verder reemt men waar, dat slechts 3 seconden tijds noodig zijn om  $3 \times 3 \times 4.9$  of 44.1 el door te vallen, waartoe men reeds een' toren zal moeten beklimmen. In 4" valt de kogel van eene hoogte van  $4 \times 4 \times 4.9$  el of 78.4 el; in 5" van  $5 \times 5 \times 4.9$  of 122.5 el. Wij zien hieruit, dat de vermeerdering van snelheid in elke volgende secunde aan een' vasten regel onderworpen is. In de 1ste sec. bedraagt de doorgevallen ruimte 4.9 el, in de 1ste en 2de te zamen  $4 \times 4.9$ , dus in de 2de sec. alléén  $3 \times 4.9$  of 14.7 el, in de 3de sec.  $5 \times 4.9$  of 24.5 el, in de 4de sec.  $7 \times 4.9$  of 34.3. Of die regel ook voor grootere hoogten doorgaat, is waarschijnlijk, maar niet zeker, daar men het niet onderzocht heeft, omdat er de gelegenheid toe ontbreekt. Geen toren toch is daartoe hoog genoeg.

Gaat nu de gevonden regel ook voor andere lichamen door? Vallen alle lichamen even snel? Neemt men, om dit te onderzoeken, looden kogels van verschillende grootte, dan vindt men telkens evenveel wegs in evenveel tijds afgelegd;

neemt men in plaats van lood, lichamen van andere stof, waarop de belemmerende tegenstand der lucht geen of geen noemenswaard verschil mag geacht worden op te leveren, bijv. een stuk hout, een stuk ijzer of koper, een stuk krijt, een' ivoren of beenen bal, en doet men dezelfde meting, dan blijkt het, dat die alweder juist evenveel tijds besteden om van gelijke hoogte neder te komen.

Is de gevonden regel algemeen, dan kunnen wij veilig gebruik daarvan maken, bijv. om te weten te komen, hoe diep ten naasten bij een put is. Wij laten daartoe in den put een steentje of eenig ander ligchaam vallen, en wij meten den tijd, die er verloopt eer wij het op den grond hooren komen. Is dat 3 seconden, dan is de put  $3 \times 3 \times 4.9$  of 44.1 el diep. Het is intusschen niet wel mogelijk op deze manier zeer naauwkeurig te meten, want daartoe zou men den tijd, die er onder het vallen verloopt, met de uiterste juistheid moeten kunnen bepalen. Nemen wij bijv. aan, dat er geen volle 3", maar slechts  $2\frac{3}{4}$ " zijn verstreken, dan vinden wij maar  $2\frac{3}{4} \times 2\frac{3}{4} \times 4.9$  of 37 el, dus voor die  $\frac{1}{4}$  seconde reeds een verschil van 7 el.

Ten andere diende men ook te weten in hoever en op wat wijze de tegenstand der lucht het steentje in zijn' val vertraagt. Eindelijk zou men ook den tijd in rekening moeten brengen, dien het geluid van den plof in de diepte vereischt, om boven ons gehoor te bereiken. Tot eene ruwe schatting is echter het aangegeven middel geenszins te verwerpen.

Wijders zal het ons nu niet onverklaarbaar meer zijn, waarom een ligchaam, dat regt naar boven wordt opgeworpen, eerst eenigen tijd rijst, en dan daalt; de gevonden regel toch stelt ons in staat om de bijzonderheden van dat opstijgen te voorzien. In dit geval ontvangt het ligchaam bij het begin der beweging een' stoot, die het, indien er geene andere kracht op werkte, regt naar boven zou doen opklimmen met eene eenparige snelheid. Onderstellen wij, dat die snelheid bedroeg  $24\frac{1}{2}$  el, dan zou het ligchaam aan het eind der 1ste sec.  $24\frac{1}{2}$  el hoog gestegen zijn, aan het eind der 2de  $2 \times 24\frac{1}{2} = 49$  el, aan het eind der 3de  $3 \times 24\frac{1}{2} = 73\frac{1}{2}$  el, enz. Maar zoodra het

ligchaam vrij is, werkt er ook diezelfde oorzaak of kracht op, die een ligchaam naar beneden doet vallen, en die, alléén werkende, het ligchaam in de eerste sec. 4.9 el zou doen dalen, in de 2de sec.  $3 \times 4.9 = 14.7$  el, in de 3de sec.  $5 \times 4.9 = 24.5$ . Ten gevolge nu van den eens medegedeelden opwaartschen stoot en het gedurig vallen tevens, zal het ligchaam telkens juist zoo veel gerezen zijn als de verschillen der berekende rijzingen en dalingen aangeven; het zal dus na verloop

van de 1ste sec. gerezen zijn  $24.5 - 4.9 = 19.6$  el,  
 » » 2de » » »  $24.5 - 14.7 = 9.8$  » ,  
 » » 3de » » »  $24.5 - 24.5 = 0$  » ;

zoodat de stoot alléén het ligchaam in de 3de secunde evenveel naar boven zal hebben gedreven, als het enkel vallende lager zou zijn gekomen; het moet zich dus aan het eind der 3de secunde juist even hoog bevinden als aan het eind der 2de. In de 4de secunde zou de stoot het weder  $24\frac{1}{2}$  el opwaarts brengen, maar de val doet het  $7 \times 4.9 = 34.3$  el dalen; het daalt dus werkelijk, en wel om  $34.3 - 24.5$  of 9.8 el naar beneden, d. i. juist evenveel als het in de 2de secunde gerezen was; in de 5de zou het door den stoot  $24\frac{1}{2}$  el stijgen, door den val  $9 \times 4.9 = 44.1$  dalen; het daalt dus  $44.1 - 24.5 = 19.6$  el, of juist evenveel als het in de 1ste secunde gerezen was. Wij zien derhalve, dat het ligchaam eerst stijgt, omdat de opwaartsche snelheid, die er door den gegeven' stoot aan medegedeeld is geworden, aanvankelijk niet geëvenaard wordt door de vaart in tegenovergestelde rigting, die het enkel vallende zou opdoen. Daar echter deze al toeneemt hoe langer de val duurt, terwijl daarentegen de snelheid van den stoot dezelfde blijft, zoo moet de beweging naar boven, die werkelijk plaats grijpt, noodzakelijk vertragen. Ten laatste, als het ligchaam eene zekere hoogte bereikt heeft, zal de oorspronkelijk daaraan gegeven opwaartsche snelheid door het terugvallen geheel uitgeput geworden zijn, en de rijzing gaat in daling over, waarbij de snelheid nu juist zóó veel toeneemt, als zij bij de rijzing verminderd was. Hoe hoog het ligchaam rijzen zal, hangt hier af van de snelheid, die het door den stoot in den beginne ontvangen had. Bij eene

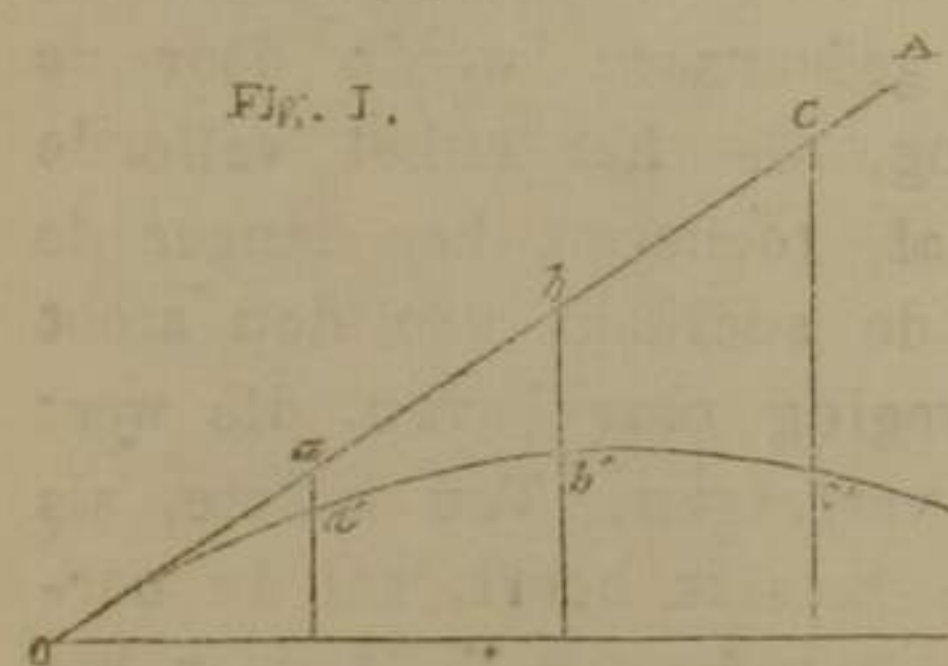
snelheid van  $24\frac{1}{2}$  el rijst het  $2\frac{1}{2}$  sec., en komt na 5 sec. op het punt terug, van waar het opgestegen was. Is de snelheid bij het opstijgen in den beginne 49 el, dan kunnen wij gemakkelijk uitrekenen, dat het

in de 1ste secunde rijst	49 —	4.9 of 44.1 el.
» » 2de »	» 49 —	14.7 » 34.3 »
» » 3de »	» 49 —	24.5 » 24.5 »
» » 4de »	» 49 —	34.3 » 14.7 »
» » 5de »	» 49 —	44.1 » 4.9 »

te zamen 122.5 el,

terwijl het in de volgende 5 secunden weder zal dalen, beginnende met 4.9 in de 6de secunde, en voortgaande tot 44.1 el in de 10de secunde. Dat de beweging inderdaad zoodanig is, als wij hier opgemaakt hebben, is onderzocht door proeven, die wij hier niet beschrijven kunnen, maar die gebleken zijn vrij wel met de berekening in te stemmen. Een voorbeeld van zoodanige beweging zien wij bij het opstijgen van vuurpijlen, die dikwerf bevonden zijn 400 à 450 ellen hoog te gaan (dat is omstreeks 3 maal de hoogte van den Dom te *Utrecht*) en die daartoe 7 secunden gebruiken.

De regel voor het vallen gevonden, verklaart ons even zoo, waarom een ligchaam, dat schuins opgeworpen wordt, een' hoog beschrijft, en geeft ons het middel, om dien boog in bijzonderheden te leeren kennen. Onderstellen wij, dat een kogel van O (Fig. 1) uitgestooten wordt in de



rigting O A, en met eene snelheid, die zoo groot is, dat de kogel, indien de stoot er alleen op werkte, in elke secunde een' even grooten weg O a, a b, b c zou afleggen. Nemen wij daarbij in aanmerking, dat de kogel, eenmaal vrij zwevende, in de 1ste secunde 4.9 el valt, en dat ten gevolge daarvan de kogel zich niet in a, maar 4.9 el onder a in a' zal bevinden; na 2 secunden niet in b, maar 19.6 el daaronder in b', na 3 secunden niet in c, maar  $9 \times 4.9 = 44.1$  daaronder in c', dan begrijpen wij waarom het lig-

chaam, dat voortgestooten was in de rigting O A, inderdaad een weg O a' b' c' doorloopt, welken wij gemakkelijk kunnen teekenen, zoodra wij weten, hoe groot de aanvankelijke snelheid O a is; in de figuur is deze op 40 el genomen. Deze berekening vindt hare toepassing in het schieten met pijl en boog, met geweer en kanon. Evenwel mag hier wegens de ongemeene snelheid der voortgeworpen lichamen, die voor geweerkogels wel 480, voor kanonkogels 740 ellen kan bedragen, de tegenstand der lucht niet buiten aanmerking blijven, waardoor de aard der kromme lijn eenigermate gewijzigd wordt. Zoo veel iatusschen zien wij daaruit, dat, wanneer de jager aanlegt in eene rigting O A, zijn kogel niet in c zal komen, maar in een lager punt c'; dat hij dus om een punt c' te treffen, moet aanleggen in eene rigting O c, en dat deze rigting des te hooger zijn moet, naar mate de kogel langer onderweg blijft, en dus langer vallend is, eer hij het doel bereikt. Het is ons nu klaar, waarom een ongeoeffend schutter altijd het doel missen moet, als het niet zeer dicht bij hem is.

Nu wij hebben ingezien hoe een ligchaam valt, ligt eene andere vraag voor de hand: waarom valt een ligchaam, als het aan zich zelf overgelaten wordt? Dat de lichamen altijd naar beneden vallen, dat is naar den grond, moet ons doen onderstellen, dat de grond, welligt de geheele aarde, eene werking oefent op de lichamen; dat de oorzaak van het vallen dus in de aarde moet gezocht worden. Is deze onderstelling juist, dan zou daaruit volgen, dat, indien de aarde kon weggenomen worden, een ligchaam, dat losgelaten wierd, niet zou vallen, maar op de plaats, waar het zich bevond, zou blijven. Maar de aarde kunnen wij niet wegnemen; regtstreeks zijn wij alzoo niet in staat door proefneming tot zekerheid te geraken omtrent het gegronde onzer onderstelling. Later, als wij hierop terugkomen, zullen wij zien, dat er toch inderdaad geldige redenen voor bestaan. Meer evenwel zal ons dat nader onderzoek niet leeren, dan: waar de oorzaak van het vallen te zoeken zij. Hoe de aarde die werking oefenen kan op een ligchaam, dat op een afstand daarvan verwijderd is, dat is eene van de vele dingen waarvan wij tot nog toe niets weten.

Zwaar zijn.

Met de eigenschap der lichamen om te *vallen*, gaat eene andere even algemeene gepaard, die wij mede uit de dagelijksche ondervinding kennen: de lichamen zijn *zwaar*. Daaronder verstaan wij, dat een ligchaam, als wij het op de hand leggen, eene *drukking* op die hand uitoefent, en wel eene drukking *naar beneden*. Is die drukking grooter dan de kracht van den arm, om daaraan tegenstand te bieden, dan gaat de hand werkelijk naar beneden, en het ligchaam valt. Ook zonder onze eigen hand daartoe te gebruiken, kan het blijken, dat het *zwaar zijn* in eene drukking naar omlaag bestaat. Leggen wij toch een ligchaam op een kussen of op eene veêr, dan worden deze naar beneden ingedrukt. De kast van een rijtuig drukt de veêren, waarop het rust, plat. Een steen, op een' hoop los zand gelegd, drukt dat zand voor een deel ter zijde, en zakt er tot op eenige diepte in. Het een of ander voorwerp in de eene schaal van een weegschaal geplaatst, doet die schaal doorslaan en zinken. Het is die drukking, welke een ligchaam, omdat het zwaar is, naar beneden oefent, welke wij het *gewicht* van het ligchaam noemen. De beide uitdrukkingen: een ligchaam *is zwaar*, en een ligchaam *heeft gewicht*, beteekenen hetzelfde.

Dat zwaar zijn, dat drukken naar beneden is een verschijnsel, dat met het vallen in naauw verband staat. Vooreerst laten beide verschijnselen zich aan hetzelfde ligchaam waarnemen. Ten andere hebben beiden eene merkwaardige omstandigheid gemeen, te weten: de rigting, volgens welke de vrije val plaats vindt, is dezelfde waarin, bij ondersteuning van het ligchaam, de drukking zich openbaart. Het is altijd de rigting van een vrijhangend pas- of peillood.

Even als er lichamen zijn, die niet omlaag gaan, wanneer men ze loslaat, zijn er lichamen, die wij zeggen dat *niet zwaar*, of met één woord, *ligt* zijn. Als *zwaar zijn* beteekent, dat een ligchaam eene drukking naar beneden oefent, dan moet *ligt zijn* beteekenen, dat een ligchaam of geen, of eene drukking opwaarts uitoefent. Zouden er inder-

daad zulke lichamen gevonden worden? Meestal bezigen wij het woord *ligt* van minder sterk drukkende lichamen, en dan is het eene onjuiste spreekwijze en zou men naauwkeuriger spreken van meer en minder zware lichamen. Als wij een pluisje op de hand leggen, dan voelen wij wel is waar geen drukking, maar dat geeft nog geen regt om te zeggen, dat de pluis niet drukt, het zou kunnen zijn, dat de drukking zóó gering is, dat het ons gevoel aan genoegzame fijnheid ontbreekt om ze waar te nemen. En dat is juist het geval, want als men ligte lichamen in eene gevoelige weegschaal legt, dan bespeurt men, dat zij toch ook eene drukking naar beneden oefenen; zelfs een stukje van het dunste papier, een nietig veêrtje zal de schaal doen doorslaan. En al ware een stofje zóó klein, dat ook de fijnste weegschaal er niet van doorslaat, dan mogen wij uit die omstandigheid toch nog niets meer besluiten, dan dat de drukking niet merkbaar is.

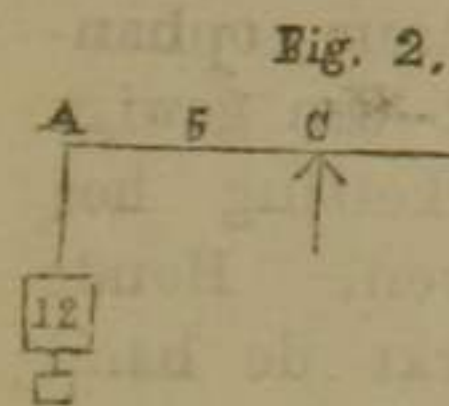
Op grond van genoemde overeenstemming tusschen vallen en zwaar zijn, schrijven wij beide verschijnselen aan dezelfde oorzaak toe en wij zeggen: een ligchaam is zwaar, of heeft gewicht, omdat de aarde het naar zich toetrekt. Maar waarom *valt* dat zware ligchaam dan niet? Omdat het op- of tegengehouden wordt door het voorwerp, waar het tegen drukt; waar het, gelijk men zegt, op ligt, of waar het door gedragen wordt. Wij moeten het zware ligchaam dus aanmerken als onderworpen aan de werking van twee krachten, aan de aantrekking der aarde en aan de tegendrukking van de onderlaag of het steunsel, en deze krachten moeten juist even groot zijn, of zij gingen niet tegen elkander op, en het zware ligchaam zou niet in evenwigt zijn. Leggen wij dus een' steen, die 3 pond zwaar is, op de tafel, dan trekt de aarde dien steen met een vermogen van 3 pond omlaag, en de tafel drukt hem met eene kracht ook van 3 pond omhoog. En even zoo moeten wij de zaak beschouwen, wanneer wij een ligchaam ophangen of het met de hand vasthouden. Hangt een gewicht van 7 pond aan een' ketting, dan trekt die ketting het gewicht met eene kracht van 7 pond naar boven. Houdt men een' steen van 5 pond in de hand, dan werkt de hand

op den steen met een vermogen van 5 pond. Is daarentegen de kracht, die naar boven werkt, grooter dan die, welke naar beneden trekt, dan ontstaat er beweging; dit heeft plaats als wij een gewigt opligten.

Om dus bijv. een ligchaam, dat 25 pond zwaar is, op te beuren, moet onze arm eene opwaartsche kracht van meer dan 25 pond uitoefenen, en hoe meer deze kracht het gewigt van het ligchaam te boven gaat, met des te meer snelheid zal het opbeuren geschieden.

Hangen wij het zware ligchaam aan een' stok en nemen wij in elke hand een van de einden van dien stok, dan dragen beide handen te zamen het gewigt van het ligchaam. Hier maken twee krachten, die opwaarts werken, zamen evenwigt met ééne kracht, die nederwaarts werkt. Elke van die twee krachten behoeft dan ook zoo groot niet te zijn; want iedere hand draagt maar een gedeelte van het gewigt. Hierbij moet men echter twee gevallen wél onderscheiden. Hangt het gewigt volkomen in het midden, dan draagt elke hand juist de helft van den last; hangt het gewigt niet in het midden, dan zal men ondervinden, dat die hand, welke er het naast bij is, het grootste gedeelte van den last heeft te dragen. Hetzelfde gebeurt, wanneer twee man een' last, bijv. een vat met wijn of bier, die aan een' draagboom hangt, op de schouders torschen, of wanneer twee personen een' last op eene berrie dragen. De ondervinding leert dan, dat, als het vat of de last niet in het midden geplaatst is, de een meer te dragen heeft dan de ander; en dragers zijn er daarom steeds op uit, goed toe te zien of de last wel juist in het midden hangt. Zoo zal ook, wanneer een last op twee schragen of standaards rust, de eene schraag of standaard meer te dragen hebben dan de andere, als de last niet in het midden drukt.

Zoo als hier twee opwaarts werkende krachten evenwigt maken met ééne last, zal, omgekeerd, ééne opwaarts werkende kracht evenwigt maken met twee die naar beneden werken, wanneer wij aan de einden van een' stok twee gewigten hangen, en dien stok in een punt C (Fig. 2), dat ergens tusschen



de ophangpunten ligt, ondersteunen. Zijn de beide gewigten bijv. 10 en 12 pond, dan zal de ondersteuning 22 pond kracht moeten kunnen uitoefenen; want de stok, waaraan in 't geheel 22 pond gewigt hangt, zal op het steunsel juist zoo veel drukking uitoefenen; en die drukking moet door eene even groote tegendrukking in evenwigt gehouden worden. Als wij de proef nemen, om een' stok, die op deze wijze met twee gewigten bezwaard is, op den top van een' vinger te dragen, dan ontdekken wij nog eene bijzonderheid, die opmerking verdient. Het blijkt dan, dat het lang niet onverschillig is, waar wij het ondersteuningspunt C kiezen; en dat er maar ééne punt is, waarop wij, den stok ondersteunende, het geheel in rust kunnen houden. Kiezen wij in plaats daarvan eenig ander punt, dat nader bij A of B ligt, dan zien wij den toestel wel niet regt naar beneden gaan (want dit wordt door de ondersteuning belet), maar om dat punt omslaan of kantelen. Meten wij nu, hoever dat eenige punt C van de punten A en B verwijderd is, dan vinden wij het juiste midden tusschen A en B, indien de twee gewigten, die aan A en B hangen, even zwaar zijn; terwijl het daarentegen, bij gewigten van ongelijke zwaarte, het naast bij het ophangpunt van het zwaarste zal gevonden worden, en wel juist zoo veel maal nader bij, als dat gewigt zwaarder is dan het ander. Met andere woorden, het punt C blijkt zóó gelegen te zijn, dat de afstand C B staat tot den afstand C A als de grootte van het gewigt in A tot die van het gewigt in B. Hangen wij dus aan de einden van een' stok of staaf van 11 palm lengte en stevig genoeg om niet van belang door te buigen, twee ligchamen, die 12 en 10 pond wegen, dan zullen wij dien stok op 5 palm afstand van het zwaarste ligchaam moeten ondersteunen; want dan zijn de afstanden 5 en 6 palm, en dus omgekeerd evenredig aan de gewigten. Er zal echter voor het evenwigt nog gevorderd worden, dat men een klein overwigt aanbrengt aan het kortste einde van de staaf, omdat dit op zich zelf ligter is dan het langere. De noodzakelijkheid daarvan blijkt voldingend, als men de gewigten alleen weér wegneemt; de staaf zal dan haren stand blijven behouden, zoodat wij



haar met het overwigtje hier als zonder eigen gewigt mogen aanmerken.

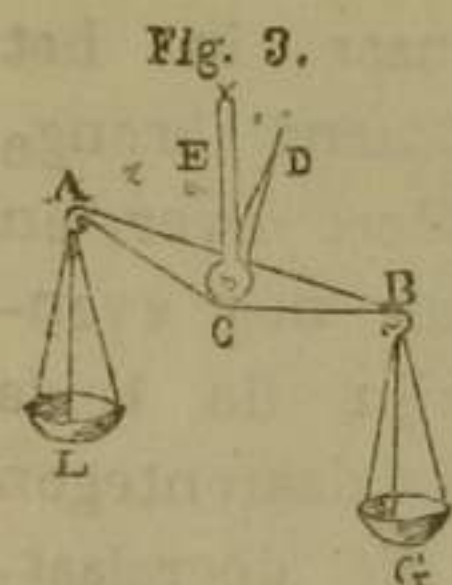
De gevonden evenredigheid leidt tot de oplossing van andere vragen. Als wij bijv. een' stok in een bepaald punt ondersteunen, daarbij door eenig gering overwigt zorg dragende dat hij in rust komt, en wij nu aan het eene einde een ligchaam van een bekend gewigt hangen: met hoeveel gewigt zullen wij den stok dan wel aan 't andere einde moeten belasten, om hem in evenwigt te houden? Laat den stok 1 el lang zijn, aan het eene einde 14 pond gewigt hangen, en het punt, dat ondersteund wordt, daarvan 3 palm verwijderd zijn, dan bedragen de beide afstanden 3 en 7 palm, de gewigten moeten dus tot elkander staan als 7 tot 3; en er moet derhalve  $\frac{3}{7}$  van 14, of 6 pond aan 't andere einde hangen. Daarbij zal het ondersteuningspunt met 14 + 6 of 20 pond kracht gedrukt worden, en derhalve even zoo veel moeten kunnen dragen. Wierd de stok aan een koord opgehangen, dan moest die koord sterk genoeg zijn, om niet door 20 pond gewigt vaneengescheurd te worden.

Uit de gevonden evenredigheid volgt alverder, dat, als wij een staaf aan een van hare punten ophangen en daarbij wederom een klein overwigt, zoo noodig, doen dienen om haar aanvankelijk in rust te brengen, als wij vervolgens beide uiteinden met gewigten bezwaren, en die gewigten zoo afpassen, dat zij met elkander in evenwigt zijn, deze tot elkander in verhouding zullen staan, omgekeerd als hunne afstanden tot aan het ophangpunt. Is de staaf bijv. 6 palm lang, en opgehangen aan een punt, dat 2 palm van het eene, en dus 3 palm van het andere einde verwijderd is, dan zullen, bij evenwigt, de aangehangen gewigten tot elkander in verhouding staan als 3 tot 2. Daarin ligt opgesloten, dat als de staaf in het midden opgehangen is, zij in evenwigt zijn zal, indien beide gewigten juist even zwaar zijn.

### III.

#### Weegschaal. Wegen.

Op de gronden in 't voorgaande ontwikkeld, steunt de inrigting onzer gewone weegschalen of balansen. Eene ba-



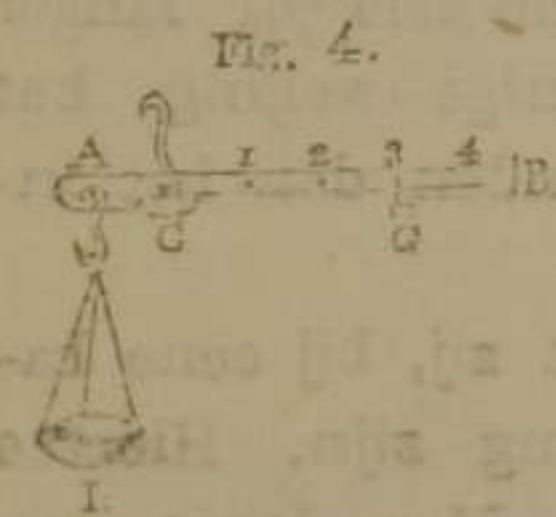
lans bestaat uit een juk AB (Fig. 3), meestal van ijzer of koper, en in 't midden van zijne lengte doorboord. Door de midden-opening is een zoogenaamd mes heengestoken, met welks scherpen kant het juk op een' dubbelen ring, waaraan het hangt, rust. Aan de beide uiteinden zijn schalen bevestigd, in eene van welke men het ligchaam legt dat gewogen moet worden, terwijl men in de andere zóo veel gewigt plaatst, als noodig blijkt om tot evenwigt te geraken. Of dit het geval is, ziet men aan de tong of den evenaar D, die, met het juk één geheel uitmakende, zich juist in zijn huisje E moet bevinden. Men besluit uit dat evenwigt, dat de zwaarte van het ligchaam geheel gelijk is aan de gewigten, die zich in de andere schaal bevinden, wanneer namelijk de beide deelen AC en BC van het juk volkomen even lang zijn. Want het punt C is hier het steunpunt, en volgens het vroeger gezegde zullen gelijke gewigten evenwigt maken, wanneer hunne ophangpunten op gelijken afstand van het steunpunt verwijderd zijn. Maar tevens is het klaar, dat, wanneer de beide afstanden AC en BC, die men de *armen* van de balans noemt, niet even lang zijn, de beide lasten ook niet even zwaar zullen zijn, als zij evenwigt maken, en dat men dus, als men met eene balans, waarvan de armen niet even lang zijn, op de gewone wijs weegt, het ware gewigt van het ligchaam niet zal vinden. Zoodanige balans noemt men valsche balans, omdat zij bedriegelijke uitkomsten geeft. Gebruikt een winkelier zulk eene balans, en legt hij de waar die hij verkoopen wil in de schaal, die aan den langsten arm hangt, zoo vindt hij daarvoor een te groot gewigt, en de koper, die den prijs betaalt naar dat te groote gewigt, komt daarbij te kort. Was bijv. de eene arm  $\frac{1}{10}$  langer dan de andere, dan zou men bij zoodanige weging het gewigt van het ligchaam ook  $\frac{1}{10}$  grooter vinden dan het inderdaad is.

Het is dus van belang, dat men in staat zij, bij eene balans te onderzoeken, of de armen even lang zijn. Hiertoe is een zeer eenvoudig middel voorhanden. Men legge een ligchaam in de eene schaal, en vermeerdere de gewigten in

de andere zoo lang totdat de wijzer of evenaar in het huisje is, of totdat er evenwigt ontstaat. Daarna bringe men het ligchaam uit de eene schaal in de andere over, en doe hetzelfde met de gewigtstukken; is er dan nog evenwigt, dan is de balans goed, dat is, dan zijn de beide armen A C en B C even lang. Slaat de balans daarentegen bij deze tweede weging door, dan is de arm die doorslaat, langer dan de andere; en het evenwigt, bij de eerste weging verkregen, kon alleen het gevolg zijn van de omstandigheid, dat men aan den kortsten arm een grooter last had gehangen. Komt nu bij de tweede weging die grootere last in de schaal, die aan den langsten arm hangt, dan is het duidelijk, dat hij niet langer evenwigt kan maken met den kleiner last, die nu aan den kortsten arm hangt.

Ook met eene valsche balans kan men intusschen nauwkeurig wegen, als men zich maar de moeite wil getroosten, eene dubbele weging te doen. Men legt dan het te wegen ligchaam in de eene schaal, en men vult de andere schaal met allerlei andere lichamen aan, onverschillig welke, met steentjes en zand bijv., totdat er evenwigt is. Vervolgens neemt men het ligchaam uit de eerste schaal, en legt daar zoo veel gewigtstukken voor in de plaats als juist noodig zijn om den evenaar op nieuws in het huisje te brengen. Daar hier ligchaam en gewigtstukken achtereenvolgens aan denzelfden arm komen te hangen, en met dezelfde voorwerpen evenwigt maken, moeten zij noodzakelijk even zwaar zijn, zonder dat het hier op de betrekkelijke lengte der armen aankomt. Zoo doende is men in staat om met elke ruwe zelfvervaardigde balans, al zijn de armen van ongelijke lengte, toch nauwkeurige wegingen te verrigten.

Er bestaan ook weegtoestellen, waarbij de armen met opzet ongelijk van lengte vervaardigd zijn (Fig. 4); men noemt ze *unsters*. De langer arm B C is zóó veel dunner dan de korter A C, dat hij met dezen, waaraan somtijds nog een schaalje L hangt, evenwigt maakt. Voorts is hij van het steunpunt C af in lengten C 1, 1-2, 2-3, 3-4, enz. afgebeeld, elke gelijk aan die van den korteren A C. Plaatst



men dan in het schaalje of hangt men, bij afzijn daarvan, onmiddellijk aan den korteren-armshaak een te wegen ligchaam, zoo zal een gewigtje G, dat juist even zwaar is, bij 1 gebragt, daarmede evenwigt maken, daar dan de armen als even lang kunnen aangemerkt worden. Voor een bijv. driemaal zwaarder last, heeft men hetzelfde gewigtje maar verder van het steunpunt af, hier naar 3, te verplaatsen, en er zal wederom evenwigt zijn.

Unsters hebben dus dit voordeel boven gewone balansen, dat men daarbij maar één, althans veel minder gewigtstukken noodig heeft. Zij worden dan vooral gebezigt, als men telkens andere veelvouden van dezelfde hoeveelheden af te wegen heeft. Ook voor het wegen van zware lasten leveren zij gemak op. Waar het daarentegen op groote nauwkeurigheid der weging aankomt, geeft men de voorkeur aan gewone balansen.

## IV.

## Soortelijk gewigt.

Wanneer wij de gewigten van verschillende stoffen, die wij door weging gevonden hebben, met elkander vergelijken, gebruiken wij de uitdrukking *zwaar zijn* dikwijls in eene andere beteekenis dan die, waarin zij tot hier toe genomen is. Wij doen dat, als wij zeggen dat metaal of steen zwaar, dat hout ligt is. Stroo, kurk, biezen, hooi, bestempelen wij met den naam van zeer ligte stoffen. Daarmede bedoelen wij evenwel niet, dat metaal wél eene drukking naar beneden zou uitoefenen, hout en stroo daarentegen niet; zelfs wachte men zich voor de onderstelling, alsof de drukking van ijzer altijd grooter zou zijn dan die van hout. Dit toch ware geheel onjuist, want wij kunnen een stuk ijzer nemen, dat juist een pond zwaar is, en evenzeer een stuk hout van een pond gewigts — en een pond ijzer zal wel niet zwaarder zijn dan een pond hout. Wij zouden zelfs zulke verschillende hoeveelheden van eene zeer ligte stof, kurk bijv., en van eene zwaardere kunnen nemen, dat het gewigt der eerste veel grooter bleek dan dat der laatste.

Om de beteekenis, waarin hier het *zwaar zijn* genomen wordt te vatten, moeten wij in aanmerking nemen, dat als wij in 't algemeen ijzer of lood zwaarder dan steen, en steen zwaarder dan hout noemen, wij ons dan van elke dier stoffen een even groot stuk denken, en de gewigten dier even groote stukken met elkander vergelijken. De uitdrukking: ijzer is zwaarder dan steen, steen zwaarder dan hout, enz., moet dus verstaan worden, alsof wij zeiden: 1 cub. palm ijzer heeft meer gewigt dan 1 cub. palm steen, 1 cub. palm steen meer dan 1 cub. palm hout, enz. Het is hierbij onverschillig, of wij van elke dier stoffen 1 cub. palm, 1 cub. el, dan wel meer of minder nemen, mits de stukken maar altoos even groot zijn, dat is gelijke ruimten beslaan. Neemt men bijv. een cub. palm ijzer en een cub. palm droog eikenhout, en weegt men ze, dan vindt men het gewigt van het ijzer omstreeks 7.8 pond, dat van het hout omstreeks 1.2 pond. IJzer weegt dus  $7.8/1.2$  of  $6\frac{1}{2}$  maal zoo veel als hout. Wegen wij nu een stuk ijzer, dat 10 cub. palmen beslaat, en een stuk eikenhout, dat ook 10 cub. palmen groot is, dan vinden wij voor het eerste een gewigt van 78 pond, voor het laatste van 12 pond, en de verhouding van beide getallen  $78/12$ , is weder  $6\frac{1}{2}$ . Deze verhouding van de gewigten van even groote stukken bedoelen wij, als wij zeggen, dat eene stof zwaarder is dan eene andere; en om duidelijker te spreken, geeft men aan die verhouding een' eigen' naam, en noemt die het *soortelijk gewigt* der stof. Men heeft daarbij verder verkozen, alle stoffen met zuiver water te vergelijken. Is het gewigt van een cub. palm ijzer 7.8 pond, en dat van een cub. palm water, gelijk wij weten, 1 pond, dan is het soortelijk gewigt van ijzer  $= 7.8/1 = 7.8$ . Het getal, dat het soortelijk gewigt eener stof uitdrukt, is dan tevens het getal dat uitdrukt hoeveel ponden een cub. palm dier stof weegt. Is bijv. het soortelijk gewigt van lood 11.3, dan wil dit zeggen, dat lood 11.3 maal zwaarder dan water is, of wel, dat 1 cub. palm lood 11 ponden en 3 oncen weegt. De kennis van het soortelijk gewigt der stoffen komt dikwijls te pas; en het is dus nuttig te weten, hoe zich dat laat bepalen. In sommige gevallen kan men daartoe van

de stof, welker soortelijk gewigt men kennen wil, eene cub. palm vervaardigen, en deze wegen. Volgens het gezegde is dan het gewigt, in Ned. ponden uitgedrukt, ook het getal dat het soortelijk gewigt aanduidt. In plaats van eene cub. palm kan men er ook een' cub. duim van maken, dezen wegen en met het gewigt van een' cub. duim water, 't welk juist een wigtje bedraagt, vergelijken. Bij deze proef zal het gevonden gewigt van het ligchaam, als het niet in ponden, maar in wigtjes wordt uitgedrukt, weder gelijk zijn aan het gevraagde soortelijk gewigt. Doch van deze eenvoudige manier moet men veelal afzien, zoodra men namelijk het ligchaam, welks soortelijk gewigt men verlangt te kennen, niet mag doorsnijden, om er een' palms- of duims-teerling van te maken. Evenmin kan men een' cubus maken van eene stof, die niet samenhangt, van zand bijv. of van vochten. Hoe men in het eerste geval het soortelijk gewigt bepaalt, zullen wij later zien; in het laatste gebruikt men daartoe een fleschje, dat men eerst ledig, daarna met de te onderzoeken stof, en eindelijk met water gevuld, weegt. Trekt men voorts het gewigt van het ledige fleschje van de beide andere gevonden gewigten af, dan zijn de verkregen verschillen de gewigten van de hoeveelheden stof en water, die beiden juist evenveel ruimte innamen; beiden toch vulden hetzelfde fleschje. Deelt men dus de eerste door de tweede, zoo heeft men het soortelijk gewigt. Bijv.:

Het fleschje weegt ledig . . . . .	123 wigtjes.
» » » gevuld met droog zand . . . . .	347 »
» » » vol zuiver water . . . . .	239 »
dus, gewigt van het zand alleen . . . . .	347 — 123 of 224 »
» » » » water » . . . . .	239 — 123 of 116 »
derhalve, soortelijk gewigt van het zand $= 224/116$ of 1.93.	
Een cub. palm van dat zand weegt bij gevolg 1 pond, 9 oncen en 3 looden.	

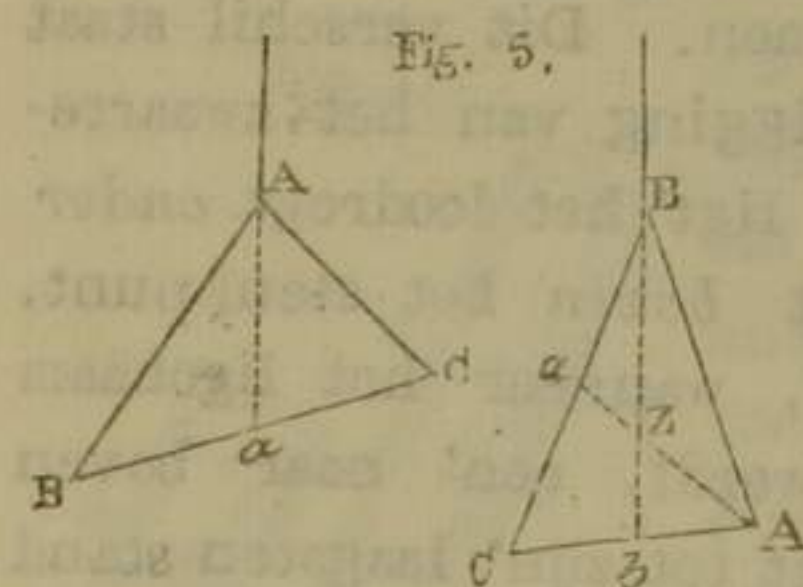
Op die manier zal men vinden, dat zuivere koemelk  $\frac{3}{100}$  zwaarder is dan water, of een soortelijk gewigt heeft van 1.03; dat zout water zwaarder is dan zoet water, enz.

V. *de stof, welke evenwicht is, is afhangig van de afstand tot het steunpunt.*  
Zwaartepunt.

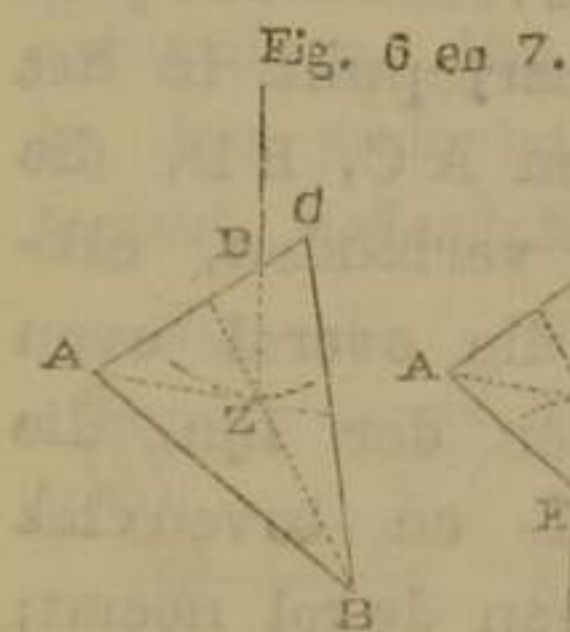
Wij zagen, dat men een' stok, aan welks einden twee gewigten hangen, door hem in een enkel punt te ondersteunen, in rust kan houden. Ditzelfde kunnen wij met lichamen van allerlei gedaante doen, mits wij ze juist in het vereischte punt ondersteunen, iets dat door proefneming gevonden kan worden. Leggen wij een' pijpsteel of eene lat, die overal even dik is, op een' vinger, dan vinden wij, dat zij juist in het midden ondersteund moeten worden, wil men het omkantelen naar de eene of andere zijde voorkomen. Uit het vroeger opgemerkte laat zich dit gemakkelijk verklaren. De beide helften van den pijpsteel of van de lat wegen evenveel. Het is dus alsof wij aan beide zijden van het steunpunt gelijke gewigten hadden hangen, en bij gelijke gewigten zagen wij, dat het evenwichtspunt werkelijk in het midden ligt. Maar is het ligchaam niet overal even dik en dus niet overal even zwaar, dan ligt het punt, om 't welk het ligchaam in evenwicht is, niet in het midden. Ook eene pijp, waarvan de kop niet afgebroken is, kunnen wij met weinig moeite op een' vinger in evenwicht brengen, of in eene lus hangen, zoodat zij niet omkantelt en nitglijdt; even zoo een' lepel, een mes, een' stok met een' knop of eene ijzeren punt er aan. Maar het ondersteuningpunt ligt dan digter naar het zwaarder deel; bij de pijp bijv. digter bij den kop, bij den lepel verder van den steel. Dit geval komt overeen met de staaf, aan welker uiteinden ongelijke gewigten waren opgehangen. Erken wij de pijp juist in dat punt door, om 't welk zij in evenwicht hing en wegen wij de stukken, dan vinden wij, dat zij niet even zwaar zijn; dit komt daar van daan, dat de werking van de beide deelen van het ligchaam, om het naar den eenen of den anderen kant te doen overslaan, niet alleen van het gewigt der deelen, maar ook van hunnen afstand tot aan het steunpunt afhangt.

Dat punt van een ligchaam, 't geen alleen ondersteund behoeft te worden, om het ligchaam in rust te doen zijn,

noemt men het *zwaartepunt*. De juiste plaats daarvan in eenig ligchaam kan men altijd door proefneming bepalen, zoo als uit het volgende voorbeeld, blijken zal. Onderstellen wij, dat het zwaartepunt van een driehoekig plankje A B C



(Fig. 5) moet gevonden worden. Om dit te vinden, hange men het plankje aan een der hoekpunten, bijv. A, op, en trekke op de plank de lijn A a, die door eene aan dat punt gehouden loodlijn wordt aangewezen. Vervolgens hange men den driehoek aan een ander hoekpunt B op, en trekke wederom de lijn B b op het plankje, door de loodlijn aangewezen; daar, waar dan de beide rigtingen A a en B b elkander snijden in Z, ligt het zwaartepunt, wel te verstaan, niet op het buitenvlak van 't plankje, maar binnen in op de halve dikte. Is de plank overal even dik, dan zullen de lijnen A a en B b de overstaande kanten B C en A C juist in twee even groote deelen verdeelen. Het zwaartepunt kennende, kan men nu vooruit den stand bepalen, waarin het plankje zich zal plaatsen, wanneer wij



het aan eenig willekeurig punt D (Fig. 6) ophangen; want, trekken wij eene rechte lijn door D en Z, dan zal deze lijn zich loodregt stellen. En willen wij het plankje van onderen in één punt E steunen (Fig. 7), zoo zal het dan alleen in rust kunnen zijn, als het zwaartepunt Z zich juist boven dat punt E bevindt. Dat ook op deze manier een ligchaam in rust gebracht en gehouden kan worden, leeren wij uit sommige kunststukken, die goochelaars dikwerf op kermissen vertoonen, waarbij op de punt van een mes, op een' pijpsteel, enz. groote lichamen in evenwicht worden gehouden, alsmede uit het koorddansen, waarbij de danser zijn zwaartepunt voortdurend juist boven het koord moet houden, indien hij zijn evenwicht niet verliezen wil. Tusschen zulk een evenwicht en dat van een hangend ligchaam bestaat, gelijk bekend is, een wezenlijk onderscheid. Als

namelijk een hangend ligchaam uit zijn evenwichtstoestand gebragt wordt, keert het, na eenige schommelingen, van zelf daartoe terug. Een van onderen gesteund ligchaam daarentegen zal dan geheel omslaan en in eenen gansch anderen evenwichtstoestand tot rust komen. Dit verschil staat in verband met de verschillende ligging van het zwaartepunt in beide gevallen. In Fig. 6 ligt het loodregt onder het ophangpunt, in Fig. 7 loodregt boven het steunpunt. In Fig. 6 beschrijft het zwaartepunt, wanneer het ligchaam uit den evenwichtstoestand gebragt wordt, een' naar boven gekeerden boog; het rijst dus, en komt tot zijn laagsten stand terug, als het weër in rust komt. In Fig. 7 gaat het zwaartepunt naar beneden, en keert, daar de zwaarte van 't plankje, de oorzaak der beweging, eene naar beneden werkende kracht is, door de werking dier kracht niet weder naar boven terug. Men zegt daarom, dat een hangend ligchaam zich in een' *vasten* evenwichtstoestand, een van onderen gesteund ligchaam daarentegen zich in een' *onvasten* of *wankelen* evenwichtstoestand bevindt. Konden wij het zwaartepunt zelf onmiddellijk bevestigen, dan hadden wij een zoogenaamd *onzijdig* evenwigt.

Bij eene vierzijdige figuur (Fig. 8), welker overstaande zijden even lang zijn, ligt het zwaartepunt in het punt Z, waar de twee lijnen A C, B D, die de overstaande hoekpunten verbinden, elkander snijden; bij eene *rol*, die overal even dik is (Fig. 9), op het midden der lijn, die de middelpunten van grond- en bovenvlak verbindt, en die men de *as* van de rol noemt; bij eene naald of piramide (Fig. 10) op een derde van de hoogte van onderen af gerekend; bij eene cirkelronde schijf, en bij een' bol in het middelpunt. Bij een ligchaam echter, dat van onderen gesteund wordt, niet in een enkel punt, maar in meerdere punten, zoo als een tafel of stoel, die op 3 of 4 pooten staat, of dat een ondervlak heeft, waarmede het op den grond staat, is de kennis van de ligging van het zwaartepunt van belang, omdat daarvan afhangt of het ligchaam gevaar loopt van om te vallen.

Fig. 8.

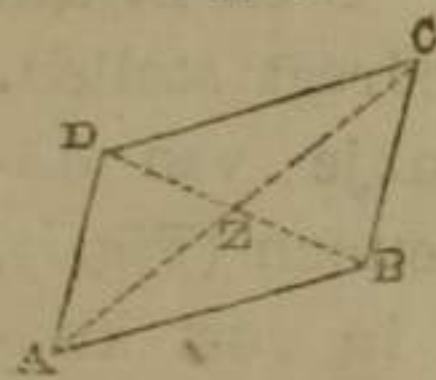
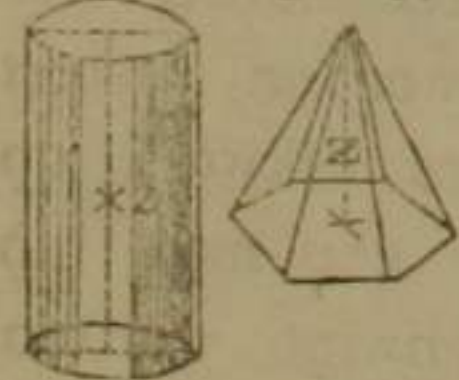


Fig. 9. Fig. 10.



Wordt namelijk een ligchaam los op den grond gezet, en laten wij uit het zwaartepunt eene loodlijn naar beneden vallen, dan blijft het ligchaam staan, als die loodlijn den grond binnen het grondvlak treft; het valt daarentegen om,

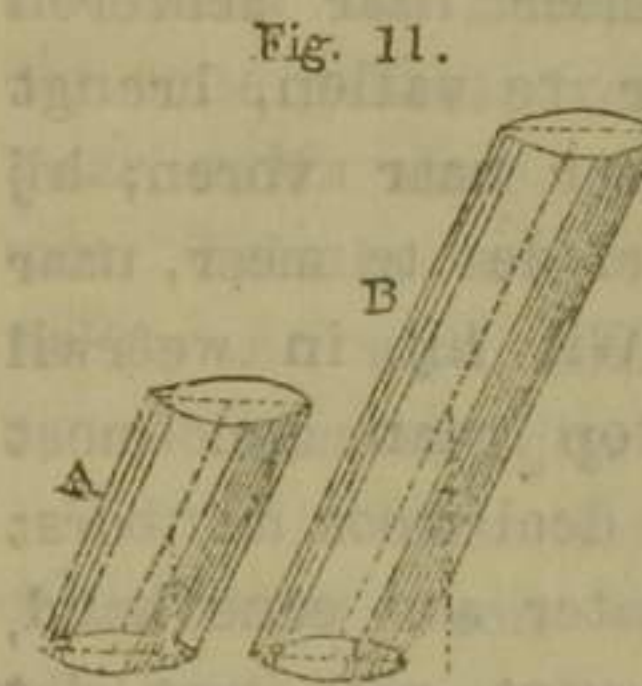
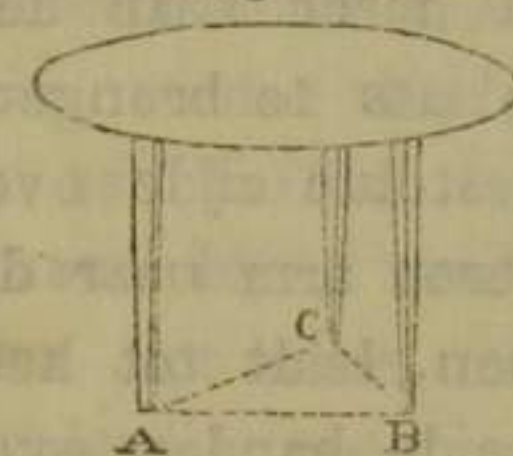


Fig. 11.

Fig. 12.

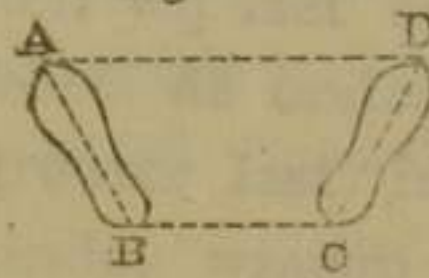


als de loodlijn buiten het grondvlak valt. Fig. 11 maakt dit duidelijk. De rol A zal blijven staan, de rol B daarentegen zal kantelen. Om dien regel toe te passen op een ligchaam, dat op 3 of meer pooten staat, moeten wij als grondvlak van dat ligchaam de figuur nemen, die ontstaat wanneer wij de pooten door rechte lijnen met elkander vereenigen. A B C is het grondvlak waarop de tafel (Fig. 12) rust.

Stellen (Fig. 13) A B en C D de voet-zolen van een' mensch voor, dan is A B C D het grondvlak waarop zijn ligchaam steunt.

Van de juistheid van den regel op het vaststaan van een ligchaam kunnen wij ons best aan ons eigen ligchaam overtuigen. Het zwaartepunt van een' mensch ligt midden in den onderbuik. Zoo lang nu de loodlijn, uit dat zwaartepunt nederdalende, binnen de ruimte A B C D (Fig. 13)

Fig. 13.



valt, kan een mensch blijven staan. Wel kunnen wij dat zwaartepunt een weinig verplaatsen door ons voor- of achterover, over de eene of andere zijde te bewegen; maar die bewegingen mogen zich niet te ver uitstrekken, of wij zouden omvallen. Moet bij een' zekeren arbeid een gedeelte van het ligchaam naar eene zijde ver overgebragt worden, dan dienen wij, om het zwaartepunt naar dien kant niet buiten het grondvlak te brengen, tegelijk een ander lichaamsdeel naar den tegenovergestelden kant uit te strekken. Wij doen dit dagelijks, zonder ons zelven de reden bewust te zijn waarom wij dergelijke bewegingen maken; maar wie op zijne eigen bewegingen acht geeft bij het gaan zitten en opstaan, bij het loopen en te paard rijden, zal de noodzakelijkheid van die bewegingen uit het gezegde omtrent het zwaar-

tepunt kunnen afleiden. Ook bij het dragen van lasten brengen wij het ligchaam in andere standen, dan waarin het gewoonlijk is, alleen om het zwaartepunt boven het grondvlak der voeten te houden. Draagt men een' last op den rug, dan valt het gemeenschappelijk zwaartepunt meer naar achteren dan anders; ten einde dus niet achterover te vallen, brengt een drager zijn eigen zwaartepunt wat meer naar voren; hij gaat dus eenigzins voorover gebukt, en wel des te meer, naar mate de last verder achteruit steekt. Wil hij, in weêrwil van den last, dien hij torscht, toch regtop gaan, dan moet hij een deel daarvan op zijn' rug, een deel voor de borst dragen. Houdt men een' emmer met water aan eene hand, dan valt het gemeenschappelijk zwaartepunt niet met dat van ons ligchaam zamen, maar bevindt zich meer naar den emmer heen; om het dus op de vereischte plaats te brengen, dient men het ligchaam naar de tegenovergestelde zijde over te buigen; ook het uitsteken van den anderen arm naar die zijde, 't geen men daarbij dikwijls ziet doen, leidt tot hetzelfde doel. Draagt men daarentegen aan beide handen even zware lasten, dan is het zwaartepunt niet bezijden verplaatst, en de drager kan regtop gaan als gewoonlijk. Hetzelfde geldt van het dragen op één' of twee schouders. Bij het dragen op het hoofd, gelijk de visch- en pottenvrouwen doen, blijft het zwaartepunt steeds in dezelfde loodlijn, en ook deze kunnen dus regtop gaan.

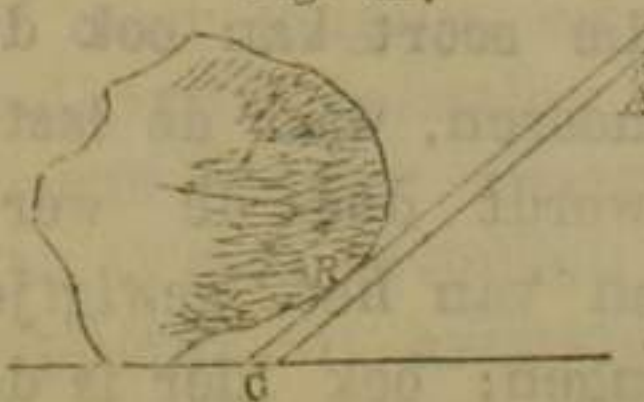
## VI.

## Hefboom.

Wanneer men een ligchaam met de hand wil opbeuren, dan moet men, gelijk wij zeiden, eene kracht naar boven uitoefenen, die grooter is dan de kracht waardoor het ligchaam naar beneden wordt getrokken, dat is, grooter dan het gewigt van het ligchaam. Om dus een ligchaam dat 6 pond weegt op te ligten, moet de arm meer dan 6 pond kracht uitoefenen. Er zijn intusschen middelen, waardoor wij een' grooten last kunnen opligten met behulp van eene veel kleinere kracht. Wij zien dikwerf een enkel man een' last ophijschen, die zoo zwaar is, dat hij dien regt-

streeks onmogelijk zou kunnen opbeuren, en wij weten, dat het ophijschen van zoo groote lasten hem daarom alleen mogelijk is, omdat hij daartoe zekere toestellen gebruikt, bekend onder de namen van katrol, takel of windas. Bij het doen van herstellingen aan huizen gebeurt het dikwerf, dat eene geheele verdieping niet alleen ondersteund wordt, maar zelfs door eenige weinige mannen wordt opgevijseld met behulp van eene zoogenaamde dommekracht, door welke een man eene kracht kan uitoefenen, die gelijkstaat met de gezamenlijke kracht van 10 of meer mannen.

Van alle toestellen, die tot dergelijk doel dienen, is de eenvoudigste een enkele stok of boom, die naar de verschillende omstandigheden, waaronder hij gebezigd wordt, verschillende namen draagt. In 't algemeen noemt men hem, omdat hij dikwijls bestemd is om op te beuren of op te heffen, een' *hefboom*. Wil men een zwaar ligchaam, bijv. een' zwaren steen, voortbewegen, dan steekt men het eene uiteinde van een' houten boom, dien men handspak noemt, er onder, en men duwt het andere einde van die spaak naar boven. Op deze wijze gelukt het, den steen aan de eene zijde op te ligten, hem te doen omkantelen, en zoo doende voorwaarts te brengen. Hierbij valt op te merken, vooreerst dat het noodig is, dat het andere einde van de spaak steun vindt op den grond of tegen een vaststaand ligchaam; want zoodra die steun ontbreekt, kunnen wij met de spaak geene kracht uitoefenen. Ten andere leert de ondervinding, dat men op deze wijze een des te grooter last in beweging kan brengen, naar mate het uiteinde, waarop de kracht van den man werkt, verder verwijderd is van dat steunpunt, en naar mate het punt, waar de spaak tegen den last werkt, digter bij het steunpunt is, d. i. in Fig. 14: de spaak wordt met des te meer voordeel gebruikt, naar mate de afstand  $AC$  langer, en de afstand  $BC$  korter is. Drie zoodanige punten,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , komen bij 't gebruik van een' hefboom altijd voor, en zij dragen daarom bijzondere namen, te weten: het steunpunt ( $C$ ), het lastpunt ( $B$ ) en het krachtpunt ( $A$ ),



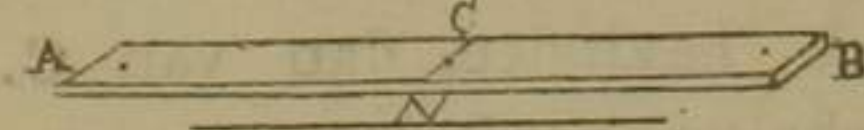
Ook aan de afstanden van de punten A en B tot aan C geeft men eigennamen, en noemt ze *hefbooms-armen*. Een hefboom wordt derhalve met des te meer voordeel gebruikt, naar mate de hefbooms-arm A C, aan welken de kracht werkt, langer, en de hefbooms-arm van den last, B C, korter is. De hefboom zelf draait onder het bezigen daarvan om het steunpunt in de rondte, en dit blijft op zijne plaats. De reden waarom men aldus met een' hefboom onder 't aanwenden eener kleine kracht een groot gewigt kan opbeuren, is deze: de last die in B op den boom drukt, wordt voor een deel gedragen door de kracht die in A werkt, maar voor een ander deel door den grond, die den boom in C onderteunt. De last verdeelt zich over de punten A en C, en wel, even zoo als wij vroeger zagen, in rede van de afstanden van B tot C en van B tot A; is dus de lengte van de spaak A C 2 el, de afstand B C 1 palm, en dus de afstand A B 19 palm, dan wordt  $\frac{19}{20}$  van den last gedragen door het steunpunt, en maar  $\frac{1}{20}$  door de kracht, die in het punt A werkt. Een last van 1000 pond zal dus in A slechts drukken met een vermogen van  $\frac{1}{20}$  van 1000 of 50 pond, en derhalve zal eene tegendrukking van 50 pond voldoende zijn, om den hefboom in den stand, waarin hij in Fig. 14 afgebeeld is, in rust te houden, en bij het aanwenden van elke kracht, die grooter is dan 50 pond, zal de hefboom en de daarop drukkende last in beweging geraken.

Bij de handspaak ligt het steunpunt aan het eene uiteinde van den hefboom, en het krachtpunt aan het andere, de last werkt tusschen deze beide punten. Dit is niet bij alle hefboomen het geval; bij sommige is het steunpunt gelegen tusschen de beide andere, bijv. bij de hefboomen die dienen om het water op te halen, gelijk de zwengel onzer huispompen, en van die putten, welke te diep zijn om het water er uit te kunnen scheppen. Tot die soort kan ook de unster, Fig. 4, gerekend worden te behooren, waar de last, die gewogen moet worden, opgeheven wordt door de werking van eene kleine kracht, te weten van het gewigtje dat aan den langeren arm wordt opgehangen; ook hier is de beweging van den last door een ligter gewigt alleen daarom mogelijk, omdat er nog eene derde kracht medewerkt, de

ondersteunende kracht namelijk, in het draaipunt, welke medewerking duidelijk wordt, zoodra wij maar nagaan wat er gebeuren zou, indien de unster in zijn draaipunt niet bevestigd ware of niet ondersteund wierd. De toestel zou in dat geval noodwendig vallen, en dat ondersteunen is dus niet anders dan het aanbrengen in het steunpunt C van eene kracht, die den geheelen toestel met bevrachting en al draagt. De gewone balans, Fig. 3, is mede een hefboom van gelijke soort als de unster, het ligchaam dat gewogen wordt is hier de last, de gewigten in de andere schaal zijn de kracht; daar nu beiden hier aan even lange hefbooms-armen werken, moeten zij ook wel even zwaar zijn, om evenwigt te maken. In plaats van gewigten in de schaal te leggen, kan men met de hand die schaal naar beneden drukken, en dan moet de hand eene kracht uitoefenen, die juist zooveel ponden bedraagt als het gewigt, dat anders in de schaal geplaatst moest worden, dus even zoo groot als de zwaarte van het ligchaam, dat in de andere schaal ligt, en 't welk eerst opgeligt zal worden door aanwending van juist zooveel kracht meer, als men noodig zou hebben om het ligchaam regtstreeks van onderen tegen de schaal, waarin het ligt, op te duwen. Men ziet hier dus, dat het gebruik van een' hefboom geen gemak aanbrengt, wanneer de kracht niet aan een' hefbooms-arm werkt die langer is dan die van den last, of van het ligchaam dat opgeheven moet worden.

Een leerzaam voorbeeld van een' hefboom en van de werking van krachten er op hebben wij in de *wiplank*. Op eene plank AB (Fig. 15), die in 't midden C ondersteund is en alzoo aan weerskanten op en neder kan bewogen worden, plaatsen zich aan de einden twee of meer jongens, en doen hem beurtelings op en neêrgaan. Indien de belasting aan weerszijden juist even groot ware, voorts beider zwaartepunten A en B op gelijken afstand van C zich bevonden en op dien afstand bleven, dan zou de wiplank in evenwigt zijn. Was aan den eenen kant de vracht zwaarder, dan had zij maar een weinig digter op te schuiven naar het midden C, en wederom zou er evenwigt

Fig. 15.



zijn. Doch dat is de bedoeling niet. De jongens dus, wier beurt het is omlaag te gaan, zullen zich tot dat einde met hunne lichamen in dier voege moeten bewegen, dat hun gezamenlijk zwaartepunt zoo ver mogelijk verwijderd worde van het midden C, terwijl de knapen aan den anderen kant juist het tegenovergestelde hebben te doen. Wie, bij het stuiten der plank op den grond, dezen met zijne voeten aanraakt, en hetzij geheel of gedeeltelijk een oogenblik het gewigt van zijn ligchaam laat dragen, ontheft de wipplank van dien last, waardoor de bevrachting aan den anderen kant dat einde omlaag zal doen gaan.

Niet altijd brengt het gebruik van een' hefboom hetzelfde voordeel aan. Er zijn zelfs werktuigen, die ook hefboomen genoemd worden wegens hunne overeenkomst met de boven vermelde, en waarbij men eene grootere drukking moet aanwenden, dan de tegenstand bedraagt, dien men overwinnen wil. Dergelijke hefboomen hebben andere voordeelen, waarom men er gebruik van maakt. Wij willen er een enkel voorbeeld van geven, en daartoe de gewone vuurtang beschouwen, die als een dubbele hefboom kan worden aangemerkt.

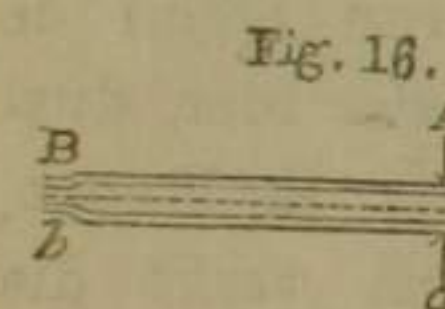


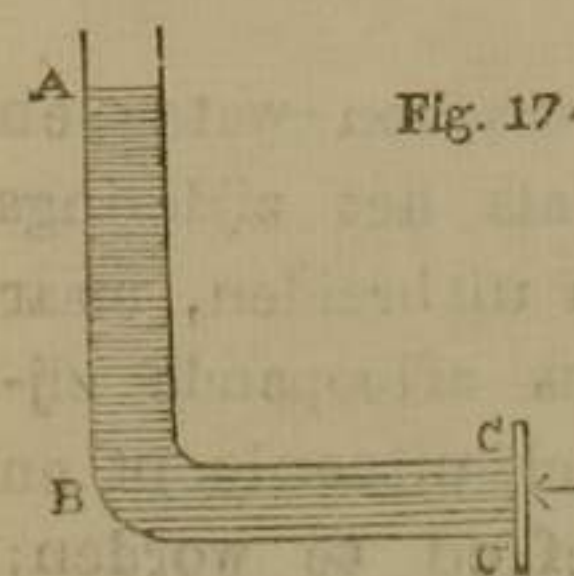
Fig. 16. Fig. 16 stelt er eene voor. Het eene been  $b a C$  is uit één stuk met het bo-  
veneinde  $C D$ . Het ander been  $B A C$   
draait met behulp van een scharnier  
in  $C$ . De last, waarmede hier het vermogen evenwigt moet  
maken, is de tegenstand dien het kooltje vuur noodzakelijk  
moet bieden, zal het tusschen  $B$  en  $b$  gegrepen kunnen wor-  
den. Bij  $A$  en  $a$  in de rigting der pijltjes wordt de kracht  
aangebragt, welke punten ik vooronderstel dat van  $B$  en  $b$   
op viermaal grooteren afstand zich bevinden dan van  $C$ .  
De aangewende kracht zal zich derhalve verdeelen en voor  
het  $\frac{4}{5}$  gedeelte strekken om het scharnier en zijne kom tegen  
elkander aan te drukken, voor  $\frac{1}{5}$  gedeelte slechts het voor-  
werp tusschen  $B$  en  $b$  klemmen. Hier is dus het vermogen  
grooter dan de last, en staat in verhouding daartoe als  $5:1$ .  
Het voordeel der vuurtang is dit, dat men daarmede in staat  
is op betrekkelijk grooten afstand van het vuur toch een  
gloeijend ligchaam te grijpen, zonder gevaar te loopen van  
zich te branden.

### Drukking van vochten.

De dagelijksche ondervinding leert ons, dat vloeistoffen, even zoowel als vaste lichamen, vallen en zwaar zijn. Wanneer water in de schaal van eene balans gegoten wordt, oefent dat water eene werking op de schaal uit, en de balans slaat door. Even bekend is het, dat water, als het niet ondersteund wordt, valt. Zoodra er een gat in den bodem van een' emmer is, loopt het water er uit. Water en andere vloeistoffen begeven zich altijd naar de laagste punten, die zij bereiken kunnen; wij noemen dit vloeijen en stroomen, en 't is een verschijnsel, dat wij aan alle rivieren en beken waarnemen.

Bij deze overeenstemming tusschen vaste lichamen en vochten is er intusschen ook een wezenlijk verschil.

De vochten drukken niet alleen naar beneden, maar ook zijdelings, iets dat bij vaste lichamen meestal niet plaats vindt. Het water in een' bak drukt niet alleen op den bodem, maar ook tegen de opstaande zijwanden van den bak. Dit wordt reeds waarschijnlijk, als wij bedenken, dat zoodra er eene opening in den zijwand is, het water daaruit spuit. Wij zien het bijv. aan een houten vat, waarvan de duigen niet behoorlijk sluiten, of aan eene sluisdeur, waar water tegenaan staat, en waarvan de reten niet behoorlijk digt zijn. Daar nu elke beweging door eene oorzaak wordt voortgebragt, moet er ook eene zijdelings werkende kracht zijn, die dat uitspuiten voortbrengt. Is er geen opening en dus geen uitspuiten, geen bewegen van waterdeelen, dan werkt die kracht daarom toch, maar brengt drukking te weeg. Het wezenlijk bestaan van die zijwaartsche drukking kan blijken uit de navolgende proef. Neem eene regthoekig omgebo-



gen buis,  $A B C$  (Fig. 17), plaats het eene  
been  $A B$  regtop, en het andere been  
 $B C$  dus in een' liggenden of water-  
passen stand; houd tegen den rand  $C C'$   
een plankje en giet nu van boven water  
in de buis, bijv. tot aan  $A$ , dan zal  
het plankje door het water zijdelings



weggedrukt worden, en willen wij dat wegdrücken beletten, dan zullen wij het met eene zekere kracht tegen den rand  $C C'$  moeten aandrukken. Die toestel leert ons verder, dat de zijdrukking des te grooter wordt, naar mate de buis tot eene grootere hoogte met water gevuld wordt, en men kan gemakkelijk aantoonen, dat als de kolom  $A B$  twee- of driemaal hooger is, de zijdrukking ook juist twee- of driemaal grooter zal wezen.

Dat zijdelings drukken van vochten is een gevolg van het niet aan elkander vastzitten der vochtdeelen. Want neem in den winter een vierkanten bak met water gevuld, zet dien bak in de buitenlucht, en laat het water daarin tot een klomp ijs bevrozen, met andere woorden, in een vast ligchaam veranderen, dan zal men geen zijdelingsche drukking meer waarnemen; men kan dan in de zijwanden openingen maken, ja ze geheel wegnemen, als niet noodig tot ondersteuning van den ijsklomp. Omgekeerd, wanneer wij een vast ligchaam in eene menigte kleine deelen verdeelen, die niet aan elkander verbonden zijn, zullen deze ook zijdelingsche drukking uitoefenen. Dit is bijv. het geval met droog zand, waarmede wij een bak vullen; denken wij ons daar ook de zijwanden weggenomen, dan is het bekend, dat het zand niet zal blijven staan, maar dat het onderste gedeelte zijdelings zal uitwijken; dat het zand ineen zal zakken, zich naar de zijden uitbreiden en een hoop met hellende grensvlakken zal vormen. Meer in het groot nog kunnen wij het water vergelijken met een opgestapelden hoop kogels, waarvan ook de bovenste niet alleen regt naar beneden op de onderste drukken, maar deze ook zijdelings doen uitwijken, als zij door geene zijwanden daarin verhinderd worden, en als tevens de bodem, waarop zij liggen, effen genoeg is, om niet door wrijving dat uitwijken te beletten.

Er is intusschen een wezenlijk verschil tusschen water en droog zand. Want het laatste zal wel, als het zijdelings niet gesteund wordt, ineen zakken en zich uitbreiden, maar toch meestal een hoop blijven, met schuins aflopende zijvlakken, terwijl water, in dat geval, geheel uiteenloopt en de bovenoppervlakte eindigt met geheel effen te worden;

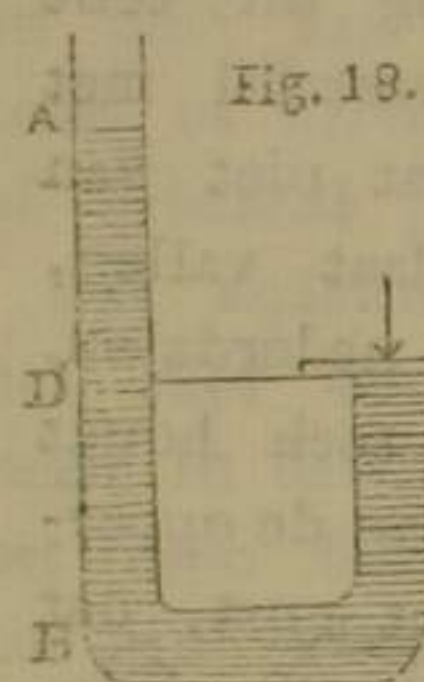
immers water en even zoo andere vochten vertoonen zich nooit als hoopen.

Het is die zijdelingsche drukking van water, welke dikwerf het doorbreken van dammen veroorzaakt, waartegen aan de eene zijde water staat, en aan de andere zijde niet.

Vochten oefenen ook eene opwaartsche persing uit, eene drukking naar boven; en ziedaar een tweede verschil met vaste lichamen. Als men een stuk hout, dat niet van de dichtste soort is, van eene hoogte in water laat vallen, ziet men het daarin tot eene zekere diepte nederdalen, maar niet tot op den bodem komen. Weldra toch houdt het nederdalen op; het stuk hout rijst weér tot aan de oppervlakte, en komt eindelijk in zoodanigen stand tot rust, dat het gedeeltelijk boven het water uitsteekt, gedeeltelijk daarin gedompeld blijft. Het omlaag gaan van het stuk hout is een gevolg van zijne zwaarte; maar waarom gaat het hout niet, even als in de lucht, voort met vallen, totdat het op den grond van het water is gekomen? Waarom volgt op dat vallen weder een naar boven komen? Indien het niet in water, maar in de lucht viel, zou dit niet gebeuren. De reden daarvan is bij het water te zoeken, dat eene kracht op het stuk hout moet uitoefenen, die van onderen naar boven werkt. Wij nemen dit niet enkel waar aan hout, maar bij al zulke lichamen, die soortelijk ligter zijn dan water, gelijk puimsteen, ijs, houtskool, ligte turf; ook aan lichtere vloeistoffen, als olie, terpentijn, sommige wijnsoorten. Met stoffen daarentegen, die soortelijk zwaarder zijn dan water, is het anders gelegen; een steen komt niet weder van zelve naar boven; een stuk glas of ijzer evenmin. En dat het al of niet naar boven komen alleen daarvan afhangt, of het vallende ligchaam soortelijk zwaarder of ligter is dan het vocht, en niet van den aard van het vocht, blijkt, als wij twee verschillende vloeistoffen nemen, olie en water bijv., waarvan de eene ligter, de andere zwaarder is dan het ligchaam, dat wij er in laten vallen.

Tot hier toe is neg onbeslist gebleven, of het water op de lichamen, die zwaarder dan water zijn, insgelijks eene opwaartsche persing uitoefent; want eene zoodanige persing zou aanwezig kunnen zijn, zonder vermogen genoeg te be-

zitten, om op te wegen tegen de kracht, die het ligchaam doet vallen; maar eene andere proef zal ons doen zien, dat water inderdaad alle lichamen opwaarts perst, welke proef ons tevens nader met die persing bekend zal maken. Neemt men eene tweemaal regthoekig omgebogen buis (Fig. 18),



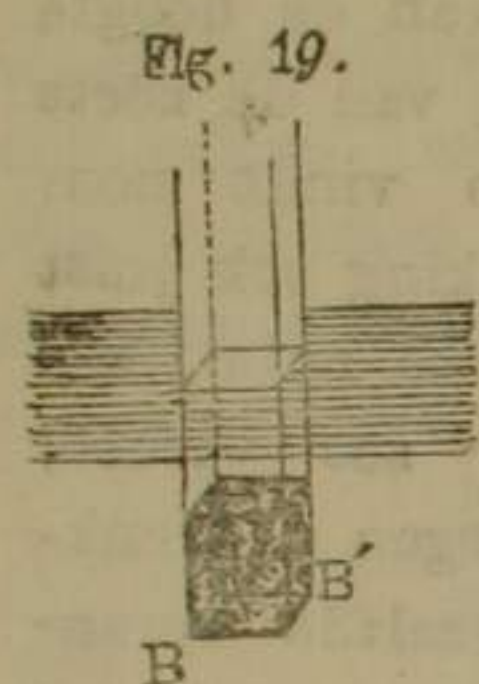
die aan beide einden open is, en welker eene arm A B veel langer is dan de andere C D, en plaatst men ze met die armen regtop; legt men vervolgens op den effen rand van den korten arm een dun plankje, en drukt men dit met de hand of door oplegging van eenig gewigt op den rand der buis B C aan; giet men voorts water in den langen arm, dan zal er, zoo lang het water daarin lager staat dan de rand van den korten arm, niets gebeuren als men de hand of het gewigt wegneemt; maar zoodra het water hooger komt te staan, zal in het gestelde geval het plankje onmiddellijk opgeligt worden, en het water er uit spuiten. Door de drukkende kolom al hooger te maken, kan men zelfs verkrijgen, dat het plankje met gewigt en al wordt opgeligt; de opwaartsche drukking van het water tegen het plankje is dan grooter dan de nederwaartsche drukking, die het plankje en daarop staand gewigt uitoefenen. Doch wij kunnen er dan meer gewigt op zetten en daarmee voortgaan, totdat wij het kleinste gewigt gevonden hebben, dat juist toereikend is, om het opligten te beletten. Wij leeren op die wijze de hoogrootheid van de persing kennen.

Gieten wij dus meer water in den langen arm, zoodat de hoogte van den waterstand daarin toeneemt, zoo zal er, om evenwigt te maken, ook een grooter gewigt noodig zijn, en dat gewigt groeit aan in dezelfde mate, waarin de hoogte van het water in het lange been toeneemt; heeft men bijv. gevonden, dat een palm water meer in de lange buis drie oncen gewigt meer noodig maakt, dan zal elke volgende palm water ook telkens juist drie oncen meer vereischen, om evenwigt te doen ontstaan. Wij kunnen dit nauwkeurig uitdrukken met te zeggen: de opwaartsche persing van water is evenredig aan den loodregten afstand van het vlak van persing tusschen den waterstand in de lange buis.

De grootte van het gewigt hangt, behalve van de hoogte der druk-kolom, ook van de wijdte der opening van de korte buis af. Heeft die tweemaal zooveel inhoud, zoo vindt men, mits al het overige 't zelfde blijft, de drukking ook juist tweemaal zoo groot; is de monding driemaal zoo ruim, zoo wordt de drukking ook driemaal grooter, en zoo verder; dus juist zooveel grooter, als het vlak, waartegen de drukking werkt, grooter wordt. Maakt men dezelfde verandering aan de lange buis A B, dan leert de uitkomst, dat de wijdte van deze niets toebrengt tot de hoogrootheid der opwaartsche persing, zoo lang de hoogte A D' van 't water maar dezelfde blijft. Dit heeft het merkwaardig gevolg, dat, als men een toestel neemt, waarbij de lange buis zeer naauw, de korte daarentegen zeer wijd is, de kleine hoeveelheid water, die tot vulling van dien toestel noodig is, eene zeer groote opwaartsche drukking zal uitoefenen, zoodat er een zeer groot gewigt zal noodig zijn, om met die drukking evenwigt te maken. Dit zien wij dikwijls door de ondervinding bevestigd. Als bij hoogen stand eener rivier, het water door den grond heen een' weg vindt tot onder den vloer eener sluis, waarin het water veel lager staat, dan loopt zoodanige sluis-kom gevaar van opgeligt te worden. Als bij een huis, dat geheel of gedeeltelijk in 't water staat, maar waarbinnen het droog is, het water gelegenheid vindt, om door den grond heen, tot onder het huis te komen, zoo kan de vloer opgeperst worden en barsten, zoodat het huis op die wijze, tot op de hoogte van den waterstand er buiten, zal onderloopen.

In elke der aangevoerde proeven zien wij het vocht naar boven drukken, als het in gemeenschap is met ander vocht, dat hooger staat: heeft dat niet plaats, dan is er ook geen oppersing.

De hoogrootheid der opwaartsche drukking staat in een naauw en zeer eenvoudig verband met de hoeveelheid vocht, die door het vlottende ligchaam verdrongen wordt. Neemt men een' kokervormigen vierkanten houten bak met dunne wanden, die ettelijke palmen hoog, en welks grondvlak een palm in 't vierkant is (Fig. 19), zet men dien regtstandig in het water en doet men er tegelijk zooveel zand

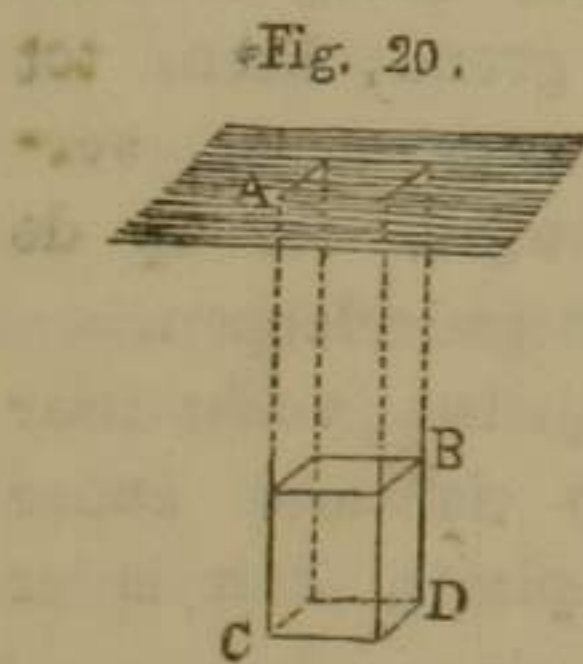


in, dat hij juist 1 palm diep inzinkt, dan bevindt men, dat zijn gewigt, met dat van het zand zamengenomen, 1 pond bedraagt. De koker nu verdringt juist 1 cub. palm water, waarvan het gewigt ook 1 pond is. Vult men den bak verder, totdat hij bijv. 2 of 3 palmen diep het water inzinkt, en weegt men hem op nieuws, dan blijkt het, dat hij nu 2 of 3 pond weegt, terwijl hij juist even zoo vele cub. palmen of ponden waters verdrong; en deze gelijkheid zal blijken ook bij elke andere vulling te blijven bestaan. Daar nu de drukking van den koker naar beneden, d. i. zijne zwaarte, in evenwigt is met de opwaartsche persing, is deze even groot, en dus gelijk aan het gewigt van de waterkolom, die boven het grondvlak B B' zou staan, indien zij door het ligchaam niet verdrongen ware.

## VIII.

## Drijven en zinken.

De proeven, die wij vermeld hebben, kunnen ons een juist denkbeeld geven van 't geen er plaats vindt met een ligchaam, dat in een vocht ondergedompeld is (zie Fig. 20).



Daarop werken drie krachten: vooreerst de zwaarte van het ondergedompelde ligchaam zelf, die het naar deneden trekt; ten tweede de drukking van de vochtkolom A B, die boven het ligchaam staat, ook naar beneden werkt, en zich dus met zijn gewigt vereenigt, om het te doen nederdalen; ten derde de opwaartsche persing, die door het vocht tegen het ondervlak van het ligchaam uitgeoefend wordt, en die het tracht naar boven te bewegen. Of deze voorstelling juist is, kunnen wij onderzoeken door na te gaan, wat er uit voortvloeit, en deze gevolgtrekking aan proeven te toetsen. Wij zagen, dat de neerwaartsche drukking van het bovenvocht juist gelijk is aan het gewigt der vochtkolom A B, dat de opwaartsche drukking daarentegen gelijk is aan het gewigt

eener vochtkolom van den waterspiegel tot aan het ondervlak van het ligchaam gerekend, dat is de kolom A D. De laatste is dus grooter dan de eerste, en het verschil van beiden staat gelijk met het gewigt van de hoeveelheid vocht, die bevat zou kunnen zijn in de ruimte B C, waarin zich het ligchaam bevindt. Is het ingedompelde ligchaam bijv. een teerling van 1 palm zijde, en is het 2 palm diep onder water gedompeld, dan zal er eene kolom water A B boven staan van 2 cub. palm, die 2 pond weegt; de opwaartsche drukking zal gelijk zijn aan het gewigt van de kolom water A D, welke juist 3 cub. palm ruimte inneemt en dus 3 pond bedraagt; deze overtreft derhalve de andere nagenoeg 1 pond, dat is zooveel als het gewigt bedraagt van het water, dat zich zou kunnen bevinden in de ruimte, die door de cub. palm wordt ingenomen. Wij kunnen het dus beschouwen alsof er op een ondergedompeld ligchaam maar twee krachten werken: zijn eigen gewigt en eene naar boven werkende kracht, die hier 1 pond groot is en die in 't algemeen gelijk is aan het gewigt van het vocht, dat door het ligchaam verplaatst wordt. Het is daarom even alsof het ligchaam zooveel minder zwaar is, dan dat verplaatste water weegt. Dit nu blijkt inderdaad het geval te zijn, als wij het ligchaam wegen, terwijl het in het vocht ondergedompeld is. Nemen wij bijv. een' steen, die 20 duim lang, 10 duim breed en 4 duim hoog is, en die dus eene ruimte van  $20 \times 10 \times 4$  of 800 cub. duimen beslaat. Laat, bij weging op de gewone manier, zijn gewigt bevonden worden 2 pond te bedragen; hangen wij vervolgens den steen aan een' dunnen ijzerdraad onder aan eene schaal der balans op, in stede van hem er op te leggen, en plaatsen wij daaronder een' bak met water derwijze, dat de steen geheel onder water hangt. Het gewigt van den steen in dien toestand blijkt nu maar 12 oncen te zijn, dus 8 oncen minder dan vroeger. Daar nu 800 cub. duim water ook juist 8 oncen weegt, zien wij, dat de steen juist zooveel lichter is geworden, als het gewigt van het verplaatste water bedraagt.

Uit het ondersteunen van een ligchaam door het water, waarin het zich bevindt, of, zoo als men het oneigenlijk

uitdrukt, uit het gewichtsverlies van in water ondergedompeelde lichamen wordt het duidelijk, waarom een in 't water liggend mensch gemakkelijk kan boven gehouden worden, zelfs door een' jongen of door een' hond. Een mensch weegt bijkans evenveel als 't water dat hij verplaatst, slechts eenige ponden meer. Om een' mensch, die in 't water ligt, op te houden, heeft men dus maar eenige ponden last te dragen.

Is het gewichtsverlies gelijk aan het gewicht van het verplaatste water, dan is het even groot voor alle lichamen, die evenveel water verplaatsen; dus voor alle lichamen die even groot zijn. Dit blijkt ook, wanneer wij voor den steen een ander ligchaam nemen, dat juist even groot is, maar uit eene zwaarder stof bestaat, bijv. een stuk ijzer. Een stuk ijzer van gelijke grootte als de bedoelde steen, weegt, op de gewone manier gewogen, omstreeks 6.24 pond. Wegen wij het, terwijl het onder aan de schaal en in water hangt, dan vinden wij het gewicht 5.44 pond, of wederom juist 8 oncen minder.

Wegen wij denzelfden steen, terwijl hij niet in water, maar in een ander vocht, bijv. in olie, hangt, dan moet hij daarin geen 8 oncen verliezen, maar juist zooveel als 800 cub. duim olie wegen. Ook dit wordt door de proef bevestigd. Nemen wij gewone lampolie, waarvan 1 cub. palm 9.2 oncen weegt, zoodat dus 800 cub. duimen  $\frac{800}{1000} \times 9.2 = 7.36$  oncen wegen, dan vinden wij, dat de steen, als hij daarin hangt, ook juist 736 wigtjes lighter is, dan wanneer hij in de lucht gewogen wordt.

Daar onze voorstelling derhalve waar blijkt te zijn, kunnen wij er van uitgaan, om te onderzoeken, wat er met een ligchaam, dat in een vocht gedompeld wordt, gebeuren moet, zoodra wij het loslaten, en maar zorgen er niet tegen te stooten. Het is dan, alsof er twee krachten op werkten, zijn eigen zwaarte en eene drukking, gelijk aan 't gewicht van 't verplaatste vocht; de eerste kracht trekt naar beneden, de laatste duwt naar boven. Is nu de eerste dier krachten de grootste, dan moet het aan deze gehoorzamen, en dus naar beneden gaan; is de laatste de grootste, dan moet het naar boven gaan; zijn beiden juist even groot,

dan moet het ligchaam blijven op de plaats, waar het is losgelaten. Welk van die drie gevallen zal plaats hebben, kunnen wij bepalen, eer wij de proef doen; want wij behoeven te dien einde het ligchaam maar te wegen, en tevens eene hoeveelheid vocht, die evenveel ruimte inneemt als het ligchaam. Is het eerste gewicht meer dan het tweede, dan zal het ligchaam zinken; is het even groot, dan blijft het zweven; is het kleiner, dan zal het naar boven komen. Nu zeggen wij, gelijk wij op bl. 80 zagen, van een ligchaam, dat zwaarder is dan eene hoeveelheid vocht die evenveel ruimte inneemt, dat zijn soortelijk gewicht grooter is dan dat van het vocht. Wij kunnen ons derhalve met andere woorden aldus uitdrukken: een ligchaam zal, in een vocht losgelaten, daarin zinken, zweven of opstijgen, naar mate zijn soortelijk gewicht grooter, gelijk, of kleiner is dan dat van het vocht. Metalen, steenen, glas, sommige zware houtsoorten, zoo als ebben- en pokhout, zinken alzoo in water, andere ligte houtsoorten komen ondergedompeld van zelve naar boven. Lichamen, die juist even zwaar zijn als water, vindt men niet in de natuur; het geval dat een ligchaam in water losgelaten, op de plaats zelve blijft, zien wij daarom in het dagelijksch leven niet verwezenlijkt; doch wij kunnen zoodanig ligchaam vervaardigen. Nemen wij een' bal van eene houtsoort die een weinig zwaarder is dan water, bijv. van mahoganyhout, en bestrijken wij dien met eene laag was, dat een weinig lighter is dan water, dan kunnen wij die laag zoo dik maken, dat de bal juist even zwaar wordt als water; laten wij hem dan onder water los, zoo zien wij, dat hij noch naar boven, noch naar beneden gaat, maar terzelfder hoogte blijft.

De zwaardere lichamen zinken in het vocht naar beneden totdat zij stuiten. Een steen, in eene diepe waterkolk geworpen, houdt niet op te zinken, voordat hij op den grond komt. In de zee zinkt een zwaar ligchaam soms wel honderde en duizende ellen. Het is daarmede als met het vallen in de lucht, dat voortduurt totdat het ligchaam beneden is. Maar hoe gaat het met het lichtere ligchaam, als het in water losgelaten wordt? Dat beweegt zich naar boven,

maar niet voortdurend; wél zien wij het tot boven het water uitkomen, maar niet geheel, en toch — het wordt niet gestuit door een vast ligchaam, dat het hooger opstijgen belet. Wij zien het tot rust komen in een' stand, waarbij het gedeeltelijk in 't water gedompeld blijft, gedeeltelijk er boven uitsteekt, welken stand het evenzeer aanneemt als het op 't water losgelaten wordt; het zinkt dan juist tot dezelfde diepte in. De reden daarvan is, dat het alsdan in 't geval verkeert, waarbij een ligchaam, onder de inwerking van krachten, in rust kan komen, vermits de elkander bestrijdende krachten even groot zijn geworden. Toen het ligchaam geheel ondergedompeld was, was zijn gewigt kleiner dan de opwaartsche drukking van 't vocht, die het deed rijzen; maar nu het boven 't water uitsteekt, verplaatst het minder vocht; de opwaartsche drukking, die aan het gewigt van dat vocht gelijk is, wordt dus al kleiner, hoe meer het ligchaam uit het water uitsteekt, terwijl het gewigt van 't ligchaam hetzelfde blijft. Op een zeker oogenblik derhalve zal de opstuwung gelijk aan het vallen moeten worden, in welken stand er evenwigt is tusschen de twee tegenovergestelde krachten, en het ligchaam komt in rust. Dit zagen wij reeds bij de proef met den houten koker, bl. 96; en niet alleen voor dezen, maar in 't algemeen voor alle op het water stil liggende lichamen is het waar, dat zij juist in dien stand zich plaatsen, waarin hun gewigt gelijk is aan de opwaartsche persing, en dus aan 't gewigt van het verplaatste vocht. Hoe zwaarder zij bij gevolg zijn, des te meer vocht moeten zij verplaatsen, eer zij in evenwigt zijn; des te dieper zinken zij in. Hout, dat half zoo zwaar als water is, zoo als droog greenenhout, zal dus ter helft in water inzinken; hout, welks soortelijk gewigt  $\frac{8}{10}$  van water is, zoo als eiken-, zal slechts  $\frac{1}{5}$  boven het water uitsteken; kurk daarentegen, dat maar  $\frac{1}{4}$  van water weegt, zinkt in 't water  $\frac{1}{4}$  in, en  $\frac{3}{4}$  blijven er dus boven uitsteken.

Legt men hetzelfde ligchaam achtereenvolgens in verschillende vochten, dan zal het in elk vocht zoo diep inzinken, dat het verplaatste vocht evenveel weegt als 't ligchaam; weegt het 4 pond, dan verplaatst het 4 cub. palm waters, die

juist ook 4 pond wegen. Maar in olie moet het ook 4 ponden vochts verplaatsen: omdat nu olie ligter is dan water, nemen 4 ponden olie meer dan 4 cub. palm ruimte in, en wel omstreeks 4.35 cub. palm, het zal dus in olie zóóveel dieper inzinken, totdat ook die 350 cub. duim meer verplaatst zijn. Er bestaat derhalve een verband tusschen het soortelijk gewigt van een vocht en de diepte, waartoe een zelfde ligchaam daarin inzinkt; en daarvan kan men zich op eene gemakkelijke wijze bedienen, om het soortelijk gewigt van een vocht ten naasten bij te bepalen, en dus ook om te beoordeelen of het al dan niet vervalscht zij. Men heeft dit onder anderen toegepast op het onderzoek van de zuiverheid van melk. Een glazen drijver (Fig. 21) zinkt in water bijv. tot aan B, in zuivere melk tot aan A, in met water aangelengde melk tot aan eenig ander punt, dat tusschen A en B ligt.



Het aangevoerde geeft ons ook een middel aan de hand, om elk ligchaam, zelfs het zwaarste, drijvend te maken. Wij behoeven het daartoe slechts te bevestigen aan een ander, dat ligter dan het vocht is, en zoo groot, dat beiden te zamen minder wegen dan het vocht, dat zij te zamen verplaatsen. Nemen wij tot voorbeeld een' zoogenaamden vierentwintigponds kogel van ijzer. Deze weegt 11.8 Ned. ponden en beslaat eene ruimte van iets meer dan 1.6 cub. palm; neem nu een plank, die 3 duim dik, 6 palm breed en 2 el lang is, die dus  $0.3 \times 6 \times 20$  of 36 cub. palm ruimte beslaat, en van eene houtsoort gemaakt is, die  $\frac{2}{3}$  van water weegt, zoodat de plank  $\frac{2}{3}$  van 36, of 24 ponden zwaar is, dan zal het gezamenlijke gewigt van kogel en plank 35.8 ponden bedragen, en de ruimte, die zij te zamen innemen,  $36 + 1.6$  of 37.6 cub. palm zijn. Zij verplaatsen dus, als zij geheel onder water gedompeld zijn, 37.6 ponden water, dat is meer dan zij zelve wegen; legt men derhalve de plank op het water en den kogel er op, dan zullen zij te zamen blijven drijven.

Met het drijven op water moet men niet verwarren het leven water blijven bij het zwemmen, hetgeen iets geheel anders is. Menschen en dieren, die soortelijk zwaarder

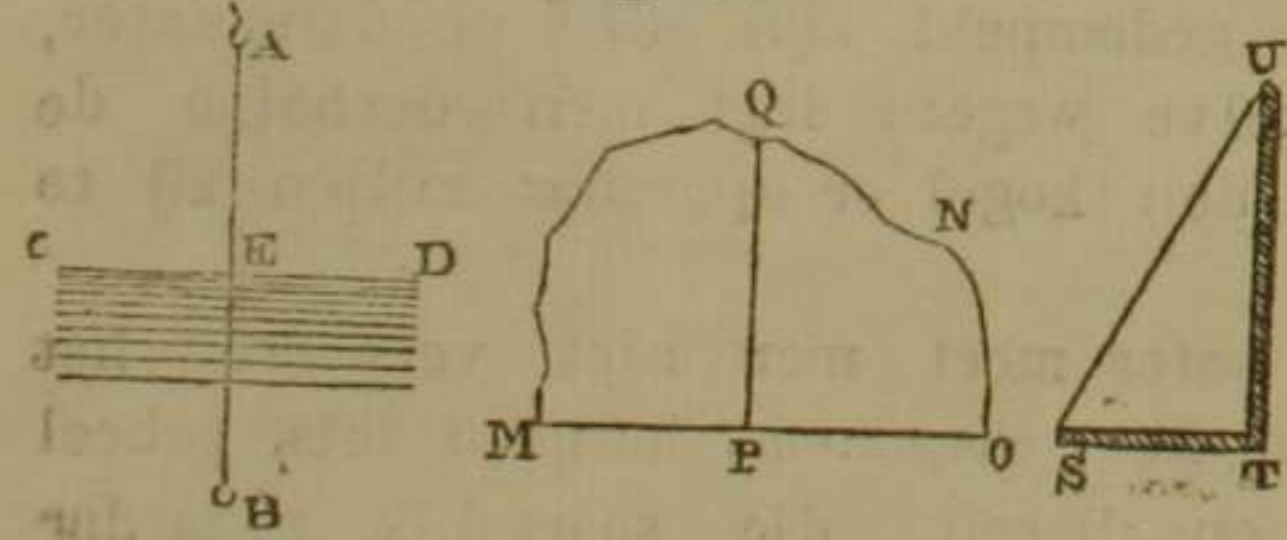
zijn dan water, zinken daarin, wanneer zij geen beweging maken, naar beneden; hun boven water blijven steunt dus niet op het soortelijk ligter zijn, maar op de bewegingen die zij maken.

## IX.

## Waterpas.

Eene andere bekende eigenschap van alle vochten is deze, dat zij, tot rust gekomen, een effen oppervlak vertoonen. Op het oppervlak van eene rivier, die stroomt, zien wij dikwijls oneffenheden; de zee vertoont ons meest altijd grootere of kleinere golven; maar het stilstaand water van een' vijver of sloot heeft, wanneer er geen wind is, een geheel effen oppervlak, dat wij gewoon zijn te vergelijken met dat van een' spiegel. Wij noemen dat oppervlak dikwerf den waterspiegel, en het heeft ook dezelfde eigenschap van een' spiegel, van ons namelijk de beelden terug te kaatsen van voorwerpen, die zich daarboven bevinden. Ook in 't klein zien wij deze eigenschap dagelijks. Een emmer of kan met water gevuld, eene flesch, waarin bier, wijn, olie of azijn is, leveren ons hetzelfde effen oppervlak. Brengen wij het vocht in beweging en maken wij dus opzettelijk het oppervlak oneffen, dan zien wij, zoodra het vocht weder tot rust gekomen is, ook het platte vlak op nieuws hersteld; het vocht wordt, gelijk men zegt, van zelf weder effen. Maar welke is nu de kracht, die dit verschijnsel voortbrengt? of waarom neemt een vocht altijd zulk een effen oppervlak aan? Het antwoord hierop moet weder gevonden worden, door dien effen' stand nauwkeuriger te onderzoeken.

Fig. 22.

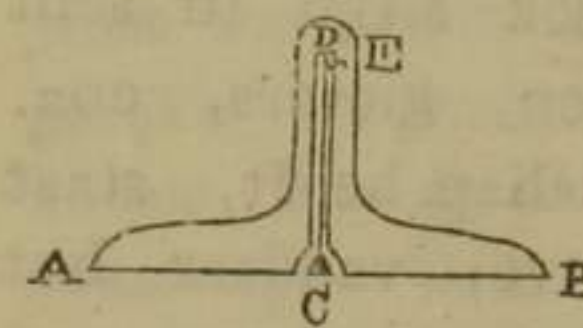


Wanneer men eene loodlijn AB in het vocht hangt, zie Fig. 22, zal men waarnemen, dat de rigting AE der loodlijn naar alle

kanten heen ten opzichte van het oppervlak CD eveneens geplaatst is. Nemen wij een stuk papier MN, welks kant MO zuiver regt is afgesneden, en vouwen wij dat derwijze toe, dat PO juist langs PM komt te liggen, dan zal de vouw PQ met den kant PM, even als met PO, een' hoek maken, dien men een' *regten hoek* noemt. Vervaardigt men vervolgens een plankje, welks kanten TS en TU juist met de rigting der lijnen PM en PQ van het papier overeenkomen, een plankje, 't welk dan, gelijk men zegt, zuiver haaks is, zoo zal men zien, dat, als de kant TU langs de loodlijn EA gehouden wordt, en het hoekpunt T in E gebragt wordt, de onderkant TS juist op het oppervlak van 't water past, en dat dit altijd plaats heeft, ook als men het plankje om de lijn AE laat ronddraaijen, mits maar altijd de kant TU juist tegen die lijn EA aan blijve liggen. Het oppervlak van stilstaand water noemen wij een *waterpas-vlak*, en wij drukken de gevonden eigenschap uit door te zeggen: het waterpas-vlak maakt rechte hoeken met eene vrijhangende loodlijn.

Van deze eigenschap wordt veelvuldig gebruik gemaakt bij het timmeren en metselen, en men bedient zich daarbij van een' toestel, die het *timmermans-waterpas* heet; hij bestaat uit een plank, die een' zuiver regten scherpen onderkant AB (Fig. 23) heeft; regthoekig op dien onderkant is een groef CD gemaakt, en aan een' spijker boven in de groef hangt E een loodlijn. Plaatst men nu den toestel zoo, dat de loodlijn juist midden in de groef en zooveel mogelijk vrij hangt, dan is men zeker, dat de onderkant AB regthoekig op de rigting der loodlijn is geplaatst, en dus waterpas ligt.

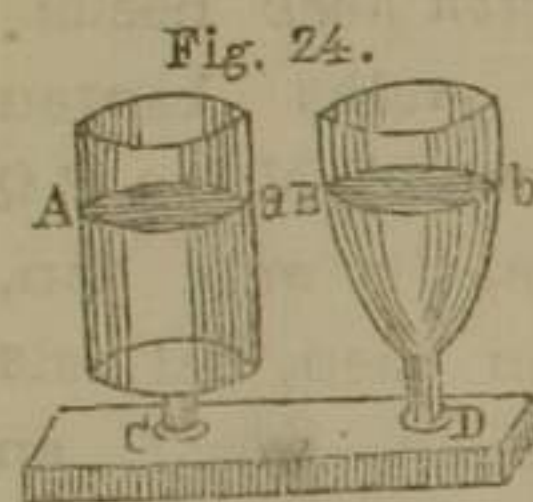
Fig. 23.



Even als de rigting, waarin een loodlijn hangt, een gevolg is van het zwaar zijn van het ligchaam, dat aan het koord is verbonden, is het waterpas staan van een vocht een gevolg van het zwaar zijn van het vocht. Is het water niet waterpas, staat een gedeelte daarvan hooger dan een ander, dan oefent dat gedeelte door zijn gewigt eene drukking uit, die elders niet bestaat; er is dus geen evenwigt,

en het vocht blijft niet in dien oneffen' stand; er komt beweging, die voortduurt totdat de drukkingen overal even groot zijn geworden.

Hiermede staat een ander verschijnsel in verband. Als twee vaten (Fig. 24) met elkander gemeenschap hebben



door middel van een kanaal CD, en wij gieten water in een van beiden, dan loopt dat door het kanaal voor een deel in het ander vat door, en beiden vullen zich zoo ver, dat het water in de twee juist even hoog staat. Zijn Aa en Bb de beide wateroppervlakten, dan ziet men, dat zij volkomen met elkander overeenstemmen, dat zij te zamen tot een plat vlak behooren. Dit heeft plaats, welke ook de gedaante of wijidte van de vaten mogen zijn, ook bijv. in de beide armen van eene omgebogen buis, hoe ook hier of daar vernauwd of verbreed (Fig. 25); Aa en Bb liggen in één

waterpas vlak. Overal waar vocht, dat zich in twee gedeelten van een' toestel bevindt, onderlinge gemeenschap heeft, zien wij hetzelfde. In eene kan met eene tuit rijst het vocht in de tuit even hoog als in de kan; zal dus een kan vol geschonken kunnen worden, zonder dat er uit de tuit gestort wordt, dan moet deze even hoog reiken als het vocht in de kan zelve komen kan. Dit wordt dan ook altijd in acht genomen bij ketels, koffijkannen, trekpotten, gieters, enz.

In een' put, die met eene rivier gemeenschap heeft, staat het water even hoog als in de rivier zelve; vandaar het rijzen en dalen van het water in den put, als de rivierstand verandert. In welputten rijst het water even hoog als in den omliggenden grond; droogt deze door de warmte uit, dan daalt ook het water in den put, daar het dan in den grond lager staat.

Zijn de beide onderling in verband staande ruimten met verschillende vochten gevuld, gieten wij bijv. in het eene been A van een' hevel (Fig. 26) water, in het ander B olie, dan zien wij, dat de twee vochten niet even hoog gaan staan, maar de olie hoger. De reden hiervan blijkt,

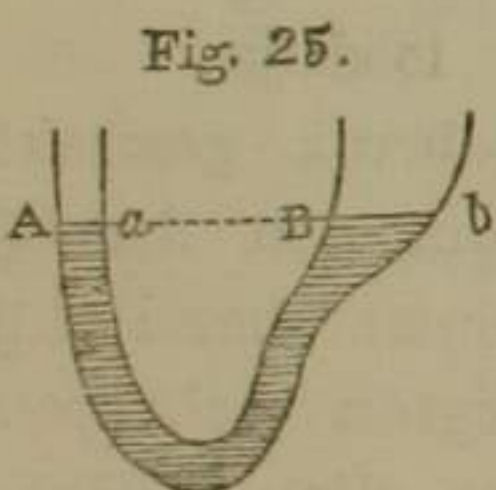


Fig. 25.

als wij die hoogten meten, genomen van het gemeenschappelijk grondvlak af, dat uit een zelfde vocht bestaat en waarop beide vloeistof-kolommen rusten. Dat is hier bijv. het waterpasse vlak CD, 't geen water begrenst dat in het liggende deel der buis, en ook min of meer in beide beenen, zich bevindt. Op dat watervlak staat nu in den linkschen arm wederom water, waarvan de hoogte wordt aangegeven door AC, in den regtschen arm daarentegen olie ter hoogte van BD. Bedraagt alzoo de hoogte AC van 't water 4 palmen of duimen, dan bevat de hoogte BD der olie 4.35 palmen of duimen. Deze getallen nu staan juist tot elkander als de soortelijke gewigten van olie en water. Wij zien dus, dat het ligter vocht juist zooveel hooger staat, naar mate het ligter is, of, anders gezegd, dat de hoogten omgekeerd evenredig zijn aan de soortelijke gewigten. Herhalen wij de proef met andere vechten, dan komen wij tot dezelfde uitkomst, en het blijkt, dat wij een' regel gevonden hebben niet alleen voor olie en water, maar voor vochten in 't algemeen. Uit het voorafgegaane laat zich die regel gereedelijk verklaren. De beide vochten namelijk drukken tegen elkander in E: het water naar boven tegen de olie, de olie naar beneden op het water, en die drukkingen moeten juist even groot zijn, als het geheel in rust zal blijven. De opwaartsche persing in E is (bl. 94) juist zoo groot als de drukking van eene kolom water van gelijke hoogte als AC; hieraan moet de drukking der olie-kolom dus gelijk zijn. Daar nu beide vloeistoffen niet even zwaar zijn, is het duidelijk, dat de hoogte BD van de olie grooter zijn moet dan die van 't water, en juist in dezelfde mate, als olie ligter is dan water.

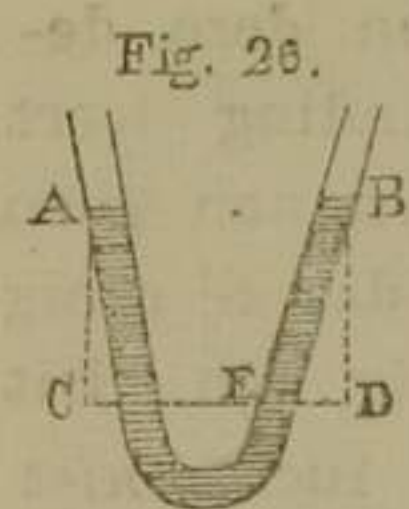


Fig. 26.

X.

#### Drukking van lucht.

Wij hebben gezien, dat vaste lichamen en vochten zwaar zijn, dat zij dien ten gevolge drukking uitoefenen, en, wanneer zij niet ondersteund worden, naar beneden vallen. Behalve vaste lichamen en vochten bestaat er nog eene derde

soort van stoffen, te weten luchtsoorten. Hebben deze dezelfde eigenschappen? De dagelijksche ondervinding leert het ons niet. Wij zien nooit lucht vallen; wij kunnen geen lucht op de hand wegen, en zoo doende voelen, dat zij eenig gewigt heeft, al mogt dat dan ook nog zoo weinig zijn. Dit geeft echter nog geen recht om te besluiten, dat lucht *niet* zwaar is, dat lucht *niet* drukt, dat lucht *niet* vallen kan. Bij de vochten hebben wij toch reeds gezien, dat bijkomende omstandigheden de verschijnselen kunnen wijzigen. Als men een stuk kurk opligt en loslaat, valt het naar beneden; steekt men het daarentegen eerst tot een zekere diepte in water, en laat men het dan los, zoo rijst het; niet omdat het dan ophoudt zwaar te zijn, maar omdat er dan eene andere grooter kracht is, die het vallen belet. Ook bij luchtsoorten zijn verschijnselen waar te nemen van gelijksoortigen aard.

Dat lucht werkelijk gewigt heeft, wordt door de navolgende proef bewezen. Als men een' glazen ballon neemt, voorzien van eene koperen kraan, die hem luchtdigt kan afsluiten, en men hangt dien geopend, zoodat het inwendige gemeenschap heeft met de buitenlucht, aan den eenen arm eener balans op, in stede bijv. van de schaal, die daaraan gewoonlijk hangt, dan zal men door het plaatsen van gewigt in de andere schaal, die wij vooronderstellen dat niet weggenomen is, evenwigt kunnen maken. Sluit men nu, door de kraan om te draaijen, den ballon af, dan zal daardoor het evenwigt niet verstoord worden. Kon de lucht nu uit den ballon verwijderd worden, dan zou, bijaldien zij zelve ook eenige zwaarte had, de ballon daardoor ligter moeten worden. En dat is inderdaad het geval. Met behulp van eene zoogenaamde luchtpomp is men in staat de lucht wel niet geheel en al, maar toch voor een groot deel weg te nemen, en het gevolg daarvan is een omlaag gaan van de schaal met het gewigt.

Hier drukte eene bepaalde hoeveelheid *ingesloten* lucht, die hoeveelheid namelijk, welke binnen den ballon zich bevond. Dat nu ook *niet* ingesloten lucht, die, welke ons dagelijks omringt, drukking uitoefent, blijkt uit eene andere proef. Men vulle een glas tot aan den rand met water,

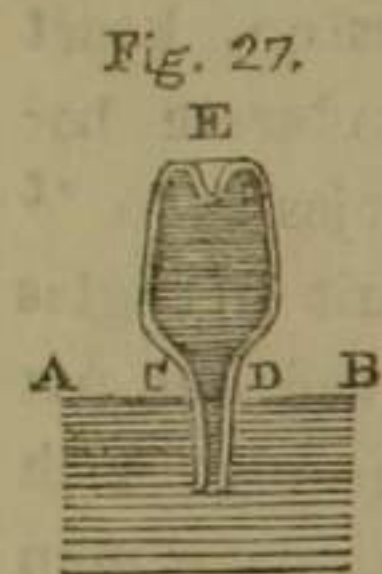
en legge er een stuk papier op, 't geen over den rand iets uitsteekt; neemt men het vervolgens in de eene hand, terwijl men de andere hand op het papier doet rusten, keert men dan het glas met eene snelle beweging 't onderste boven, en verwijdert men eindelijk de hand zachtjes van 't papier, dan zal men zien, dat het water niet uit het glas naar beneden valt, maar daarin blijft, even alsof het papier aan den rand vastgeraakt ware. Men overtuigt zich intusschen gemakkelijk, dat dit het geval niet is, daar men het papier zijdelings zeer gemakkelijk kan wegtrekken. Het is ook zeker, dat het water in 't glas het papier naar beneden drukt; maar waarom valt het dan niet? Daarvoor kan geene andere reden bestaan, dan dat de lucht van onderen tegen het papier eene tegendrukking uitoefent, die grooter is dan die van het water.

Meer andere verschijnselen leiden tot hetzelfde besluit. Men neme een buis, die onder en boven open is, en welcher bovenopening naauw genoeg is om, door den vinger er op te houden, gesloten te kunnen worden, een' pijpesteelel bijv.; men dompele die geheel in een kan of emmer met water, en men zal zien, dat de buis volloopt. Vervolgens sluite men onder water de boven-opening met den vinger, en hale daarna de buis geheel uit het vocht, en men zal waarnemen, dat het vocht niet uit de onderste opening loopt, zoo die niet al te wijd is, maar in de buis blijft hangen. Het niet uitloopen van het zware vocht kan hier aan niets anders worden toegeschreven, dan aan eene drukking, die het vocht tegenhoudt, en dat is de drukking der omringende lucht. Immers deze verklaring wordt bevestigd door 't geen er gebeurt, als men den vinger van boven weg neemt; het vocht valt dan dadelijk uit de buis. Wél is er ook boven de buis lucht, die insgelijks drukt, maar zoo lang de vinger er nog is, drukt zij alleen op dezen; is de vinger daarentegen weggenomen, dan drukt die lucht van boven op het vocht in de buis, en deze drukking, gevoegd bij die van het zware vocht zelf, overwint dan de opwaartsche drukking van de onderste lucht, zoodat het vocht valt.

Ziehier nog een verschijnsel, dat, indien de lucht geen

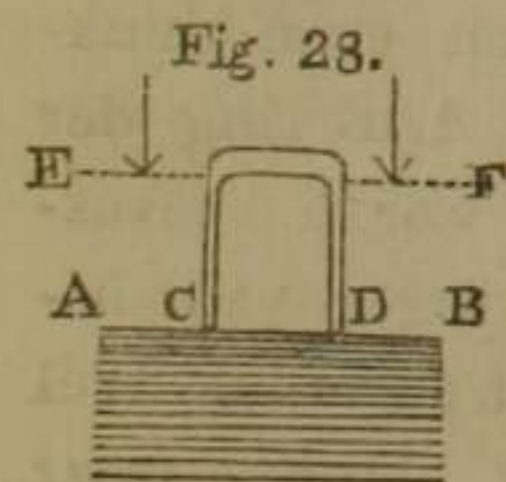


drukking uitoefende, onbegrijpelijk zijn zou. Men dompele eene flesch (Fig. 27) in water, zoodat zij vol loopt,



keere haar 't onderste boven en trekke ze regt opwaarts, tot zulk eene hoogte, dat een gedeelte van den hals nog onder water blijft. Men ziet alsdan het water met de flesch mede naar boven gaan, alsof het er aan bleef hangen. Men zou verwachten, dat het van binnen tot gelijke hoogte als er buiten oprees, maar niet hooger, vooral niet zooveel hooger, als men het ziet gebeuren, wanneer men in stede van eene flesch een veel grooter glas of vat of eene zeer lange van boven geslotene buis neemt; dan toch blijkt het, dat men op die wijze water ettelijke ellen ligten en als hangende houden kan. Hier moet dus eene opwaarts persende kracht aanwezig zijn, en die vinden wij niet, ten zij wij aannemen, dat de bovenlucht op het oppervlak A B drukt, en even als eene waterkolom eene opwaartsche persing veroorzaakt. Dat, wanneer de flesch of het glas er niet is, in weêrwil van die drukking, het water toch niet boven A B opgeperst wordt, is daaraan toe te schrijven, dat dan ook boven C D lucht is, die naar beneden drukt, welke drukking bij onze proef ontbreekt; want de lucht boven de flesch drukt hier ook wel op den bodem E, maar wordt juist door dien bodem belet, over te gaan op het water, dat daaronder is.

Als wij eene flesch of een glas (zie Fig. 28) niet vooraf onder water vullen, maar het terstond omkeeren en geheel den rand der monding C D langzaam en zacht in aanraking met de oppervlakte A B des waters brengen, zonder het glas in te dompelen, dan weet een ieder, dat het water binnen



het glas niet hooger gaat staan dan daarbuiten, en dat is schijnbaar in strijd met hetgeen wij van zwaarte en drukking der zoowel vrije als ingeslotene lucht gezegd hebben. De ingesloten lucht toch binnen het glas boven C D is blijkbaar niet verschillend in digtheid van de vrije lucht boven A C en D B. Eene gelijke hoogte van die vrije lucht zal dus even zwaar zijn als de ingeslotene. Maar boven

dat gedeelte der vrije lucht staat eene ongelijk veel aanzienlijker kolom lucht, die tot aan de grenzen van onzen dampkring reikt. Deze, zou men zeggen, moest door hare zwaarte, welke de geteekende pijltjes mogen aanduiden, het evenwigt verstoren en het vocht binnen het glas oppersen. Dat zou ook inderdaad gebeuren, bijaldien wij hier met eene drupvormige en niet met eene veêrkrachtige vloeistof te doen hadden. Het is klaar, dat de drukking, door de vrije lucht rondom het glas op eene gelijke uitgestrektheid water als de mond van dat glas bedekt, uitgeoefend, kan en moet aangemerkt worden als die van het gewigt der gansche kolom lucht, die er boven staat. Nu is er evenwigt daartusschen en tusschen de drukking van de binnen het glas beslotene lucht op C D. Op de oppervlakte C D werkt derhalve genoemde ingeslotene lucht met een veel grooter vermogen dan dat van haar eigen gewigt, dat hier al zeer weinig zou bedragen. De reden daarvan is enkel gelegen in de ongemeene veêrkracht van de lucht. Onderging de door de pijltjes aangewezen drukking der zware luchtkolom boven E F vermindering, dan zou de vrije lucht tusschen E F en A B zich uitzetten en ijler worden. Dit toch is het eigenaardige van luchtsoorten of veêrkrachtige vloeistoffen, dat zij zich door onderlinge afstooting van de deeltjes, zoo daartoe maar gelegenheid bestaat over eene grootere ruimte verbreiden. Even vóórdat de rand van het glas met de oppervlakte des waters in aanraking kwam, verkeerde de lucht tusschen den bodem van het glas en het vlak C D in geheel dezelfde omstandigheden als de vrije lucht rondom het glas beneden E F. Die aanraking nu kan daarin geen verschil te weeg brengen; en 't is dus zoo goed alsof er boven op de in 't glas besloten lucht, ter plaatse waar zij in aanraking is met den bodem van het glas, in stede van dien bodem, eene kolom vrije lucht stond ter hoogte van den dampkring.

Het zal niet ondienstig zijn bij de hier vermelde kenmerkende eigenschap der gassen of luchtsoorten, van zoo mogelijk eene grootere ruimte in te nemen, nog een oogenblik te blijven stilstaan. Als men water uit een glas in een ander glas wil overgieten, dan dient men het ledige

glas *inder* het gevuldeste houden, en terwijl het eerste zich dan vult, ledigt zich het laatste. Zoo men daarentegen een luchtledig vat, in gemeenschap brengt met een ander, dat lucht bevat, dan wordt het ledige gevuld, ook al bevindt het zich *boven* het volle, hetwelk daarbij zijn inhoud niet gansch en al zal afstaan aan het eerste. De lucht zal zich over geheel de grootere ruimte gelijkmatig hebben verdeeld, en dus nu beide vaten vullen, weshalve zij noodwendig ijler moet geworden zijn.

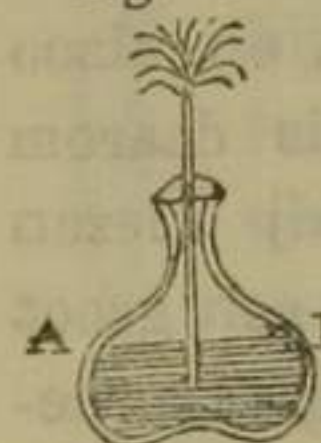
Perst men de lucht zamen, door ze te noodzaken eene kleinere ruimte in te nemen, dan onderscheidt zij zich daarbij op gelijksoortige wijze van vaste veêrkrachtige lichamen. Drukt men met de hand een weinig op eene drooge spons, dan pakken zich enkel de deelen die onmiddellijk onder de hand gelegen zijn op elkander; en eerst dan, wanneer wij al meer drukking uitoefenen, wordt hetzelfde verschijnsel, maar in mindere mate, aan lager gelegen deelen waargenomen. Met de lucht is het anders gesteld. Heiden wij het glas bij de proef van Fig. 28 op eenigerhande diepte in het water, en beperken wij alzoo de ingeslotene lucht tot eene engere ruimte, dan wordt eerst de luchtlaag die in aanraking is met het water, zamengedrukt, en dus digter, maar zij zal niet digter blijven dan de overige lucht, in het glas aanwezig. Terstond en in gelijke mate heeft zich die zamenpersing aan al de lucht in het glas medegedeeld, die weêr eene eenparige, nu grootere, digtheid zal hebben verkregen.

Wij nemen hierbij nog iets bijzonders waar. Het water namelijk, dat door het glas overdekt wordt, staat thans iets lager dan dat in den bak buiten het glas, een bewijs, dat door 't indompelen van het glas, het evenwigt tusschen de drukkingen van binnen- en buitenlucht verstoord was geworden, en de digtere binnenlucht een' meerderen druk uitoefent dan de buitenlucht, die, bij het nieuwe evenwigt 't welk ontstaan is, nu geholpen wordt door de zwaarte van het water, voor zoover dit rondom het glas hooger staat dan daarbinnen.

Niet alleen door eene zekere hoeveelheid of massa lucht te nopen eene kleinere ruimte in te nemen, maar evenzeer

door in eene zelfde ruimte meer lucht te brengen, kan men lucht zamenpersen, en ook dan valt het niet moeilijk zich te overtuigen van de grootere drukking, ook wel *spanning* geheeten, die door de digtere lucht uitgeoefend wordt. Men neme daartoe een apothekersfleschje met wijden buik (Fig. 29), men vulle dat half met water, doe er een kurkje

Fig. 29. op en steke midden door dat kurkje, dat te dien einde doorboord is, een' pijpesteel, die er van boven een eindje blijft uitsteken en van binnen door het water heen tot even boven den bodem van het fleschje reikt. Lakt men vervolgens het kurkje, rondom den pijpesteel

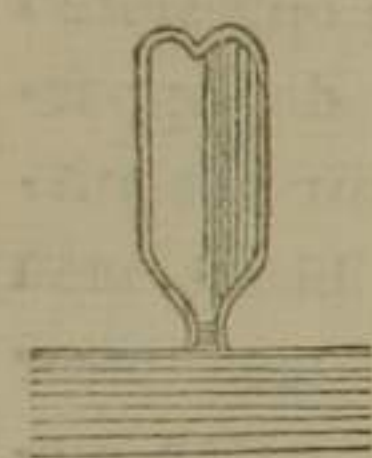


vooral, zorgvuldig toe, zoodat er geen lucht kan ontkomen bezijden den pijpesteel, en evenmin langs de wanden van den hals van 't fleschje, dan is de lucht in het fleschje opgesloten in eene bepaalde ruimte, die van onderen door de oppervlakte des waters A B begrensd is. Neemt men nu het uitstekend eind' van den pijpesteel in den mond en blaast men daarin, dan vult men de genoemde ruimte met meer lucht, die, in den vorm van belletjes uit het water opborrelend, de aldaar reeds voorhanden lucht zal verdigten. Of nu werkelijk deze meer drukking uitoefent op de oppervlakte van het water in 't fleschje, dan de vrije dampkringslucht, door het inwendige van den pijpesteel, doet, zal niet twijfelachtig zijn, zoodra men ophoudt met blazen; dan toch spuit ons het water in den mond. Wil men zulks belletten, dan heeft men maar met eene snelle beweging de bovenste opening van den pijpesteel, door het opplaatsen van een' vinger, te sluiten. Doch zoodra verwijderd men den vinger niet, of het water straalt op nieuws uit. Al eens geschiedt dit met minder kracht, en eindelijk in 't geheel niet meer, dat wij klaar kunnen begrijpen. Want door het verlies van water daalt de waterspiegel in het fleschje, en de ruimte wordt grooter; de lucht zal dus van lieverlede minder zamengeperst raken, en dus ook minder spanning vertoonen. Ten laatste zal er weêr evenwigt zijn tusschen de drukking van de nog iets digtere lucht binnen het fleschje en de lucht daarbuiten, vermeerderd met de drukking van het water, dat den pijpesteel blijft vullen,

voór zoover dit hooger staat dan het water in het fleschje. Men kan het verschijnsel nog eens of meermalen te voorschijn roepen, door op nieuws te blazen.

Indien men binnen het bierglas, Fig. 28, lucht had, die ijler ware dan de vrije dampkringslucht, zoo vermoeden wij nu reeds, dat zij minder spanning hebben, en dat ten gevolge daarvan het water in 't glas iets rijzen zou. Maar juist dat rijzen zou de ruimte binnen het glas beperken, en alzoo de lucht weér minder ijl maken. Een bierglas is daarom tot zulk een onderzoek niet zeer geschikt, en wij kiezen te dien einde liever eene doorschijnende flesch met een groot ligchaam en eene nauwe opening, bijv. een hoog apothekersfleschje (Fig. 30).

Fig. 30. hoogte van den beganen grond, waar wij zoo- veel minder dampkringslucht boven ons hebben, deze ook met een minder gewigt op die luchtlagen, waarin wij dan verkeerden, drukt, dan of wij ons bijv. gelijk met het oppervlak der zee bevinden. Op aanzienlijke hoogten moet derhalve de lucht ijler zijn. Begeven wij ons nu met ons apothekersfleschje en met een' bak met water op een' hoogen toren, keeren wij daarop het fleschje om en brengen het regtstandig en langzaam met den mond in 't water, zoodat, als die mond maar even in aanraking is met de oppervlakte van het water, de geheele flesch gevuld is met lucht van dezelfde digtheid als die ons op dat oogenblik omgeeft. Wij kunnen vervolgens de flesch, altijd in denzelfden stand gehouden, naar believen in het water indompelen, en moeten haar nu met bak en al beneden brengen. Omlaag gekomen, waar de lucht niet zoo ijl is als boven op den toren, zullen wij dan kunnen waarnemen, dat, zoo wij de flesch wederom voorzigtig ligten, daarbij zorg dragende, dat de daarbinnen beslotene lucht niet in gemeenschap komt met de buitenlucht, op het oogenblik, dat de rand van den hals alleen nog maar in aanraking is met de oppervlakte des waters, er een weinigje water in dien hals geheven blijft, waaruit wij dus zien dat lucht, die minder digt is dan de ons omgevende dampkringslucht, ook een' minderen druk



uitoefent, als die geholpen moet worden door de zwaarte van een kolommetje water, om evenwigt te maken.

Op dat beginsel berust de zoogenaamde *steekhevel* of *wijnkooperspomp* (Fig. 31), die dient om proefjes te nemen uit vaten wijn. Men steekt hem zoo diep mogelijk in het vat, houdt er vervolgens den vinger op en haalt hem er dan weér uit. Voor een deel was hij met wijn gevuld, voor een deel met lucht, welke lucht tusschen de oppervlakte van het vocht, de wanden van de buis en den vinger besloten was en blijft. Bij het uithalen wordt nu de ruimte, waarin de lucht zich bevindt, grooter. Deze lucht zal derhalve geen evenwigt kunnen maken met de vrije dampkringslucht, daar zij eene mindere spanning heeft. Vandaar dan dat er eene vrij groote hoeveelheid wijn blijft hangen, waarvan de drukking te zamen met de geringere spanning der verdunde lucht opweegt tegen de drukking der dampkringslucht. Als men den vinger even opligt en alzoo den toegang verleent aan lucht van buiten, valt er wijn uit den steekhevel, 't geen echter weldra weér ophoudt, zoodra de bovenste opening op nieuws gesloten wordt.

Sommige vogeldrinkglasjes, enkele inktkokers en de meest gebruikelijke studeerlampen kunnen het gezegde insgelijks ophelderen. Fig. 32 stelt een vogeldrinkglasje voor. Het is duidelijk uit de proef Fig. 27, dat er geen water kan uitvallen zoo lang het geheel vol is, maar ook dan zal dat niet gebeuren, als er door het drinken van den vogel telkens lucht in raakt, om de plaats van water in te nemen. Die lucht toch wordt terstond ijler dan de buitenlucht, en hare spanning zal eerst te zamen met de drukking der terugblijvende watermassa den druk der dampkringslucht kunnen opwegen.

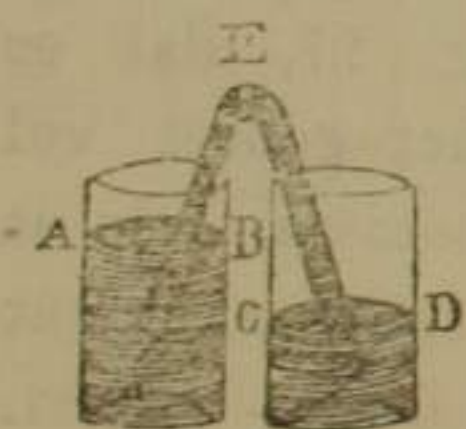
Een gelijksoortig opklommen van vocht kan ook door zuigen verkregen worden. Als men eene pijp, die onder en boven open is, in water steekt en er aan zuigt, dan ziet men terstond het vocht in de pijp opklommen. Doch hoe komt dat, en wat doen wij eigenlijk als wij zuigen? Wij vatten de opening der pijp tusschen tong en verhe-



melte in, en verwijderen vervolgens, terwijl wij de lippen gesloten houden, de tong en het verhemelte van elkander, in dier voege, dat de ruimte der pijp vermeerderd wordt met de luchtledige ruimte, welke door die verwijdering ontstaat; middelerwijl en ten gevolge daarvan begeeft zich een gedeelte der lucht, die in de pijp besloten was, derwaarts; en terwijl dit nog gebeurt, sluiten wij die toegevoegde ruimte weêr door de tong af — welke beweging wij telkens herhalen. Daardoor, begrijpt men, moet de lucht in de pijp noodzakelijk verdund worden. Is dat het geval, dan oefent de vrije dampkringslucht eene overwegende drukking uit op de oppervlakte van het vocht, en stuwt er al meer en meer van naar boven, totdat het eindelijk den mond bereikt en nu verder wordt opgezogen. Nemen wij de pijp van de lippen weg, dan zakt het vocht in de pijp dadelijk te zelfder diepte als het daarbuiten in het glas staat; immers dan heeft men binnen en buiten dezelfde spanning, te weten die der vrije dampkringslucht.

Eene omgebogen glazen buis noemt men een' *hevel*, zoodra die dienen moet om vocht van een vat in een ander over te brengen, zonder dat men daartoe noodig hebbe het volle vat op te nemen en uit te storten, zie Fig. 33. Om de

Fig. 33.

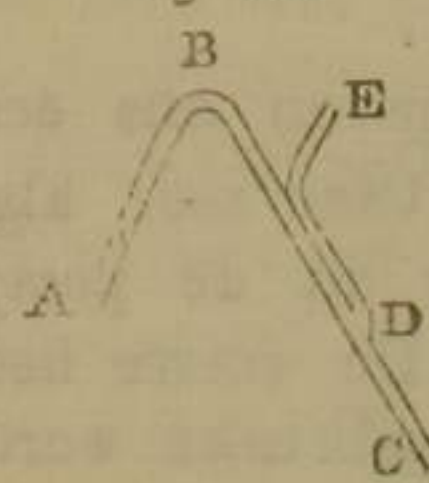


werking van den hevel ons behoorlijk te verklaren, hebben wij eerst hierop te letten, dat, als men den hevel geheel met water vult, elk einde met een' vinger sluit, vervolgens den toestel omkeert, de geslotene uiteinden onder water dompelt en dan eerst de vingers wegneemt, het water den hevel blijft vullen, ofschoon men zou denken, dat het aan weerskanten moest wegvallen. Het water toch kan zich niet scheiden in den hevel, als wij maar zorgen, dat hij aanvankelijk geen lucht bevat. Waterdeelen bij E bijv., die naar het regtsche vat mogten vallen, zouden dan een luchtledig veroorzaken, 't geen daarom niet tot stand kan komen, dewijl de drukking der dampkringslucht op de oppervlakte water van het linksche vat ieder oogenblik gereed staat zulk een luchtledig met water aan te vullen. In onze figuur ziet men de beide uiteinden van den hevel in vaten

gedompeld, waarin de vloeistof eene verschillende hoogte heeft. Zonder dat nu het water in den hevel zich scheidt, wordt het vocht van daar, waar 't het hoogst staat, schijnbaar van zelf in het ander glas overgebracht, totdat het vocht in beide glazen gelijke hoogte heeft verkregen. De hevel toch stelt door zijn' inhoud beide watermassa's met elkander in gemeenschap, zoodat zij als één geheel kunnen worden aangemerkt. Het regtstandige laagje water bij E ondervindt een drukking van den linker-naar den rechterkant, gelijk aan de spanning der dampkringslucht, verminderd met de drukking van een waterkolommetje, waarvan de hoogte die is van E boven AB. Datzelfde regtstandige laagje water bij E ondervindt een' tegendruk van den rechter-naar den linkerkant, gelijk aan de spanning der dampkringslucht, verminderd met de drukking van een waterkolommetje, hebbende tot hoogte die van E boven CD. Het gevolg daarvan is blijkbaar, daar het water bij E zich niet scheiden kan, dat, zoo lang CD lager onder E ligt dan AB, het water door middel van den hevel van het linker- naar het rechtervat overgebracht wordt.

Om een' hevel aan den gang te helpen, zal men nog op eene andere wijze kunnen te werk gaan dan wij hier beschreven. Men kan het eene uiteinde dompelen in het vat dat men wil ledigen, en vervolgens aan het ander uiteinde even zuigen, totdat het vocht, dat dan, gelijk wij weten, door den druk des dampkrings in den hevel zal opklimmen, de kromte bereikt heeft, alswanneer 't het ander been zal uitvallen en blijven uitvallen, zoo lang maar deszelfs uiteinde, of, bij indompeling in een tweede vat, de waterspiegel van het vocht in dat vat beneden dien van het eerste vat blijft. Daar men bij dat zuigen aan het eene been des hevels, van het vocht in den mond krijgt, zoo men dezen niet

Fig. 34.



spoedig genoeg verwijderd, en zulks, uit hoofde van den aard van het vocht, dikwijls hoogst gevaarlijk kan zijn, zoo loopt er, bij de meest gebruikelijke hevels, uit het eene been, dat iets langer is dan het ander, een zijarm DE, zie Fig. 34. Men dompelt het uiteinde A in het vocht, houdt den vinger

op de opening C en zuigt aan E. Zoodra nu het vocht de bogt B overgedrongen is, valt het niet naar E, maar naar C. en men heeft dus al den tijd om den vinger van daar weg te brengen, en tevens het mondstuk E los te laten.

Door middel van zuigen aan eene buis kunnen wij ook de drukking der lucht voor ons eigen gevoel merkbaar maken. Men neme daartoe bijv. een Goudsche pijp, sluite de opening van den pijpekop, door er het vlak der hand juist tegenaan te leggen, en zuige met den mond de lucht weg; dan voelt men dat de hand en de pijp aan elkander vastzitten; 't is de drukking van de buitenlucht tegen de hand, die hier werkt. Neem den mond weg, hergeef dus aan de lucht ook van de andere zijde den toegang, en de hand is weer vrij; dan toch wordt zij van onderen en van boven weder evenveel gedrukt, en beide die drukkingen wegen juist tegen elkander op.

Is deze verklaring juist, zoo volgt er uit, dat lucht niet alleen naar beneden en naar boven, maar in alle rigtingen drukt; want wanneer wij de pijp in een' liggenden of willekeurigen stand plaatsen, en dan zuigen, voelen wij de drukking tegen de hand evenzeer als in den loodregten stand. Dat maakt het ons begrijpelijk, waarom wij de drukking der lucht onder gewone omstandigheden niet gewaarworden; de lucht drukt ons ligchaam van alle zijden, en daarom hinderen die drukkingen ons volstrekt niet in onze bewegingen, omdat zij tegen elkander opwegen; het is er eveneens mede, als wanneer iemand zich in het water bevindt, dat ook van alle zijden op hem drukt en hem toch in 't geheel niet verhindert zich zeer gemakkelijk daarin naar alle rigtingen te bewegen.

## XI.

## Blaasbalg; Pomp; Barometer.

De gevonden eigenschappen der lucht geven ons eene eenvoudige verklaring van de werking van twee zeer algemeen gebruikelijke werktuigen, den *blaasbalg* en de *pomp*.

Men vindt *enkele* en *dubbele* blaasbalgen. De eerste heeft ééne kamer. Den dubbelen, die in smidsen gebruikt wordt,

zullen wij alleen beschrijven en verklaren; 't zal dan geen zwaarigheid in hebben, ook van den enkelen zich een juist begrip te maken. Hij bestaat, zie Fig. 35, uit twee ruimten of

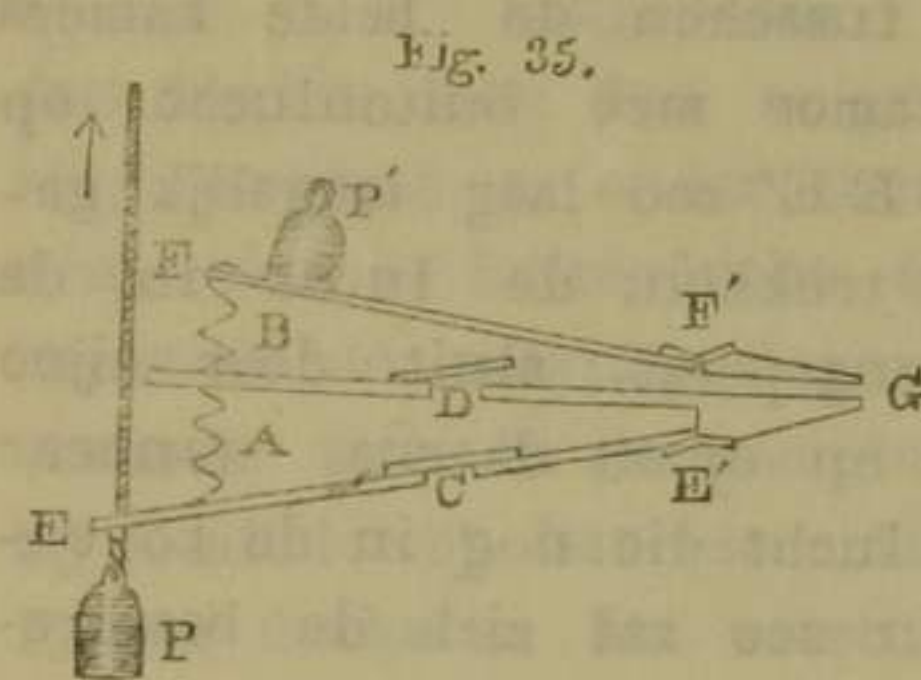


Fig. 35.

kamers A en B; elke kamer heeft van onderen (bij C en D) eene ronde opening, waarop eene lederen klep aan de binnenzijde ligt; de onderkamer is bij E' gesloten; de bovenkamer daarentegen eindigt bij F' in eene opene pijp F' G. Bij E hangt

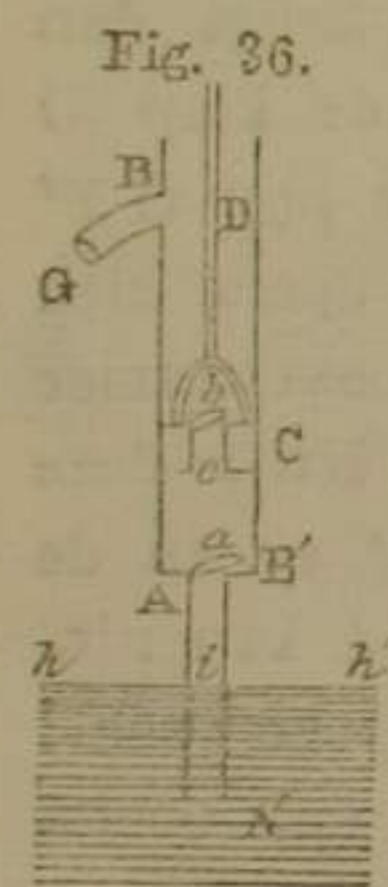
een gewigt P aan de onderplank EE', bij F is een tweede gewigt P' op de bovenplank gezet. Aan E is voorts een koord of keten bevestigd, die naar den eenen arm van een' hefboom gaat, aan welks anderen arm, weer met behulp van een touw, bij het blazen getrokken wordt. Zien wij nu wat er gebeurt, zoodra men daarmede een' aanvang maakt. De plank EE' wordt zoo doende naar boven getrokken, waardoor de ruimte der onderkamer A kleiner wordt, en de lucht daarin grootere digtheid krijgt dan de buitenlucht; dus wordt hare drukking tegen de klep D grooter dan die van de buitenlucht, welke door de pijp GF' aan de bovenzijde daartegen werkt; de klep D opent zich derhalve naar boven en de lucht stroomt in de bovenkamer B en door de pijp F' G naar buiten in het vuur. Nu is deze pijp zoo naauw, en de opening D zoo groot, dat er in de kamer B meer instroomt, dan er in denzelfden tijd kan uitstroomen; de bovenkamer vult zich dus met digtere lucht, en deze ligt de bovenplank met het gewigt P' op, omdat zij sterker drukt dan de buitenlucht, die er van boven op werkt. Is de plank EE' zoo hoog mogelijk opgetrokken, en derhalve de lucht in de bovenkamer overgegaan, dan laat men het touw los; nu wordt de onderplank door het gewigt P naar beneden getrokken; de weinige lucht, die nog in de onderkamer is, breidt zich derhalve weder in eene grootere ruimte uit, drukt dus weldra minder dan de lucht in de bovenkamer, waardoor vervolgens de klep D gesloten wordt, ook minder dan de buitenlucht, en deze opent alzoo de

klep C. Terwijl derhalve de zamengeperste lucht in de bovenkamer, die door de drukking van het gewigt P' steeds zamengeperst blijft, voortgaat met door de pijp uit te stroomen, is de gemeenschap tusschen de beide kamers afgesloten, en wordt de onderkamer met buitenlucht op nieuws aangevuld. Is de plank EE' zoo laag mogelijk gedaald, dan begint men weder te trekken; de lucht in de onderkamer wordt daardoor zamengeperst, sluit door zijne meerdere drukking de klep C, en opent daarna, wanneer zij digter geworden is dan de lucht die nog in de bovenkamer aanwezig is, de klep D, en zoo zal zich de beschrevene werking herhalen.

Men zegt hier, dat de lucht door de opening C wordt *ingezogen*. En inderdaad is het woord zuigen gepast; want, wij hebben het nagegaan, er gebeurt, als wij zuigen, hetzelfde wat hier plaats heeft. Eene binnenruimte (de onderkamer bij den blaasbalg) wordt vergroot, de lucht daarin verdund, en daardoor stroomt de dichtere buitenlucht naar binnen.

Wat het wezenlijke der inrigting betreft, heeft de *pomp* eene groote overeenkomst met den blaasbalg. Ook daar is opzuigen en uitpersen; daar zijn ook ruimten, tijdelijk afgesloten door kleppen, die zich maar openen bij drukking in eene bepaalde rigting, daarentegen zich sluiten, als de drukking in tegenovergestelde rigting plaats vindt; het doel echter is daar aanvoer van water, in stede van lucht.

De gewone pomp (Fig. 36) bestaat uit de zuigpijp AA', en de pompbuis BB', verder uit den zuiger C, die eene ronde opening heeft c, en verbonden is aan de zuigerstang D, welke met leihulp van een' hefboom wordt opgetrokken; eindelijk uit de kleppen a en b, die beiden zoo aangebragt zijn, dat zij door drukking van boven naar beneden sluiten. De zuiger moet digt tegen de wanden van de pompbuis aandrukken en toch in de buis op en neder bewegen kunnen worden. Om dit mogelijk te maken, wordt hij gewoonlijk met stevig leder overtrokken, en de pomp-



buis naauwkeurig rond en overal even wijd geboord. De zuigpijp staat beneden in het water of in een' met water aangevulden grond; de waterstand wordt hier door de lijn *h h'* aangewezen. Wil men nu water oppompen, dan begint men den zuiger omhoog te halen; door die rijzing ontstaat er onder den zuiger eene ledige ruimte; de druk van de buitenlucht op de zuigerklep *b* sluit deze, de lucht in de zuigpijp daarentegen drukt de klep *a* open en verdeelt zich in de pompbuis; daardoor drukt deze lucht bij *i* minder op het water dan de buitenlucht op *h h'*, welke laatste derhalve het water in de zuigpijp en pompbuis opperst. Vervolgens wordt de zuiger naar beneden geduwd, en de ruimte die er zich onder bevindt, daardoor weder verkleind; de druk van lucht en water, in die ruimte voorhanden, sluit daarop de klep *a* en opent de klep *b*, zoodat het water met de daar aanwezige lucht door den zuiger tot boven denzelfden heengedrongen wordt. Is de zuiger beneden, dat is tot *a* gedaald, dan trekt men hem weder op; de buitenlucht en het water, dat nu boven den zuiger staat, sluiten de klep *b*; de drukking van de buitenlucht perst het water in de zuigpijp op, en door haar klep *a* heen, omhoog den zuiger achteraan, waaronder anders een ledig zou ontstaan. Bij de volgende neêrwaande beweging van den zuiger gaat dat water insgelijks door de zuigerklep heen naar boven; maar bij het optrekken van den zuiger wordt het water dat er op staat, mede opgeligt, het bereikt eindelijk de pijp *B G* en stroomt door deze naar buiten. Wij zien derhalve, dat de drukking van de buitenlucht de naaste oorzaak is, die het water in eene pomp omhoog doet komen, zoodra door middel van het optrekken van den zuiger eene ledige ruimte is te weeg gebragt onder in het ligchaam der pomp, met andere woorden, zoodra de drukking van de dampkringslucht daarbinnen is weggenomen. Er gebeurt dus geheel hetzelfde als bij het zuigen aan een pijpje, dat in water staat, en waarin door den mond eveneens eene ledige, of eigenlijk eene met dunnere lucht gevulde, ruimte wordt voortgebragt.

Is de drukking der lucht de oorzaak van het oprijzen van het water in eene pomp, zoo volgt daaruit, dat eene

zuigpomp het water slechts tot eene zekere hoogte kan opvoeren. De opgezogene waterkolom, die in de pomp staat, oefent eene drukking uit, welke tegen die van de buitenlucht werkt, en die bij genoegzame hoogte daarmede evenwigt moet maken. Dit zal gebeuren als de waterkolom ruim 10 Ned. ellen zich verheft boven den waterspiegel van den put of de watervergaring, dus als de zuiger C dien loodregten afstand krijgt van  $h h'$ . Hooger kan het water niet opklimmen, dit heeft de ondervinding geleerd; men heeft getracht het door middel eener zuigpomp hooger op te pompen, maar daarbij ondervonden, dat de pomp geen water gaf.

Uit het gezegde blijkt ook, wat bij eene zuigpomp een onmisbaar vereischte is. Het water rijst omhoog, omdat de buitenlucht drukt en er binnen in de pomp geen andere lucht is die tegendrukking uitoefent; kan er dus in de pomp lucht indringen onder den zuiger, dan geeft de pomp geen water. Dit nu gebeurt, wanneer de zuiger niet voldoende klemt tegen den binnenwand der pompbuis, of wanneer de zuigerklep niet behoorlijk sluit op de opening waarop zij past, wanneer er bijv. steentjes tusschen in geraakt zijn, die de sluiting beletten. In die gevallen loopt de pomp af, zij wordt lens; men moet dan den zuiger er uit nemen en in het eerste geval hem door bekleeding met nieuw leder weër in nauwer aanraking brengen met de wanden; in het tweede geval de klepopening zuiveren van hetgeen zich daarin gezet heeft.

Moet het water hooger opgebracht worden, zoo bedient men zich van eene anders ingerigte pomp, *zuig- en perspomp* genaamd, waarin het water eerst door de luchtdrukking tot eene zekere hoogte wordt opgevoerd, en dan zonder behulp der luchtdrukking verder naar boven wordt gestuwd; een eenvoudig voorbeeld daarvan hebben wij in de glazenwasschers-spuit, verder in de brandspuit, de olielampen met uurwerken, enz. Tot nader begrip dier inrigting zullen wij ze kortelijk verklaren. Fig. 37 stelt zulk eene zuig- en perspomp voor. Vergelijkt men die afbeelding met de vorige, zoo komt zij daarmede in veel opzichten overeen. Alleen ziet men, dat de pijp B C van de enkele zuigpomp hier vervangen is door eene opwaarts staande buis

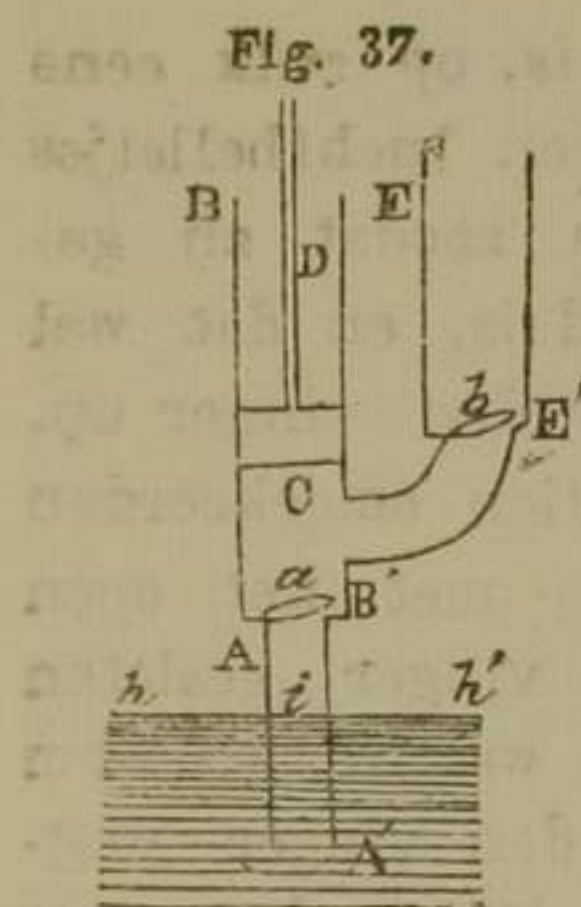
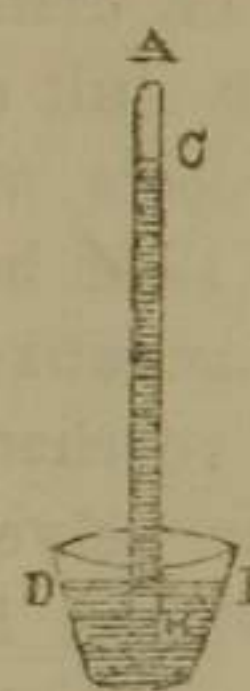


Fig. 37. E E', die even boven de klep  $a$  het pomplichaam B B' verlaat. Voorts is aan het benedeneinde der buis de klep  $b$  aangebragt, in plaats dat zij aan den zuiger C zich bevindt, welke zuiger hier niet doorboord is. Wordt nu die zuiger omhoog getrokken, zoo wordt daardoor de lucht er onder verdund, ten gevolge waarvan door de drukking der buitenlucht de klep  $b$  zich sluit en de klep  $a$  zich opent, terwijl er voorts water in de zuigpijp A A' opklimt. Door het omlaag brengen van den zuiger wordt het water, aanvankelijk met eenige lucht in de voornoemde ruimte voorhanden, geperst; maar het kan nu niet door den zuiger zelve heen zich boven hem plaatsen, daar hij niet doorboord is. De klep  $b$  wordt dus geopend en het water opgestuwd in de buis E E'. Wordt de zuiger wijders op nieuws omhoog gehaald, zoo kan dat opgestuwde water niet terugloopen, vermits de klep  $b$  zich weder sluit. Het is klaar, dat men met zulke pompen water hooger opvoeren kan dan met eene enkele zuigpomp. Het oppersen toch van het water is geheel onafhankelijk van de drukking der dampkringslucht, en is het water eenmaal opgezogen tot eene zekere bepaalde hoogte, zoo heeft men 't in zijne hand het verder zoo hoog op te persen als men zelf begeert.

Zoodra men begon in te zien, dat de onmogelijkheid om water enkel door zuiging hooger dan ruim 10 ellen op te pompen, haren grond had in de drukking der dampkringslucht, heeft men getracht de juiste hoogte der vloeistofkolom te bepalen, die er evenwigt mede maakte. Daartoe nam men echter geen water, maar liever kwik, omdat dit zoo hecl veel zwaarder is dan water — het soortelijk gewigt bedraagt 13.59 — en alzoo reeds daarom alleen hier een aanmerkelijk voordeel aanbiedt; eene kwikkolom toch van bijv. maar 80 duimen oefent dezelfde drukking uit als eene waterkolom, die 13.59 maal zoo hoog is, dus die eene lengte heeft van 10 el, 8 palm, 7 duim en 2 streep, en zoo kwam men op het denkbeeld van den barometer, dien wij thans, wat de hoofdriogting betreft, willen beschrijven. Men vulle eene

glazen buis, die ten minste 80 duim lang is, op zulk eene wijs met zuiver kwik, dat er volstrekt geen luchtbelletjes en evenmin waterdamp in aanwezig blijven, zoodat zij geheel met kwik en met niets anders gevuld is, en dat wel ten boorde toe. Vervolgens plaatse men er den vinger op, en keere de buis het onderste boven. In dien omgekeerden

Fig. 38.



stand dompele men ze (zie Fig. 38) met het open einde, dat nog altijd door den vinger gesloten wordt gehouden, in een bakje, waarin wederom kwik is, waarna men eindelijk den vinger wegneemt. Het kwik in de buis valt er dan voor een klein deel uit, zonder dat er lucht voor in de plaats kan komen, waardoor de ruimte A C boven in de buis evenmin lucht als kwik bevat. Op het kwik D E in het bakje drukt nu de geheele zwaarte van den dampkring, terwijl er op het kwik in de buis, die met dat in het bakje nu vrije gemeenschap heeft, geen drukking aanwezig is. Er kan dus geen evenwigt bestaan, ten zij er zulk eene kwikkolom C B in de buis geheven blijve, als waarvan de drukking die der dampkringslucht evenaart. Ons blijft derhalve nog maar alleen over, dat wij zorgvuldig meten, hoeveel hooger het kwik in de buis staat dan in den bak, en als nu te dien einde de toestel voorzien is van eene nauwkeurige schaal in Ned. maat bijv., die reikt tot aan het kwik van den bak, dan heeft men een' zoogenoemden bak-barometer, die ons de drukking der dampkringslucht kan doen kennen. Men gevoelt, dat het geen noodzakelijk vereischte is, dat de buis overal even wijd zij; immers of er zich veel of weinig kwik in de buis bevindt, dit doet, mits het maar eene zelfde hoogte hebbe, niets af tot de drukking, die door de vloeistof op haar grondvlak wordt uitgeoefend. Daarentegen is het geenszins onverschillig of men eene wijde dan wel enge buis neme, want hoe enger de buis is, des te meer zal het kwik van haarhuisjeswerking, zie bl. 43, ondervinden, en daardoor — vermits kwikdeeltjes in 't geval waarvan op bl. 45 gesproken is, verkeerren, en elkander meer aantrekken, dan zij door het glas gedaan worden — in eene nauwe buis iets lager staan, dan gevorderd wordt om even-

wigt te maken met de zwaarte der dampkringslucht, die derhalve uit dien hoofde niet juist gemeten zou kunnen worden.

Behalve bak-barometers heeft men ook nog hevel-barometers, waarvan Fig. 39 eene afbeelding geeft. Zij bestaan uit een' hevel A D G met ongelijke armen. De langere arm A D moet voor 't minst 80 duim lengte hebben en bij A gesloten zijn. De kortere D G is gewoonlijk wijd uitgeblazen; deze is alleen schijnbaar gesloten, want hij heeft bij F eene kleine opening, die vrijelijk lucht, maar niet gemakkelijk kwik doorlaat. De hevel is voorts op eene verdeelde plank bevestigd, en wederom zoo met zuiver kwik gevuld, dat er bij A B een luchtledig bestaat. Zoo veel als nu het kwik in den langeren arm hooger staat dan in den korteren, zoo lang is de kolom, die evenwigt maakt met de drukking der dampkringslucht, dat is dus in de figuur de kolom B C, welke men derhalve heeft te meten.

Fig. 39.



Uit zulke waarnemingen, aan het strand der zee of op gelijke laagte gedaan, blijkt, dat gemiddeld eene kwikhoogte van 76 duim noodig en voldoende is om gezegde drukking te evenaren. Hieruit kan men ligtelijk berekenen, wat de juiste hoogte der waterkolom zou moeten bedragen, om hetzelfde te doen, met andere woorden, te welker hoogte men water met eene zuigpomp kan opvoeren. Men heeft daartoe 76 duim maar 13.59 malen te nemen, 't geen 10 el geeft en bijna 33 duim. Op iederen vierkanten duim oppervlakte drukt bij gevolg de dampkring als met een gewigt van eene regtstandige zuil water, die 1033 duim hoog is, of met een gewigt van 1033 cub. duimen water, dat is van 1033 wigtjes of 1 pond en 33 wigtjes.

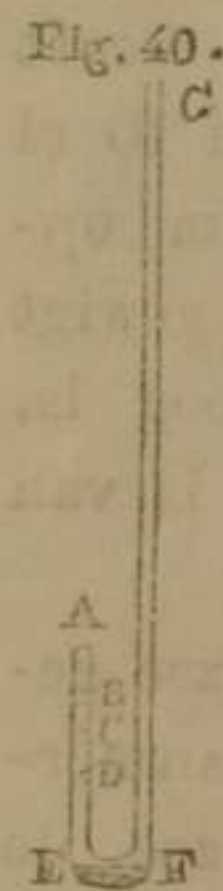
Er is hier van waarnemingen aan het strand der zee gesproken. Wij weten toch, dat op eene eenigzins aanmerkelijke verhevenheid boven den waterspiegel der zee de dampkring minder drukt, en de ervaring bevestigt zulks nader, want de stand des barometers daalt, naar mate wij ons daarmede hooger begeven, waardoor wij in den barometer tevens een middel ontdekken, om ons te vergewissen hoe hoog eenig punt, waar wij ons mogten bevinden, boven den waterspiegel der zee gelegen is. Ware de lucht overal



van gelijke digtheid, dan behoefden wij maar eens voor al te weten, met hoeveel ellen verschil van hoogte de eerste streep zinkens van den barometer bijv. instemde, en dat is 11.5 ellen; iedere streep zinkens meer gaf dan telkens weër even zooveel hooger te kennen. Daar nu evenwel de luchtlagen als wij klimmen, al ijler en ijler worden, zoo zal er ook al grooter kolom dan van 11.5 el gevorderd worden om een kwikkolommetje van 1 streep op te wegen. Men zal dus de wet dienen in aanmerking te nemen, volgens welke de digtheid der lucht vermindert, en dat maakt die hoogtebepaling omslagtiger. Bovendien heeft men nog op meer te letten, dat niet alles met volkomen zekerheid en juistheid in rekening gebragt kan worden, waarom men dan ook niet anders dan bij gebrek van beter hier tot den barometer zijne toevlugt neemt, en de hoogten met behulp daarvan opgenomen, nooit anders dan als ruwe bepalingen mogen gelden, daar zij voor geen zeer groote juistheid vatbaar zijn.

Wij zeiden verder, dat de barometerhoogte *gemiddeld* 76 duimen bedraagt, dus dan eens iets meer, dan weder wat nieder. De dampkring drukt derhalve met een veranderlijk vermogen.

Nu wij eenmaal met de inrigting des barometers bekend geworden zijn, zullen wij naauwkeuriger kunnen nagaan, hoe de spanning van besloten lucht met de digtheid daarvan samenhangt. Dat is onderzocht geworden, wederom door middel van een' hevel met ongelijke armen, Fig. 40. De eene A E was gesloten, overal even wijd en naauwkeurig in gelijke deelen verdeeld. De andere arm F G was open en ten minste  $2\frac{1}{2}$  el lang, zoo niet langer. Nadat gezorgd was geworden dat de buis, vooral de korter arm, niet dan drooge lucht bevatte, goot men er voorzigtig en bij zeer weinig tegelijk zuiver kwik in, vooreerst niet meer dan nodig om de ruimte A E af te sluiten, die dus met eene zekere hoeveelheid drooge lucht gevuld bleef. Vervolgens werd er nog meer kwik in den langen arm gedaan, waarvan het gevolg was, dat het ook voor een deel in den korteren arm opklom, bij lang na



echter zoo hoog niet, omdat de lucht, die zich daar bevond, opeengepakt en zamengeperst, eene meerdere drukking begon uit te oefenen dan de vrije dampkring boven het kwik in den open' arm. Hiermede ging men nu voort tot het kwik in den korten arm juist de verdeelingsstreep D bereikt had, ten teeken, dat de lucht thans maar de helft van de ruimte, die zij oorspronkelijk besloeg, innam, en dus tweemaal zoo digt was als aanvankelijk. Gaf nu een barometer 76 duim bijv. aan, voor de kwikhoogte die de drukking des dampkrings opwoog, dan bevond men, dat ook het kwik in den langen arm juist zooveel hooger stond dan in den korten. De opgesloten en zamengeperste lucht maakte dus evenwigt met 76 duim kwik, en bovendien met den dampkring, die daar nog op drukte, een bewijs, dat eene tweemaal zoo digte lucht ook eene tweemaal zoo groote spanning heeft. Door nog al meer kwik bij te gieten, kon men de vloeistof in den korten arm het teeken C doen bereiken, de lucht nam dan nog maar een derdedeel van de ruimte A E in, was dus driemaal zoo digt als de vrije dampkringslucht; het kwik in den langeren arm stond nu  $2 \times 76$  duim hooger dan in den korteren, hare spanning bedroeg dus driemaal zooveel als die van den dampkring. Dat zette men verder op dezelfde wijze voort, en bevond zoo doende, dat de spanning of drukking van besloten lucht evenredig is aan hare digtheid, of omgekeerd-evenredig aan de ruimte die zij telkens bij meerdere ineenpersing besloeg.

## XII.

## Gewigt van lucht. Zweven in lucht.

Met behulp van eene luchtpomp, vermeldde wij reeds, maakt men een' glazen bol nagenoeg luchtledig, en heeft men zich, door hem zoowel in dien toestand te wegen als toen het inwendige gemeenschap had met de buitenlucht, en hij dus met lucht even digt als die daar buiten gevuld was, kunnen overtuigen, dat lucht werkelijk ook zwaar is. Volkomen laat zich echter zulk een ballon niet luchtledig pompen. Ware dat het geval, dan kon men gemakkelijk onderzoeken, mijs men maar den juisten inhoud des bal-

lons kende, hoeveel eene bepaalde hoeveelheid lucht weegt van de digtheid der ons omringende lucht, welke digtheid de gelijktijdige stand des barometers ons leert kennen. En daaruit zou men dan terstond haar soortelijk gewigt kunnen afleiden, of hoeveel de dampkringslucht ijler is dan water. Maar ofschoon er altijd eenige, hoezeer verdunde, lucht in den ballon terugblijft, zoo heeft die bepaling toch kunnen geschieden, daar men uit de drukking der verdunde lucht vermag na te gaan, hoeveel er teruggebleven is, en die hoeveelheid dus in rekening kon brengen. Men heeft alzoo met voldoende nauwkeurigheid gevonden, dat 1 cub. palm of Ned. kan gewone lucht bijna 1.3 wigtjes weegt, en dat water dus 770 malen zwaarder is dan lucht. Dat zamengeperste of verdunde lucht, naar mate zij digter of ijler is, meerder of minder gewigt heeft, is niet anders mogelijk, als men althans het ontdekt verschil in gewigt bij den ballon aan de ware oorzaak heeft toegeschreven, met ze voor eene werking der zwaartekracht te houden. Opzettelijke proeven hebben ten overvloede dit nader bevestigd. Neemt men twee glazen bollen, die evenveel inhoud hebben, 't geen daaraan blijken kan, dat in beiden juist evenveel water gaat, maakt men den eenen zoo goed mogelijk luchtledig, en brengt men hem in gemeenschap met den ander', die met gewone lucht gevuld is, zoo verdeelt zich de lucht in beide bollen; weegt men ze daarna beiden weder, zoo bevindt men, dat de een zooveel aan gewigt verloren, als de andere gewonnen heeft, en dat het gewigt van de lucht in elken bol nu de helft bedraagt van 't geen men vroeger in een' bol alleen had. Hebben bijv. beide bollen 1 cub. palm binnenruimte, zoo zal de bol, die eerst 1.3 wigtjes aan lucht bevatte, nu slechts 0.65 wigtjes bevatten, en de andere, die te voren luchtledig was gewogen, zal 0.65 wigtjes zwaarder geworden zijn. Vroeger zagen wij; dat, wanneer een bepaalde hoeveelheid lucht zich in eene dubbele ruimte uitbreidt, hare drukking tweemaal kleiner wordt; drukking en gewigt nemen dus in dezelfde rede af; en zoo nemen zij ook bij zamenspersing in dezelfde rede toe. Wanneer men in een' bol zoo lang lucht inperst, dat hare spanning tweemaal grooter geworden is, zoo bevindt men ook, dat

die lucht tweemaal zooveel weegt; bij drievoudige verdigting heeft de lucht insgelijks driemaal zooveel gewigt; wel te verstaan, wanneer de ruimte, waarin de lucht bevat is, steeds even groot blijft. Want, wanneer men dezelfde hoeveelheid lucht samenperst, door ze tot eene kleinere ruimte te beperken, zoo neemt de drukking wél toe, maar het gewigt blijft hetzelfde; en inderdaad is dan de hoeveelheid lucht niet vermeerderd, gelijk het geval is, als men in een gegeven ruimte bij de voorhanden lucht andere nieuwe lucht toevoegt. Het lijdt derhalve geen' den minsten twijfel meer, of ook bij lucht mogen wij het gewigt aannemen als den maatstaf van de hoeveelheid, terwijl de drukking, die eene zekere hoeveelheid lucht uitoefent, iets geheel anders is; het is hiermede even als met de vochten: gewigt en spanning zijn verschillende zaken.

Maar gewigt is toch ook eene drukking, en wel eene drukking loodregt naar beneden, want wij vinden het gewigt, door de drukking, die de schaal der balans ondergaat, te meten. Van nieuws stuiten wij op de zwaarigheid, dat dezelfde hoeveelheid lucht, die bijv. in het bierglas (Fig. 28) eene drukking uitoefent, gelijk aan die van den dampkring, en dus gelijk aan het gewigt eener waterkolom van ruim 10 ellen, — dat die lucht, wanneer zij op de schaal gewogen wordt, slechts een klein gedeelte van een wigtje weegt, en dus door hare zwaarte slechts eene drukking naar beneden kan uitoefenen, die misschien eenige honderde malen kleiner is dan in de proef met het glas? Dat die tegenstrijdigheid inderdaad niet dan schijnbaar is, zal ons thans, bij nauwkeurige beschouwing, nog van een' anderen kant blijken. Nemen wij, bijv. een' hollen cubus van eene palm zijde, en dus van eene cub. palm ruimte aan; en dezen gevuld met gewone dampkringslucht, dus met 1.3 wigtje aan lucht. Leggen wij dien op de weegschaal, dan drukt de lucht zelve, die er in is, niet onmiddellijk op de schaal, maar de cubus; en met hoeveel kracht zal dat geschieden? De ingesloten lucht drukt naar alle rigtingen, zagen wij; dus van binnen zoowel tegen het boven- als tegen het ondervlak. Door de eerste drukking wordt de cubus opgeligt van de schaal af, en door de tweede wordt

hij naar beneden, dus tegen de schaal aan, geduwd. Waren nu deze beide drukkingen even groot, zoo zouden zij juist tegen elkander opgaan, en die drukkingen zouden gezamenlijk geene uitwerking op de schaal voortbrengen. Is daarentegen de drukking tegen het grondvlak grooter dan die tegen het bovenzvlak, zoo zal het juist zijn alsof de cubus, behalve door zijn eigen gewigt, nog door eene kracht, die gelijk is aan het verschil der beide drukkingen, naar beneden werd geduwd. Het is dit verschil, 't geen op de schaal werkt, en dat is dus hetgeen wij het gewigt van de lucht noemen; dewijl elke van die drukkingen over de honderd ponden groot is, bedraagt haar verschil maar 1.3 wigtje bij onzen cubus.

Hiermede komt geheel overeen hetgeen wij vroeger aanvoerden, dat een ligchaam 't welk in lucht geplaatst is, daarin zoo gemakkelijk bewogen kan worden, omdat de tegenovergestelde drukkingen tegen elkander opwegen. Hier zijn het drukkingen van buiten naar binnen, bij den cubus drukkingen van binnen naar buiten. Dat tegen elkander opwegen heeft echter ook bij de buitendrukkingen niet volkomen plaats. Vestigen wij bij onzen cubus de aandacht ook op de lucht, die er rondom heen is, zoo hebben wij hier ook op het bovenzvlak eene luchtdrukking, die naar beneden werkt, en tegen het benedenvlak eene, die naar boven werkt. 't Is hiermede dus even als met de drukking van water tegen een daarin gedompeld ligchaam, en men kan bewijzen, dat de bovendrukking juist zóóveel kleiner is dan die beneden, als het gewigt bedraagt van de door den cubus verplaatste lucht. Een ligchaam ondergaat dus ook in lucht een schijnbaar gewigtsverlies, even als in water, en wij moeten aannemen, dat, indien wij den cubus in eene luchtledige ruimte konden wegen, deze zwaarder zou blijken te zijn, dan wanneer hij in lucht gewogen werd. Zoodanige weging in het luchtledige is werkelijk geschied, en heeft dan ook de verwachte uitkomst opgeleverd. Dat verlies was juist zóóveel kleiner dan het verlies in water, als lucht minder weegt dan water. Een cubus, die in water 1000 wigtjes verliest, verliest in lucht slechts 1.3 wigtjes, of, om nauwkeuriger te spreken: zijn eigen gewigt wordt

tegenge werkt door eene opwaarts gerigte kracht, die met 1.3 wigtjes drukking gelijkstaat.

Hadden wij dus een ligchaam, dat 1 cub. palm groot is, en minder dan 1.3 wigtjes weegt, dan zou dit in de lucht door eene grootere kracht naar boven dan naar beneden gedreven worden, en het zou dus werkelijk naar boven gaan. Zulke ligte lichamen, die minder wegen dan de lucht, welke zij verplaatsen, heeft men inderdaad weten te vervaardigen; het zijn de luchtballen. Dat zijn ballen van eene ligte dunne stof vervaardigd, en gevuld met eene andere soort van lucht, die veel ligter is dan gewone lucht; wij komen er later op terug. Een ander veel eenvoudiger voorbeeld van lichamen, die ligter dan lucht zijn, hebben wij in zeepbellen, die wij somtijds ook zonder wind omhoog zien zweven. Het blijkt dus duidelijk, dat wij uit het naar boven gaan van lichamen niet mogen besluiten, dat zij geen gewigt hebben, dat zij geene reiging hebben om te vallen, maar alleen dat zij ligter zijn dan de lucht die zij verplaatsen, zoodat de waarschijnlijkheid tot zekerheid is geworden, dat alle ons bekende stof zwaar is.

Het naar boven gaan van lichamen die ligter zijn dan lucht, mogen wij niet verwarren met het *vliegen*. Een vogel is zeer veel zwaarder dan de lucht die hij verplaatst; en het is hem slechts mogelijk in de lucht op te stijgen, omdat hij beweging maakt met zijne vleugels. Ook de vlieg, de bij, de kever, verkeeren in 't zelfde geval, en zij hebben daarom alle vleugels. Tusschen het opstijgen van een' luchtbol en van een vliegend dier bestaat een dergelijk verschil als tusschen het drijven in water van lichamen, die ligter dan water zijn, en het zwemmen van dieren zwaarder dan water. De vogel, die zijne vleugels niet bewoog, zou op den grond vallen; de hond, die in het water geene zwembewegingen maakte, zou zinken.

## DERDE AFDEELING.

### W A R M T E.

#### I.

##### Over Warmte in 't algemeen.

Eene eigene ons allen door ondervinding bekende gewaarwording is dat gevoel, 't welk wij *warmte* noemen, en 't welk, als het zeer sterk is, den naam van *hitte* draagt. Wij kunnen dat gevoel zelf door woorden niet beschrijven, en zouden het aan anderen, die het nooit ondervonden hadden, niet kunnen doen kennen; maar wel kunnen wij onderzoeken onder welke omstandigheden en waardoor dit gevoel veroorzaakt wordt.

Wij voelen warmte, als de zon op ons schijnt, als wij ons digt bij een vuur bevinden. Wij zeggen dan: de zon geeft warmte; het vuur geeft warmte. De zon en het vuur zijn hier de bronnen van onze gewaarwording; er zijn dus lichamen buiten ons die dat gevoel te weeg brengen; en zoo is het bijkans altijd, wanneer wij warmte of koude gevoelen. Van het ligchaam, dat ons de gewaarwording van warmte geeft, zeggen wij dat het *warm* is, en is die gewaarwording sterk, dan zeggen wij eveneens van het ligchaam dat het *heet* is. Hoe werkt dat warme of heete ligchaam op het onze? Wij zeggen: de zon geeft ons warmte, en onderstellen dus, dat er door de zon iets aan ons wordt medegedeeld. Dat iets bestempelen wij voorts met denzelfden naam als de gewaarwording, die er door wordt voortgebracht. Hier dienen wij te onderscheiden, zoo wij duidelijk willen zijn, en wij zullen daarom, als wij de gewaar-

wording bedoelen, uitdrukkelijk van een gevoel van *warmte* spreken. Maar is de gewone spreekmanier voor 't overige juist? Is er wezenlijk een iets, eene stof, die door de zon, door het vuur, aan ons wordt medegedeeld? Zien kunnen wij ze niet, maar ook de lucht om ons heen zien wij niet; dit bewijst dus niets. Omgekeerd, wij kunnen eene gewaarwording hebben zonder dat die door de mededeeling van een eigen iets wordt voortgebracht. Wij hooren geluid, en geluid is toch geen stof op zich zelve. Om te beslissen moeten wij de verschijnselen nagaan, die aanleiding gegeven hebben om zoo over warmte te spreken als wij dagelijks doen.

Wanneer ik aan een' ander' wat van het mijne geef, dan houd ik minder over dan ik te voren had, en de ander heeft nu meer dan hij had. Dit is hetgeen wij mededeelen noemen; en dit schijnt bij warmte het geval te zijn. Als ik een' cent zoo lang bij het vuur houd, totdat hij heet geworden is, hem vervolgens tussehen twee andere centen inleg, die niet bij het vuur gelegen hebben, zoo zal ik, als ik ze alle drie na eenige oogenblikken wachters betast, bespeuren, dat de heete cent niet meer heet, maar alleen warm is, en dat ik hem zonder gevaar kan aanraken; maar tegelijk voel ik, dat de twee andere centen, die koud waren, nu ook warm geworden zijn. Deze waarneming doet ons zeggen: de heete cent heeft van zijne hitte aan de beide andere medegedeeld.

Als ik een' pook eenige oogenblikken in een' ketel met kokend water leg, zoodat het eene eind er uitsteekt, en hem er vervolgens uitneem, dan is het ingedompelde eind zóó heet, dat ik het niet met de hand kan aanraken, het ander eind niet; maar na langeren tijd wordt ook het ander eind, ofschoon het niet met het kokend water in aanraking geweest is, warm, het heete daarentegen minder heet, daarna alleen warm. eindelijk is de pook geheel afgekoeld, d. i. waar wij hem ook aanraken, geeft hij ons nergens meer het gevoel van warmte; ook hier had het eene eind aan het ander schijnbaar iets medegedeeld. Wanneer in eene koude kamer, dat is, in eene kamer waarin de lucht ons het gevoel van koude geeft, de kachel eenigen tijd wordt

gestoekt, dan geeft diezelfde lucht ons een gevoel van warmte. Wij zeggen daarom: de kagchel heeft warmte medegedeeld aan de lucht. Aan ons eigen ligchaam nemen wij iets gelijksoortigs waar; wanneer ik een' cent op tafel heb liggen, en een' tweeden cent in de eene hand neem, dan voelt die hand in den beginne koude; weldra houdt dat gevoel op: raak ik hem eenige oogenblikken daarna met de andere hand aan, en insgelijks den cent, die op de tafel is blijven liggen, dan voel ik, dat de eerste warm geworden is, dat hij nu warmer is dan de andere; ik begrijp dus, dat het gevoel van koude daardoor ontstaat, dat mijne hand een deel van hare warmte aan het vreemde ligchaam afgeeft.

Er is dus grond om over de warmte als over een iets te spreken; en toeh, wanneer wij vragen: hoe moeten wij ons dat iets voorstellen? dan kunnen wij die vraag niet beantwoorden; de warmte heeft niet de eigenschappen van een ligchaam. Wij kunnen ze niet in eene bepaalde ruimte insluiten, zoo als water en lucht; het is bekend, dat warmte overal door heen dringt, door ijzer, door steen, door glas, door den grond. Warmte neemt ook geen ruimte zóó in, dat er zich niet tegelijk iets anders in zou kunnen bevinden. In tegendeel, nooit gevoelen wij ergens de aanwezigheid van warmte, of er is in diezelfde ruimte een ligchaam, waar dat gevoel van uitgaat. Wij kennen de warmte niet als op zich zelve staande. Eindelijk, warmte heeft geen gewigt, gelijk wegingen kunnen bevestigen. Wanneer men een koud ligchaam weegt, het warm maakt, en dan weder weegt, zoo moet het, indien warmte gewigt heeft, bij de tweede weging zwaarder zijn geworden. Dit is intusschen het geval niet; in tegendeel vindt men dikwerf, dat het warme ligchaam minder weegt dan toen het koud was. Een stuk steen, linnen of katoen, papier — worden, verwarmd, ligter bevonden dan koud; een stuk ijzer of ander metaal zal, warm gemaakt, nagenoeg even zwaar zijn, maar althans niet zwaarder; later zullen wij zien, dat de warmte de onmiddellijke oorzaak van die gewigtsverandering in 't geheel niet is. Wat de warmte eigenlijk is, kunnen ons geen dadelijke proefnemingen leeren; door het gebruik onzer zintuigen nemen wij alleen de eigenschappen der lichamen waar en

de veranderingen, die de warmte er in voortbrengt, maar haar zelve niet.

Zoo als wij over warmte en hitte spreken, spreken wij ook over koude en vorst. Wij kennen een gevoel van koude, en spreken over de oorzaak, waardoor dat gevoel wordt voortgebracht, ook als over een eigen iets, dat insgelijks medegedeeld kan worden even als de warmte. Wij zeggen: de koude dringt in de huizen, de vorst dringt in den grond, togt geeft koude, enz. Wij noemen steen en ijzer koud, omdat zij ons, wanneer wij ze aanraken, het gevoel van koude veroorzaken. Voor deze spreekwijze bestaat intusschen geen grond; wij behoeven maar aan te nemen, dat, als wij een ligchaam aanraken, dat wij koud noemen, deze gewaarwording daardoor wordt veroorzaakt, dat hier ons eigen ligchaam warmte afgeeft, terwijl bij de lichamen, die wij warm noemen, het onze van dat ander 't welk wij aanraken, warmte ontvangt. Dat deze voorstelling juist is, blijkt uit deze eenvoudige proef. Als van twee personen de een een' vinger steekt in warm water, dat zoo heet is als hij 't maar verdragen kan, en de ander den zijnen in koud water, hoe killer des te beter, en als vervolgens beiden dezelfde vingers indompelen in laauw water, dan zal hetzelfde laauwe water door den eersten koud, en door den laatsten warm bevonden worden.

## II.

### Opwekking en verspreiding van Warmte.

Een ligchaam wordt niet alleen warm door toedoen van een ander dat reeds warm was, maar ook zonder hulp van een warm ligchaam. Wanneer men twee koude handen tegen elkander wrijft of op elkander slaat, worden ze beiden warm; als men een' kouden vinger over koud laken wrijft, wordt die niet alleen warm, maar alligt zoo heet, dat wij er pijn door zouden gevoelen, als wij voortgingen met wrijven.

Dat wrijven van twee koude lichamen beiden warm maakt, blijkt ook in vele andere gevallen. Twee stukken hout tegen elkander gewreven, worden warm, en men kan het zelfs

zoo ver brengen, dat ze beginnen te branden. Eene wagenas, die niet behoorlijk gesmeerd is, wordt dikwijls heet onder het rijden; die as wrijft tegen de naaf waarin zij ronddraait; ook hier stijgt de hitte somtijds zoo hoog, dat de as in brand raakt. Eene molenas, welke bij stormweêr in den vang, die haar moest vasthouden, niet genoegzaam geklemd blijft ronddraaijen, geraakt eindelijk door de sterke wrijving in brand. Een mes of schaar, die men op een steen aanzet, wordt heet, terwijl de steen ook warm wordt; daarom heeft de schaarlijper altijd een vat met koud water boven den steen geplaatst, om hem gedurig af te koelen; ook de zeis, de spade, worden onder 't aanzetten warm. Een vuurslag tegen den vuursteen gewreven, geeft zooveel hitte, dat de ijzerdeeltjes, die van den vuurslag afvliegen, gloeijen. Wij zien dus, dat laken, hout, steen, ijzer, door wrijving warm worden. Bij lucifers is eene zeer geringe wrijving voldoende om ze te doen ontvlammen. Bij boren, draaijen en vijlen, bij smeden en pletten heeft mede wrijving plaats, en door die bewerkingen ondervinden wij dan ook dikwerf, dat de lichamen warm worden; de smid weet het bij ondervinding, als hij een stuk koud metaal lang gehamerd heeft; de draaijer merkt het evenzeer aan het stalen gereedschap, waarvan hij bij het draaijen gebruik maakt.

Eene andere manier van warmte voort te brengen is die, welke wij *verbranding* noemen. Om een vuur te doen branden, beginnen wij met bij een hoop koude turf eene gloeiende kool of een brandenden zwavelstok te leggen; hier heeft dus mededeeling van warmte plaats; maar dit is niet de voorname oorzaak van de warmte, welke de brandstof later, onder het branden, afgeeft. De kool of de zwavelstok alleen toch geeft maar weinig warmte; het vuur dat er door ontstoken is, levert eene veel grooter hoeveelheid, en zooveel te meer, naar mate er meer turf verbrandt; er *ontstaat* dus hier ook warmte.

Somtijds is de enkele bijeenvoeging van twee lichamen een middel om ze warm te doen worden. Water gegoten op gebranden kalk geeft veel hitte; wanneer men het in behoorlijke hoeveelheid er bij doet, wordt het kokend heet, en verdampst voor een deel.

Het is vooral door de werking der zon, dat koude lichamen warm worden. Hoe de zon dit te weeg brengt is ons onbekend; dit alleen weten wij, dat de werking des te sterker is, naar mate de zon hooger aan den hemel staat en langer schijnt. Vooral het hoog staan doet hier veel af. In de warme landen, waar de zon elken dag maar 12 uren schijnt, is het veel warmer dan in koude landen, waar zij dagen en maanden achtereen niet ondergaat, maar altijd zeer laag aan de kimmen blijft; van deze beide omstandigheden hangt het echter niet alleen af. Nog merken wij een groot verschil op, naar de gesteldheid der lichamen waarop de zon schijnt. Water wordt veel minder warm dan de grond, tuinaarde veel minder dan zandgrond, hout minder dan steen of ijzer, al schijnt de zon op alle even lang en even schuins. Ook de kleur doet hier veel af. Eene zwart geverwde schutting wordt veel warmer dan eene wit geverwde, en geeft daarom ook veel meer warmte aan de boomen, die er tegenaan staan. Schuttingen, waartegen vruchten staan die veel warmte noodig hebben, moeten daarom zwart geverwd worden. Zwarte kleeren worden in de zon veel warmer dan lichtgekleurde, en geven dus ook aan ons ligchaam meer warmte; daarom draagt men in warme landen, waar de zon dikwerf meer warmte geeft dan ons lief is, kleeren van lichte kleuren. Wanneer in het voorjaar de sneeuw door de zonnwarmte begint te smelten, ziet men ze overal waar zij vuil is geworden, veel spoediger wegsmelten, omdat de donker gekleurde sneeuw veel warmer wordt dan de witte. Legt men op de sneeuw lapjes van verschillende kleur, dan zal zij onder de zwarte of donkerroode veel eerder smelten dan onder de witte.

In elk geval, waar warmte merkbaar wordt die er te voren niet scheen te zijn, zeggen wij, dat zij opgewekt wordt; wij zeggen dus, dat warmte door wrijven, door verbranding, door vermenging, opgewekt wordt.

Hoe meer warmte er in een ligchaam opgewekt is, des te meer deelt het aan de omringende lichamen mede. Ook bij dit mededeelen hebben merkwaardige bijzonderheden plaats.

Wanneer men eenige staven van gelijke lengte en dikte neemt, maar van verschillende lichamen, hout, bijv., steen en metaal, en die alle even ver in denzelfden bak met heet water steekt, zoo wordt ook het uitstekende eind van alle warm, maar de tijd die daartoe noodig is, is zeer ongelijk: de metalen staaf zal het spoedigst warm worden, de steen langzamer, het hout het allerlangzaamst. Men noemt daarom de metalen *goede warmte-geleiders*; hout een' *slechten* warmte-geleider. Dit verschil kan men opmerken, wanneer men aan een' koperen ketel ook een koperen hengsel heeft, en men vult hem met kokend water. Niet alleen de ketel, maar ook het hengsel wordt dan weldra zóó heet, dat men het niet kan aanvatten zonder zich te branden. Men maakt daarom het bovendeel van het hengsel gewoonlijk van hout, dat de warmte niet zoo gemakkelijk overneemt als koper; om dezelfde reden geeft men aan het deksel van den ketel een' houten knop; aan vuurkomforen houten pootjes en een' houten handvat. Steen is een slechte warmte-geleider; vandaar dat éene kerk, die veelal gesloten blijft, waar dus geen warmer of kouder lucht indringt, en de warmte derhalve door de steenen muren moet dringen, als het in 't najaar koud wordt, nog eenigen tijd warmer is dan de buitenlucht, maar ook in 't voorjaar na invallenden dooi nog een' tijd lang koud blijft. Nog slechter warmte-geleider is stroo. Onder een stroo-dak blijft daarom de warmte lang binnen's huis; maar is het er eenmaal koud geworden, dan zal er ook moeilijk warmte van buiten indringen. 't Is dus op een' zolder, die met stroo gedekt is, in den winter warmer dan buiten, en in den zomer koeler dan bijv. onder een pannen dak, waar door de warmte veel gemakkelijker van buiten naar binnen en van binnen naar buiten heengeraakt.

Wil men een ligchaam, dat warmer is dan de buitenlucht, lang warm houden, dat is, zorgen dat de warmte niet verloren ga, zoo omringt men het met stoffen, die slechte warmte-geleiders zijn, en deze beantwoorden des te beter aan het doel, naar mate ze eene dikker laag uitmaken. Zulke slechte warmte-geleiders zijn laken, wol, hout, met één woord al die stoffen, waarvan wij kleeren vervaar-

digen, om ze in den winter te dragen. Zij dienen eigenlijk niet om te verwarmen, dat is, om warmte aan het ligchaam te geven, zoo als wij gewoon zijn te zeggen, maar om te beletten, dat onze eigene warmte naar buiten verloren ga; ook het beddegoed heeft hetzelfde doel. Bij de dieren dienen daartoe haren en vederen, en wij vinden juist die dieren, welke in de koude landen leven, daarmede het meest voorzien; bekend is het, dat het langharige bont altemaal uit huiden van dieren bestaat, die enkel in de poolstreken leven.

't Mag op 't eerste gezigt bevreemding wekken, dat dezelfde stoffen evenzeer dienen om een schijnbaar tegengesteld doel te bereiken. Om namelijk te voorkomen, dat stukken ijs spoedig smelten, wikkelt men ze in wollen lappen en dekens. Wel beschouwd, is dat echter juist een blijk, dat die omhulsels geen warmte geven, maar als slechte warmte-geleiders voor den doortogt der warmte een groot beletsel opleveren; hier verhinderen zij dat de warmte van buiten tot het koude ijs komt, gelijk zij omgekeerd bij onze kleeding de warmte van ons ligchaam verhinderen, zich aan de koudere omringende lucht mede te deelen.

Ten einde te beletten, dat pompen in den winter bevrozen, omwikkelt men ze met stroo; het bevrozen is een gevolg van het afkoelen, door afgeven van warmte aan de omringende lucht; dit afgeven wordt door het dek van stroo belet. Hetzelfde middel gebruikt men om fijne heesters in de buitenlucht te doen overwinteren. En zoo dient stroo ook om het indringen van de buitenwarmte in ijskelders te voorkomen.

De grond is mede een zeer slechte warmte-geleider. Wordt het oppervlak door de zon verwarmd, dan deelt die de warmte aan den ondergrond mede, maar dit geschiedt zeer langzaam; wanneer de bovengrond in het voorjaar reeds ontdooid is, treft men nog eenige dagen lang de vorst, op minder dan een palm diepte, in den grond aan. Maar omgekeerd gaat ook de warmte, die op eene zekere diepte in den grond is, weinig of niet door den bovengrond heen, naar de lucht toe, zelfs wanneer het hard vriest. Wij drukken dit gewoonlijk uit door te zeggen: de vorst dringt niet diep in den grond; maar wij moesten eigenlijk zeggen: de warmte

gaat alleen uit de bovenste aardlaag verloren, niet uit de lager liggende; gewoonlijk vinden wij 's winters in ons land den bodem niet dieper dan twee palm bevrozen. Zelfs in buitengewoon koude winters had de bevrozen laag maar 7 palmen diepte, terwijl het in de lucht maanden lang gevoren had; vandaar, dat planten, die hare wortels eenige palmen diep in den grond hebben, zelden hinder van de vorst hebben; vandaar ook, dat het water in putten, zoodra ze wat diep zijn, 's winters niet bevroest; gelijk omgekeerd dat water in den zomer frisch en koel is, omdat de buitenwarmte er door den grond heen niet kan bij komen. Als slechte warmte-geleiders is vooral ook de sneeuw hoogst nuttig. Terwijl grond waarop geen sneeuw ligt, bevroest, en de planten dien ten gevolge sterven, vriest het bijna niet op akkers, welke met eene laag sneeuw bedekt zijn. Zelfs heeft men in strenge winters bevonden, dat grond die met eene dikke laag sneeuw bedekt was, niet eens aan de oppervlakte bevrozen was.

Om teere planten tegen vorst te beveiligen, is 't niet noodig, dat zij door een' slechten warmte-geleider geheel omsloten zijn. De in het vroege voorjaar ontluikende bloesems van fijne vruchtboomen worden tegen de nachtvorsten gevrijwaard enkel door eenig vrij ijl rijshout, dat er maar los tegenaan gezet wordt. Indien nu de bekoeling alleen door mededeeling aan de belendende lucht plaats vond, zoo kon dit weinig of niet baten. Wij kunnen hier wederom iets uit leeren, en wel: dat de warmte de lichamen nog op eene andere wijze verlaat, te weten door *uitstraling*, welke uitstraling, vooral bij heldere nachten, als er geen wolkje aan 't uitspannel is, zeer aanmerkelijk is, en dan, als de zon over dag nog weinig kracht heeft, eene groote bekoeling en daardoor bevrozing en veel schade aan de planten veroorzaakt. Is de lucht bewolkt, zoo is de uitstraling ook dadelijk veel minder, en zoo gevoelt men, dat ook de rijshouten takkebossen voldoende kunnen zijn om door het onderscheppen der regt doorgaande warmtestralen het verlies van warmte tegen te gaan.

Een tweede voorbeeld van het tegenhouden van warmte, die, juist omdat zij ook daar op dezelfde wijze, door afstraling

namelijk, zich verbreidt, gemakkelijk kan worden bestreden, hebben wij in de vuurschermen, die, hoe dun zij soms ook zijn mogen, ons toch des winters wezenlijke dienst bewijzen, als een al te wel voorziene haard, onzes ondanks, ons anders tot wijken zou dwingen.

Wat vroeger van de kleuren en van de meer of minder heldere oppervlakten gezegd is, heeft voor 't grootste deel betrekking op dat uitstralen van de warmte. Het meer of min ruwe of wel gepolijste eener oppervlakte is te dezen opzichte ook geenszins onverschillig. Eene doffe, alsmede eene gekraste oppervlakte laat de warmte gemakkelijk uitstralen, daarentegen houdt eene gladde spiegelende oppervlakte ze langer tegen. Vandaar dat de metalen trekpotten tegenwoordig, en te regt, veel in zwang geraakt zijn en men ze meer en meer den voorrang geeft boven die van aardewerk, vooral van zwart aardewerk. Hoe gladder en glansrijker toch de pot is, des te langer kan de thee er warm in blijven.

### III.

#### Uitwerkingen der Warmte. Uitzetting.

Warmte brengt in de lichamen velerlei veranderingen te weeg. Vooreerst leert de dagelijksche ondervinding, dat sommige lichamen door warmte uitzetten, of grooter worden, andere daarentegen door warmte inkrimpen, of kleiner worden; hout bijv. krimpt in de warmte, dat is, wordt kleiner. Wanneer het paneel eener deur uit naast elkander geplaatste planken is zamengesteld, zien wij die planken zich in de hitte van elkander verwijderen, zoodat er eene reet ontstaat, die dikwerf wijd genoeg is, om er door heen te zien; deze reet is enkel daaraan toe te schrijven, dat de planken smaller worden. Zulke reeten of scheuren ontstaan vooral als er versch hout gebruikt is, weshalve een timmerman of schrijwerker zorg draagt, om voor goed werk oud hout te gebruiken, dat, zoo als men zegt, niet meer trekt of werkt. Met natte klei, die door de warmte uitdroogt, gebeurt hetzelfde als met hout, en in nog sterkere mate; de klei krijgt scheuren, die des te wijder



worden, naar mate de warmte grooter wordt. Dat zulk krimpen niet plaats heeft bij andere lichamen, kan men gemakkelijk aantoonen. Neem twee ijzerdraden, die juist even lang zijn, maak den eenen heet en leg dien naast den anderen, en gij zult zien, dat de heete draad langer is geworden dan hij te voren was. Wordt hij weder koud, dan krimpt hij ook weër in en eindigt met weër even lang te zijn als de andere. Neemt men een' ijzerdraad en een' even langen koperdraad, en maakt men beiden even warm, door ze bijv. beiden even lang in kokend water te leggen, dan vindt men, dat de koperen draad meer in lengte is toegenomen dan de ijzeren. Ook glas wordt door warmte grooter, gelijk de glazenmakers weten. Wanneer men eene glasruit in de koude derwijze in een venster inzet dat zij er juist in past, dan loopt men groot gevaar van ze te zien springen als het warm wordt, omdat zij dan geklemd raakt tusschen de vensterroeden, die niet kunnen uitwijken. Om dit te voorkomen, neemt de glazenmaker de ruit altijd iets kleiner dan het raam, waarin zij gezet moet worden; hij zorgt daardoor dat de ruit eenige speling heeft in de sponning. Ook bij vele andere stoffen heeft men er op gelet, welke verandering zij bij verwarming ondergaan, en zoo heeft men gevonden, dat warmte verreweg de meeste grooter doet worden, of, zoo als men dat noemt, ze uitzet; tevens is het gebleken, dat het inkrimpen van hout, papier en klei niet dan eene schijnbare uitzondering is op den regel; wat de reden daarvan is, zullen wij later zien.

Het springen van glazen, als men er plotseling heet water in giet, laat zich nu reeds gereedelijk verklaren. De warmte, die door het heete water aan een gedeelte van het glas wordt afgegeven, deelt zich niet zóó spoedig gelijkmatig aan het geheel mede, als het gevolg van die warmte, de uitzetting, zich openbaart, zoodat ook hier het heete gedeelte tusschen 't omringende geklemd raakt en alzoo breekt. Omgekeerd loopt een verwarmd glas, door op den togt te staan, gevaar van breken, wegens het plotseling inkrimpen van enkele deelen, alvorens de bekoeling tijd heeft gehad zich gelijkmatig te verbreiden.

Bij vochten is de uitzetting door de warmte nog duidelijker dan bij de vaste lichamen. Als men in een fleschje dat tot den rand der monding toe met water gevuld is, eene dunne glazen buis steekt, die van boven het fleschje uitkomt, en vervolgens met een doorboord kurkje het fleschje derwijze sluit, dat het water, 't welk nu 't geheele fleschje en een gedeelte van de buis vult, niet anders dan door die buis kan ontkomen, dan ziet men, wanneer men het fleschje bij het vuur brengt, of in een' bak met water plaatst, die op het vuur staat, het water in het buisje rijzen. Het neemt derhalve, terwijl het warm wordt, meer ruimte in, dan vroeger. Laat men het weder koud worden, zoo daalt het weër; het water krimpt dus weër in, en men kan deze proef zoo dikwijls herhalen als men verkiest. Verwarmt men het fleschje telkens evenveel, dan zal men ook telkens evenveel rijzing zien; om het fleschje even sterk te verwarmen behoeft men het maar telkens in een bakje met water te plaatsen, en dit door vuur zoo sterk te verhitten, dat het water kookt. Doet men bier, azijn, olie, wijn of eenig ander vocht, in plaats van water, in het fleschje, dan ziet men hetzelfde gebeuren als bij water, waarbij men nog kan opmerken, dat bij gelijke verwarming niet evenveel uitzetting, en dus ook bij gelijke afkoeling niet evenveel inkrimping plaats heeft. Vult men een fleschje met naauwen hals tot aan den rand, dan loopt het, bij verwarming, over; bij olie zal men dan waarnemen, dat er meer overloopt dan bij water; en zijn beiden weër afgekoeld en dus ingekrompen, dan zal de olie, die in het fleschje gebleven is, lager staan dan het water.

Nog veel grooter is de uitzetting, die lucht door verwarming ondergaat. Neemt men eene blaas, half met lucht gevuld en behoerlijk toegebonden, zoodat, als men op de blaas drukt, er geen lucht ontwijkt, en hangt men die boven een kolenvuur, dan ziet men de blaas meer en meer opzwellen; de binnenlucht neemt dus meer ruimte in dan toen zij koud was. Neemt men het ledige fleschje, of juister gezegd, het fleschje enkel gevuld met lucht, doet men er dadelijk het doorboorde kurkje op, en steekt men daar dan het pijpje door heen, in welks ondereinde men vooraf een'

druppel vocht heeft gebragt, die er in moet blijven hangen — 't geen plaats zal vinden, zoo maar het buisje naauw genoeg is, — zoo dient die druppel als een stop, om de binnenlucht van de buitenlucht te scheiden en geheel af te sluiten, zoodra door het toelakken van de kurk alle gemeenschap, die elders nog bestaan mogt, is afgesneden. Neemt men nu het fleschje in de warme hand, dan ziet men den druppel in het pijpje klimmen, waaruit weder blijkt, dat de ingesloten lucht zich over eene grootere ruimte uitbreidt; verwarmt men sterker, door heet water in plaats van de warme hand te gebruiken, dan gaat dat klimmen steeds voort. Ja, als het fleschje in kokend water gedompeld wordt, zal de druppel het buisje geheel en al uitgedreven worden; in dat geval toch kan het blijken, dat de binnenlucht ruim  $\frac{1}{3}$  meer ruimte inneemt dan zoo lang zij koud is. Om de proef dus zoo ver te kunnen voortzetten, dient de buis zoo wijd te zijn als zij vallen kan, of anders zeer lang, het fleschje daarentegen moet dan weinig inhoud hebben. Ook bij de lucht volgt, bij afkoeling, wederom inkrimping, die juist even groot is als de voorafgegane uitzetting.

## IV.

## Vervolg. De Thermometer.

De waarneming dat vocht zich uitzet, als het verwarmd wordt, en dat die uitzetting des te grooter wordt, naar mate het meer verwarmd wordt, heeft aanleiding gegeven tot het uitdenken van een werktuigje, dat geschikt is om er warmte en koude mede te meten, dus van een' *warmtemeter*, of, zoo als men dien gewoonlijk met een vreemd woord noemt, van den *thermometer*.

Dit toestelletje bestaat uit eene glazen buis, liefst overal van gelijke wijdte, waar van onderen een bolletje aan geblazen is. De bol en een gedeelte der buis worden gevuld met een vocht, en wel gewoonlijk met kwik — als dat vocht, 't geen het meest van alle uitzet, zoodat bij zeer geringe vermeerdering van warmte, reeds uitzetting merkbaar is, — somtijds ook met een vocht, dat men wijngeest, voorloop, spiritus of alcohol noemt. Deze bol en buis zijn

doorgaans vastgemaakt op een houten plankje, of beter nog, op een metalen plaatje, waarop een aantal lijntjes zijn getrokken, die, als de buis overal even wijd is, ook even ver van elkander moeten afstaan, en waarbij getallen geplaatst zijn. De ruimten, waarvan twee opvolgende de grenzen aanwijzen, noemt men graden. Wanneer nu het kwik in de buis van één lijntje tot een volgend rijst, zoo zegt men, dat het één' graad gerezen is; dat de warmte een' graad is toegenomen. Bij een van die lijntjes staat 0, bij sommige hooger gelegene 5, 10, 15, 20, 25, enz., of 10, 20, 30, 40, enz., al naardat er 5 of wel 10 opvolgende graden bij elkander zijn genomen. Die verdeling nu wordt bij alle goede thermometers zoo gemaakt, dat, wanneer zij aan denzelfden graad van warmte blootgesteld worden, in alle het kwik rijst tot aan het lijntje, waarbij hetzelfde getal staat. Om dat te bewerkstelligen bij buizen van onderscheiden wijdte, begint de vervaardiger, nadat hij de met kwik gevulde buis op het nog onverdeelde plaatje heeft vastgemaakt, den thermometer te dompelen in eene kom gevuld met sneeuw of fijn gemaakt ijs, die in eene warme kamer staat en aan 't smelten is. Zoodra het kwik daarvan omgeven is, krimpt het in, maar blijft weldra stilstaan op eene bepaalde hoogte; waar dit nu gebeurt, trekt men een lijntje op het plaatje, waarbij dan gewoonlijk 0 graden gezet wordt. Daarna brengt men den thermometer in stoom van kokend water, waardoor het kwik snel in de buis omhoog rijst, maar ook spoedig op een zeker punt tot stilstaan komt; op dat punt wordt een tweede lijntje getrokken, waarbij men 100° schrijft; de afstand op het plaatje tusschen die twee lijntjes wordt eindelijk in 100 gelijke deelen verdeeld, en bij die verdeelingen behoo- ren de getallen van 1 tot 99. Het punt van 0° noemt men het vriespunt, 't is eigenlijk het punt van smeltende sneeuw of ijs; dat van 100° heet het kookpunt.

De hier beschreven thermometer is de *honderddeelige* of die van *CELSIUS*, omdat men hem aan den natuurkundige van dien naam toeschreef; onlangs is echter gebleken, dat zijn beroemde landgenoot *LINNEUS* het eerst die schaal of verdeling van graden heeft uitgedacht, zoodat hem de eer daarvan toekomt. Behalve die *honderddeelige* schaal heeft men ook

nog schalen van RÉAUMUR en van FAHRENHEIT. Bij die van RÉAUMUR is het nulpunt hetzelfde, maar in plaats van 100, vindt men bij het kookpunt 80 staan; deze graden zijn dus grooter. FAHRENHEIT plaatst bij het punt van smeltende sneeuw of ijs 32 en bij het kookpunt 212, zoodat 180 Fahrenheitse graden gelijk staan met 80 van RÉAUMUR, of met 100 van LINNÆUS, en bij gevolg het kleinst zijn. Bij opgaven van thermometerstanden mag men alzo niet verzuimen de schaal te noemen die men gebezigt heeft, bij gebreke waarvan men uit die opgaven niets bepaalds vermag af te leiden en soms grovelijk zou kunnen mistasten; eene koude onder 0° van FAHRENHEIT bijv., is veel aanzienlijker dan op de beide andere schalen. Daar echter de honderddeelige graden meer en meer algemeen in gebruik komen, zullen wij in 't vervolg stilzwijgend altijd die bedoelen, en ze dan alleen uitdrukkelijk noemen als wij andere graden meenen.

Zulk een thermometer geeft ons omtrent de warmte en koude zichtbare aanwijzingen die overeenstemmen met die, welke wij door het gevoel ontvangen. Plaatsen wij tegelijk den thermometer en eene hand in eene kom met koud water, en gieten we er langzaam heet water bij, dan voelen wij het water al warmer worden, en zien tegelijk het kwik in de buis van den thermometer meer en meer rijzen. Mengten wij ijs onder warm water, dan wordt het voor ons gevoel al kouder, en tegelijk zien wij het kwik in den thermometer meer en meer dalen en dus inkrimpen. De thermometer kan derhalve als plaatsvervanger voor ons gevoel dienen; door middel daarvan kunnen wij zien, wat wij anders door voelen moeten te weten komen. Bovenal bewijst hij ons goede diensten in vele gevallen, waarin ons gevoel ons verleiden zou om onjuist te oordeelen over warmte en koude, of waar het geheel en al te kort schiet. En dit komt dikwijls voor. Wanneer bijv. 's winters in eene kamer gestookt wordt, zal de een het in die kamer koud hebben, terwijl de ander, die uit de koude buitenlucht komt, het er warm, ja zelfs te warm vinden zal. Wij herinneren ons hierbij de op bl. 133 vermelde proef met het indampelen van den vinger in koud, heet en laauw water. Van waar dat verschil? Om-

dat de maat waarmede wij meten, ons eigen ligchaam, niet altijd in denzelfden toestand verkeert, een gebrek dat de thermometer niet heeft. Hij wijst onder dezelfde omstandigheden altijd denzelfden graad aan; of hij te voren in warm of in koud water gedompeld was, dit brengt geene verandering te weeg in den graad dien hij in 't laauwe water aanwijst. In een' kelder vinden wij het des zomers koel, en 's winters warm; de thermometer leert ons, dat dit alleen afhangt van onzen maatstaf, van het verschil van onze gewaarwordingen namelijk, bij een' zelfden indruk op ons ligchaam. Hij leert ons, dat in een' kelder de warmte weinig verandering ondergaat, maar dat het er des zomers eer warmer dan kouder is dan 's winters, zoodat het gevoel van ons ligchaam, dat hiermede strijdt, bedriegelijk is.

Met behulp van het gevoel kunnen wij bovendien de warmte die wij waarnemen, niet naauwkeurig vergelijken met eene warmte, die lang te voren aanwezig was, omdat de indruk dier vorige warmte alsdan verdwenen is. Met behulp van een' thermometer is dit gemakkelijk te doen, omdat wij den graad van warmte, in een bepaald getal uitgedrukt, kunnen opteekenen, en zoo lang bewaren als wij verlangen. Wanneer wij bijv. een' thermometer in een' waterput plaatsen, en den graad, dien hij aanwijst, onthouden, kunnen wij lang daarna zien, of het water in denzelfden of in een' anderen put juist even warm is; wij behoeven alleen te onderzoeken, of de thermometer weder juist evenveel graden aanwijst. Hangen wij een' thermometer in de open lucht, dan kunnen wij er aan zien, of de lucht even warm is als op een' vroegeren dag. Wij kunnen aldus de warmte, die wij op een zeker oogenblik ondervinden, vergelijken met die, welke jaren geleden heeft plaats gehad. Neemt men twee goede thermometers gelijktijdig op twee verschillende plaatsen waar, en houdt men aantekening van die waarneming, dan kan men later beslissen, waar 't het warmst geweest is, en hoeveel warmer op de eene plaats dan op de andere. Zoo weten wij bijv., dat in Nederland in de maand Maart de koude, zoo lang er thermometerwaarnemingen gedaan zijn, nooit zoo groot is geweest als in Maart 1845, althans in 125 jaren niet; dat het in die

maand aan de Helder niet zoo koud is geweest als te Utrecht, en daar weër niet zoo koud als in Gelderland.

De thermometer kan verder gebruikt worden in vele gevallen, waarin ons eigen gevoel zich niet eens laat raadplegen; wij kunnen in water, dat verwarmd wordt, al spoedig de hand niet meer steken, zonder ons te branden; de thermometer daarentegen verdraagt heel veel meer hitte. Zelfs in stoffen, die veel heeter zijn dan kokend water, wijst hij ons den warmtegraad aan, in kokende olie, bijv.

Er zijn nog gevallen waarin ons gevoel en de thermometer ons niet tot hetzelfde besluit brengen. Metaal, ook marmor, is koud op het aanraken, hout daarentegen niet, en dat, ofschoon de thermometer met die onderscheidene lichamen in aanraking gebragt, evenveel graden aanwijst. Wat mag daarvan de reden zijn? Ons ligchaam is warmer dan de lucht die ons omgeeft, dus ook warmer dan de onbezielde lichamen die de warmte dier lucht hebben aangenomen, en die derhalve den thermometer niet doen rijzen, als zij met den bol in aanraking komen. Brengen wij nu de warmer hand op een dezer lichamen, dan deelen wij het warmte mede, en geschiedt zulks in genoegzame hoeveelheid, zoo is een gevoel van koude daarvan een gevolg. Maar gelijk wij reeds weten, verbreidt zich de warmte in alle lichamen niet even gemakkelijk en spoedig. Bij zeer goede geleiders, zoo als in de eerste plaats metaal, en vervolgens ook marmor, wordt die warmte van de hand dadelijk en met zekeren spoed aan belendende deelen medegedeeld, en alzoo wordt aan de hand in korten tijd veel meer warmte ontleend dan bij slechte geleiders, gelijk hout, zoodat eene gewaarwording van koude daarvan het gevolg is; wederom een bewijs dat hier op het gevoel alleen geen staat te maken valt, en dat de thermometer al een zeer onmisbaar werktuig is.

Van den thermometer wordt dan ook hoe langer hoe meer door velen gebruik gemaakt. Den tuinman is hij nuttig om te weten, of hij in zijne broeikassen moet beginnen te stoken, en, wanneer hij daarmede bezig is, om te beslissen of hij hard genoeg stookt. Een thermometer, die buiten het raam van een huis hangt, is voor den bewoner van

dat huis een middel om te weten, hoe warm of koud het buiten is, zonder dat hij zich zelve aan die warmte of koude behoeft bloot te stellen.

## V.

### Over smelten en stollen.

Eene tweede verandering, welke de lichamen dikwerf door de warmte ondergaan, kennen wij onder den naam van *smelten*.

Als wij een stuk ijs in eene warme kamer brengen, smelt het, dat wil zeggen: het houdt op een vast ligchaam te zijn, en wordt een vocht, namelijk water. Brengen wij het stuk ijs in een koud vertrek, waarin het kwik in den thermometer onder 0° staat, dan smelt het niet, het blijft ijs; het is dus de *warmte* der kamer, die, in 't eerste geval, het smelten te weeg brengt.

Hetgeen met ijs plaats heeft, gebeurt ook met vele andere vaste lichamen, als zij verwarmd worden; met dit onderscheid alleen, dat het eene veel meer verwarmd moet worden dan het ander, eer het vloeibaar wordt.

Door geringe verwarming kunnen wij boter, vet, hars en pik doen smelten; een kooltje vuur en een schaalte zijn daarvoor toereikend. Dat een sterker graad van verwarming tin, lood en zink vloeibaar maakt, kan men bij tinnegieters, loodgieters en pompmakers zien; bij nog hooger graad van hitte kunnen ook koper, ijzer, enz. gesmolten worden, 't geen dagelijks gebeurt bij geelgieters, kopergieters, ijzergieters, enz.; glas kunnen wij gesmolten zien in de glasblazerijen. Waarschijnlijk zouden alle lichamen zonder onderscheid blijken voor smelting vatbaar te zijn, wist men ze maar in de daartoe vereischte omstandigheden te plaatsen. De uitzondering, die de meeste werktuigde lichamen op dien regel maken, is vermoedelijk alleen schijnbaar, en daaraan toe te schrijven, dat zij reeds op lager warmtegraad dan tot de smelting gevorderd wordt, eene verandering van bestanddeelen ondergaan. 't Is zeer denkelijk, dat hout bijv. door genoegzame verwarming vloeibaar zou kunnen worden, bijaldien het niet verbrandde eer

het den daarvoor noodigen graad van hitte heeft. Koelt het gesmolten ligchaam weder af, dan keert het tot den vasten toestand terug, en er ontstaat een vast ligchaam, dat weder dezelfde eigenschappen heeft als het vroegere had. Bij dit vastworden heeft een dergelijk verschil plaats als bij het *smelten*. Het eene ligchaam wordt reeds vast, terwijl het voor ons gevoel nog heet of warm is, het andere dan eerst, wanneer het zoo ver afgekoeld is, dat wij het koud noemen. Die de meeste hitte noodig hadden om te smelten worden ook bij afkoeling het spoedigst weder vast. Geschiedt dit reeds bij hoogen warmtegraad, dan noemen wij dat vastworden *stollen*, bij lageren heeten wij het *bevriezen*. Stollen en bevriezen is dus het tegenovergestelde van smelten.

Wanneer eene vloeistof in een vat wordt gegoten, en zij koelt daarin zoo ver af dat zij stolt, dan heeft deze bijzonderheid plaats, dat de vastgeworden zelfstandigheid juist den vorm van het vat aanneemt. Bevriest water in een gewoon bierglas, dan verkrijgen wij een' langwerpige ronden klomp ijs. De zwavel komt bij droogisten en apothekers in den vorm van lange ronde pijpen voor, niet omdat de natuur ze in dien vorm voortbrengt, maar omdat zij is gesmolten geworden, en men ze in vloeibaren staat in houten pijpen gegoten heeft, waarin zij bij afkoeling vastgeworden is.

Van de beide opgegeven eigenschappen, van het smeltbaar zijn van vele lichamen, en van het aannemen van den vorm van het vat waarin ze weder stollen, wordt dagelijks gebruik gemaakt om bepaalde vormen, vooral aan metalen, te geven. Wij hooren dikwerf spreken van *gegotten ijzer*, in tegenoverstelling van gesmeed of geplet ijzer; van *gegoten glas*, in tegenoverstelling van geblazen glas. Met die benaming geeft men te kennen, dat dat ijzer of glas gesmolten geweest is, en dat men het toen heeft laten stollen in een vat, 't geen juist die gedaante had, welke men aan het ligchaam wilde geven. De benaming van smeden, pletten of blazen daarentegen duidt andere bewerkingen aan, waardoor men eenig ligchaam een' bepaalden vorm weet te geven, zonder het eerst vloeibaar te maken.

Daarbij heeft intusschen gewoonlijk ook sterke verwarming vooraf plaats, omdat ijzer en glas eerst door hitte week moeten gemaakt worden, eer het mogelijk is ze door smeden of blazen eene willekeurige gedaante te geven.

De uitholing waarin gegoten zal worden, en waaraan men alvorens de gedaante gegeven heeft, die men begeert dat het gietsel zal aannemen, noemt men meer bepaald den *vorm*. Het ligchaam waarin die uitholing gemaakt is, dat spreekt wel van zelf, mag niet smeltbaar zijn op den warmtegraad, waarbij de gesmolten specie er in gegoten wordt. Bij de zeer moeilijk smeltbare metalen kan men dus tot vorm nimmer die metalen zelve gebruiken; men bezigt dan vormen uit nog minder smeltbare lichamen vervaardigd, te weten uit zand en klei.

Terwijl het uitwendige der gestolde stof den vorm van het vat aanneemt, gebeurt in het inwendige dikwerf iets anders; daar ziet men somtijds lichaampjes van eene bepaalde gedaante ontstaan, die door hunne regelmatigheid opmerkelijk zijn; het zijn de kristallen, waarvan wij reeds vroeger gesproken hebben; in dat geval heet het vastworden of stollen *kristalliseren*. Om dit waar te nemen kan men bijv. een potje met zwavel nemen; men moet dan die zwavel op een vuur smelten, en zoo langzaam en rustig mogelijk laten afkoelen; spoedig ziet men boven op de gesmolten zwavel zich eene korst vormen; die korst steke men na eene kleine wijl wachtens door, en giete de nog niet gestolde zwavel, die er binnen in is, uit; dan vindt men eene menigte langwerpige dunne zwavelnaaldjes in het inwendige, die alle eene regelmatige gedaante hebben.

Een ander voorbeeld van 't zelfde verschijnsel geven ons de klontjes der kandysuiker. Deze ontstaan van zelve, wanneer men een' pot met suikersiroop, op eigenaardige wijze door eiwit geklaard, langzaam afkoelt. Om hun ontstaan te bevorderen, spant men in den pot draden, aan welke zij zich aanzetten en al grooter en grooter worden, terwijl zij steeds dezelfde regelmatige gedaante verkrijgen.

Uit het gezegde omtrent smelten en stollen blijkt, dat het vast of vloeibaar zijn geenszins iets bestendigs aan de lichamen is, zoo als bijv. het zwaarzijn. Dat wij sommige

stoffen als vaste kennen, andere als vochten, is enkel een gevolg daarvan, dat ze bij den warmtegraad, waarin wij leven, dien toestand van vastheid of vloeibaarheid bezitten. Verandert de ons omringende warmtegraad, dan houdt menig ligchaam op, zich in dien toestand aan ons voor te doen, en wij zien, bij groote vermindering van warmte, stoffen vastworden, die wij vroeger nooit anders dan als vochten gekend hebben. In zeer koude winters heeft men in ons land ondervonden, dat, even als water vastwordt of bevroest, zoo ook inkt, bier, azijn, wijn, melk en olie bevrozen. Dit is bij ons eene zeldzaamheid; in de koude noordelijke landen gebeurt het daarentegen bijna elke winter, en daar bevrozen zelfs nog stoffen, die het hier nimmer doen, zoo als bijv. kwikzilver.

Leefden wij daarentegen in eene warmer streek, dan zouden wij verschillende stoffen alleen als vochten kennen, die wij gewoonlijk als vaste lichamen zien. Het is bekend, dat bij een' heeten zomer boter smelt, zoo ook dat het pik, waarmede de naden der schepen digtgemaakt worden, er dan gesmolten uitloopt. Was het dus altijd zoo heet, dan zouden wij boter en pik enkel als vloeistoffen kennen. Zoo komt in sommige warme landen water alleen als zoodanig voor, en luidt het daar als eene groote merkwaardigheid, dat water ook vast kan worden.

Plaatst men een' thermometer in eene vaste zelfstandigheid, die men verwarmt, en neemt men zijn stand waar, dan merkt men op, dat elke stof tot een' bepaalden warmtegraad verhit moet worden, eer ze begint te smelten. Die warmtegraad heet het smeltpunt van die stof. Zoo is  $0^{\circ}$  het smeltpunt van ijs; zoo heeft men gevonden, dat het smeltpunt van boter is  $30^{\circ}$ , van vet  $42^{\circ}$ , van tin  $230^{\circ}$ , van lood  $334^{\circ}$ , van koper nog hooger, weder hooger dat van goud en zilver, terwijl ijzer van al de gewone metalen de meeste hitte nodig heeft om te smelten. Merkwaardig is het, dat sommige verbindingen van twee of meer metalen, bijv. van tin en lood, reeds smelten bij een' lageren warmtegraad dan die waarop zij elk op zich zelf vloeibaar worden. Een alliage van 5 deelen tin en 1 deel lood smelt op  $109^{\circ}$ . Men noemt dat smeltpunt ook vriespunt, omdat om-

gekeerd, als het vocht vastwordt, dit geschiedt als het tot denzelfden warmtegraad is afgekoeld, waarbij het te voren vloeibaar is geworden. Even als ijs bij  $0^{\circ}$  smelt en water wordt, moet water tot  $0^{\circ}$  afkoelen eer het weder ijs kan worden. Deze benaming van vriespunt is intusschen niet geheel juist, want water koelt dikwerf tot lager dan  $0^{\circ}$  af, zonder dat het bevroest; de thermometer wijst somtijds eenige graden onder 0 aan in water, dat nog vloeibaar is, wanneer dit namelijk zeer rustig is afgekoeld; schudt men dan het water, zoo ziet men het veelal plotseling in ijs overgaan.

Bij dien overgang heeft eene bijzonderheid plaats, die zeer vreemd is, en die zonder thermometer niet opgemerkt zou zijn geworden. De thermometer rijst op dat oogenblik van vastworden, en wel juist tot  $0^{\circ}$ , tot het smeltpunt; die rijzing duidt eene uitzetting aan van het kwik in den thermometer, en deze heeft niet plaats, dan wanneer er aan den thermometer warmte wordt medegedeeld.

Wij moeten hieruit opmaken, dat het bevrozen van water vergezeld gaat met het afgeven van warmte. Het schijnt wonderbaar, dat bevrozen warmte veroorzaakt; maar onze bevreemding wijkt, zoodra wij behoorlijk onderscheid maken tusschen een ligchaam dat reeds koud is, en een ander dat koud wordt. Raken wij het eerste aan, dan deelt ons ligchaam er warmte aan mede, en wij hebben dus de gewaarwording van koude; maar een ligchaam dat koud wordt, wordt dit juist daardoor, dat het aan een ander warmte afgeeft; datzelfde gebeurt nu ook bij het bevrozen. En dat bij het bevrozen inderdaad warmte moet afgegeven worden, kan ook uit andere proeven blijken. Wanneer wij bijv. eene schaal met zand op een kool vuur plaatsen, en in dat zand een' thermometer zetten, zien wij dien thermometer gedurig rijzen, omdat het vuur gedurig warmte aan het zand, en dus ook aan den thermometer geeft. Maar bezigen wij voor die proef eene schaal met ijs, zoo zien wij den thermometer, als hij daarin lager dan  $0^{\circ}$  staat, juist tot  $0^{\circ}$  rijzen, maar wij zien hem dan stilstaan, en zelfs gedurende een' geruimen tijd op die hoogte blijven. Intusschen gaat er hoe langer hoe

meer ijs in water over; en, is eindelijk het ijs geheel water geworden, dan begint de thermometer weder te rijzen, en duidt hij ons weder aan, dat het water warmte van het vuur ontvangt. Wij moeten dus uit hetgeen wij zagen besluiten, dat al de warmte, die het vuur aan de schaal gegeven heeft, gedurende den tijd dat de thermometer niet rees, gediend heeft om het ijs in water te veranderen, en dat dus inderdaad in het water veel meer warmte is dan in het ijs, ofschoon de thermometer die meerdere warmte niet aanwijst. Eene andere proef toont hetzelfde aan. Wanneer wij twee gelijke hoeveelheden water nemen, waarvan het eene ijskoud is, dat is, waarin de thermometer  $0^{\circ}$  wijst, en waarvan wij het andere eerst verwarmen, zoodat de thermometer daarin bijv.  $50^{\circ}$  wijst, en wij mengen dit warme water onder het koude, dan verkrijgt het mengsel, zoo als te verwachten was, een' warmtegraad van omstreeks  $25^{\circ}$ , dat is een' warmtegraad, die bijna midden tusschen  $0^{\circ}$  en  $50^{\circ}$  in ligt. Nemen wij daarentegen een pond fijngestooten ijs, waarin de thermometer even als in het koude water  $0^{\circ}$  wijst, en vermengen we dit met een pond water van  $50^{\circ}$  warmte, dan vinden wij het mengsel ijskoud; de thermometer wijst  $0^{\circ}$  aan; al de warmte, die het pond water heeft gegeven, is dus onmerkbaar geworden, maar daarbij is een groot gedeelte van het ijs in water veranderd; het is dus duidelijk, dat die warmte gediend heeft om ijs in water te doen overgaan, en dat er geene warmte overbleef om het water boven  $0^{\circ}$  te verwarmen. Zelfs wanneer men het water tot  $80^{\circ}$  verwarmt, en het dan bij eene even groote hoeveelheid ijs voegt, blijft de thermometer in het mengsel op  $0^{\circ}$  staan, en eerst als het warmer dan  $80^{\circ}$  was, zal de thermometer in het mengsel iets hooger dan  $0^{\circ}$  wijzen. Er is dus inderdaad veel warmte noodig, om ijs te doen smelten, en het is die warmte, die het ijskoude water weder afgeeft op het oogenblik dat het op nieuws ijs wordt. Deze waarneming verklaart, waarom eene kom met ijs, in eene warme kamer gebragt, uren tijd noodig heeft om te smelten; waarom het ijs in het voorjaar nog dagen lang in het water blijft, ofschoon de warmtegraad der lucht reeds lang boven  $0^{\circ}$  gezeten is. Daarom ook kan ijs in de warmte zoo lang be-

waard worden, eer er nog maar het buitenste gedeelte van wegsmelt.

## VI.

## Over verdampen en neêrslaan.

Eene derde verandering, die vele stoffen door de warmte ondergaan, kennen wij onder den naam van *verdampen*. Wanneer eene schaal met water op eene kool vuur wordt geplaatst, zien wij uit de schaal een' witten damp of wasem opstijgen, en daarbij de hoeveelheid water gedurig verminderen; wij besluiten daaruit, dat het een gedeelte van het water is, dat in damp overgaat, en — daar die damp zich alleen vormt, wanneer het water verhit wordt — dat de warmte de oorzaak is van de verandering van water in waterdamp. Houden wij boven dien damp een tinnen bord of eenig ander blinkend voorwerp, dat niet verwarmd is, dan *beslaat* dit, of, zoo als men ook zegt, de damp slaat er op neêr; dat is, het bord wordt bedekt met eene laag van zeer kleine waterdruppels: de damp is dus weder in water veranderd. De warme damp komt hier in aanraking met het minder warme bord, hij geeft dus warmte af. Gelijk eerst water door opneming van warmte in waterdamp veranderd is, zien wij hier waterdamp door afgeven van warmte, weder in water overgaan. Verdampen en neêrslaan zijn dus tegenovergestelde veranderingen, even als smelten en vastworden.

Veranderen wij de proef in zoover, dat wij niet een open schaalje met water op het vuur zetten, maar er een glazen fleschje met langen hals boven hangen, hetgeen voor een gedeelte met water gevuld is, en zorgen wij, dat het vuur veel hitte geeft, dan vult zich het bovenste gedeelte van het fleschje weldra met zichtbaren waterdamp, die er uitstroomt; maar kort daarna bespeuren wij in het fleschje geen' waterdamp meer, wij kunnen er weder even goed doorheen zien als vroeger; boven het fleschje intusschen vertoont zich voortdurend de stroom van zichtbaren damp, die dan eerst ophoudt, wanneer in het fleschje geen water meer is. Dat die damp niets anders is dan water, dat eerst in

het fleschje was, maar nu door de warmte in damp is veranderd, begrijpt een ieder; maar hoe kwam die uit het water, dat onder in het fleschje is, naar buiten, terwijl er tusschen beiden eene ruimte is, waarin geen damp zichtbaar was? Het is duidelijk, dat de damp ook door die schijnbaar ledige ruimte heen heeft moeten stroomen; hij moet dus daar in een' onzichtbaren toestand zijn, waaruit hij bij zijne intrede in de lucht in den zichtbaren is overgegaan, en wij moeten derhalve aannemen, dat water door verwarming in tweederlei toestand kan geraken: in dien van zichtbaren en van onzichtbaren damp.

Dat deze onderstelling juist is, wordt door vele verschijnselen bevestigd. De zichtbare damp, die uit het schaalte of fleschje opstijgt, de damp van een' ketel met water, die op het vuur staat, zelfs de groote dampwolken, die uit een' stoomwagen oprijzen, zien wij na eenigen tijd in de lucht weer geheel verdwijnen. Hierbij zijn twee zaken denkbaar, of dat die waterdamp bij dat verdwijnen geheel vernietigd werd, of dat hij slechts van den zichtbaren in een' onzichtbaren toestand is overgegaan, maar daarom toch aanwezig is gebleven. Welk van die mogelijke gevallen inderdaad plaats heeft, is gemakkelijk te beslissen. Immers zoodra het blijkt dat de verdwenen waterdeelen uit de lucht weder voor den dag komen, moeten wij het er voor houden, dat ze niet vernietigd waren, maar alleen in hetzelfde geval verkeerden als de lucht zelve, die namelijk ook aanwezig is, ofschoon onzichtbaar.

Water nu zien wij in vele gevallen uit de lucht te verschijnen komen, en niet alleen uit lucht, waarin men eerst opzettelijk water heeft laten verdampen, maar ook uit de gewone lucht, waarin wij leven. Wij behoeven daartoe maar hetzelfde middel te bezigen, dat wij reeds aangewend hebben, om den zichtbaren waterdamp weder in water te doen overgaan, namelijk ook de lucht met een ligchaam in aanraking te brengen, dat aanmerkelijk kouder is. En dit doen wij in het dagelijksche leven dikwijls.

Wanneer men eene steenen kan of kruik, of eene glazen flesch uit een' koelen kelder in de warme buitenlucht, of uit een vertrek, waarin niet gestookt wordt, in een ander

brengt, waarin een vuur brandt, beslaat de pot of flesch van buiten, zij wordt vochtig, want dit beslag is niets anders dan eene dunne laag water, welke er zich op gezet heeft. Wanneer het 's nachts koud is, vinden wij de ramen van een vertrek, waarin over dag gestookt wordt, den volgenden morgen beslagen, en dit beslag is te overvloediger, naar mate de buitenlucht kouder geworden is. Bezien wij dit beslag van nabij, dan merken wij, dat het uit eene menigte kleiner en grooter druppeltjes bestaat, die zich dikwerf vereenigen, en dan in stralen langs de ruiten afloopen. Dat beslaan heeft altijd aan de binnenzijde plaats, het is dus ontstaan uit waterdamp, die binnen in het vertrek was. En waardoor? Omdat de glasruiten door de buitenlucht aanmerkelijk kouder zijn geworden, de lucht in het vertrek daarentegen de dagwarmte grootendeels behouden heeft, zoo veroorzaakt de aanraking van die warmer lucht met de koude vensterruiten hier den neerslag. Alleen de glasruiten beslaan en niet de muren en deuren, omdat deze, ofschoon ze ook wel aan de buitenzijde afkoelen, het echter aan de binnenzijde weinig of niet doen; de binnenlucht vindt hier dus geen koud oppervlak. Waren steen en hout beter warmtegeleiders, dan zouden ze ook aan de binnenzijde genoegzaam afkoelen; bij eene ijzeren deur ziet men inderdaad, omdat ijzer de warmte goed geleidt, aan de binnenzijde even als op de vensterruiten een beslag ontstaan. En zoo gebeurt het soms, dat dikke houten deuren, waarin van buiten ijzeren spijkers zijn ingeslagen, die bijna tot aan den binnenkant doordringen, een' aanslag vertoonen op die gedeelten van het hout, welke door de spijkers, dat is door goede warmtegeleiders, sterker afgekoeld zijn, zoodat de aanslag de plaats en het aantal der van buiten ingeslagen spijkers aan de binnenzijde zichtbaar maakt; dit is vooral dan zeer in het oog vallend, wanneer het zoo koud is geworden, dat die aanslag dadelijk bevrozen is en zich als een wit ijslaagje zeer duidelijk vertoont. Het omgekeerde gebeurt meermalen in het voorjaar, wanneer de dooi spoedig invalt, dat is, wanneer de buitenlucht plotseling warmer wordt dan die binnen 's huis; de ramen beslaan dan van buiten; het water zet zich dan uit de buitenlucht op de koude vensters aan; deze aanslag vertoont



zich niet alleen op de vensters, maar ook op de buitenzijde der muren van de huizen en op andere voorwerpen, omdat deze alle nu kouder zijn dan de lucht. Wanneer de warme lucht door de huisdeur in de gangen doordringt, zien wij ook daar de vloersteen en muren nat worden, men noemt dit *uitslaan*, en meent, dat het vocht uit het binnenste van den muur komt, maar die benaming is onjuist; want de vochtigheid komt uit de lucht, waarin ze als onzichtbare waterdamp aanwezig was, en er gebeurt hier dus geheel iets anders dan daar, waar men het woord *uitslaan* ook, maar te regt, bezigt.

Om water uit lucht te voorschijn te doen komen is het niet noodig, dat het koude ligchaam, waarmee de lucht in aanraking komt, juist een vast ligchaam zij. Ook aanraking met koude lucht brengt hetzelfde te weeg; boven het fleschje van onze eerste proef zien wij den onzichtbaren waterdamp zichtbaar worden, zoodra hij het fleschje uitstroomt. Waarom? Omdat hij dan met de koude buitenlucht in aanraking komt. Als wij lucht uitademen, komt er ook waterdamp uit onzen mond; dit blijkt, als wij tegen eene vensterruit aanademen, die dan terstond beslaat; maar het blijkt ook, als wij vrij ademen, in den winter. De warme lucht, die onzen mond uitkomt, vermengt zich met de koude buitenlucht, koelt daardoor af, en de onzichtbare damp dien zij houdt, gaat daardoor in zichtbaren damp over; iets dat in de warme kamer niet gebeurt. Is het zeer koud, dan zien wij den adem ook wel dadelijk bevrozen en zich, niet ongelijk aan sneeuw, aan baard, haar en kleederen aanzetten. Wij komen later op deze vermenging van warme en koude lucht terug, en zullen dan zien, welke groote verschijnselen daarin hunne verklaring vinden.

Dat het water, dat in de lucht verdwenen is, inderdaad aanwezig blijft, ofschoon wij het niet zien, heeft men regtstreeks door proefneming bewezen met beulp van datzelfde werktuig, dat ons reeds zekerheid heeft gegeven, waar waarneming en redenering alleen enkel tot waarschijnlijkheid voerden, wij bedoelen de weegschaal. Als het water, dat verdampt is, in de lucht aanwezig is, dan moet die lucht zwaarder geworden zijn, dan ze te voren was, en wel juist

zoo veel zwaarder als het gewigt van het verdwenen water bedraagt. Het is duidelijk, dat men aan zulk een onderzoek de vrije lucht niet onderwerpen kan; men heeft daartoe een' grooten glazen bol genomen, dien nauwkeurig gewogen, en er eene kleine afgewogen hoeveelheid water ingebragt, den bol daarop gesloten en zoo sterk verwarmd, totdat al het water verdwenen was, en toen, den bol op nieuws wegende, inderdaad bevonden, dat er aan gewigt niets verloren was gegaan. Wij hebben dus hier de volkomen overtuiging, dat het water niet is vernietigd, en tevens een nieuw bewijs, dat het verkeerdt is uit het voor ons onzichtbaar worden van een ligchaam te besluiten, dat het opgehouden heeft te bestaan.

In de opgegeven gevallen had er verdamping plaats, ten gevolge van opzettelijke verwarming. Wij zien intusschen ook water dikwijls in damp overgaan, zonder dat er opzettelijke verwarming plaats heeft. Zet men een vlak schaalje met wat water er op ergens neêr, dan ziet men ook dat water verminderen en eindelijk geheel verdwijnen, al wordt het niet verwarmd. Wanneer nat linnen opgehangen wordt, droogt het, dat is, het water dat er in is, gaat er uit en verdwijnt. Ook hier heeft men dus verdamping of overgang van water in den onzichtbaren toestand, zonder dat er evenwel, zou men zeggen, warmte toe noodig is. Dit schijnt intusschen maar zoo, want dat ook hierbij de warmte in aanmerking komt, wordt blijkbaar, als wij letten op 't geen er tevens bij plaats heeft. Als wij natte kleederen aan ons ligchaam laten droogen, worden wij koud, er gaat dus warmte uit ons ligchaam; als wij nat linnen aanraken, voelen wij dat het koud is; het droogen daarvan geschiedt ook veel spoediger in de warmte dan bij koude, veel spoediger in den zomer dan in den winter. Omzwachtelen wij den bol van een' thermometer met een dun lapje, maken wij dat lapje nat, en wachten wij dan een poosje, zoo zien wij den thermometer dalen, hij geeft dus warmte af, en hij daalt des te sterker, naar mate het natte lapje spoediger droog wordt; het blijkt derhalve, dat ook hier bij de verdamping warmte wordt gebruikt, of, met andere woorden, dat verdamping koude te weeg brengt. Het is die koude, welke men voelt, als men sterk bezweet is en uitrust,

of als men eenige druppels wijngeest op de hand druppelt; hoe spoediger die opdroogen, des te meer warmte nemen ze mede, des te meer koelen ze de huid af. De handelwijze van boeren en buitenlieden, om bij weinig wind toch de rigting te bepalen van waar hij komt, door het opsteken van een' natten vinger, vindt in 't aangevoerde eene gereede verklaring. Het vocht aan den vinger verdampt, en die damp wordt opgenomen door de omringende lucht. Maar aan dien kant van waar de wind waait, worden de reeds met waterdamp voorziene luchtdeelen te eerder door andere drooger luchtdeelen vervangen, 't geen de verdamping bevordert en bespoedigt. Aan dien kant zal dus het gevoel van koude zich het sterkst openbaren en zal de vinger ook het eerst droog worden. Van die koude, door verdamping te weeg gebracht, maakt men ook dikwerf gebruik om afkoeling te weeg te brengen. Is het in een vertrek zeer warm, dan besproeit men den vloer met water; dit verdampt en ontleent daarbij warmte aan de lucht.

In den zomer brengt eene regenbui, die den heeten grond besproeit, door de verdamping, die er na het ophouden van den regen volgt, insgelijks eene verkwikkende afkoeling te weeg. Was vermeerderde verdamping niet een noodzakelijk gevolg van vermeerderde warmte, dan zou de zomerhitte nog veel grooter zijn dan zij is. Maar deze temperert de hitte, overal waar vocht in den grond is. Het is ook bekend, dat in landen, die niet meer zuidelijk gelegen zijn dan het onze, maar waar de grond veel drooger is, omdat het er veel minder regent, de zomerhitte veel grooter en onaangenaamer is dan bij ons.

Niet alleen water, maar ook ijs gaat over in damp; even als water langzaam verdwijnt, zal ook een stuk ijs, in zoo koude lucht gebracht, dat het niet smelten kan, langzamerhand afnemen. En omgekeerd gaat ook damp in ijs over. Wij zien den onzichtbaren damp uit de lucht, als het 's winters koud wordt, net als waterdruppels, maar als eene dunne laag ijs, zich op de vensters aanzetten; het zijn de bekende winterbloemen op de ramen, die zich, even als wij straks bij het beslaan opmerkten, steeds aan den binnenkant der ruiten vormen.

Uit het altijd in de lucht aanwezig zijn van onzichtbaren waterdamp kan men verklaren, hoe een ligchaam, dat stil ligt, langzamerhand zwaarder kan worden; eene eigenschap, die voor verkoopers van sommige waren aanzienlijk voordeel kan opleveren, terwijl zij daarentegen den koper benadeelt, daar deze dan voor een deel water koopt, in plaats van de waar die hij verlangt. Het verdampen van water bij verwarming, geeft ook omgekeerd reden van het ligter worden van alle ijle lichamen, zoo als hout, linnen, poeijer, zand, enz., als men ze warm maakt. Heeft men te voren reeds door verwarming al 't water er uit gedreven, dan worden ze bij eene volgende verwarming niet ligter; maar lagen ze tusschenbeide weder eene poos aan de lucht blootgesteld, dan hebben ze van nieuws vochtdeelen uit de lucht opgenomen, ze zijn weér zwaarder geworden, en kunnen dus ook voor den tweeden keer door verwarming ligter worden.

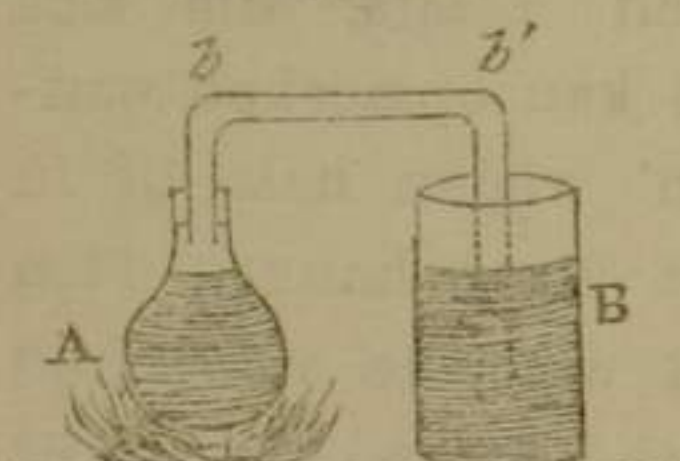
Als water door opzettelijke verwarming in damp overgaat, hebben er onderscheiden omstandigheden plaats, die zich anders niet voordoen, en die men 't best kan opmerken wanneer men water in een fleschje met een' wijden hals, of in een zoogenaamd glazen kolfje, boven het vuur hangt. Men ziet dan eerst eenige luchtbellens uit het water te voorschijn komen; dit houdt weldra op. Eenigen tijd later komen er weder bellens te voorschijn, die in het water omhoog stijgen, ditmaal dampbellens, maar die verdwijnen eer ze boven zijn aangekomen, vermits zij in de hoogere voor alsnog niet genoeg verwarmde waterlagen te veel afkoelen om als damp te kunnen blijven bestaan. Deze bellens maken een eigenaardig geluid, dat men *sissen* noemt. Eindelijk ontstaan er op den bodem van de kolf groote bellens die de oppervlakte van 't water bereiken, en het geheel in eene sterk golvende beweging brengen, dit is het *koken* van het water, ook kennelijk aan het daarmee verbonden geluid, dat van het vorige ligt te onderscheiden is, en *razen* genoemd wordt; deze bellens zijn evenmin met lucht, maar geheel met damp gevuld. De waterdamp, die bij koken gevormd wordt, zijn wij gewoon *stoom* te noemen.

Hangt men in water, dat aan de kook gebracht wordt, een' thermometer, dan ziet men dien gedurig rijzen; juist

wanneer hij op  $100^{\circ}$  is gestegen, begint het water te koken, maar dan heeft hier iets dergelijks plaats als bij het smelten: of het vuur al blijft doorbranden, of het water daardoor al een' gedurigen toevoer van warmte ontvangt, zoo blijft de thermometer echter op eene en dezelfde hoogte staan. Ook in den damp, die uit het water opstijgt, vertoont de thermometer juist  $100^{\circ}$  warmte; het water neemt dus, bij den overgang in damp, eene groote hoeveelheid warmte op, waarvan niets aan den thermometer wordt medegedeeld. Dat die warmte inderdaad in den damp is opgenomen, dat waterdamp, waarin de thermometer  $100^{\circ}$  wijst, veel meer warmte houdt dan kokend water, dat ook  $100^{\circ}$  warm is, kunnen wij op eene eenvoudige wijze aantoonen in eene proef, die ons tevens zal doen zien, hoeveel warmte water opneemt, als het in stoom overgaat.

Men neme een kolfje A (Fig. 41), waarin eene zekere hoeveelheid water is, zette daarop eene behoorlijk sluitende kurk, door welke eene tweemaal regt omgebogen buis  $b b'$  is gestoken, welke buis men van onderen late uitloopen in een glas B, waarin water is gedaan, dat een' warmtegraad van smeltende sneeuw of ijs heeft. Verhit men vervolgens het kolfje, zoodat het water daarin aan 't koken raakt en damp ontwikkelt, zoo gaat die damp uit het kolfje door de buis  $b b'$  over in het koude water, hij wordt, daarmede in aanraking komende, weder water, maar geeft daarbij de warmte die hij opgenomen had, toen hij damp werd, aan het koude water af, dat dus warm wordt. Zoodra dit, naar de aanwijzing van een' ingedompelden thermometer, kokend heet of  $100^{\circ}$  warm geworden is, bevindt men dat de oorspronkelijke hoeveelheid koud water  $5\frac{1}{2}$  malen de hoeveelheid water bevatte, die nu als stoom het kolfje verlaten heeft. De warmte, die 1 ons stoom bij den overgang in water afgeeft, is dus toereikend om  $5\frac{1}{2}$  ons water  $100^{\circ}$  warm te maken; even groot moet dus ook omgekeerd de hoeveelheid warmte zijn, die 1 ons water opneemt, wanneer het in stoom overgaat. Hiervan kunnen wij gemakkelijk eene tee-

Fig. 41.



passing maken op andere gevallen. Brengt men 1 pond stoom in 11 ponden water, dan zullen deze  $50^{\circ}$  warm worden, aangenomen dat het water te voren  $0^{\circ}$  koud was. Is de hoeveelheid water grooter, dan zal de verwarming in dezelfde verhouding minder zijn: 1 pond stoom zal dus 110 pond water  $5^{\circ}$ , 550 pond water  $1^{\circ}$  warmer maken; 10 ponden stoom maken 550 pond water  $10^{\circ}$  warmer, en zoo voorts.

## VII.

Werktuigelijke beweging, voortgebracht door warmte.

Verwarming is dikwerf de naaste oorzaak van werktuigelijke beweging. Als men eene karaf met water, waar men fijn houtzaagsel heeft doorgemengd, juist ligt genoeg om er in te blijven zweven, boven de vlam van wijngeest plaatst, zoodat het water van onderen alleen verwarmd wordt, dan neemt men aan de bewegingen van het zaagsel waar, dat het warmer water opstijgt, voorts nadat het boven gekomen is, zijdelings uitwijkt, langs de koudere wanden der karaf weder neêrzinkt, en eindelijk omlaag weêr naar het midden toevloeit, waar de meeste verwarming plaats heeft. Waarom dit gebeurt is ligt te begrijpen, als wij ons herinneren, dat water, zoodra het warm wordt, eene grootere ruimte inneemt of zich uitzet; dat het dus soortelijk ligter wordt dan het koude water. Want vroeger hebben wij gezien, dat in 't algemeen een ligchaam dat soortelijk ligter is, in een zwaarder vocht gedompeld, daarin oprijst. Zoo ook hier: het ligter warme water bevindt zich in het kouder, dat zwaarder is, en gaat dus naar boven. Maar tevens is het duidelijk, dat ten gevolge daarvan het kouder water van ter zijde zal toeschieten, om de plaats weêr aan te vullen; terwijl het in 't midden opgestegen warmer water aan de oppervlakte weêr naar de kanten afzakt. Dat aanhoudend rondstroomen nu brengt te weeg, dat, ofschoon de verwarming van onderen geschiedt, het warmste water gedurig boven is, gelijk een thermometer ons kan leeren, die met zijn' bol eerst in het bovenste, en dan in het onderste water gedompeld wordt. Zoodanige strooming zal daarentegen niet ontstaan, wanneer

water van boven af verwarmd wordt; het warme of ligter water is dan reeds boven, en er is geene reden, waarom het zich naar beneden zou begeven. Giet men bĳv. langzamerhand zeer heet water in een glas, dat reeds half met koud water gevuld is, dan zal de hand, waarop het glas rust, van die warmte niets gewaarworden; maar wordt omgekeerd koud water op warm water gegoten, dan zal diezelfde hand zeer spoedig afkoeling bespeuren, omdat het koude water dadelijk zinkt.

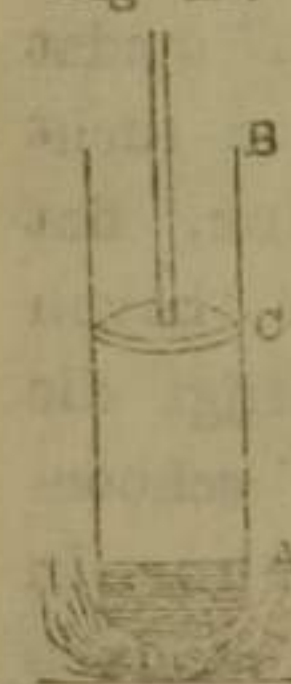
Veel merkbaarder dan bij water is de strooming, als het lucht is die verwarmd wordt. De oorzaak is hier dezelfde, de lucht zet zich nit, wordt ligter en stijgt daarom in de omringende koudere en zwaarder lucht naar boven. Maar de uitzetting van lucht is veel grooter dan van water; het verschil tusschen het soortelijk gewigt van de warme en koude lucht veel aanmerkelijker, en de warme lucht stijgt dus ook veel sneller naar boven. Als men eene kagchel stookt, wordt de lucht, die daarmede onmiddellijk in aanraking is, sterk verwarmd. Zien wij de kagchel vlak langs, of er boven overheen, dan schijnt een stil liggend voorwerp, waarnaar wij kijken, in eene trillende beweging te zijn; dit is een gevolg van de beweging, waarin de lucht geraakt, waardoorheen wij het voorwerp zien. Dat die lucht naar boven gaat, leert ons ons gevoel, want in eene kamer waar gestookt wordt, is het boven altijd het warmst; is de kamer zeer hoog van verdieping, dan zal ook de warme lucht hoog naar boven, en dus juist daarheen gaan, waar de menschen niet zijn, en 't zal veel moeite kosten, zulk een vertrek behoorlijk te verwarmen, dat is, ook de benedenlucht warm te maken. Staat de deur van de kamer open, dan kunnen wij voelen, dat er van boven warme lucht uitstroomt, en beneden koude binnenkomt, beide welke stroomen zichtbaar worden, als wij de vlam van eene brandende kaars in de opening houden; boven waait de vlam naar buiten, beneden waait ze naar binnen, en nagenoeg ter halve hoogte vinden wij eene plaats waar de vlam rustig regtop brandt. Koude lucht dringt, zoo als wij weten, door reten van deuren en vensters naar binnen; het is deze luchtstroom, waaraan wij den naam van *togt* geven,

en die te weeg brengt, dat iemand, die tusschen een raam en eene kagchel zit, terwijl hij aan de eene zijde warm wordt, aan den anderen kant hinder van koude heeft. Hoe harder men stookt, hoe warmer en ligter de lucht bij de kagchel wordt, des te sneller stijgt zij omhoog, en des te meer koude buitenlucht komt er binnen, des te meer neemt derhalve de *togt* toe. Wordt er niet gestookt, en zijn binnen- en buitenlucht even warm, dan is er geene reden, waarom door de reten lucht naar binnen zou dringen; dan voelt men dus ook geen *togt*, al zit men dicht bij een slecht sluitend raam. Dikwijls voelt men, ofschoon vlak bij de kagchel gezeten, koude aan de voeten, zoo men ze op den grond heeft; dat komt van de koude lucht, die onder langs den grond naar de kagchel toestroomt. Bevond iemand zich boven inde kamer en bij eene reet in een raam, dan zou die reet hem geen gevoel van koude geven, omdat daar geen lucht van buiten naar binnen, maar warme lucht van binnen naar buiten doorgaat. Door het vuur, dat men onder een' schoorsteen stookt, wordt de lucht boven dat vuur verhit en ligter gemaakt, en daardoor stijgt die lucht naar boven, 't geen men het *trekken* van een' schoorsteen noemt; zelfs zonder schoorsteen, ook bij een vuur in de open lucht, heeft dat *trekken* plaats. De schoorsteen zelf is dus de naaste oorzaak niet van het *trekken* van het vuur, maar de eigenschap der lucht, om eene grootere ruimte in te nemen, en dus ligter te worden, als men ze verwarmt. De uitdrukking, „de schoorsteen trekt,” beteekent eigenlijk: de warme lucht stijgt in den schoorsteen naar boven. Dat dit dikwijls tegen onzen wil niet gebeurt, kan aan verschillende oorzaken liggen, waarvan wij er hier twee willen opnoemen: de warme lucht rijst niet naar boven, of omdat ze niet genoeg verwarmd is, en alzoo nog geen kracht genoeg heeft om de koude luchtkolom, die zich in den schoorsteen bevindt, te verdringen, of omdat de bewegene buitenlucht in den schoorsteen naar beneden wordt geperst, en deze persing de warme lucht verhindert op te stijgen. Dit is ligtelijk het geval, als zich naast een' schoorsteen een hooger gebouw bevindt. Waait de wind tegen dat gebouw aan, stuit de wind, dat is de bewegene

lucht, daartegen dan tracht deze elders heen te ontsnappen en dringt van boven af den schoorsteen in. Vandaar, dat een vuur onder een' aldus geplaatsten schoorsteen gewoonlijk niet goed branden wil, zoodra, gelijk men zegt, de wind op den schoorsteen staat. Dit indringen der buitenlucht voorkomt men somtijds door het plaatsen van eene kap op den schoorsteen, maar een beter middel bestaat hierin, dat men den schoorsteen opmetselt tot boven de belendende muren of daken.

Warmte is ook op eene andere wijze oorzaak van beweging: warmte verandert water in stoom; deze drukt even als lucht, en het ligchaam, waartegen de stoom drukt, geraakt daardoor in beweging. Om zich te overtuigen dat stoom drukking uitoefent, neme men eene buis A B (Fig. 42),

Fig. 42.

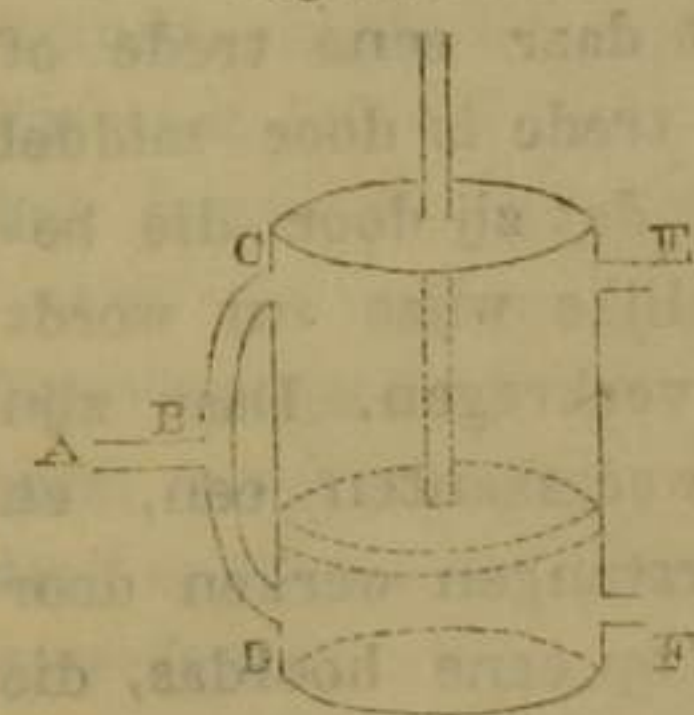


die overal even wijd, van onderen gesloten en van boven open is, benevens eene schijf C, die zoo naauwkeurig in de buis past, dat er geen lucht of damp tusschen die schijf en de wanden van de buis kan doorgaan, en dat zij toch gemakkelijk in de buis op en neder kan geschoven worden; noemen wij die schijf, even als bij de waterpomp, den zuiger. Men giete nu onder in de buis eene kleine hoeveelheid water, en brenge dit door het boven vuur te houden aan het koken, alswanneer de stoom alle lucht voor zich heen de buis uitdrijven zal. Men sluite voorts de buis met den zuiger en neme ze tegelijk van boven het vuur weg; wacht men dan eenigen tijd, zoo ziet men den zuiger dalen. Door het verwijderen toch van het vuur koelt de buis af, de gevormde stoom verliest zijne warmte, gaat weér over tot water, en de luchtdruk duwt den zuiger omlaag, daar er van onderen geen tegendruk is. Maar plaatst men den toestel weér op het vuur, dan zal de stoom van het op nieuws kokende water zulk een' druk op den zuiger uitrigten, dat hij hem weér geheel in de hoogte brengt, en alzoo zijn gewigt, zijne wrijving tegen de wanden der buis, en bovendien de drukking der buitenlucht vermag te overwinnen.

Hetgeen in dit eenvoudig toestelletje gebeurt, geeft ons een denkbeeld van hetgeen in 't groot bij een stoomwerktuig

plaats heeft. Hier werd water door verhitte in stoom veranderd, de stoom stroomde in eene buis, en duwde daarin een' zuiger voorwaarts. Hetzelfde gebeurt op groote schaal in het stoomwerktuig; maar de ruimte, waarin het water in stoom overgaat, en die, waarin de stoom den zuiger in beweging brengt, zijn twee afzonderlijke deelen van het werktuig, die door eene pijp met elkander in gemeenschap staan. Het eerste geschiedt in een' grooten ijzeren ketel, onder welken een groot vuur gestookt wordt; uit dien ketel gaat eene pijp, de *stoompijp* genaamd, naar de buis, waarin de zuiger is, en deze buis draagt den naam van *stoomcilinder*. Aan den zuiger is eene zuigerstang bevestigd, en daaraan de toestel, dien men in beweging wil brengen; drukt nu de stoom den zuiger weg, dan wordt ook die toestel bewogen. Maar de stoom heeft weldra den zuiger voortgeduwd, totdat hij aan het eind van den cilinder is gekomen. Hier zou nu de beweging moeten ophouden; maar opdat dit niet plaats vinde, is er eene inrigting uitgedacht als de navolgende (zie Fig. 43). De stoompijp A B

Fig. 43.



verdeelt zich bij B in twee verschillende pijpen B C en B D, waarvan de eene den stoom boven in den cilinder voert, de andere onder in denzelfden. Verder zijn er nog twee andere buizen boven en onder aan den cilinder in E en F aangebragt, door welke de stoom uit den cilinder ontsnappen kan, als hij zijne werking gedaan heeft. Voor elke van de openingen C, D, E en F bevindt zich eene schuif, waardoor ze gesloten kunnen worden. Denken wij ons nu de schuiven bij D en E open, die bij C en F dicht, dan zal de stoom door A B D den cilinder van onderen instroomen, en daar die, welke boven in den cilinder zich nog bevinden mogt, door de opening E kan afvloeijen, en dus geen tegenstand meer biedt, zal de drukking van den stoom den zuiger omhoog duwen. Is de zuiger boven gekomen, dan sluit men de openingen D en E en opent C en F; zoo kan de stoom uit de onderruimte bij F ontwijken, en de stoom,

die door C in de bovenruimte instroomt, den zuiger omlaag duwen. Is deze lensden gekomen, dan sluit men C en F, en opent D en E weder, en de stoom drukt den zuiger nogmaals naar boven. Door die beurtelingsche sluitingen en openingen gedurig op het regte tijdstip te herhalen, zal dus de zuiger onophoudelijk in den cilinder op en neer gaan, en dus ook de toestel, die aan de zuigerstang bevestigd is, in voortdurende beweging blijven. De machine is voorts zo ingerigt, dat zij, eenmaal in gang, zelve door hare beweging, juist als het noodig is, het sluiten en openen der schuiven bewerkstelligt.

Wij zouden hierbij echter in vele gevallen nog weinig gewonnen hebben, daar het meestal niet te doen is, om een' toestel in eene heen en weder gaande beweging te brengen, maar wij doorgaans het oog hebben op eene wentelende beweging. Om dit doel te bereiken, is datgene wat eigenlijk bewogen moet worden, niet regtstreeks aan de zuigerstang bevestigd, maar door middel van een' tusschentoestel, die dient om de heen en weder gaande beweging in eene draaijende te veranderen. Een zeer bekend voorbeeld van zulk een' toestel vinden wij bij elken schaarlijper of draaijer: door het trappen met den voet wordt daar eene trede of pedaal op en neder bewogen; aan die trede is door middel van eene stang eene as zóó bevestigd, dat zij door die beweging in de rondte draait. Op dergelijke wijze nu wordt ook bij den stoomwagen de beweging verkregen. Daar zijn twee stoomcilinders aangebragt, aan weerskanten een, en wel in eene liggende stelling. De zuigerstangen werken door eene verbinding van denzelfden aard op eene hoofdas, die met de beide grootste raderen een geheel uitmaakt, zoodat de ronddraaijende beweging van deze het onmiddellijk gevolg is van de heen en weder gaande beweging der zuigerstangen.

## VIII.

## Verbranding.

Even als verwarming de lichamen enkel uitzet, smelt of wel in damp verandert, doet afkoeling ze weér inkrampen, stollen of tot den staat van vocht terugkeeren. De

verandering, die hier plaats heeft, duurt telkens slechts zóó lang, als de warmte aanwezig is; tegelijk met de oorzaak houdt ook de uitwerking op, en het ligchaam wordt van nieuws wat het vroeger geweest is. Doch er zijn ook uitwerkingen, die door de warmte worden voortgebragt, en die tegelijk met haar niet ophouden; de warmte brengt ook blijvende veranderingen in de lichamen te weeg. Tot die veranderingen behoort het verschijnsel, dat wij *verbranden* noemen. Als wij hout of turf verbranden, houden wij asch over, of als de verbranding niet volkomen is, blijven er verkoolde stukken hout of half doorgebrande stukken turf over. Wordt deze overgebleven stof koud, dan keert ze niet weder tot den vorigen toestand van hout of turf terug, er is geheel iets anders ontstaan, dan er te voren was. Bij smelten, stollen of verdampen heeft er aan hoeveelheid geene vermindering plaats. Wanneer een pond ijs smelt, verkrijgt men een pond water, en als dat weder bevroest, ontstaat er op nieuws een pond ijs. Bij verbranding is de hoeveelheid die overblijft, veel geringer dan die, welke er in den beginne was; 10 pond hout laat slechts  $\frac{1}{2}$  pond asch of minder achter. Wanneer eene kaars of olielamp brandt, blijft er alleen een gedeelte van de pit over; het kaarsvet of de olie verdwijnt geheel. Wij zeggen daarom: het hout of de kaars verteert.

Om te weten wat verbranding eigenlijk is, moeten wij de verschijnselen opmerken, die daarbij plaats hebben. Voor eerst is het bekend, dat er, om eene stof te doen verbranden, eene sterke verhitting van een deel der brandstof moet voorafgaan. Wij noemen dat de brandstof *aansteken*. Eene gloeiende turfkoal of een paar stukken brandend hout, dienen om het vuur aan te maken; een brandende zwavelstok of lucifer is het middel, waardoor de kaars of de olie aan het branden gebragt wordt. Gedurende de verbranding zien wij de brandstof gloeijen en daaruit eene vlam te voorschijn komen; uit de vlam stijgt dikwerf een zwarte rook naar boven, waarvan een deel zich in den schoorsteen als roet aanzet, een ander deel als rook boven uit den schoorsteen gekomen, zich in de lucht verspreidt. Wordt er geen nieuwe brandstof bijgedaan, dan houdt,

na eenigen tijd, de vlam op; de overgebleven stof gloeit intusschen nog voort; zij verteert daarbij langzamerhand en laat eindelijk enkel asch over. Ziedaar hetgene wij waarnemen, als een vuur op den haard of in de kagchel brandt. De beide laatstvermelde verschijnselen ontbreken bij eene goed brandende kaars of olielamp; deze verbranden zonder rook te geven, zonder roet af te zetten; en aangezien daarbij ook geene asch overblijft, moeten wij besluiten, dat het ontstaan van asch, rook en roet geen wezenlijke of noodzakelijke verschijnselen bij de verbranding zijn. De verbranding van nog andere lichamen bevestigt zulks. Als wij fijn gestooten zwavel aansteken, begint de zwavel te branden, er ontstaat eene blaauwe vlam, vergezeld van een' prikkelenden reuk, de zwavel wordt verteerd, en er blijft niets van over, noch asch, noch roet.

Er zijn ook verbrandingen, waarbij men in 't geheel geen vlam ziet. Als houtskool, in plaats van hout, of eene doove kool, in plaats van turf, brandt, geschiedt dat verbranden, óf enkel met een zeer klein vlammetje, óf geheel zonder, en zelfs bij het branden van hout en turf ziet men op 't laatst geen vlam meer.

Buiten de opgenoemde verschijnselen valt er bij het verbranden nog meer op te merken. Behalve op de verandering die de brandstof ondergaat, hebben wij namelijk ook te letten op den invloed, dien de lucht op het branden heeft. 't Is bekend, dat een vuur niet goed branden wil, als er geen lucht kan bijkomen. Als hout en turf in eene kagchel branden, die van rondom gesloten is, dan moet er gezorgd zijn, dat de lucht van onderen kan instroomen, en men doet dit door het vuur op een' rooster te leggen, welks staven op eenigen afstand van elkander staan, en verder door te beletten, dat die roosteropeningen verstopt raken; 't is juist het openmaken daarvan, wat men doet, als men in de kagchel pookt. Maar al is de rooster niet verstopt, zoo zal toch het vuur zeer spoedig uitgaan, als de ruimte onder den rooster van de buitenlucht afgesperd wordt door het toesluiten dier ruimte met een deurtje. Dat er toch door de opening, die ze in gemeenschap stelt met de lucht in de kamer, gedu-

rende het branden, van die lucht in de kagchel ingaat, kunnen wij zien, als wij er de vlam eener kaars voor houden; duidelijk wordt dan die vlam naar binnen geblazen. Bij een vuur, dat in de open lucht of op eene haardplaat brandt, is geen rooster noodig, omdat de lucht daar van ter zijde kan toestroomen. En even als toestroomen van lucht naar het vuur voor de verbranding noodig is, is 't ook een vereischte, dat de heete lucht boven het vuur wegstroomen kan. Als wij bij eene kagchel, waar die lucht door de pijp ontwijkt, de schuif of klep in de pijp toedraaijen, houdt de verbranding spoedig op, al kan van onderen de buitenlucht gemakkelijk toevloeijen. Als wij een' domper boven de vlam eener kaars houden, zien wij dadelijk de kaars minder helder branden, en brengen wij er hem zeer dicht boven, dan dooven wij de kaars uit. Als de gaatjes, die zich aan eene Argandsche lamp een weinig beneden de pit bevinden, verstopt zijn, brandt de lamp zeer slecht; deze gaatjes namelijk dienen om lucht in de lamp te laten instroomen, en ze in 't inwendige der vlam te brengen; maar de lamp gaat ook uit, als men boven op het lampglas, anders gezegd op het schoorsteentje, een kussentje legt. Bij het tabakrooken, door middel van eene pijp, leert ons de dagelijksche ondervinding mede, dat er gedurige toevoer van lucht naar den brandenden tabak zijn moet, en tevens gedurige afvoer van de lucht, die reeds tot verbranding gediend heeft. In 't eerste wordt van zelf voorzien, zoo maar het dopje, dat den pijpekop meestal dekt, doorluchtig is; maar de afvoer der lucht moet door den engen steel geschieden, dei geen' genoegzaam vrijen doortogt verleent, waardoor het noodzakelijk wordt, dat men er de lucht door zuiging doorheen dringe, anders gezegd, den rook van tijd tot tijd opzuige, wil men den tabak brandende houden of de pijp niet laten uitgaan. De pijpsteel is hier de schoorsteen, maar een zeer naauwe schoorsteen, waardoor van zelve geene genoegzame trekking plaats heeft. Een stroom van versche lucht langs de brandstof is dus een wezenlijk vereischte tot verbranden. Wij geven dit te kennen door te zeggen: een vuur, dat niet trekt, brandt niet. Het beletten van die doorstrooming,

het afsnijden van den toevoer van lucht, of van den afvoer, of van beide tegelijk, zijn middelen, waardoor de verbranding gestuit wordt; zorgt men niet, dat het vuur trekken kan, zoo gaat het uit. Wil men met opzet vuur doen uitgaan, zoo bergt men de gloeiende kolen in den doofpot, dat is, in een' ijzeren pot die behoorlijk sluit, zoodat er geen lucht kan bijkomen, of men bedekt het vuur met eene laag asch, die dik genoeg is, om bijna geen lucht tot de gloeiende kolen te laten doordringen. Is er brand in een' schoorsteen, dan bluscht men dien dikwerf, door boven in den schoorsteen een kussen te stoppen en zoo sterk aan te duwen, dat er geen lucht meer kan langs stroomen; in vele schoorsteenen heeft men met datzelfde oogmerk boven eene schuif aangebragt, waardoor men den schoorsteen kan afsluiten.

Nemen wij al het opgenoemde in aanmerking, dan zien wij, dat de wezenlijke verschijnselen van de verbranding zijn: warmteontwikkeling, verbruik van lucht en vertering der brandstof.

Bij het laatste, het verteren of verdwijnen der brandstof, hetzij dan geheel of ten deele, ontstaat de vraag: is dit eene vernietiging der stof, of enkel, even als in vorige gevallen, een overgang in een' voor ons oog onzichtbaren toestand? Moeten wij ons voorstellen, dat de verbrande stof opgehouden heeft te bestaan, of dat, op soortgelijke wijze als water door verhitting in onzichtbaren damp verandert, zoo ook hout en turf, vet en olie, door verbranding in een' onzichtbaren luchtstroom overgaan? Deze vraag kunnen wij beslissen door gebruik te maken van hetzelfde middel, dat wij vroeger bezigden, door naamelijk te zorgen dat het gas, 't welk ontstaan mogt, niet kan ontsnappen, en dan door weging te onderzoeken, of er vermindering van stof heeft plaats gehad. Men heeft dit onderzoek in 't werk gesteld; men heeft lichamen verbrand, na ze te voren te hebben gewogen; men hield daarbij rekenschap van de lucht, die er toestroomde, zoowel als van hetgene gedurende de verbranding opsteeg en dat men zorgde te verzamelen; men woog beiden almede, en zoo heeft men gevonden, dat, waar eene brandstof verteerde, de lucht juist zoo veel aan gewigt had toe-

genomen als dat van de brandstof verminderd was. Er was dus niets verloren gegaan, niets vernietigd, en het bewijs was gegeven, dat verbranden bestaat in een' overgang van de brandstof en toegevoerde lucht in iets anders. Wij leeren hieruit, dat lichamen omgezet kunnen worden in andere, die geheel verschillende eigenschappen bezitten.

Dat onderzoek heeft nog eene nieuwe bijzonderheid doen kennen, die bij verbranding plaats heeft. De lucht zelve, die na de verbranding overbleef, na afscheiding van 't geen zij aan zoogenoemden rook of andere lichamen mogt bevatten, had andere eigenschappen dan vóór de verbranding. Hiervan kunnen wij ons gemakkelijk overtuigen. Zet men eene kurk, die een brandend kaarsje houdt, op water, in een' bak bijv., en daaroverheen een molglas of eene glazen stolp, waarvan men de monding geheel in het water dompelt, dan gaat het kaarsje, na eenigen tijd, uit. Brengt men nu een schaalteje onder den rand van 't glas, ligt men daarmede het glas uit den bak en keert men het vervolgens met schaalteje en al het onderstboven; brengt men eindelijk in die lucht een' brandenden zwavelstok, of eene aangestoken kaars, dan gaat zij dadelijk uit. Het is dus lucht, die ongeschikt geworden is om er verder een ligchaam in te doen branden, dus andere lucht dan die, waarin wij leven; men heeft haar den naam van *stiklucht* of *stikstof* gegeven. Niet alleen de brandstof, maar ook de lucht, die er naar toe is gestroomd, heeft derhalve verandering ondergaan; en wij zien tevens, dat er verschillende soorten van lucht zijn.

Daar nu de hoeveelheid van de nieuwe luchtsoort die ontstond, te zamen met al wat er verder na de verbranding overbleef, gelijk was aan de hoeveelheid brandstof, te zamen met eene zekere hoeveelheid toegestroomde lucht, zoo is het duidelijk, dat al het eerstgenoemde uit beide die stoffen is gevormd, dat er dus vereenigingen of verbindingen van de brandstof met de lucht hebben plaats gehad. Wij kunnen dus zeggen: verbranding is het ontstaan van verbindingen der brandstof met lucht, onder ontwikkeling van warmte, en meestal ook van licht. Dit verklaart, waarom de verbranding niet kan plaats hebben, zonder dat er lucht kan bijkomen, want het is duidelijk, dat ver-



binding niet mogelijk is, zoodra ééne van de stoffen, uit welke de verbinding moet gevormd worden, ontbreekt.

## IX.

## Verbranden en branden.

Behalve de gewone brandstoffen, te weten: hout, turf en steenkolen, en de stoffen, welke ter verlichting dienen, zoo als vet, olie, traan, zijn er vele andere, die verbranden kunnen. Daartoe behooren het vleesch, het vel, de horens en hoeven van dieren; de wortels, takken, bladen, bloemen en vruchten, met één woord, bijna alle deelen van de planten. Alle verteren bij de verbranding bijna geheel, en laten slechts eene kleine hoeveelheid asch over. Het is toereikend, ze op een goed brandend vuur te werpen, om te zien hoe ze zwart worden, gloeijen, hoe er eene vlam uit te voorschijn komt en ze langzamerhand wegbranden.

Verder behooren de metalen tot de stoffen die verbranden kunnen; het meest bekend is dit van lood en zink. Plaatst men zink in eene opene ijzeren pan, midden in een kolenvuur, dan smelt ze eerst, zij begint te branden met eene blaauwachtige vlam, en gaat daarbij over in eene witte wollige stof, die voor een deel als een dikke damp oprijst en zich verbreedt, voor het grooter deel op de oppervlakte blijft liggen, en, na verwijdering, telkens van nieuws zich daarop aanzet. Heeft men nu vooraf de hoeveelheid zink gewogen, en doet men hetzelfde, zoowel met de hoeveelheid metaal, die overgebleven is, als met de wollige stof, die men zoo volledig mogelijk verzameld heeft, dan vindt men, dat deze te zamen meer wegen dan de gebruikte zink: 1 pond zink geeft  $12\frac{1}{2}$  onzen zinkwol; er is dus stof bijgekomen, en die kan niet anders dan aan de lucht ontleend zijn. Lucht is inderdaad bij de verbranding van zink even noodig als bij die van hout of kaarsvet. Bedekt men de gesmolten zink met eene laag poeder van houtskool, zoodat de lucht er niet bij kan komen, dan verbrandt ze niet. Tusschen beide gevallen bestaat alleen dit verschil, dat bij hout zich door de verbinding eene nieuwe luchtsoort vormt, terwijl bij zink een nieuw vast lig-

chaam ontstaat; bij zink zien wij dus duidelijk, dat verbranding geene vernietiging, maar een overgang tot iets anders is.

Bij lood, dat sterk verhit wordt, heeft iets dergelijks plaats als bij zink. Het smelt ook, en verandert dan bij sterker verhitting in een zwartachtig poeder, hetgeen vervolgens geel, en eindelijk helder rood wordt; dit laatste is bekend onder den naam van *menie*, en wordt als roode verfstof gebruikt. Ook hier wordt de verbranding belet door bedekking met eene laag houtskool, en neemt het gewicht van het lood door verbranding toe: 10 pond lood geeft 11 pond menie.

Ook ijzer kan bij zeer sterke verhitting verbranden. Dat gebeurt dikwerf, wanneer de smid het ijzer, dat hij smeden wil, te veel verhit; het bedekt zich dan met eene korst, die men *hamerslag* noemt, omdat dat verbrande ijzer, wanneer het gehamerd wordt, van het binnenste niet verbrande afspringt.

Koper verandert bij verbranding in eene stof, die men *koperzwart* noemt, en wordt daarbij  $\frac{1}{4}$  zwaarder: 4 pond koper geeft 5 pond koperzwart.

In elk van de opgegeven gevallen heeft eene verbinding van twee verschillende stoffen plaats, en zien wij daarbij de stoffen, die zich verbinden, hare eigenschappen verliezen, en een nieuw ligchaam ontstaan, dat geheel andere eigenschappen heeft. Deze twee kenmerken onderscheiden de verbinding van de vereeniging van gelijksoortige deelen tot een geheel.

Er zijn ook stoffen, die niet kunnen verbranden, of, met andere woorden, die niet onder ontwikkeling van warmte met de lucht eene verbinding kunnen aangaan tot een ligchaam, dat andere eigenschappen heeft. Wanneer men steen, aardewerk en glas bijv. aan eene groote hitte blootstelt, veranderen ze niet. Glas smelt dan wel; maar als de verhitting ophoudt, wordt het weder hetzelfde vaste ligchaam als vroeger, en heeft aan gewicht verloren noch gewonnen. Goud en zilver in het vuur gebragt, komen er weder uit, zoo als ze er in gebragt zijn; het is deze eigenschap, die ze den naam van edele metalen heeft doen geven. Nog

andere stoffen ondergaan, als ze in het vuur gebragt worden, wel verandering, maar eene verandering van geheel anderen aard dan die, welke wij verbranding noemen. Dat leeren ons onder andere de kalkovens, die de bekende metselspecie van dien naam leveren. Men neemt kalksteen, die van buiten 's lands wordt aangevoerd, of, in de kalkovens welke dicht aan zee gelegen zijn, schelpen van oesters, mosselen en andere zeedieren, die uit zee worden opgevischt. Uit beiden komt na de verhitting, door middel van een daaronder gestookt turfvuur, de kalk voor den dag; in 't klein kan men de proef in eene goed brandende kagchel nemen met een stuk marmer, 't welk insgelijks, na gebrand te zijn, kalk geeft. Weegt men nu het stuk marmer, voordat men het in de kagchel legt; laat men het daar doorbranden, en weegt men het vervolgens na de branding op nieuws, dan vindt men, dat het in gewigt bijna de helft verloren heeft; bij hardsteen en krijt gebeurt hetzelfde, en ze verliezen juist evenveel aan gewigt als marmer. Hier heeft dus geene verbinding, maar juist het tegenovergestelde, eene *scheiding*, plaats gehad. Het *branden* van kalksteen is dus in 't geheel geen *verbranden*, dat dan ook door het spraakgebruik wél onderscheiden wordt. Legt men den reeds gebranden kalk wederom in de kagchel, stookt men die zoo sterk mogelijk, en weegt men na die tweede verhitting op nieuws, dan blijkt het, dat nu het gewigt hetzelfde gebleven is. De kalk kan dus wel verhit, maar niet gebrand worden; het is een ligchaam dat verschilt van den kalksteen, waaruit het ontstaan is; ook het onderscheid in kleur en zamenhang getuigt daarvan. Even zoo spreekt men van gebrande potasch en gebrand gips, waar het woord *branden* dezelfde beteekenis heeft als bij den kalk. Dat zijn lichamen, die uit andere bereid zijn geworden door verhitting, en die daarbij een deel van hun gewigt verloren hebben, zoodat er ook eene *scheiding* heeft plaats gevonden.

Om het *branden* klaar te begrijpen, moeten wij vragen: wat is er dan wel van den kalksteen bijv. onder het *branden* weggegaan? Het ongemerkt ontwijken en verdwijnen van stof brengt ons op het vermoeden, dat er waarschijnlijk eene gas

of luchtsoort ontstaan is, en dat de kalksteen in kalk en in een gas gescheiden is geworden. Zou men dat gas dan ook kunnen opvangen en beproeven om er de eigenschappen van te leeren kennen? Dit heeft men werkelijk gedaan, en het verloren gewigt geheel in eene luchtsoort teruggevonden, welke met die, waarvan wij boven gewaagden, dit gemeen heeft, dat een vlammeende zwavelstok er onmiddellijk in uitgaat, maar die voor 't overige ook nog andere eigenschappen bezit, waardoor zij zich bijzonder onderscheidt. 't Is hetzelfde gas, dat ook bij gloeiing van houtskool ontstaat, en vandaar heeft het den naam van *koolzure lucht* gekregen. Kalksteen wordt dus door het branden gescheiden in kalk en koolzuur.

Om dit koolzuur uit schelpen of kalksteen te voorschijn te doen komen, kan men nog een tweede veel eenvoudiger middel aanwenden, het opgieten namelijk van azijn of vitrioololie. Terstond ziet men dan uit den kalksteen blaasjes opstijgen, die al talrijker en talrijker worden, en die men opvangen kan in een met water gevuld omgekeerd glas. Brengt men vervolgens, nadat het water door die lucht vervangen is geworden, onder het glas een plaatje of scho-teltje aan, en keert men het daarmee om, zoo kan men zich, door er een' aangestoken' zwavelstok in te houden, overtuigen, dat die er in uitgedoofd wordt. De beschreven ontwikkeling van die lucht duurt een' zekeren tijd voort, houdt evenwel eindelijk op, en dan kan men uit hetzelfde stuk kalksteen evenmin door opgieten van verschen azijn of vitrioololie op nieuws koolzuur te voorschijn roepen, als eene tweede *branding* van den kalk dat doen kan.

## X.

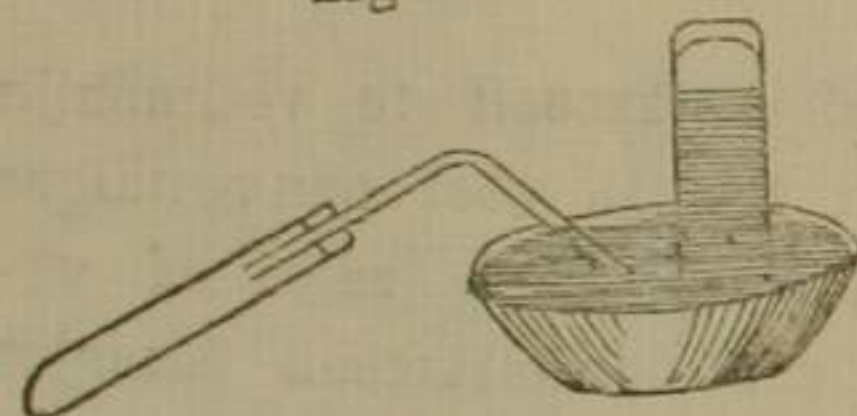
## Verkolen.

Bij de verbranding wordt een ligchaam verhit, onder toevoer van lucht, die zich daarmee verbinden kan. Maar men kan een ligchaam ook op zoodanige wijze aan hitte blootstellen, dat er geen lucht kan bijkomen, en onderzoeken wat er dan gebeurt. Daar de verbinding, die bij

verbranding ontstaat, hier belet wordt te ontstaan, zoo moeten er dan geheel andere verschijnselen plaats grijpen. Hetgeen daarbij geschiedt, is ook van een' anderen aard.

Wanneer men een stuk hout, in plaats van het in een brandend vuur te leggen, eerst in eene ijzeren buis doet, die aan het eene eind gesloten is, en deze zóó in het vuur legt, dat het open eind der buis er uitsteekt, dan komen uit dat open eind dampen en lucht te voorschijn. Leidt men die door eene omgebogen buis in een' bak met water, waarboven een omgekeerd glas geplaatst is, dat eerst geheel met water gevuld is (zie Fig. 44), dan verzamelt zich lucht

Fig. 44.



en damp in het glas; de damp zet zich aan den wand van het glas aan, en gaat bij verkoeling in vocht over, de lucht wordt helder en kleurloos. Die lucht is weder van een' anderen aard dan de reeds vermelde soorten; want brengt men er een' glimmenden zwavelstok bij, dan ontvlamt hij plotselijk, en verbrandt met eene heldere vlam; eene vlam, die veel overeenkomst heeft met die van brandend hout. Wij zullen die lucht *brandbare lucht* noemen. Neemt men de ijzeren buis uit het vuur en schudt men het overblijfsel er uit, dan vindt men het hout veranderd in houtskool, dat is in een zwart ligchaam, 't welk den vorm, de ringen, enz. van het hout nog vertoont, maar veel ligter is. Er heeft dus scheiding plaats gehad; het hout is ontleed in houtskool, die achtergebleven is, in vocht, dat, door de hitte verdampt, als damp overgegaan is, en in eene brandbare luchtsoort, die ook na de afkoeling luchtvormig blijft. In het hout moeten dus verschillende lichamen aanwezig zijn; hout is eene zamengestelde stof.

Nemen wij in plaats van hout, steenkool, dan zien wij gelijksoortige veranderingen; er ontstaat eene zwarte kool, die als vaste stof overblijft, vocht, dat vervluchtigt, en eene luchtsoort, die aangestoken kan worden en verbranden zal. Het is deze luchtsoort, die op vele plaatsen in groote hoeveelheid uit steenkolen bereid wordt, en onder den naam van *gas* gebezigd wordt, om door hare verbranding licht te ver-

spreiden. Men houde hierbij wél in 't oog, dat die benaming daaraan niet bij uitsluiting toekomt, daar gas maar een ander woord is voor luchtvormig ligchaam of luchtsoort, van welken aard ook; waaruit tevens blijkt hoe geheel verkeerd het is, een mengsel van terpentijn en voorloop, dat men in sommige lampen brandt, *gas* te noemen; dit is eene drupvormige vloeistof, even als water, maar geen gas. Het ter verlichting dienende gas, dat uit steenkolen gestookt wordt, verkrijgt men, door ijzeren buizen van twee ellen lengte naast elkander boven een groot vuur te leggen, die dan met steenkolen gevuld worden. Aan elke van deze is eene pijp aangebragt, welke pijpen zich alle vereenigen in eene groote pijp, waarin zich de brandbare lucht uit al de ijzeren buizen verzamelt, en waardoor het ontwikkelde gas heenstroomt naar een' grooten vergaartoestel, die *gashouder* genoemd wordt. Uit dezen stroomt het verder door pijpen, die onder den grond doorloopen naar de lantaarns, waarin het branden moet. De gashouder is in 't groot dezelfde toestel, als wij in 't klein (Fig. 44) hebben voorgesteld, maar van ijzer in plaats van glas vervaardigd. Hij bestaat uit een' grooten ijzeren ronden bak of trommel, die omgekeerd in eene gemetselde kuip hangt, waarin water is; eene verlenging van de boven vermelde pijp voert het gas dan door dat water heen in gezegden trommel, waarin het wordt opgezameld, en die ten gevolge van de spanning van het gas uit het metselwerk oprijst.

Wij kunnen het ontstaan van dat gas of die brandbare lucht uit steenkolen in 't klein doen plaats vinden, door in den kop van eene aarden pijp eenige stukjes steenkool te doen, en dien kop in een brandend vuur te leggen; het duurt dan niet lang, of er komt boven uit den pijpsteel lucht uitstroomen, die men kan aansteken, en die ons in 't klein de vlam der gaslantaarns, vertoont.

Gelijk bij de gasbereiding het verkrijgen van de zich ontwikkelende luchtsoort het voornamelijk doel is, is bij andere gelegenheden de bereiding van de overblijvende kool het hoofddoel. Dit is bijv. het geval in de ovens, waarin men, voor het gebruik der stoomwagens, steenkolen uitbrandt, en in eene kool verandert, die men *coke* noemt; men laat

daar de dampen en het gas in de lucht ontsnappen, en verzamelt alleen de overblijvende kool.

Hetgeen bij de gasbereiding in 't groot, bij de pijp met steenkool in 't klein gebeurt, geeft ons nadere opheldering van hetgeen wij bij de gewone verbranding in de kagchel zagen. Bij de gasbereiding scheidt zich de steenkool in twee lichamen, die beiden brandbaar zijn en ieder op de hem eigene wijze verbranden: in eene luchtsoort, die eene helder licht gevende vlam vertoont, en in eene kool, die gloeiende, maar zonder vlam verbrandt. Beide verbrandingen vertoonen zich in 't vuur vlak bij elkander. Onmiddellijk boven de steenkool heeft men de vlam, het is die van het gas, dat, door de hitte uitgedreven, dadelijk aangestoken wordt; terwijl de kool, die na die uitdrijving overblijft, al gloeiende verteert, even als de kool, die bij de gasbereiding is achtergebleven, zou doen, als ze wierd aangestoken. Bij de verbranding geschiedt dus op eene en dezelfde plaats, wat elders op twee plaatsen geschiedt, en wij zien tevens, dat bij de verbranding niet alleen eene verbinding ontstaat, maar dat deze voorafgegaan wordt door eene scheiding der brandstof in twee lichamen, die beiden verbranden en zich alzoo beiden met de lucht verbinden.

Even als in de opgegeven gevallen hout en steenkolen door verhitting in een' besloten' toestel gescheiden worden in ongelijksoortige bestanddeelen, heeft de proefneming geleerd, dat alle stoffen, die van dieren of planten afkomstig zijn, door zoodanige verhitting in bijna dezelfde lichamen gescheiden kunnen worden. Dit is het geval met vleesch, vet, bloed, huid, wol, haren, vederen, horens, hoeven, beenderen van dieren; met papier, linnen, katoen, vlas en andere stoffen uit planten bereid. Zij laten alle eene zwarte kool achter en brengen alle de brandbare luchtsoort voort. Wij kunnen daaruit het gewigtig besluit trekken, dat dieren en planten voor een groot deel uit dezelfde stoffen bestaan, al behoeven daarom niet alle bestanddeelen dezelfde te zijn.

Stelt men daarentegen steen, zand, glas of metaal aan verhitting in de ijzeren buis bloot, dan ondergaan deze geen blijvende verandering; sommige metalen smelten wel,

maar worden bij afkoeling weder vast, en weegt men ze vóór en na de verhitting, dan vindt men hetzelfde gewigt; er heeft dus hier geen scheiding plaats. Er komt dan ook bij de verhitting uit de buis geen damp en geen luchtsoort uitstroomen. Vragen wij, waarom de hitte hier geen scheiding te weeg brengt, dan zijn er twee mogelijkheden, óf dat deze lichamen niet uit andere ongelijksoortige zijn zamengesteld, óf dat die bestanddeelen te innig met elkander verbonden zijn, om door verhitting te kunnen worden gescheiden. Hoe het hiermede gelegen is, zal later blijken.

maar worden bij afkleding weder vast, en weert men ze  
 voor en na de verhuizing, om zoudt men hetzelfde gewigt:  
 en heeft dan hier geen verhuizing plaats. En komt dan ook  
 bij de verhuizing als de bus geen damp en geen indroeft  
 tritatonen. Vragen wij, waarom de hies niet geen schiel-  
 ding te weeg brengt, dan zijn er twee mogelijkheden. De  
 dat deze lichamen niet uit andere ongelijkheden zijn za-  
 mengeteld, of dat die bestanddeelen te nauw met elander  
 verbonden zijn, om door verhuizing te kunnen worden ge-  
 scheiden. Hoe het hiernaede gelegen is, zal later wijzen.

### D R U K F E I L E N .

Bladz.	Reg.	staat	lees
15.	7.	tegenlijk,	tegelijk.
26.	1.v.ond.	voelen het het,,	voelen het,.
—	—	wijde blas,	wij de blaas.
48.	16.v.ond.	vloeisoffen,,	vloeistoffen,.
51.	9	gegebracht,,	gebracht,.
143.	19.	bewerksteligen,	bewerkstelligen.
175.	17.	denkalksteen,	den kalksteen.

D R U K F E I L E N

Bladz.	Reg.	stree	lees
15.	7.	tegenlijk	tegenlijk
26.	1. v. ond.	voelen het hat	voelen het
—	—	wijde plas	wij de plas
48.	16. v. ond.	vloeiende	vloeiende
51.	9	gebragt	gebragt
112.	19.	bewerkteigen	bewerkteigen
156.	17.	denkalksteen	den kalksteen

