

DE KLEINSTE BESTANDDEELEN DER LICHAMEN EN HUNNE BEWEGINGEN.

DOOR

Dr. G. J. MICHAËLIS.

In de natuur is alles in beweging. Hoe dieper men doordrong in de studie der natuurverschijnselen, des te meer werd men overtuigd van de waarheid dezer stelling. Bekend is de strijd, dien de geleerden vroeger te voeren hebben gehad tegen de algemeen aangenomen leer van ARISTOTELES, dat de aarde het rustend middelpunt van het heelal zou wezen. Het "e pur si muove" van GALILEI moge geschiedkundig zijn of niet, het verhaal geeft in allen gevalle een juist denkbeeld, hoe vast het vooroordeel ingeworteld was omtrent de onbewegelijkheid van onzen aardbol.

Later is langzamerhand door nauwkeurige waarnemingen gebleken, dat de zon met het geheele planetenstelsel eene gemeenschappelijke verplaatsing ondergaat in de hemelruimte; dat verder de vaste sterren alleen onbewegelijk schijnen, omdat haar afstand zoo verbazend groot is, terwijl zij inderdaad zonnen zijn, die zich zeer snel verplaatsen.

Maar wat voor die ver verwijderde hemellichamen geldt, namelijk dat allen zich bewegen, is evenzeer toepasselijk op de onzichtbaar kleine deeltjes, waaruit, zooals men aanneemt, alle stof is samengesteld. Elk voorwerp, hoe onbewegelijk het schijnen moge, moet beschouwd worden als eene vereeniging van een onnoemelijk aantal heen en weer slingerende of op andere wijze door elkaar heen dwarrelende onveranderlijke deeltjes. Men weet dit niet ten gevolge van onmiddellijke waar-

noeming, gelijk bij de sterren; het is echter eene theorie, gegrond op gemeenschappelijke eigenschappen van alle bekende lichamen, eene theorie, waardoor zelfs zeer samengestelde verschijnselen verklaard kunnen worden, en die de grondslag is geworden van de hedendaagsche natuurwetenschap.

Nadat men de overtuiging gekregen had, dat alles in de natuur zich beweegt, moest het voornamelijk doel van het natuuronderzoek worden, om een zooveel mogelijk volledige kennis te verkrijgen van de verschillende bewegingen, die voorkomen. Dat doel is nog slechts voor een zeer klein deel bereikt. Door NEWTON's theorie der algemeene aantrekkingskracht is men er in geslaagd, om van de beweging van enkele hemellichamen eene vrij nauwkeurige kennis te verkrijgen. Men is b. v. in staat, om zons- en maans-verduisteringen een willekeurig aantal jaren van te voren te berekenen; om na eenige waarnemingen van een nieuwe planeet, zich een denkbeeld te vormen van de baan, die zij doorloopen zal, van hare grootte en haar gewicht, en tal van andere zaken meer.

Stelt men zich een geest voor, die evenzoo goed bekend ware met de beweging van alle atomen — zoo noemt men de kleinste deeltjes der lichamen — als wij nu op de hoogte zijn van die der maan en der voornaamste planeten, dan zou zulk een geest het doel eenigszins nabijkomen, dat zooeven genoemd werd. Zonder ons in beschouwingen te verdiepen, wat zulk een ideaal-geest op dezelfde manier zou kunnen voorspellen, als men het nu een zonsverduistering kan doen, dient er toch op gewezen, zooals DUBOIS REYMOND in zijne beroemde verhandeling "Ueber die Grenzen der Naturerkenntniss" gedaan heeft, dat die geest nog geenszins op alle vragen een bevredigend antwoord zou kunnen geven. Evenmin als de sterrekundige, die de wet der algemeene aantrekkingskracht toepast op de berekening der hemellichamen, iets weet omtrent het eigenlijke wezen van die kracht, evenmin kan men zich voorstellen, dat iemand, al ware hij volkomen op de hoogte van de beweging der atomen, iets meer zou weten dan wij omtrent de oorzaken, die deze bewegingen doen ontstaan. De werking op een afstand van het eene stofdeeltje op het andere door de ledige ruimte heen, is onverklaarbaar en zal dat wellicht altijd blijven.

Reeds NEWTON heeft die leemte in de menschelijke kennis gevoeld, en zich ongeveer in de volgende bewoordingen uitgelaten: "de meening, dat de aantrekkingskracht eene eigenschap der stof zou wezen,

zoodat het eene lichaam op het andere zou werken door de ledige ruimte heen, zonder bemiddeling van iets anders; die meening is voor mij zóó onzinnig, dat ik niet kan aannemen, dat een wijsgeerig denker haar zou kunnen aanhangen. De aantrekkingskracht moet eene oorzaak hebben, die voortdurend werkt; maar of die oorzaak materieel is of immaterieel, heb ik aan het oordeel van den lezer overgelaten."

Van deze verklaring, ongeveer twee eeuwen geleden afgelegd, kan nog niets worden teruggenomen; zij geldt evenzeer voor de krachten, die tusschen de kleinste deeltjes der lichamen werken; want of het eene werking geldt van lichamen, die op duizenden mijlen van elkaar verwijderd zijn, of van deeltjes, die slechts een afstand hebben van het millioenste deel van een millimeter; de zaak blijft in beginsel volkomen dezelfde.

Men heeft zich daarom moeten vergenoegen met het onderzoek naar de betrekking tusschen de beweging der atomen en de eigenschappen der lichamen. Men heeft getracht om, uitgaande van zekere algemeene onderstellingen omtrent de beweging der atomen, daaruit volgens de beginselen der mechanica bekende eigenschappen en natuurwetten af te leiden.

De leer, dat alles in de natuur zich beweegt, is niet nieuw. Reeds enkele wijsgeeren van het oude Griekenland hebben gepoogd, om op den grondslag der atoombeweging de natuurkunde op te bouwen. Hunne theoriën, hoewel in grondbeginsel met de hedendaagsche overeenkomende, werden te weinig door waarnemingen gesteund, om stand te kunnen houden; zij geraakten in vergetelheid, om in de zeventiende eeuw met nieuwe kracht weer te voorschijn te komen; en eerst na die herleving heeft men de kennis bijéénvergaard, welke men nu bezit, omtrent den aard der bewegingen, welke in de natuur voorkomen.

Wij stellen ons voor, een overzicht te geven van de voornaamste theoriën, die in vroeger en later tijd omtrent de beweging der atomen bestaan hebben, en van de uitkomsten, welke de nieuwere dier theoriën hebben opgeleverd. Al geven zij, volgens het bovengezegde, geen volkomen bevredigende verklaring der natuurverschijnselen, al blijven er altijd duistere plaatsen over, men heeft toch door middel dier theoriën vele verschijnselen als het ware ontleed in eenvoudiger elementen, en dat is op zich zelve al merkwaardig genoeg.

De eerste persoon van wien men weet dat hij het denkbeeld uitgesproken heeft dat alles in de natuur zich beweegt, was de Grieksche

wijsgeer DEMOCRITUS. Hij leefde in de vijfde eeuw vóór het begin onzer jaartelling te Abdera, eene Grieksche volkplanting. Zijn vader liet hem een groot vermogen na, en hij verbruikte dat grootendeels op de reizen, die hij ondernam, om aan zijne weetgierigheid te voldoen. Het grootste deel der toen bekende wereld werd door hem bezocht, met de meeste beroemde mannen van zijn tijd maakte hij kennis. Deze man, aan wiens naam een aantal anecdoten verbonden zijn, het meest bekend onder dien van den lachenden filosoof, heeft in een groot werk -- "Diakosmos" -- getracht, om uit de beweging der atomen de natuurverschijnselen af te leiden. Zijne voornaamste grondstellingen waren: "Uit niets ontstaat niets; niets wat is, kan vernietigd worden. Alle verandering is slechts verbinding en scheiding van deelen."

"Niets geschiedt toevallig, maar alles heeft een noodzakelijke oorzaak."

"Niets bestaat dan de atomen en de ledige ruimte."

"De atomen zijn oneindig in getal en hebben oneindig vele verschillende vormen. Zij botsen tegen elkaar, en de bewegingen, die daarbij ontstaan, zijn de oorsprong der werelden."

"Het onderscheid in alle zaken hangt af van een verschil in getal, gedaante en groepeerings der atomen."

DEMOCRITUS nam aan, dat de grootere atomen zich sneller verplaatsen dan de kleinere. Hij onderstelde verder, dat er, behalve onze aarde, een groot aantal werelden zijn, welke zich bewegen.

Hij trachtte, in het algemeen de verschijnselen der natuur uit eeuwig onveranderlijke wetten af te leiden.

Er ontstond echter eene reactie tegen zijne filosofie, waardoor zij geheel in vergetelheid geraakte.

SOCRATES en diens volgelingen, onder welke vooral PLATO eene eereplaats bekleedde, namen niet de onbewerkte natuur, maar wel den mensch tot het uitgangspunt hunner wijsbegeerte.

En ARISTOTELES, die wel de natuurverschijnselen poogde te verklaren, stelde echter in die verklaring ook den mensch op den voorgrond.

Deze man, die ten tijde van ALEXANDER den Groote leefde, vormde een wijsgeerig stelsel, dat de geheele menschelijke wetenschap van zijn tijd omvatte. In dat stelsel werd de natuur als een kunstwerk opgevat, ingericht volgens een bepaald plan, en ARISTOTELES, die dat plan meende te doorgronden, kwam er toe om *à priori* allerlei stellingen te bewijzen, die later dwalingen bleken te zijn. Hij leerde, dat het heelal een holle kogel zou zijn, in welks centrum de aarde zou rusten; hij poogde

aan te toonen, dat eene andere inrichting onmogelijk zou wezen. In tegenstelling met DEMOCRITUS, beweerde hij, dat eene ledige ruimte niet kan bestaan; dat, zoo deze bestond, geene beweging in haar mogelijk zou zijn, en nam den geheimzinnigen afkeer van de natuur voor het ledige te baat, om allerlei verschijnselen te verklaren. Hij ging zoover van te bewijzen, hoe vele soorten van dieren er noodzakelijk konden bestaan. In tegenstelling met DEMOCRITUS waren zijne denkbeelden over beweging zeer verward. Terwijl DEMOCRITUS van grondstellingen uitging, die aan de waarneming der natuur zelve ontleend waren, leidde ARISTOTELES alles af uit beginselen, die volstrekt niet op waarneming steunden. Toch heeft de theorie van laatstgenoemde gedurende vele eeuwen een onbeprekten invloed uitgeoefend. Gedeeltelijk kan men dit toeschrijven aan de kunstige samenstelling dier theorie, gedeeltelijk aan den steun, dien zij later van de christelijke kerk ondervond.

Ongeveer ten zelfden tijde als ARISTOTELES leefde er in Griekenland een geleerde, die weer poogde om uit zuiver mechanische begrippen de natuur te verklaren. Het was EPICURUS. Hij werd te Athene geboren. Zijne ouders waren behoeftig. Reeds vroegtijdig wijdde hij zich aan de wetenschap. Hij sloot zich niet aan bij een der toen heerschende wijsgeerige stelsels, maar verkondigde zijn eigen leer op verschillende plaatsen. Op rijpen leeftijd keerde hij naar zijn geboortestad terug, kocht in de nabijheid een landgoed, en leefde daar met eenige aanhangers, als een voorbeeld van matigheid en tevredenheid op de vriendschappelijkste wijze te samen.

De natuurbeschouwing van EPICURUS was in hoofdzaak dezelfde als van DEMOCRITUS. Eene afwijking bestond onder anderen daarin, dat volgens EPICURUS alle atomen in de ledige ruimte zich even snel bewegen, en dat wanneer een lichaam sneller valt dan een ander, dit aan den geringeren weerstand moet worden geweten, dien het ondervindt.

Oorspronkelijk zouden de atomen zich met gelijke snelheid in evenwijdige richtingen verplaatst hebben. Bij de geringste afwijking van de oorspronkelijke richting, kan men zich het ontstaan verklaren van de meest samengestelde bewegingen, en is de oorzaak gevonden van eene onophoudelijke vereeniging en scheiding van atomen. Maar van waar die eerste afwijking?

EPICURUS, die de werking van verschillende stofdeeltjes op elkaar niet kende, die van het verschijnsel der algemeene aantrekkingskracht

geen begrip had, kon geene voldoende verklaring geven, en verviel in dwalingen.

Op dezelfde klip verzeilde ook de Romeinsche dichter en filosoof LUCRETIUS, die in de eerste eeuw vóór onze jaartelling in een groot gedicht de leer van EPICURUS behandeld heeft, om zijn vriend MEMMIUS voor die leer te winnen. Ook hij grondde zijne beschouwingen op het bestaan van atomen. Als bewijzen, dat er onzichtbare stofdeeltjes zijn, voerde hij o. a. aan, dat kleeren in den zonneschijn drogen; zonder dat men de waterdeeltjes ziet verdwijnen; dat een ring, welken men lang gedragen heeft, dunner wordt; dat een steen door daarop vallende waterdruppels op den duur wordt uitgehold. Bij alle verandering der lichamen meende hij, komen er op dezelfde wijze onzichtbare deeltjes bij, of verdwijnen. Als bewijs, dat er eene ledige ruimte is, wees hij b. v. op de warmte en het geluid, die door muren kunnen heendringen. Hij meende, in overeenstemming met EPICURUS, dat oorspronkelijk de atomen met gelijke snelheid zich evenwijdig aan elkaar zouden bewogen hebben. Om echter de eerste afwijking op te helderen, nam hij zijn toevlucht tot willekeurige bewegingen als van menschen en dieren, in tegenpraak met zijn eigen beginselen. Om de samenstelling der lichamen duidelijk te maken, gebruikte LUCRETIUS het beeld van een troep lammeren, die, hoewel vroolijk huppelend, op een afstand niets te aanschouwen geven, dan een witte plek op een groenen heuvel.

In de middeleeuwen geraakte de leer der atomen in vergetelheid. Wel werden door de Arabieren vele gewichtige ontdekkingen gedaan op het gebied der natuurkunde, en vooral door hen de waarnemingsmethoden zeer veel verbeterd; wel vindt men enkele sporen, dat de theorie van EPICURUS in die tijden enkele aanhangers heeft gevonden, maar verschillende invloeden, en niet het minst die der geestelijkheid, onderdrukten dergelijke denkbeelden.

Het duurde tot in de zeventiende eeuw, eer de leer der atomen uit haren winterslaap ontwaakte. Het was toen de beroemde GASSENDI die denkbeelden ontwikkelde omtrent de samenstelling der lichamen, welke overeenkwamen met die van DEMOCRITUS en EPICURUS.

Alle natuurverschijnselen schreef hij toe aan beweging van atomen, deeltjes, welke hij zich dacht als volkomen onveranderlijk, alleen verschillend in grootte en gedaante, in alle richtingen zich bewegend door de ledige ruimte. Volgens die beginselen verklaarde hij de aggregaattoestanden der lichamen (die van vast, vloeibaar en gasvormig) en

hun overgang in elkaar op eene wijze, die niet zeer veel afweek van de tegenwoordig aangenomen theorie.

GASSENDI vond vele aanhangers. Bij de uitbreiding en toepassing der atoom-theorie, evenwel, geraakte men meermalen op dwaalwegen.

In de tweede helft der zeventiende eeuw namelijk zochten sommige geleerden, waaronder OTTO VON GUERICKE, de uitvinder der luchtpomp, en BOYLE, de ontdekker der wet van de samendrukking der gassen, om, door toekenning van allerlei eigenschappen aan de atomen, eene verklaring der natuurverschijnselen te geven. Volgens hen zou de lucht bestaan uit kleine buigzame deeltjes, die door hun veerkracht altijd den oorspronkelijken vorm trachten te hernemen. De atomen der lucht zouden holle cylinders wezen, uit dunne plaatjes of draadjes samengesteld.

Om zich een begrip te vormen van de verschijnselen der capillariteit, werd aangenomen, dat de atomen van het water voorzien waren van veerkrachtige werktuigen, werkende als hefboomen; deze zouden zich vasthechten aan de oneffenheden van den wand, elkaar gedeeltelijk steunen, en zóó de rijzing der vloeistof mogelijk maken.

Dat men door dergelijke hypothesen op een dwaalweg geraakte, is licht in te zien. De geheele theorie der atomen berust op het beginsel, dat men zich de stof niet tot in het oneindige deelbaar kan denken. De elementen der stof moet men zich dus voorstellen als onveranderlijk. Kent men hun zulke buigzame aanhangsels toe, als zooeven vermeld werd, dan moeten zij weer uit onderdeelen bestaan, die onderling verschuifbaar zijn. Dit strijdt tegen hunne onveranderlijkheid. Bovendien komt men door dergelijke hypothesen de bezwaren niet te boven. Men kan voorzeker moeilijk de samendrukbaarheid der lucht verklaard achten door de onderstelling, dat de deeltjes der lucht zelve samendrukbaar zijn.

Hetzelfde verschijnsel, dat vroeger had plaats gegrepen ten opzichte van de hemellichamen, herhaalde zich nu voor de atomen. Langen tijd nadat men had opgemerkt, dat de planeten zich verplaatsen, had men nagelaten den aard dier beweging te onderzoeken, een onderzoek, dat later zulke heerlijke vruchten voor de wetenschap heeft opgeleverd. Evenzoo verzuimde men, na de beweging der atomen in het algemeen vastgesteld te hebben, den aard dier beweging te bestudeeren en te trachten uit die beweging de eigenschappen der lichamen te verklaren, in plaats van die eigenschappen zelve op de atomen over te brengen, hetgeen tot niets anders kon leiden dan tot eene verplaatsing der

moelijkheden. Kennis van de snelheid der atomen, van de banen, die zij beschrijven, van hunne grootte en hun gewicht is het doel, dat men zich moet voorstellen, om tot een begrip te komen van de samenstelling der lichamen. In deze eeuw is een geregeld onderzoek naar den aard der beweging van de atomen begonnen, zoo als wij weldra zullen zien. Het chemisch onderzoek had vóór dien tijd reeds enkele feiten aan het licht gebracht omtrent hun gewicht. De chemie heeft in den betrekkelijk korten tijd van haar bestaan reeds vele praktische resultaten opgeleverd; zij is in den dienst getreden van handel en nijverheid; zoowel de gezonde als de lijdende menschheid heeft veel aan haar te danken. Maar vele dier praktische uitkomsten heeft men aan zuiver theoretische onderzoekingen te danken; zoover is men daarin reeds gevorderd, dat uit beschouwingen omtrent de atomen het bestaan is afgeleid van verbindingen, die later eerst werkelijk samengesteld zijn.

Hoogst belangrijk is de geschiedenis der voornaamste chemische theoriën; nuttig is het, om de wijze na te gaan, waarop zij uit elkaar zijn voortgevloeid. Voor ons doel zal het voldoende, maar ook noodzakelijk wezen, om enkele hoofdpunten uit die geschiedenis aan te stippen.

DALTON is de naam van den man, die hier in de eerste plaats moet worden genoemd. In het begin dezer eeuw maakte hij zijne theorie der atoomgewichten bekend. Die theorie is de basis van alle nieuwere chemische beschouwingen; zij heeft zich gehandhaafd, in weerwil van de hevige aanvallen, die tegen haar gericht zijn, zelfs door mannen als den beroemden engelschen natuurkundige FARADAY. Zij geeft eene zeer begrijpelijke verklaring van twee zaken, welke de chemische verbinding der lichamen kenmerken.

In de eerste plaats wordt door DALTON's theorie het feit opgehelderd, dat in een stof de verschillende bestanddeelen altijd in eene bepaalde gewichtsverhouding voorkomen. Dit kan het best door een eenvoudig voorbeeld worden opgehelderd: Er zijn twee lichamen, waterstof en zuurstof, die tot de zogenaaamde elementen gerekend worden, omdat men ze niet kan ontleden, en die, wanneer ze onder bepaalde omstandigheden worden samengebracht, zich verbinden tot water. Sluit men in een zelfde glazen klok willekeurige hoeveelheden dier beide gassen af, en laat men vervolgens door middel eener elektrische vonk, of op andere wijze, de chemische verbinding plaats grijpen, dan zal in het algemeen in de klok eene hoeveelheid van een van beide overblijven.

Door metingen — hoe ze gedaan zijn, gaan wij met stilzwijgen

voorbij — werd bepaald, dat altijd 8 gewichtsdeelen zuurstof zich met 1 gewichtsdeel waterstofgas tot water verbinden. Een overeenkomstig verschijnsel vindt men bij alle andere stoffen terug; altijd grijpt eene bepaalde chemische verbinding in onveranderlijke gewichtsverhouding plaats.

Het hoofdbeginsel der theorie van DALTON is, dat bij eene chemische verbinding een aantal atomen van de eene stof zich vereenigen met een bepaald getal van de andere. Wanneer men dan aanneemt, dat de atomen van verschillende zelfstandigheden onderscheiden zijn in gewicht, kan uit die theorie het zooeven meêgedeelde omtrent de verbindingsgewichten worden afgeleid. De juistheid der theorie blijkt vooral daaruit, dat DALTON er een ander verschijnsel uit afleidde, hetwelk, zoo als eerst later door proeven werd uitgemaakt, de chemische verbindingen kenmerkt. Het is namelijk natuurlijk, dat steeds een geheel aantal atomen van twee stoffen zich onderling vereenigen, omdat ze ondeelbaar ondersteld worden te zijn. Daaruit is de wet der veelvoudige verhoudingen af te leiden, volgens welke de verschillende hoeveelheden van een stof, die zich kunnen verbinden met eene onveranderlijke hoeveelheid van een ander lichaam, zich verhouden als geheele getallen. In het ééne geval kan bijv. het atoom van het eene lichaam zich verbinden met één atoom, in het andere met twee of drie van het tweede lichaam. Dit kan weder het best door een voorbeeld worden opgehelderd.

Onze dampkringslucht bestaat, zoo als bekend is; uit een mengsel van verschillende gassen, en daarvan zijn de zuurstof en de stikstof de voornaamsten. Deze zijn echter in onze atmosfeer niet samen verbonden; hunne atomen blijven op zich zelve bestaan; zij hebben zich niet tot een nieuw lichaam vereenigd. De eigenschappen der dampkringslucht komen dan ook overeen zoowel met die van zuurstof als van stikstof. Zij matigen elkaars werking. Terwijl de verbranding in zuurstof met veel grooter intensiteit en snelheid plaats heeft dan in de lucht, wordt in zuivere stikstof eene vlam onmiddellijk uitgedoofd; evenzoo werken de eigenschappen van beide gassen samen, om het leven in de dampkringslucht mogelijk te maken. Maar die zelfde gassen kunnen zich ook chemisch verbinden en al naar de omstandigheden, waaronder zij met elkaar in aanraking zijn gebracht, lichamen met verschillende eigenschappen opleveren. Er kan een gas ontstaan, waarin 8 gewichtsdeelen zuurstof verbonden zijn met 14 deelen stikstof; in uitwendig voorkomen onderscheidt het zich niet van de dampkrings-

lucht, maar de eigenschappen zijn geheel andere. Wanneer men bijv. korten tijd dit gas inademt, dan geraakt men in een staat van opgewondenheid, terwijl het op den duur geenszins geschikt is, om het leven te onderhouden. Hebben andere omstandigheden bij de verbinding plaats, dan ontstaat een ander gasvormig lichaam, dat de opmerkelijke eigenschap heeft, om in aanraking met zuurstof in een roodkleurigen damp over te gaan. Bij gelijke hoeveelheden stikstof in beide samenstellingen, zal in de laatstgenoemde tweemaal zooveel zuurstof zich bevinden, als in de eerste. Behalve deze zijn er nog drie andere lichamen bekend, uit stikstof en zuurstof gevormd, in welke bij gelijke hoeveelheden van stikstof drie-, vier- en vijfmalen zooveel zuurstof voorkomt, als in de verbinding die het eerst werd vermeld.

Naar de theorie van DALTON hebben dus in die verschillende lichamen met één atoom stikstof zich een aantal atomen zuurstof vereenigd, die tot elkaar zich verhouden als de getallen 1, 2, 3, 4 en 5.

Deze opvatting der chemische werkingen moest noodzakelijk leiden tot geheel andere denkbeelden omtrent de kleinste deeltjes der lichamen, dan men vroeger had. Bij de samengestelde stoffen althans kon men ze niet meer voor volkomen onveranderlijk en ondeelbaar houden. De kleinste deeltjes van het water bijv. kunnen langs chemischen weg gesplitst worden, en de bestanddeelen vormen de ontledingsproducten zuurstof en waterstof.

Men onderscheidt nu de deeltjes van het water (of ook van eene andere zelfstandigheid) met den naam van moleculen. Als bestanddeelen van het water zijn zij onveranderlijk; wel zijn ze samengesteld uit eene vereeniging van atomen; maar alleen die vereeniging kan als element van het water opgevat worden; zoodra zij gesplitst wordt, behooren de deelen tot andere lichamen. Men kan het best deze bepaling geven: het molecuul is de kleinste hoeveelheid eener stof, welke op zich zelve kan bestaan; het atoom is de kleinste hoeveelheid, die bij verbindingen en ontledingen in werking treedt. Indien men uit deze redeneering zou willen opmaken, dat het kleinste bestanddeel van een eenvoudig lichaam steeds een atoom is, zou men zich vergissen. Door onderzoekingen, te ingewikkeld om hier mee te deelen, is men tot de conclusie gekomen, dat ook de moleculen van vele dier eenvoudige stoffen uit verscheidene atomen kunnen bestaan.

Omtrent de moleculen heeft men, voornamelijk door de studie der gasvormige lichamen, belangrijke ontdekkingen gedaan. Tengevolge van

de wet, door GAY-LUSSAC ontdekt, dat twee gasen bij gelijke drukking en temperatuur zich steeds in een eenvoudige volumen-verhouding verbinden, kwam AVOGADRO tot de hypothese, dat in een gelijk volumen van verschillende gasen steeds onder dezelfde omstandigheden een zelfde aantal moleculen aanwezig is. Door toepassing van die hypothese kon men althans van de hoofdeigenschappen der gasvormige lichamen eene mechanische verklaring geven. Zooals wij zien zullen is de moleculaire theorie der lichamen in dezen aggregaat-toestand, ook door de nieuwere physische beschouwingen, zeer ver gevorderd; doch voor wij daartoe overgaan, moet nog kortelijk medegedeeld worden, welke denkbeelden de chemici tegenwoordig hebben omtrent de rol, die de atomen bij de verbindingen vervullen.

De theorie van de verschillende chemische waarde der atomen, door KEKULÉ gegeven, dient hier wel, al kan het niet anders dan oppervlakkig, vermeld te worden.

KEKULÉ onderscheidt een, twee en meerwaardige atomen. Een eenwaardig atoom kan zich slechts met een enkel ander eenwaardig atoom verbinden. Een tweewaardig atoom verbindt zich met twee eenwaardige. Een twee of meerwaardig atoom kan zich niet alleen vereenigen met meerdere deeltjes van dezelfde soort, maar ook met die van verschillende lichamen. Men begrijpt, dat op die wijze een groot aantal verbindingen mogelijk is. Koolstof is vierwaardig, en daaruit laat zich het groot aantal koolstofverbindingen verklaren, dat in de natuur voorkomt. In deze theorie wordt het molecuul vergeleken bij een keten, van welke de atomen de schakelen uitmaken. Opmerkelijk is het, dat men door deze beschouwingen omtrent de onderlinge werkingen der atomen op het denkbeeld is gebracht omtrent het bestaan van chemische verbindingen, die later werkelijk samengesteld zijn; eene omstandigheid, die zeer pleit voor de volkomenheid dezer theorie. Aan den anderen kant mag niet onvermeld blijven, dat zij niet vrij is gebleven van bedenkingen, die tot nu toe niet opgehelderd konden worden.

Hoe komt het, o. a., dat er vijfwaardige atomen zijn, van welke een veel geringer aantal verbindingen bekend zijn, dan van de koolstof?

Hoe komt het, dat de atomen van de stikstof in verschillende omstandigheden eene andere chemische waarde kunnen hebben?

Wij zullen ons in die zaak niet verdiepen. Genoegzaam zij het ons te weten, hoe het chemisch onderzoek tot de conclusie heeft geleid, dat er een onderscheid is tusschen de atomen en de moleculen, en dat

deze bij verschillende stoffen onderscheiden zijn in grootte en gewicht.

Is men dus, wat de kennis der moleculen en atomen betreft, veel verplicht aan de chemie, niet minder heeft men in dit opzicht te danken aan de mechanische warmte-theorie. Zooals in den aanvang gezegd werd, heeft men in de oudheid de stelling reeds uitgesproken, dat de kleinste deeltjes, waaruit de lichamen gevormd zijn, zich bewegen; in deze eeuw heeft men ontdekt, dat die beweging de gewaarwording van warmte veroorzaakt.

De erkenning, dat warmte niet anders is dan beweging, is een der voornaamste triomfen door de natuurwetenschap in de laatste eeuw behaald. Men weet nu, dat niet alleen alles zich beweegt, maar dat een eenmaal bestaande beweging wel allerlei wijzigingen ondergaat, maar nimmer verdwijnen kan. Een voorwerp valt van een zekere hoogte ter aarde en blijve liggen, waar het neerkwam. De zichtbare beweging is verdwenen, maar eene onzichtbare is daarvoor in de plaats getreden; de beweging der moleculen van het lichaam is versterkt, en dit blijkt door de toeneming zijner temperatuur. Indien die overgang werkelijk de oorzaak der temperatuursverhooging is, dan moet natuurlijk de vrijgeworden warmte alleen afhangen van het gewicht van het lichaam en de hoogte van welke het gevallen is, want de eerste grootheid bepaalt de gezamenlijke massa der deeltjes, waaruit het lichaam bestaat, en de tweede de snelheid, welke zij verkregen hebben.

Hoogst nauwkeurige proeven zijn jaren achtereen genomen door den Engelschen natuurkundige JOULE, om de hoeveelheid warmte te weten, die ontstaat bij het vallen van gewichten van eene bepaalde hoogte, en deze hebben tot de uitkomst geleid, dat altijd, wanneer een gewicht van 1 kilogram valt van een hoogte van omstreeks 425 meter, daardoor zooveel warmte wordt opgewekt als noodig is om 1 kilogram water van 0 tot 1° te verwarmen. Maar niet alleen bij het neervallen van lichamen, altijd wanneer een zichtbare beweging verdwijnt, wordt eene overeenkomstige hoeveelheid warmte geboren. Men ziet in onzen dampkring somtijds vuurbollen. Het zijn meteoren, die, door de aantrekkingskracht der aarde in onze atmosfeer gebracht, zich daarin aanvankelijk met verbazende snelheid voortspoeden; door den weerstand, dien zij ondervinden, ondergaan zij echter eene sterke vertraging; onmiddellijk wordt hun temperatuur derwijze verhoogd, dat zij gaan gloeien, en dikwijls geheel smelten. Omgekeerd kan warmte worden omgezet

in zichtbare beweging, en ook daarbij zijn altijd de grootheden welke die beweging kenmerken geheel bepaald door de hoeveelheid warmte, welke verdwenen is. Alle proefnemingen wijzen er op, dat in dit geval de moleculaire beweging verminderd is, om gedeeltelijk in een waarneembaren vorm overtegaan. Beweging verdwijnt nooit, en alles wat er in de natuur gebeurt, is een onophoudelijke verandering in den aard der bestaande bewegingen, een overgang van het eene voorwerp op het andere; alle natuurverschijnselen, als warmte, geluid, licht zijn bewegingsverschijnselen van onderscheiden aard, en het onderling verband dier verschijnselen is door deze opvatting veel duidelijker geworden dan vroeger.

De juistheid dezer beschouwingen zal althans eenigszins blijken, wanneer wij nagaan, wat de toepassing der warmte-theorie op de leer der moleculen heeft opgeleverd. KRÖNIG en CLAUSIUS zijn eenige jaren geleden met een nieuwe theorie der moleculaire beweging, voornamelijk op de warmte-theorie gegrond, voor den dag getreden; laatstgenoemde heeft er vele belangrijke resultaten uit afgeleid, en sedert wordt er door vele natuurkundigen van naam aan hare ontwikkeling en uitbreiding gewerkt. Volgens die theorie oefenen de deeltjes van een lichaam twee soorten van krachten op elkander uit: aantrekkende en afstootende, die afhangen van den afstand waarop de deeltjes van elkander verwijderd zijn. De aantrekking werkt alleen op kleine afstanden op merkbare wijze. Komen echter twee moleculen in elkaars onmiddellijke nabijheid bij hunne beweging, dan gebeurt er iets dergelijks als bij de botsing van twee veerkrachtige lichamen: er ontstaat namelijk een afstootende kracht, die de deeltjes uit elkaar drijft.

In een vast lichaam zijn de moleculen zoozeer opeengehoopt, dat zij zich steeds in elkaars aantrekkingsfeer bevinden. Elk molecuul is bij zijne beweging onderworpen aan de werking der omringende moleculen, en blijft diensgevolge binnen enge grenzen heen en weer slingeren.

Stelt men zich nu voor, dat aan het lichaam warmte worde meegedeeld, dan vermeedert de beweging zijner moleculen, de slingerwijde wordt grooter, de gemiddelde afstand neemt toe, het lichaam zet zich uit. Bij toenemende verwarming ontstaat een toestand, waarbij een molecuul zich bij zijne beweging nu eens bevindt in de werkingssfeer van het eene molecuul, dan weer in die van het andere. Dan zal zulk een deeltje natuurlijk niet meer slingeren om een vasten even-

wichts-stand, maar zich in eene kromlijnige baan door de geheele massa heen bewegen.

Men kan wiskundig bewijzen, dat een voorwerp, hetwelk zich beweegt, indien het onderworpen is aan een aantrekkende kracht, eene kromme lijn moet doorloopen, welke afhangt van den aard der kracht en de richting zijner beweging. Alleen in zeer eenvoudige gevallen is het mogelijk om de gedaante der baan te berekenen; men is daartoe b.v. in staat bij de planeten, welke eene aantrekkende werking ondervinden, welker grootte omgekeerd evenredig is met de tweede macht van den afstand, zoodat wanneer deze twee maal grooter wordt de kracht viermaal kleiner wordt, enz. Maar in den toestand van een lichaam, waarbij een molecuul telkens door andere deeltjes wordt aangetrokken, maar waar men met den aard der kracht niet nauwkeurig bekend is, weet men alleen dat de gedaante der baan van dat molecuul zeer ingewikkeld moet zijn.

De toestand, waarin de moleculen aan geen vaste evenwichtstanden gebonden zijn, is de vloeibare.

Laat men de verwarming van het lichaam voortdurend vermeerderen, dan gaat het eindelijk van den vloeibaren in den gasvormigen toestand over.

CLAUSIUS nam aan, dat in een gas de gemiddelde afstand der moleculen zoo aanzienlijk is, dat deze buiten elkaars aantrekkingsfeer gebracht zijn. Het gevolg moet wezen, dat zij zich met gelijkmatige snelheid verplaatsen, tot dat zij tegen een vasten wand of tegen elkaar aanbotsen.

Zóó is het gesteld in een volkomen gas. Maar dit is een grensgeval. Evenals in de natuur overal geleidelijke overgangen voorkomen, is het ook hiermede. Er zijn een groot aantal lichamen waargenomen, die zich in een tusschentoestand van vloeistof en gas bevonden. Laat ons zien wat men te denken heeft van de moleculaire bewegingen in dergelijke gevallen.

Verbeelden wij ons twee moleculen, die ongeveer in gelijke richting elkaar tegemoet gaan. Blijven zij, elkaar passerende, op een merk-baren afstand, dan oefenen zij geene kracht op elkander uit, en bewegen zich volgens de oorspronkelijke rechte lijn verder. Strijken zij dichter langs elkaar heen, dan werkt een oogenblik de aantrekking, en zolang dit duurt is de baan kromlijnig. Ontmoeten zij elkaar, dan heeft er botsing plaats, en in het algemeen zullen dan de deeltjes in veranderde richting van elkaar vliegen. Bij een zeer verdund gas is de gemiddelde afstand van de moleculen zoo aanmerkelijk, dat zij slechts

zeer zelden in elkanders aantrekkingssfeer geraken. Het grootste deel der doorloopen banen is rechthoekig, door zeer kleine gebogen stukjes afgebroken; het aantal onderlinge botsingen is zeer gering.

Is de opeenhooping der gas-moleculen grooter, zoo als bij koolzuur, dan is een grooter gedeelte van den doorloopen weg kromlijvig. In een vloeistof is de dichtheid zoo toegenomen, dat het kromlijvig deel van de baan, die een deeltje aflegt, veel grooter is dan het rechthoekige, want bijna voortdurend is het aan eene aantrekkende kracht onderworpen. In deze omstandigheden is er geen moeilijkheid, om te beslissen, met welk soort van lichaam men te doen heeft. Het kan echter evengoed voorkomen, dat de toestand van het lichaam zoodanig is, dat een gedeelte der baan van zijne moleculen gebogen, een ongeveer even groot deel rechthoekig is, en dat men twifelen moet of men zulk een lichaam tot den vloeibaren of den gasvormigen staat moet brengen.

De overgang van een gas tot een vloeistof is dus volgens de theorie geene plotselinge, maar eene langzame, eene geleidelijke. Proeven hebben tot dezelfde uitkomst geleid.

Door de beroemde onderzoeken van ANDREWS is de continuïteit van gassen en vloeistoffen schitterend bewezen. Hij bracht verschillende stoffen, o. a. koolzuur, in sterke glazen buizen onder zeer hoogen druk, bij een zeer lage temperatuur, met het doel om ze van den gasvormigen in den vloeibaren toestand over te doen gaan. Neemt namelijk de uitwendige druk toe, dan vermindert de ruimte, die het gas beslaat; de gemiddelde afstand der deeltjes wordt kleiner. Verlaging van temperatuur doet de beweging afnemen en heeft een overeenkomstig resultaat. Beide werkingen moeten dus oogenschijnlijk, mits krachtig genoeg aangewend, een gas tot een vloeistof kunnen maken.

Bij koolzuur gelukt dit gemakkelijk; bij zuurstof, stikstof, waterstof niet. De waargenomen verschijnselen bij koolzuur waren zeer merkwaardig. Tot bij ongeveer 31° C. kon het koolzuur in de buis onder zulk eene drukking gebracht worden, dat het gedeeltelijk vloeibaar werd. De afscheiding tusschen gas en vloeistof was duidelijk zichtbaar.

Werd dan de drukking nog een weinig verhoogd, zoo verdween de afscheiding, en de buis was gevuld met een homogene vloeistof.

Verminderde men dan plotseling den druk weer een weinig, dan nam men bewegelijke strepen door de geheele massa waar, een bewijs, dat er weer dampvorming plaats had.

Toen ANDREWS dezelfde proeven herhaalde bij een temperatuur, die iets hooger was, kon hij zelfs bij eene drukking van 300—400 atmosferen geen spoor ontdekken van den overgang in een vloeistof. Analoge verschijnselen werden bij andere zelfstandigheden waargenomen. ANDREWS ontdekte, dat een gas boven een zekere temperatuur, van den aard der stof afhangende en door hem de kritische temperatuur genoemd, door geen drukking, hoe groot ook, vloeibaar kan worden gemaakt. De kritische temperatuur van zuurstof en waterstof is zeer laag; van daar, dat alle pogingen, om deze gassen vloeibaar te maken, mislukt zijn. Theoretisch heeft men van dit feit eerst in den laatsten tijd (zie de dissertatie van Dr. D. J. VAN DER WAALS), door de grootte der moleculen in rekening te brengen, eene verklaring gegeven.

Maar laat ons de proeven van ANDREWS omtrent koolzuur eenigszins nader beschouwen. Gesteld, dat een zekere hoeveelheid van dit gas bij 50° C. aan eene sterke drukking (ANDREWS wendde 150 atmosferen aan), onderworpen worde; de ruimte, door het gas ingenomen, wordt daarbij regelmatig kleiner. Laat men vervolgens bij deze drukking de temperatuur langzamerhand dalen tot beneden 35°, dan neemt men geen verandering hoegenaamd in den inhoud van de buis waar. Toch is bij dit proces het gas in een vloeistof veranderd, want bij plotselinge opheffing der drukking gaat het koolzuur koken. Verder nam ANDREWS waar, dat bij 35°,5 en eene drukking van 108 atmosferen niet uit te maken was, of het koolzuur zich in den vloeibaren of gasvormigen toestand bevond; het was dus in een overgangstoestand, zoo als zooeven beschreven werd.

Niet alleen wordt hetgeen bij deze hooge drukkingen plaats grijpt door de theorie volkomen verklaard, zoo als nu aangetoond is; maar ook de wet van BOYLE omtrent de samentrekking der gassen met hare afwijkingen kan uit haar worden afgeleid. Volgens die wet zal namelijk de ruimte, die eene zekere quantiteit van een gas bij eene bepaalde temperatuur beslaat, evenvele malen verminderen als de uitwendige drukking toeneemt.

Nauwkeurige proefnemingen, in later tijd genomen door den franschen natuurkundige REGNAULT, omtrent de samendrukbaarheid der gassen, hebben echter tot uitkomst gehad, dat de wet van BOYLE slechts eene benadering tot de waarheid is, dat er bij alle gassen afwijkingen zijn waar te nemen.

In het waterstofgas neemt bij vergrooting van het volume de druk-

king in sterker mate af, dan volgens BOYLE's wet moest geschieden; in andere gassen heeft juist eene afwijking in omgekeerden zin plaats.

De drukking, welke de wanden van een vat door een ingesloten gas ondervinden, wordt veroorzaakt door botsing der moleculen; zij wordt dus bepaald door de massa en snelheid der moleculen, en door het aantal, dat in een gegeven tijdsverloop de eenheid van oppervlakte treft.

Laat men den wand van het vat grooter worden, dan zal hetzelfde aantal deeltjes zich over een grooter oppervlak verspreiden, en dienvolge vermindert de druk, door het gas uitgeoefend. Blijven de snelheid der deeltjes en de weg, dien zij tusschen twee botsingen te doorloopen hebben, even groot, dan zal de drukking even veel malen verminderen, als de oppervlakte van den wand toeneemt. Dit zal bijv. het geval wezen in een door platte vlakken begrensde vat, welks diepte zeer gering is vergeleken met zijne lengte en breedte, en bij hetwelk men alleen de laatstgenoemde afmetingen laat veranderen.

Bij deze verklaring der wet van BOYLE zijn alleen de botsingen der moleculen tegen de wanden van het vat in aanmerking genomen, niet de onderlinge botsingen; de uitgebreidheid der moleculen werd dus verwaarloosd en ook hun onderlinge aantrekking buiten beschouwing gelaten; wij vonden daardoor eene benadering tot de waarheid, maar niet de volle waarheid.

Brengt men alleen de uitgebreidheid der moleculen in rekening, dan verkrijgt men een resultaat, dat overeenkomt met de afwijking, welke men bij de waterstof opmerkt. Brengt men de moleculaire aantrekking alleen in rekening, dan ontstaat daarentegen eene afwijking, welke met die der andere gassen overeenstemt. De eerstgenoemde omstandigheid heeft alzoo bij waterstof de overhand, terwijl de invloed der onderlinge aantrekking van de moleculen bij de andere gassen het overwicht heeft, hoewel natuurlijk steeds beide invloeden gelden.

Volgens de begrippen der warmte-theorie laat het zich, zooals wij gezien hebben, verklaren, dat bij toeneming der temperatuur een vloeibaar lichaam gasvormig wordt. Het is echter een bekend verschijnsel, dat deze overgang aan de oppervlakte eener vloeistof voortdurend plaats grijpt, m. a. w., dat er bij alle temperaturen verdamping wordt waargenomen. Het moet ook zoo wezen; dit zal onmiddellijk duidelijk worden, wanneer wij de beweging der vloeistof-moleculen in onze gedachte tot aan de oppervlakte volgen.

Zooals vermeld werd, gaat een molecuul met telkens veranderde

richting door de geheele massa heen; zoodra het uit de werkingsfeer van het ééne deeltje treedt, komt het in die van een ander terecht. Binnen de massa der vloeistof is een molecuul aan alle zijden door anderen omgeven, maar aan de oppervlakte niet. Komt dus een deeltje bij zijne beweging in de werkingsfeer van een der moleculen aan de oppervlakte-laag, en verkrijgt het daarin eene richting naar boven, dan komt het in dit bijzondere geval niet in de aantrekkingsfeer van een ander deeltje; het wordt vrij en beweegt zich ongehinderd langs een rechte lijn verder; het neemt dus dezelfde beweging aan, welke bij de gassen voorkomt.

Is de ruimte, welke de vloeistof begrenst, geheel door een vasten wand omsloten, dan vult zij zich langzamerhand met weggeslingerde deeltjes. Deze botsen tegen de wanden aan. Een dier wanden wordt door de vloeistof zelve gevormd, en deze zal in het algemeen door de aantrekking, welke hare moleculen uitoefenen, een deeltje, dat tegen haar aanbotst, in zich opnemen. De evenwichtstoestand zal zijn ingetreden, wanneer in hetzelfde tijdsverloop evenveel deeltjes door de vloeistof worden uitgezonden, als zij weder in zich opneemt. Dan noemt men den damp verzadigd.

De dichtheid van den verzadigten damp hangt natuurlijk af van het aantal deeltjes, dat in elke seconde wordt uitgestooten; en dit aantal vermeerdert met de snelheid der beweging, en dus met de temperatuur.

Wat men gewoonlijk temperatuur noemt, moet toch met de snelheid der moleculen in nauw verband staan. Want hoe grooter die snelheid is, des te grooter is ook het volumen, dat het lichaam inneemt, en juist dit volumen levert een maat voor de temperatuur op. Men zou zich echter vergissen, wanneer men meende, dat bij alle lichamen tusschen de verandering in temperatuur en die van de snelheid der deeltjes een *éenvoudig* verband bestaat. Bij vaste lichamen en vloeistoffen treden de moleculaire krachten, die de uitzetting tegenwerken, als storende oorzaken op, te meer, daar die krachten zelve op een nog niet bekende wijze bij verhooging van temperatuur afnemen. Alleen bij gassen, waar de deeltjes bijna geene krachten op elkaar uitoefenen, leert eene eenvoudige beschouwing het verband kennen, dat er bestaat tusschen de snelheid der deeltjes en de temperatuur. Men stelle zich een in graden verdeelde buis voor, gevuld met lucht, waarin een zuiger gebracht is, die goed sluit, gemakkelijk beweegbaar is en een zeer gering gewicht heeft. Dit werktuig is in grondbeginsel

een lucht-thermometer. Bij een bepaalde temperatuur zal de zuiger een bepaalden stand aannemen. Aan de eene zijde stooten voortdurend deeltjes der afgesloten luchtmasa tegen den zuiger aan, die hem naar boven trachten te bewegen. Hiertegen verzet zich de drukking der atmosfeer, en beide krachten maken evenwicht. Wordt de temperatuur hooger, dan beweegt zich de zuiger naar boven, en blijft weer op een bepaald punt staan. De afgesloten luchtmasa is in volumen toegenomen; de weg, dien de kleinste deeltjes tusschen twee botsingen tegen den zuiger af te leggen hebben, is dus grooter dan te voren; daarentegen is de snelheid dier deeltjes ook vermeerderd.

Gaat men nu de werking van den zuiger op de luchtdeeltjes meer in bijzonderheden na; dan leert men de betrekking kennen, die er bestaat tusschen de drukking, welke bij een bepaald volumen de verdere uitzetting belet, en de beweging van de genoemde deeltjes; en daar de uitzetting een maat is voor de temperatuur, vindt men dan tevens de wet volgens welke die grootheid afhangt van de beweging der moleculen.

Op die wijze kan men aantoonen, dat in een volkomen gas de temperatuurverhooging evenredig is met de verandering in *levende kracht* zijner moleculen. Levende kracht is een grootheid, die bij de studie der beweging telkens voorkomt. Het product van de massa van een molecuul en de tweede macht zijner snelheid (beide grootheden in een bepaalde éénheid uitgedrukt) is zijne levende kracht. Indien dus de snelheid van zulk een deeltje twee maal grooter wordt, dan zal zijn levende kracht vier malen grooter worden. Hebben twee deeltjes eene gelijke snelheid, maar is de massa of (wat hier op hetzelfde neerkomt) het gewicht van het ééne twee maal grooter dan dat van het andere, dan is zijn levende kracht ook twee maal grooter. Men heeft door deze afleiding aan een physisch begrip een mechanische beteekenis gegeven, en dus, zooals in den aanvang werd opgemerkt, eene bevredigende verklaring verkregen.

De juiste beteekenis van het begrip temperatuur bij vloeistoffen en vaste lichamen schuilt echter nog in het duister, zooals uit bovenstaande redeneering volgt.

Thans rijst van zelve de vraag: hoe groot is de snelheid der gasmoleculen, en wat is er bekend van hun gewicht?

Wat het eerste gedeelte dezer vraag betreft, merke men op, dat er geen reden is om te onderstellen, dat alle moleculen in een gas dezelfde snelheid hebben. De grootheid naar wier bedrag hier gevraagd

wordt is een gemiddelde snelheid, die voor alle moleculen samen dezelfde levende kracht zou geven als de werkelijke snelheden. Zij moet natuurlijk voor een gegeven temperatuur berekend worden. Dat dit kan geschieden is wel te begrijpen, uit de volgende redeneering.

In onzen lucht-thermometer bleef de zuiger bij zekere temperatuur ergens in de buis staan. De drukking, die zij van den dampkring ondervindt, kan gemeten worden. Die kracht is gelijk aan de uitzettende kracht van het gas, en deze hangt af van de massa, die onmiddellijk uit het gewicht is af te leiden, het volumen, dat ook bekend is, en de snelheid, welke als eenige onbekende overblijft. Voor het vriespunt en een drukking van 76 cM. heeft men de volgende waarden gevonden: bij zuurstof is de gemiddelde snelheid der moleculen 461 meter, voor stikstof 492 meter, voor waterstof 1844 meter in de seconde.

Die getallen zijn groot; zij geven aanleiding tot een schijnbaar gegronde bedenking, welke werkelijk tegen de theorie van CLAUSIUS gemaakt is, maar door hem schitterend werd weerlegd. Men zou uit die getallen allicht de gevolgtrekking maken, dat onderscheidene gassen, met elkaar in aanraking gebracht, zich zeer spoedig moeten vermengen. De waarnemingen weerspreken evenwel deze gevolgtrekking; indien b. v. chloorgas ontwikkeld wordt in het eene deel eener kamer, dan duurt het geruimen tijd voordat men het in het andere uiteinde van het vertrek ruikt; laat men een met koolzuur gevulde flesch openstaan, dan zal nog na vrij langen tijd eene kaars in die flesch worden uitgedoofd.

CLAUSIUS hielderde deze schijnbare tegenstrijdigheid op door het bewijs, dat een gasdeeltje zich slechts over een zeer kleinen afstand ongehinderd kan voortbewegen; zeer spoedig ontmoet het op zijn weg een ander molecuul, en daardoor verandert zijne richting. Wel is de weg, waarop de moleculen zich ongehinderd van elkaar verplaatsen, zeer groot met betrekking tot hun werkingsfeer; maar laatstgenoemde heeft zulke kleine afmetingen, dat iets, bij haar vergeleken, zeer groot kan zijn, doch klein ten opzichte van onze gewone maten.

CLAUSIUS heeft den gemiddelden weg berekend, dien een gasmolecuul heeft te doorloopen, voordat het met een ander in botsing komt, in de onderstelling, dat de ruimte, die de moleculen samen innemen, slechts het duizendste gedeelte bedraagt van het geheele volumen door het gas ingenomen; eene onderstelling, die volgens de eigenschappen der gassen binnen de grenzen der waarschijnlijkheid ligt.

De uitkomst der berekening was, dat de gemiddelde vrije weg zoo klein is, dat daardoor de langzame vermenging van gassen volkomen wordt verklaard. Men kan, om eene alledaagsche vergelijking te maken, de beweging van een gasdeeltje beschouwen evenals die van een persoon, welke, snel voortgaande, telkens een ander ontmoet, en dan zijwaarts moet gaan.

Later heeft men nog de tegenwerping tegen de meegedeelde theorie gemaakt, dat zij een groot warmte-geleidingsvermogen der gassen noodzakelijk zou maken, terwijl dit vermogen in der daad zeer gering is. Genoeg is het uit de dagelijksche ondervinding bekend, dat de eene stof veel sneller en beter de warmte geleidt dan de andere; een metalen staaf, aan het eene uiteinde in het vuur gehouden, wordt zeer spoedig aan het andere zóó warm, dat men haar los moet laten; een brandend stuk hout daarentegen kan men wel blijven vasthouden. Indien men eene hoeveelheid water zoodanig verhit, dat er geenestroomingen ontstaan, dus van boven, dan blijkt, dat het de warmte slechts zeer langzaam doet doordringen. Dat de dampkringslucht een slechte geleider is, blijkt bijv. uit de voordeelen, welke dubbele ramen aanbieden. Deze maken, dat men in een vertrek des zomers weinig last van de warmte heeft, en dat men 's winters minder van de koude heeft te lijden, niet door de beschutting van de glasruiten zelve, maar wel omdat de ingesloten luchtlaag slechts langzaam de warmte voortplant.

Wij zagen, dat warmte wordt voortgebracht door de beweging der moleculen. Indien nu in een stof de beweging snel wordt overgebracht van het eene molecuul op het andere, dan heeft zulk een stof een groot geleidingsvermogen voor de warmte.

Men kon oppervlakkig denken, dat, door al de onderlinge botsingen van de moleculen in een gas, de bewegingstoestand zich snel zou moeten voortplanten, evenals bij eene reeks van veerkrachtige kogels, die elkaar aanraken. Geeft men aan één van deze een stoot, dan plant de beweging zich zeer snel voort, hoewel elke kogel zich slechts onmerkbaar verplaatst.

Bij de onregelmatige bewegingen der gasdeeltjes is de zaak echter veel ingewikkelder. In eene uitvoerige verhandeling leidde CLAUSIUS de wetten der warmtegeleiding in een gas wiskundig uit de moleculaire beweging af. Hij vond o. a. dat dit vermogen niet afhangt van de drukking onder welke het gas staat. Dit werd ook gevonden door den engelschen natuurkundige CLERK MAXWELL. Beide geleerden

vonden overeenkomstig de ervaring een gering warmte-geleidingsvermogen. De wijze, waarop dit vermogen van de temperatuur afhangt, verschilt echter in hunne uitkomsten. Volgens CLAUSIUS is de afhankelijkheid dezelfde als die voor de snelheid van het geluid bij verschillende temperaturen; volgens MAXWELL groeit de warmtegeleiding evenredig met de temperatuur aan.

Talrijke proeven zijn door STEFAN, door KUNDT en WARBURG, en het laatst door WINKELMAN omtrent dit verschijnsel genomen. Laatstgenoemde vindt uitkomsten, die het best overeenbrengen zijn met die van MAXWELL.

Wat het absolute gewicht en de grootte der moleculen betreft, zoo heeft men het niet verder kunnen brengen dan tot schattingen, die althans eenigszins een denkbeeld kunnen geven van die grootheden.

De wet van AVOGADRO leert slechts de verhouding kennen van het moleculair gewicht der stoffen, die in den gasvormigen toestand kunnen gebracht worden. Volgens die wet toch bevatten gelijke volumina gassen bij dezelfde drukking en temperatuur evenveel moleculen; de verhouding van de gewichten dier hoeveelheden is dus tevens de verhouding van de gewichten hunner moleculen. Kende men nu het absolute gewicht bij een gas, dan volgde daaruit onmiddellijk dat van alle anderen. Wij zullen eenige dier schattingen meedeelen, die allen uit berekeningen volgen, te samengesteld om hier mee te deelen.

THOMPSON heeft berekend, dat in een kub. c.M. van een gas bij 0° en een drukking van 76 c.M. 10^{23} moleculen voorkomen, een getal dat nitgedrukt wordt door 1 gevolgd door 23 nullen.

MAXWELL heeft uit waarnemingen omtrent de wrijving en diffusie van gassen voor den gemiddelden vrijen weg, dien de gas-moleculen doorloopen voordat zij botsen, een waarde gevonden van $\frac{1}{16000000}$ meter. Voor den gemiddelden afstand der moleculen in een gas, heeft VAN DER WAALS de waarde van 0,0000025 millimeter verkregen. Een ander onderzoeker, STONEY, had langs een geheel anderen weg die waarde begroot op 0,000001 millimeter. De overeenkomst in beide schattingen is groot genoeg, om zich althans eenigszins een voorstelling van dien afstand te kunnen maken.

Zooeven werd gezegd, dat de kennis van de beweging in een gas zeer ver gevorderd is; maar die beweging is veel samengestelder, dan uit het tot nu toe meêgedeelde volgt. In de eerste plaats hebben de gasmoleculen eene rechte lijnige beweging; die namelijk, waarover

hier nitsluitend gesproken is, en die dan ook verreweg de voornaamste is bij de verschijnselen waarvan melding is gemaakt.

In de tweede plaats hebben de gasmoleculen draaiende bewegingen. Zelfs al hadden zij deze oorspronkelijk niet, dan zouden zij die door de onderlinge botsingen toch moeten verkrijgen. Even toch als een biljart-bal bij de verschillende stooten, waaraan hij is blootgesteld, behalve eene voortgaande beweging, draaiende bewegingen verkrijgt, zal dit ook bij moleculen het geval moeten zijn. Men heeft geen recht om in alle opzichten de werking van de moleculen op elkaar met den stoot van veerkrachtige lichamen gelijk te stellen, maar dat in beide omstandigheden op overeenkomstige wijze draaiende bewegingen ontstaan, is veilig aan te nemen.

Ten derde eindelijk moet men acht geven op de omstandigheid, dat een molecuul een samenstel is van verschillende atomen, aan welke men eigen bewegingen moet toeschrijven, met welker wetten men echter uit den aard der zaak slechts zeer weinig bekend is. Komen moleculen van verschillende stoffen in elkaars nabijheid, dan kan het gebeuren, dat de atomen van het eene molecuul die van het andere sterker aantrekken dan de atomen van elk molecuul onderling, en er zullen dan chemische verbindingen ontstaan; er komen nieuwe groepen van atomen als resultaat der onderlinge werkingen te voorschijn.

Men kan zich evenwel nog een andere oorzaak denken van ontleding der moleculen in hunne bestanddeelen. Het is namelijk bewezen, dat de geheele hoeveelheid warmte, in een gas voorhanden, niet kan gevonden worden uit de beweging der moleculen, maar dat een deel der warmte wordt voortgebracht door de beweging der atomen. Bij vermeerdering der warmte zal dan ook deze beweging toenemen.

Even als nu bij den overgang van eene vloeistof tot een gas door de warmte de onderlinge samenhang der moleculen wordt opgeheven, kunnen door dezelfde oorzaak de bestanddeelen van het molecuul buiten elkaars werkingsfeer worden gebracht. Men kan verder gaan en volhouden, dat, gelijk de verdamping een algemeen voorkomend verschijnsel is, ook door de warmte voortdurend ontledingen en verbindingen moeten plaats grijpen.

De vraag is, of men ooit heeft waargenomen, dat door de warmte alléén een stof in zijne bestanddeelen werd ontleed. Men moet hierbij niet denken aan het verbrandingsproces; daarbij is niet alleen de warmte, maar vooral de werking der zuurstof in de lucht oorzaak

der ontleding. De vraag kan echter bevestigend worden beantwoord. Het is b.v. een bekend verschijnsel, dat wanneer eene oplossing van chloor-ammonium (salmiak) gekookt wordt, eene merkbare hoeveelheid ammoniak vrij wordt, terwijl een daaraan beantwoordende hoeveelheid zoutzuur in de retort achterblijft.

Dit laatste bewijst, dat werkelijk de warmte alléén en niet vreemde stoffen, b.v. de kali-zouten, welke in het glas der retort zich kunnen bevinden, oorzaak der ontleding is. De hoeveelheid zout welke ontleed wordt, is onafhankelijk van de hoeveelheid water, waarin het opgelost is, maar is, in percenten uitgedrukt, bij een bepaalde temperatuur, een constante grootheid.

Niet alleen is de ontleding door warmte of dissociatie, gelijk men zulk eene ontleding noemt, bij het genoemde zout, maar ook bij vele andere verbindingen geconstateerd. Men heeft door proeven uitgemaakt, dat het verschijnsel zich niet slechts bij de kookhitte vertoont, maar ook bij lagere temperaturen, zelfs bij 0°, dat het verder in intensiteit met de temperatuur toeneemt.

Door CLAUSIUS is de hypothese, dat in een vloeistof voortdurend ontledingen en verbindingen plaats grijpen — eene hypothese, welke, zooals wij zagen door het verschijnsel der dissociatie gesteund wordt — toegepast om een inzicht te geven in een ander bekend verschijnsel, t. w. dat der elektrolyse. Het is namelijk eene bekende zaak, dat indien een elektrische stroom geleid wordt door water of door eene andere, samengestelde vloeistof, deze in het algemeen in hare bestanddeelen wordt gescheiden. De ontledingsproducten (bij het water de zuurstof en de waterstof) kunnen worden opgevangen op de plaatsen, waar de stroom in de vloeistof treedt en haar verlaat, maar ook nergens anders. Zonder in eene uitvoerige beschrijving te vervallen van de elektrolyse, een in vele gevallen zeer samengesteld verschijnsel, zullen wij alleen in het algemeen trachten op te helderen, wat er in de vloeistof bij het doorgaan van een stroom gebeurt. Men herinnere zich daarbij, dat men twee soorten van elektriciteit onderscheidt: positieve en negatieve, en dat twee lichamen met dezelfde soort geladen, elkaar afstooten, maar elkaar aantrekken indien de eene met positieve, de andere met negatieve elektriciteit is voorzien.

Nu is de grondslag van alle verklaringen der elektrolyse de hypothese, door GROTHIUS in 1805 uitgesproken, dat de bestanddeelen der moleculen van alle samengestelde stoffen elektrisch zijn. In elk molecuul

bevindt zich zoowel positieve als negatieve elektriciteit; wordt de stof ontleed, b. v. het water in waterstof en zuurstof, dan neemt men aan, dat het eene bestanddeel positief en het andere negatief elektrisch is. In een vloeistof hebben voortdurend ontledingen en verbindingen plaats; de vrijgeworden atomen zullen zich in willekeurige richtingen bewegen, totdat zij zich weer met andere atomen vereenigen. Wordt echter de vloeistof met de beide polen eener elektrische batterij in verbinding gebracht, dan werkt in de vloeistof een elektrische kracht, die de negatief-elektrische atomen in de eene richting, de positief geladene in de tegenovergestelde richting tracht te drijven. Bij de ontleding van het water door een galvanischen stroom bewegen de vrij geworden zuurstof-atomen zich in de richting naar de positieve pool der batterij; zij worden op hun weg gedurig tegengehouden door waterstof-atomen, waarmede zij zich verbinden; voortdurend bewegen zich echter weer zuurstof-atomen in dezelfde richting voort; op de plaats, waar de stroom in de vloeistof treedt (de positieve elektrode genoemd) zullen diensgevolge een aantal zuurstof-atomen vrij worden. De waterstof-atomen spoeden zich in tegenovergestelde richting voort, en komen na een aantal vereenigingen met zuurstof-deeltjes vrij aan de negatieve elektrode. Volgens deze verklaring van CLAUSIUS heeft de elektrische kracht hier alleen den invloed, om een bepaalde richting te geven aan een proces, dat ook zonder die kracht steeds plaats heeft. Beter dan alle andere theoriën verklaart zij het feit, dat zelfs de geringste stroom door een vloeistof kan voortgeleid worden.

Hoe aantrekkelijk het onderwerp ook wezen moge, de aard van dit opstel gedooft niet, om uitvoeriger uitteweiden over de theorie der moleculen en atomen en hunne bewegingen. Het meêgedeelde moge voldoende zijn om intezien, dat de wetenschap den chaos der bewegingen in een gas heeft ontleed en van den aard dier bewegingen in vloeistoffen en vaste lichamen een algemeen denkbeeld heeft gegeven. Bij laatstgenoemde lichamen zal op dit gebied nog veel in het duister gehuld blijven, zoolang men niet meer dan nu weet omtrent den aard der moleculaire krachten.