

# DE DRIE AGGREGATIE-TOESTANDEN

DOOR

Dr. E. VAN DER VEN.

(Vervolg van bladz. 194.)

---

## III

Keeren wij thans terug tot de beschouwing van hetgeen er plaats heeft, wanneer onder drukkingen gelijk aan, of kleiner dan die van éénen dampkring een vloeistof verdampt, dan valt het ons reeds dadelijk op, hoe, indien niet bij die verdamping warmte van buiten wordt aangevoerd, zij afkoelend werkt. Immers de dagelijksche ondervinding leert ons dit overtuigend. Doen thans de Maartsche buijen ons zoo onaangenaam aan, huiveren wij onder den invloed der noordewinden, zelfs al gaan die niet gepaard aan een zooveel lagere temperatuur van de lucht, dan kunnen wij dit alleen wijten aan de snellere verdamping, die zij aan de oppervlakte van ons lichaam te weeg brengen. Want de zich snel bewegende, uit het noorden komende en dus over het algemeen op lange na niet van waterdamp verzadigde lucht, vaagt van onze huid voortdurend de laag waterdamp weg, die, wel verzadigd, niet in staat is meer waterdamp bij hare temperatuur op te nemen. Zij versnelt de verdamping zoo doende en dat wij daardoor een gevoel van koude ondervinden is alleen een gevolg daarvan, dat de overgang van vocht in damp warmte eischt, die, nu niet van buiten aangevoerd, aan ons lichaam wordt onttrokken. En voelen wij ons in den zomer, als bij warm en vochtig weder de wind maar zachtkens uit het zuidwesten waait, loom en vermoeid, dan is dit het gevolg daarvan, dat wij onder volkomen omgekeerde omstandig-

heden verkeerem, dan de zoeeven beschrevene. De nu met waterdamp verzadigde lucht, slechts langzaam damp opnemende van eene met onze lichaams-temperatuur overeenkomende spanning, belet de transpiratie, doet ons klagen over drukkende warmte, al is ook de temperatuur van de lucht lager dan die, waaronder wij, bij helder weder en een uit het oosten waaïenden wind, ons volkomen »lekker» gevoelen.

Opmerkelijk laag zijn dan ook de temperaturen, die men door de op deze wijze vermelde verdamping van stoffen, vluchtiger dan water, van alcohol en zwavelaether bij voorbeeld, kan te weeg brengen. De verkoelende werking van de eerstgenoemde vloeistof ondervond zeker ieder onzer, als die in den vorm van eau de cologne — eene oplossing van aetherische oliën in slappen alcohol — ons verfrischte. En menig lijder had het aan het snel verdampen van aether te danken, als onder de handen van den dentist zijn leed minder duldeloos werd gemaakt, als het de zieke plek bijna tot gevoelloosheid afkoelde. Inderdaad kan men door het snel verdampen van deze zoo vluchtige stof een temperatuur te weeg brengen, die ver onder het vriespunt ligt. Plaatst men een schaalte van dun koper op een slecht geleidend voorwerp, bij voorbeeld op een houten plankje, en vult men het ten deele met aether, die men onder den invloed van een sterken luchtstroom, door middel van een blaasbalg bij voorbeeld, snel laat verdampen, dan doet de afkoeling het water bevrozen, dat men voor de proef tusschen het schaalte en het plankje heeft gebracht. In de thermometer, wiens bol is gedompeld in een glas met aether, kan men dan ook de kwik tot  $-10^{\circ}$  C. doen dalen, door een sterken luchtstroom te brengen door die vloeistof; daarbij wordt het glas van buiten bedekt met een ijskorst, afkomstig van den waterdamp, die bij den aanvang der proef op zijne oppervlakte gecondenseerd werd.

Water kan men, om dezelfde reden, onder den invloed van zijne eigene verdamping doen bevrozen; de snelle dampvorming onttrekt dan aan de vloeistof zooveel warmte, dat hare temperatuur beneden  $0^{\circ}$  C. daalt. Toch is het, om dit doel te bereiken, in het algemeen niet voldoende, als men, ter bevordering van die verdamping, alleen de lucht boven hare oppervlakte wegpompt. Deze toch wordt alsdan voortdurend vervangen door een atmosfeer van verzadigden waterdamp, die bij een temperatuur van  $0^{\circ}$  C. nog een spanning heeft van 4.6 mM. kwik; en daar, ten einde de verdamping snel genoeg te doen plaats hebben, de drukking ver beneden die spanning

moet blijven, is men niet in staat door middel van een luchtpomp alleen het bevrozen te voorschijn te roepen. Geconcentreerd zwavelzuur is echter een stof, die waterdamp gretig opneemt. Brengt men dus in de besloten ruimte, waaruit eerst de lucht en dan de waterdamp aanhoudend wordt weggepompt, eene hoeveelheid van dit zuur, die een groote oppervlakte heeft, dan werken beide middelen te zamen krachtig genoeg om het water in korten tijd te doen bevrozen. In een van de veelsoortige, door hem uitgedachte ijsmachines heeft carré deze methode van handelen in praktijk gebracht; met de kleinste soort van de daartoe door hem uitgedachte apparaten, kan men twaalf à zestien maal achtereen, zonder het zwavelzuur te vernieuwen, in een minuut of drie 400 gram water in ijs veranderen.

Maar al de temperatuursverlagingen, die op deze wijze zijn verkregen, zijn gering als men ze vergelijkt bij wat geschiedt, wanneer men gebruik maakt van de snelheid, waarmede, onder de gewone dampkrings-drukking, de door sterke drukking en lage temperatuur vloeibaar gemaakte gassen tot hunnen oorspronkelijken vorm terugkeeren. Wanneer men door vloeibaar zwaveligzuur een sterken luchtstroom brengt, dan kan men daardoor een temperatuurs-verlaging tot  $-55^{\circ}$  C. te weeg brengen,  $15^{\circ}$  lager dus dan de temperatuur, waarop kwik befrist. Het meest treffend voorbeeld echter van warmteverbruik bij den overgang van een vloeistof in den gasvorm levert het koolzuur. Laat men door een nauwe buis vloeibaar koolzuur uitstroomen uit het vat, waarin het, bij gewone kamertemperatuur onder een drukking van 50 à 60 atmosferen, is opgesloten, dan vormt het in den dampkring tredend een straal van nevel, die een kegelvormige gedaante heeft en ten deele uit vast, grootendeels evenwel uit gasvormig koolzuur bestaat. Dat vaste koolzuur heeft zich door de temperatuurs-verlaging, die bij het snel verdampen van het vloeibare ontstond, uit dit laatste gevormd; het vloeibaar koolzuur is onder dien invloed als het ware bevroren. Laat men het uitstroomen plaats hebben in een zakje van laken, dat het gasvormige koolzuur doorlaat en het vaste tegenhoudt, dan verzamelt zich dit daarin tot eene sneeuw witte massa, die zoo spoedig verdampt en daarbij zooveel warmte onttrekt aan de voorwerpen, waarmede het in aanraking komt, dat een vlokje daarvan, tusschen duim en vinger saamgedrukt, blaren doet ontstaan op de plaatsen waar het die aanraakte. De laagst mogelijke temperatuur kan men echter te weeg brengen, door vast koolzuur met aether tot een dikke brei te vermengen, waarbij het echter noodig is dat

men vooraf de aether zoo veel mogelijk afkoele, omdat er te veel van het koolzuur zou verdampen als het met aether van de gewone temperatuur in aanraking kwam. Laat men een sterken luchtstroom over dit mengsel strijken, dan wordt het afgekoeld tot  $-100^{\circ}$  C.; kwikzilver wordt zoo vast dat men het kan pletten, zelfs als men het in een tot gloeiens toe verwarmde platinakroes daarmede in aanraking brengt. Het was dan ook alleen door de verdamping van zwavelig-zuur en vloeibaar koolzuur, dat het aan PICTET gelukte stikstof, waterstof en zuurstof tot beneden hare kritische temperatuur af te koelen, in zoodanige hoeveelheid, dat hij daarvan het specifiek gewicht, ongeveer gelijk aan dat van water, kon bepalen.

Wij hebben ons lang bij de beschouwing van de verschillende middelen, waardoor zeer lage temperaturen kunnen worden voortgebracht, opgehouden; wij deden dit niet zoozeer omdat in de wetenschap en in de praktijk daarvan zoo veelvuldig gebruik wordt gemaakt, als wel omdat wij bij de meesten onzer lezers een volledig overzicht over deze middelen en een inzicht in den aard van hunne werking niet mochten onderstellen. Wat het laatste betreft merken wij reeds ter loops aan, dat de oorzaak der verkoeling in alle gevallen uitsluitend daarin moet gezocht worden, dat, even als dit bij den overgang uit den vasten in den vloeibaren toestand plaats had, ook die van den vloeibaren in den gasvormigen steeds met warmteverlies gepaard gaat. En is dit zoo, ook in die gevallen waarin de verdamping alleen aan de oppervlakte en bij lagere temperatuur plaats heeft, nog duidelijker komt het uit, wanneer dampvorming op alle punten eener vloeistof door temperatuurs-verhooging wordt te weeg gebracht.

Bij den overgang van een kilogram ijs van  $0^{\circ}$  in een kilogram water van diezelfde temperatuur, zagen wij eene aanzienlijke hoeveelheid warmte verdwijnen; dezelfde hoeveelheid als voldoende zou geweest zijn om  $79\frac{1}{4}$  kilogram water van  $0^{\circ}$  één graad in temperatuur te verhoogen. Veel grooter nog dan deze zoogenaamd latente smeltingswarmte, is de hoeveelheid warmte, die het omzetten van water van  $100^{\circ}$  C. in stoom van diezelfde temperatuur vordert. Zij bedraagt niet minder dan ruim 536 *caloriën*; m. a. w. 536.44 kilogram water van  $0^{\circ}$  zouden één graad in temperatuur verhoogd kunnen worden door dezelfde hoeveelheid warmte, die bij het verkoken van één kilogram schijnbaar verloren gaat, daar toch de gevoeligste thermometer, wiens bol gedurende het proces door den stoom omgeven is, standvastig een

temperatuur van 100° C. blijft aanwijzen. Analoog met hetgeen men ten opzichte van de smeltings-warmte had gedaan, gaf men aan de laatstgenoemde warmte den naam van latente verdampingswarmte.

Wat men met deze benaming bedoelde? De beschouwingen omtrent het wezen der warmte, die lang algemeen hebben gegolden, onderstelden dat warmte een stof was, een zeer ijle vloeistof, die in de ruimte tusschen de atomen der lichamen lag opgehoopt; »die zelfstandigheid», zooals Gmelin zegt, »wier treden in ons lichaam het gevoel van warmte, wiens uittreden het gevoel van koude te weeg brengt.» Vandaar dan ook dat men sprak van de verschillende warmte-*capaciteit* der lichamen. De hoeveelheid warmte, die noodig is, om de temperatuur van water tien graden te verhoogen, ruim dertig maal zoo groot zijnde als die, waardoor een zelfde gewichtshoeveelheid kwikzilver evenveel in temperatuur stijgt, zoo bezat de eerstgenoemde stof het vermogen, de warmtestof tusschen hare atomen op te hopen in eene in diezelfde verhouding hoogere mate dan de laatste. Die warmte had zich dan tusschen die atomen verborgen, zij was daar *latent* geworden. En zoo was het ook, wanneer door toevoer van warmte een vaste stof smolt, of een vloeistof in damp werd overgebracht, zonder dat gedurende die processen hunne temperatuur werd verhoogd. Men nam aan dat het onderscheid, bijvoorbeeld tusschen kokend water en stoom, alleen hierin bestond, dat de laatste een veel grootere hoeveelheid warmtestof bevat dan het eerste, zoodat stoom om zoo te zeggen een verbinding was van water met warmtestof. Nadat Black, wien men de benaming »latent» dankt, in 1754 ontdekt had, dat de bellen, die opstijgen als marmer met een zuur wordt overgoten, een stof bevatten — koolzuurgas — die op zich zelf de eigenschappen van de lucht heeft maar vastgelegd is, wanneer zij in vloeistoffen en vaste lichamen voorkomt — hij noemde dan ook het koolzuurgas: vaste lucht — gaf de schijnbare overeenkomst, tusschen gas in vrijen en vastgelegden toestand aan de eene, en voelbare en latente warmte aan de andere zijde, aanleiding tot het veld winnen van eene zuiver materiele beschouwing van de warmte. Daar de weegschaal hare tegenwoordigheid niet verraadde, onderscheidde men haar alleen door het epitheton »onweegbaar» van de vloeistoffen.

Het is er echter verre van af, dat alle natuuronderzoekers deze meening deelden. Cavendish, bij voorbeeld, verzette zich met hand en tand tegen Black's benaming »latente warmte». Voor hem werd, als stoom tot water werd gecondenseerd, er warmte geboren, niet:

vastgelegde warmte vrij gemaakt: »daar' ik geloof dat de onderstelling van sir ISAAC NEWTON, volgens welke de warmte bestaat in een inwendige beweging van de deeltjes der lichamen, de meest waarschijnlijke is, verkies ik de uitdrukking »warmte wordt geboren.”” Zoo ontstonden er tegen het einde der vorige eeuw twee partijen, waarvan de eene zich hield op het standpunt van BLACK, de andere door alle beschikbare middelen de zienswijze van LOCKE: »warmte is eene zeer snelle beweging van de onmerkbaar kleine deeltjes der lichamen: dus wat voor ons gevoel *warmte* is, is in de werkelijkheid niets dan *beweging*”, trachtte waar te maken.

De laatste smeedde hare beste wapenen uit alle gevallen, waarin door mechanische middelen: wrijving, samenpersing, enz. warmte ontstaat; aan hare zijde stonden mannen, als RUMFORD en DAVY. Trachtte de tegenpartij zich, ter verklaring van de temperatuurs-verhooging, die een zaag bij het zagen, een metaal bij het pletten ondergaat, zich te behelpen met onderstellingen als deze: dat het niet samengeperst metaal een grootere warmtecapaciteit heeft dan het samengeperste, omdat door het pletten de ruimte tusschen de atomen kleiner wordt, RUMFORD stelde tegenover deze fantasiën proefondervindelijk onderzoek. Toen bij het boren van een kanon, te München, na twee en een half uur arbeidens door de daarbij ontwikkelde wrijving 7 kilogram water van 15°.5 C. aan het koken werd gebracht, stelde hij de vraag: of men nu werkelijk meende dat al deze warmte en nog daarenboven die, waardoor de temperatuur van het kanon zelf en van het boorijzer aanzienlijk was verhoogd, zou zijn gedreven uit de poriën van de krullen en het stof, bij het boren voortgebracht. DAVY toonde kort daarop het onhoudbare van zoodanige onderstelling aan, toen hij door wrijving ijs deed smelten. De warmte-capaciteit van ijs toch is slechts half zoo groot als die van water; m. a. w. dezelfde hoeveelheid warmte, die een kilogram ijs tien graden in temperatuur doet toenemen, verhoogt die van een kilogram water slechts vijf graden. Wanneer dus ijs door wrijving in water wordt veranderd, zoodat er uit een stof, die weinig warmte bevat, eene wordt voortgebracht die dubbel zooveel warmte tusschen zijne atomen bergt, dan kan de warmte, die het ijs smelten deed, niet door de wrijving uit hare schuilhoeken in het ijs zijn verdreven.

Aan de theorie, die de warmte als een stof beschouwde, gaf DAVY door deze proef den genadeslag. Tegenover haar plaatste hij, daarbij uitgaande van de ervaring, door hem bij het voortbrengen van tem-

peratuurs-verhooging door mechanische middelen opgedaan, deze andere.

»Het *schijnt mogelijk* van alle warmteverschijnselen rekenschap te geven door te onderstellen, dat in vaste lichamen de deeltjes voortdurend in een toestand van trillende beweging verkeerden, waarbij dan die van een warmer lichaam zich met grootere snelheid en langs meer uitgestrekte banen bewegen dan die van een, dat kouder is; dat in vloeistoffen en veerkrachtige vloeistoffen, behalve deze trillende beweging, die men in de laatstgenoemden voor de grootste moet houden, de deeltjes rondom hunne eigene assen wentelen, die van de laatstgenoemden wederom het snelst. Men moet het zóó opvatten, dat de temperatuur van een lichaam afhangt van de snelheid der vibratiën, en hun toenemen in volumen daarvan, dat de deeltjes zich daarbij langs langere banen bewegen. *De vermindering van temperatuur gedurende den overgang van vaste lichamen in vloeistoffen en gassen kan dan daaruit worden verklaard, dat er, ten gevolge van de wentelende beweging der deeltjes om hunne assen, trillende beweging verloren gaat op het oogenblik, waarop het lichaam vloeibaar of gasvormig wordt; ook daaruit dat er vibratie-snelheid verloren gaat doordien de deeltjes zich in de ruimte gaan bewegen.*» DAVY toch vatte de aggregatie-toestanden op als de gevolgen van de werking van twee tegenstrijdige machten; ééne die haar elkander doet naderen, ééne die ze uit elkander drijft. De eerste is de resultante van de aantrekking door cohaesie, waardoor de deeltjes met elkander in aanraking komen, van de zwaartekracht, die ze noopt de omliggende massa's stof te naderen en van de drukking, die zij ondergaan van de zijde der op haar rustende lichamen. De tweede is het uitvloeisel van eene bijzondere draaiende en trillende beweging, die haar verder uit elkander tracht te drijven en die voortgebracht, of liever vergroot kan worden, door wrijving en samendrukking. De uitwerking der eerste noemde hij volkomen overeenkomstig met de algemeene aantrekkingskracht, die de groote massa's in het heelal op elkander uitoefenen, de tweede analoog aan de levendige kracht der hare banen doorlopende planeten.

Nemen wij kennis van deze weldra een eeuw oude beschouwing, dan valt het ons op hoe daarin, als in profetische woorden, wordt aangeduid, wat de onderzoekingen van de eerstvolgende drie kwart eeuwen zouden leeren.

Hooren wij MAXWELL in 1883. »Alle lichamen bestaan uit een eindig aantal deeltjes, die wij molekulen noemen en iedere molekule uit een bepaalde hoeveelheid stof, die voor elke molekule van dezelfde zelf-

standigheid dezelfde is. Deze molekulen zijn bij ieder lichaam in voortdurende beweging, die des te sneller is naarmate het lichaam warmer is. In de vaste lichamen verwijderd zich een molekule nooit meer dan op zeer kleinen afstand van hare oorspronkelijke plaats in het lichaam; het pad dat zij beschrijft is binnen zeer enge grenzen begrepen.

In de vloeistoffen daarentegen is de ruimte, waarin zich molekulen bewegen, niet zoo beperkt meer. Wel is waar kan een molekule over het algemeen slechts een kleinen weg afleggen of hare beweging wordt al belemmerd door de ontmoeting met eene andere molekule; maar als zulk eene ontmoeting heeft plaats gehad, dan is er niets wat de molekule zou nopen liever naar haar oude plaats terug te keeren, dan haren weg in andere deelen der stof voort te zetten. Vandaar dat in een vloeistof het pad eener molekule, niet, zooals in een vast lichaam, binnen enge grenzen beperkt is, maar voeren kan tot elk deel der ruimte, die de vloeistof inneemt.

Een gasvormig lichaam wordt ondersteld te bestaan uit een groot aantal molekulen, die zich met groote snelheid voortbewegen. Gedurende het grootste gedeelte van haren loop zijn deze molekulen niet aan eenige merkbare kracht onderworpen; daarom bewegen zij zich volgens rechte lijnen, met standvastige snelheid. Komen twee molekulen binnen een zekeren afstand van elkander, dan heeft er tusschen haar een wederkeerige werking plaats, die men kan vergelijken bij de botsing tusschen twee billard-ballen. De richting van beider beweging ondergaat dan verandering, beide gaan een ander pad volgen.

Was een molekule een mathematisch punt, dat alleen inertie en aantrekkende en afstootende kracht bezat, dan zou het eenige arbeidsvermogen, dat het zou kunnen bezitten, arbeidsvermogen van beweging van de molekule in haar geheel zijn. Maar indien zij een lichaam is, dat uitgebreidheid bezit, dan kunnen hare deeltjes ten opzichte van elkander draaiende en trillende bewegingen hebben, die onafhankelijk zijn van hare beweging als één geheel. Een gedeelte van het arbeidsvermogen van beweging van een molekule hangt dus af van de beweging harer deeltjes ten opzichte van elkander."

Zoo oppervlakkig beschouwd is het, alsof wij, in eenigszins andere bewoordingen, de oude theorie hoorden herhalen. Toch ligt er tusschen heden en toen deze afstand, dat op hetgeen door DAVY als een *mogelijkheid* werd vooropgesteld, door MAXWELL kan worden gewezen als op den grondslag waaruit, langs wiskundigen weg, de een gas kenmerkende wetten van BOYLE en GAY-LUSSAC zijn afgeleid. Eene enkele

uitdrukking; die wij nieuw aantreffen in de theorie zooals haar MAXWELL schetst, het woord = *arbeidsvermogen*, karakteriseert dezen afstand; het begrip, dat in dat woord ligt opgesloten, maakte het mogelijk tot een grond van berekening te maken, wat een eeuwig geleden, als in nevelen gehuld, den uitnemendsten onder de natuurkundigen voor den geest zweefde.

Wanneer de geweerkogel de lucht doorklieft, dan heeft zij een zeker *arbeidsvermogen* door die beweging; een benaming, die goed is gekozen. Want evenals het heiblok, dat, met groote snelheid nederdalende op den kop van een paal, den arbeid kan verrichten, die tot het dieper doen inzinken van dien paal vereischt wordt, zal de kogel, tegen een beweegbaar voorwerp stuitend, dat kunnen verplaatsen. In beide gevallen wordt er arbeid vereischt ten koste van het nu verdwenen arbeidsvermogen. Maar als de kogel de zware ijzeren schijf treft en, zonder die merkbaar te hebben doen wijken, afgeplat in het zand valt, waar is dan het vernietigd arbeidsvermogen gebleven? Wie dien afgeplattten kogel dadelijk aanraakt zal bemerken, dat die sterk verwarmd is, en, van dat bijzondere geval overgaande tot wat in het algemeen in analoge gevallen de ondervinding hem leerde, zal hij besluiten, dat in al die gevallen warmte is ontstaan als arbeidsvermogen door beweging te loor ging. Te bepalen op welke wijze het bedrag van dit arbeidsvermogen afhing van de snelheid en de massa van het zich bewegend lichaam was, om tot een juist inzicht te komen van hetgeen er bij die omzetting van arbeidsvermogen in warmte plaats had, even noodig, als te weten, of met een bepaald verlies van arbeidsvermogen een bepaalde winst aan warmte steeds gepaard ging. Het bevestigend antwoord op deze vraag dankte de wetenschap bijna geheel aan de jaren lang voortgezette onderzoekingen van JOULE; zijne bepaling van wat men het mechanisch aequivalent van de warmte noemt schonk vruchtbaarheid aan hypothesen, als de boven aangehaalde van DAVY. Waar het arbeidsvermogen van het lichaam als een geheel verdween, daar trad daarvoor een vermeerderd arbeidsvermogen der molekulen in de plaats, dat op onze gevoelszenuwen de uitwerking te weeg brengt, waaraan men gewoon is den naam warmte te geven; en aan wiskundigen als een JAMES THOMSON, een MAXWELL, een CLAUSIUS, stond het nu, uit de, in hare bijzonderheden scherper omschrevene, moleculaire theorie de verschijnselen afte leiden, die zich voordoen, als aan de lichamen in hunne verschillende aggregatie-toestanden warmte wordt toegevoerd. Voor de gasvormige, die, door hunne over-

eenkomst met een groot aantal zich door elkander bewegende kleine lichamen, meest onder het bereik der wiskundige berekening vallen, slaagde men hierin het eerst; en ook de vloeistoffen zijn binnen dezen kring getrokken, sedert aan datgene, wat de ondervinding leerde omtrent de continuïteit tusschen den gasvormigen en den vloeibaren toestand, door VAN DER WAALS een theoretische grondslag werd gegeven.

Wat uit haar volgt omtrent hetgeen er geschiedt, als er warmte verloren gaat wanneer wij een stof uit den eenen aggregatie-toestand in den anderen zien overgaan, ligt nu vrij wel voor de hand. Dat verlies is slechts schijnbaar; de warmte, die volgens de oude zeggwijze zich verschool tusschen de atomen, heeft slechts een andere gedaante aangenomen. Zij is omgezet in arbeidsvermogen, maar grootendeels van een anderen vorm dan dat, hetwelk wij boven omschreven. Dat namelijk een lichaam zoodanig vermogen niet alleen bezit, wanneer het in beweging is, zal duidelijk worden als men er aan denkt, dat in het heiblok, als het omhoog is gheschen, alle arbeidsvermogen, dat het bij het neervallen krijgt, als het ware is opgehoopt. Aan dit vermogen, dat het alleen daardoor toekomt, dat het boven de aantrekkende aarde zoo hoog is opgeheven, geeft men daarom den naam van arbeidsvermogen door plaats. Is het blok op den kop van den paal neêrgefallen, dan is al het arbeidsvermogen door plaats, dat bij den val in arbeidsvermogen door beweging werd omgezet, verdwenen; alleen door arbeid aantewenden, die het blok op zijn verheven plaats terugbrengt, kunnen de werklieden daaraan dat arbeidsvermogen teruggeven.

Op deze wijze dus moet men zich den gang der zaken voorstellen, wanneer door gestadige verwarming een vast lichaam eerst in den vloeibaren, daarna in den gasvormigen toestand wordt overgebracht. In den aanvang wordt de aangewende warmte, die hier de rol vervult van de werklieden uit ons voorbeeld, gedeeltelijk omgezet in arbeidsvermogen van plaats; de molekulen worden tegen de werking hunner onderlinge aantrekking in, van elkander verwijderd, zoodat het lichaam zich uitzet. Een ander deel echter wordt omgezet in arbeidsvermogen van beweging; de verder van elkander verwijderde molekulen, gaan ten opzichte van elkander met grootere snelheid trillen en veroorzaken de temperatuurs-verhooging. Nog een ander deel verricht uitwendigen arbeid, daar het dient om het lichaam, tegen de drukking van den dampkring in, zich te doen uitzetten. Dit gaat zoo voort, totdat het begint te smelten; van dat oogenblik af aan wordt, zoo lang niet alle stof gesmolten is, alle aangewende warmte

onmiddellijk in arbeidsvermogen van plaats omgezet. De onderlinge aantrekking der molekulen is dan in zooverre overwonnen, dat deze zich ten opzichte van elkander gaan bewegen; de veeren, die, als ik het zoo noemen mag, de verschillende atomen met elkander verbinden, worden meer gespannen, het heiblok wordt, om met ons voorbeeld te spreken, hooger opgeheschen. Wordt, zooals in onze proef met de in zijn kristalwater gesmoltene onderzwaveligzure natron, de vloeistof plotseling weder vast, vallen de uit elkander gedreven molekulen weder samen, dan treedt alle aangewende warmte als zoodanig te voorschijn; zoo krijgt men ook alle tot het ophijschen van het heiblok aangewende arbeid terug in den vorm, die de punt van den paal een eindweegs kan doen indringen in den weerstand biedenden bodem. En gedurende dit gansche proces verandert de vibratie-snelheid der molekulen niet; de temperatuur blijft standvastig. Maar aan het gesmolten lichaam wordt nog meer warmte verbruikt. Nu gaat aanvankelijk wederom bijna alles, als toen het in vasten toestand werd verwarmd; de regelmatige uitzetting wijst er weder op, dat de warmte wordt besteed, ten deele aan het vermeerderen van het arbeidsvermogen door plaats der molekulen, ten deele aan het verrichten van uitwendigen arbeid, de temperatuurs-verhooging dat er ook een deel in arbeidsvermogen door beweging wordt omgezet. *Bijna* alles, want een gedeelte van de warmte zal nu ook de vorming van damp aan de vrije oppervlakte hebben te bekostigen. Onderstellen wij dat de verwarming geschiedt onder normale omstandigheden, dus onder de drukking van éénen dampkring. Dat dan bij voortgezette verwarming de verdamping voortdurend in snelheid toeneemt, toont aan, dat hoe langer zoo meer het arbeidsvermogen van beweging der met grootere snelheid uit elkander gedreven molekulen in staat wordt de gezamenlijke werking van dampkringsdrukking en moleculaire attractie te overwinnen; vele der aan de oppervlakte grenzende, die het snelst zich bewegen in een richting loodrecht of bijna loodrecht op de vloeistof, ontsnappen daarbij aan deze attractie geheel: zij verdampen.

Ten laatste bereikt de vloeistof haar kookpunt; het oogenblik is nu gekomen, waarop de snelheid van alle molekulen zóó groot wordt, dat in geen punt, in de meest verwarmde het minst, de onderlinge aantrekking en de dampkringsdrukking te zamen in staat zijn haar bijeen te houden. En het arbeidsvermogen dat vereischt wordt haar met zóó groote snelheid, zóó ver van elkander te verwijderen, tegen de werking der moleculaire aantrekking en de dampkrings-

drukking in, is zóó groot, dat daaraan dat van al de aangevoerde warmte besteed wordt. Had het koken plaats gehad in een cilinder, waarin een zuiger, wiens gewicht verwaarloosd mocht worden en wiens wanden van de warmte niets opnamen noch doorlieten, zich zonder wrijving opwaarts kon bewegen, dan zou, bij de verdichting van den daarin bevatten stoom, weder zooveel warmte vrij worden, als tot het uiteendrijven der molekulen was besteed geworden. Het arbeidsvermogen van plaats der wijd uit elkander gedreven molekulen zou dan weder omgezet worden in den vorm, die men warmte noemt; alleen van die warmte, die gediend had om, tegen de drukking van den dampkring in, den zuiger een eind weegs om hoog te brengen, zou het blijken dat zij verloren was gegaan of liever omgezet in den arbeid, die bij dat opheffen verricht is.

Haarlem, 23 Maart 1891.

---