

DE ONTWIKKELING DER MECHANISCHE WARMTETHEORIE

EN

HAAR INVLOED OP DE BESCHOUWING DER NATUUR.

DOOR

F. M. J A E G E R.

Ten onrechte hoort men nog vaak door menigeen beweren dat de denkbeelden en theorieën, die tegenwoordig over de natuur en de natuurverschijnselen worden verkondigd, geheel en al de vruchten zijn van den geest en van de richting van onzen tijd. Men mag met de hedendaagsche beschouwingen al of niet ingenomen zijn, gewoonlijk zijn de meeste menschen van oordeel: "in vroegeren tijd dacht men heel anders over de dingen."

Daar ik mij nu voornam om in dit opstel een overzicht te geven van de ontwikkeling eener natuurkundige theorie, en ook de waarde te bespreken die zij voor ons kan hebben, zoo achtte ik het niet ten onpas, in de eerste plaats er op te wijzen, dat men in 't algemeen zeer verkeerd doet, ook met betrekking tot de hedendaagsche opvatting van de natuurwerkingen, op deze wijze te zondigen tegen de bekende spreuk van SALOMO: "niets nieuws geschiedt er onder de zon." De meeste natuurwetenschappelijke theorieën toch, die tegenwoordig bij den ontwikkelden mensch meer en meer ingang vinden, zijn in haar beginsel alles behalve nieuw.

Zoo bij voorbeeld wordt de afstammingsleer, het Darwinisme, door velen meestal beschouwd als uitsluitend het geestesproduct te zijn van onze eeuw, en enkelen verkondigen dan soms met veel ophef dat zij de *nieuwe* leer zijn toegedaan. En toch laat de nieuwhed van deze leer zich ver zoeken. Reeds in 450 v. Chr. leerde EMPEDOCLES dat de aarde en het organische rijk zich langzamerhand hadden ontwikkeld, en dat allengs uit lagere levensvormen de hoogere waren ontstaan. Reeds voor meer dan 24 eeuwen kende de Grieksche wijsgeer XENOPHANES van Colophon enkele fossielen, en toonde hij aan, dat zij overblijfselen waren van vroeger levende schepselen; ook besloot hij uit de aanwezigheid van zeeschelpen op enkele bergen, uit de afdrukselen van vischen in de steengroeven van Smyrna en Syracuse, dat die streken eenmaal door het zeewater waren bedekt geweest.

Zou het dan niet beter zijn zich voor te stellen dat de ontwikkelings-theorie in haar beginsel dagteekent van het oogenblik, waarop de mensch, met gezond verstand begaafd, nog door geen vooroordeelen of dogmen in het vrije denken belemmerd, begon na te denken over hetgeen hij in de natuur opmerkte? Het begrip van de gestadige ontwikkeling in de natuur moge in onze dagen wijder uitgebreid en door nauwkeurige onderzoekingen meer bevestigd en bewaarheid zijn geworden — maar het mag daarom niet nieuw worden genoemd; men hebbe het veeleer te beschouwen als het kind van het waarnemingsvermogen en van de gezonde rede van den denkenden mensch, dat door bepaalde omstandigheden eerst in onzen tijd tot meerderen wasdom kon geraken en zich in de toekomst eenmaal in al de grootheid en kracht van een reuzengestalte zal kunnen ontwikkelen.

Wat wij ten opzichte van de ontwikkelingstheorie kunnen opmerken, datzelfde geldt voor de voornaamste, thans algemeen aangenomen natuurbegrippen. Wanneer wij ons nu de lichamen voorstellen als bestaande uit moleculen, door kleine tusschenruimten van elkaar gescheiden; als wij ons die kleine, onzichtbare deeltjes steeds in snelle beweging denken; wanneer wij doordrongen zijn van de waarheid dat geen beweging, van welken aard ook, kan verminderen of ophouden zonder dat daarvoor een andere werking in de plaats treedt, — dan vinden wij al die begrippen, die den grondslag uitmaken van onze hedendaagsche natuurkennis, reeds verkondigd in overoude tijden door LEUCIPPUS, DEMOCRITUS, EPICURUS. Toch moest bij de Grieken het licht, door enkele heldere denkers ontstoken, verflauwen en nagenoeg uit-

dooven; de zucht om dingen te verklaren die buiten het waarnemingsvermogen van den mensch liggen, de zoogenaamde *boven-natuurkunde* of *meta-physica*, de bespiegelende wijsbegeerte, en de algemeene beoefening en de hooge opvoering der schoone kunsten, stonden bij de Grieken aan de natuurstudie steeds in den weg; ook was de methode volgens welke die studie alleen tot juiste resultaten kan leiden, nog niet aangegeven.

In lateren tijd was de invoering van het Christendom aanvankelijk evenmin bevorderlijk voor de beoefening der natuurwetenschap. Door overdreven denkbeelden geleid, beschouwden de menschen het aardse leven van te weinig belang om er bij voorkeur hunne gedachten aan te wijden, verdiepten zich in allerlei beschouwingen over het onbegrijpelijke en zagen daardoor voorbij wat binnen den kring van hun waarnemingsvermogen lag. "Stof was slechts een hinderpaal, gesteld aan de geestelijke en hoogere natuur van den mensch." Door allerlei dogmen, verkeerde uitleggingen van de beginselen der Christelijke leer, werd de menschelijke geest in ketenen geslagen. De Aristoteliaansche begrippen werden krampachtig vastgehouden en oefenden een onbeperkt gezag uit over de filosofie. Mochten ook al, voornamelijk door de kruistochten, de wetenschappen, die in het Oosten werden beoefend: de mathesis, de astronomie, de geneeskunde, tot de volken van het westen zijn doorgedrongen — toch moest eerst de kerkhervorming de vrijheid van denken, de beoefening der klassieke studiën weer in 't leven roepen, en moesten de denkbeelden van COPERNICUS, de betoogen van KEPLER een nieuw licht over de wetenschap en de filosofie verspreiden, voordat de weg tot vrije beoefening der natuurwetenschap werd opgesteld.

Niet zonder hevigen strijd en zonder bloedige offers weken de spookachtige voorstellingen der middeleeuwen voor het licht der wetenschap. Moest ook een GALILEI de smadelijkste vernederingen ondergaan, een GIORDANO BRUNO een martelaar worden voor de wetenschap, de krachtige stroom der vrije ontwikkeling was ten slotte toch niet te stuiten. In de 16^e eeuw wijst BACO VAN VERULAM den juisten weg aan, langs welchen de beoefening der natuurwetenschap alleen tot vruchtbare uitkomsten kan leiden. Het Baconisme vindt zoowel in als buiten Engeland zijne aanhangers; door den invloed van HOBBS, een volgeling van BACO, wordt de beoefening der natuurwetenschappen onder de regeering van KAREL II zelfs een modezaak. In de 17^e eeuw breidt GAZZENDI de atoom-

theorie van DEMOCRITUS en EPICURUS verder uit; ook worden de tot nu toe gebrekkige hulpmiddelen en werktuigen allengs verbeterd; de arbeid van groote denkers wordt vereenigd met die van uitstekende experimentatoren, en in de 18e en 19e eeuw wordt een tal van hypothesen geplaatst in den rang van theorieën.

Mochten dan ook eerst in onzen tijd verschillende natuurkundige waarheden aan 't licht gebracht en onomstootelijk bevestigd zijn, men vergete niet dat vele van die waarheden reeds in overoude tijden zijn uitgesproken, doordat menig helder denker reeds, om zoo te spreken, een voor gevoel had van 't geen hij niet direkt kon bewijzen. Ook de dichterlijke phantasie heeft haar aandeel in de natuurkundige wetenschap; zij kan het oog van den wetenschappelijken onderzoeker op menig punt richten, dat hem wellicht verborgen zou zijn gebleven, en op deze wijze medewerken tot het vinden der waarheid¹. Het denkbeeld van gemis aan overeenstemming, aan verband, aan éénheid, kan noch de dichter, noch de natuurbeoefenaar verdragen, en beiden streven zij, ieder op hunne wijze, om het tegenovergestelde daarvoor in de plaats te stellen. Ook valt het gemakkelijk te begrijpen dat de dichterlijke phantasie en de uitkomsten der natuurwetenschappelijke onderzoekingen dikwijls in overeenstemming moeten zijn, wanneer men overtuigd is dat bijna elke natuurkundige waarheid een onmiskkenbaar gehalte aan poëtische waarde bevat.

Zoo heeft de hypothese van COPERNICUS haar aanzijn grootendeels te danken aan de dichterlijke beschouwingen van een oud Grieksch wijsgeer. COPERNICUS bekent zelf in zijne beroemde verhandeling over de omwenteling der hemellichamen, dat hij op het denkbeeld van de beweging der aarde om de zon niet direkt door waarneming of analyse gebracht is, maar wel door het gevoel van gebrek aan symmetrie in het stelsel van PTOLEMAEUS. De gedachte tot de omverwerping van het stelsel van PTOLEMAEUS werd COPERNICUS het eerst ingegeven door PHILOLAOS, een leerling van PYTHAGORAS. Deze wijsgeer beschouwde symmetrie en eenvoud als onafscheidelijk en als 't eigenlijke karakter van de natuur. Het spreekt nu van zelf dat voor PHILOLAOS de beweging der aarde slechts een bloot vermoeden was. Ofschoon dan ook de waarneming van het verschijnsel der aberratie in 1728 eerst het grondige

¹ Zie "Wetenschap en Geloof", door Prof. P. HARTING.

bewijs voor de waarheid van het Copernicaansche stelsel moest leveren, mogen wij toch het groote aandeel, dat de dichterlijke beschouwing aan deze theorie had, geenszins over 't hoofd zien.

Ik meende 't een en ander, wat ik in bovenstaande regelen meedeelde, te moeten laten voorafgaan, om aan te toonen dat de meeste natuurkundige theorieën niet geheel als de vruchten zijn te beschouwen van de nauwgezette waarnemingen en juiste berekeningen van de natuurkundigen van den laatsten tijd, maar dat inderdaad een meer verheven karakter en tegelijkertijd een meer eenvoudig en natuurlijk beginsel daaraan ten grondslag liggen. Dat de oorspronkelijke denkbeelden over de natuurwerkingen zich niet geleidelijk konden ontwikkelen, is alleen te wijten aan de tijdsomstandigheden; de geschiedenis bewijst dit volkomen. Menige thans eerst algemeen erkende waarheid vinden wij reeds, al is 't dan ook niet altijd volledig, in overouden tijd door diegenen verkondigd, die zich verdiepten in de beschouwing der natuur en aan hunne phantasie den vrijen teugel vierden. Want het streven van den met gezond verstand begaafden mensch is en was steeds: *te willen begrijpen*. De zucht om de oorzaak en het verband der verschijnselen te willen verklaren is niet alleen een karaktertrek van onze eeuw, maar zij heeft ten allen tijde bestaan. Dat verlangen om den zoekenden geest te bevredigen, is echter voor een tijdlang onderdrukt geworden; het voor altijd te onderdrukken was niet mogelijk, want waar het kunstmatige en het gedwongene in strijd zijn met het natuurlijke, moet het laatste toch eindelijk de overwinning behalen. De schoonste uitkomsten, de belangrijkste ontdekkingen, de verhevenste beschouwingen zijn inderdaad de schatten te noemen, die ten slotte door den aanhoudenden arbeid van den menschelijken geest uit de duisternis zijn te voorschijn gehaald, en onder die kostbaarheden prijkt, als een schitterende diamant, de mechanische warmte-theorie.

Door de mechanische warmte-theorie wordt in de eerste plaats het wezen der warmte verklaard. De lezer vatte het woord *warmte* hier in den juisten zin op. Dit woord wordt toch gewoonlijk in tweeërlei beteekenis gebruikt, en wel 1^e om datgene aan te duiden wat wij verstaan door *temperatuur*, en 2^e in den zin van *stralende warmte*. Om de beteekenis van het woord temperatuur duidelijk te maken; kunnen wij ons voorstellen dat twee verschillende lichamen met elkaar in aanra-

king worden gebracht; indien dan geen overgang van warmte van 't eene lichaam op het andere plaats heeft, zegt men dat zij beiden dezelfde temperatuur hebben; staat echter het eerste lichaam warmte af aan het tweede, dan zegt men dat het laatste lichaam een lagere temperatuur heeft dan het eerste. — Wanneer daarentegen lichamen, die verschillende temperatuur bezitten, niet met elkaar in aanraking zijn, en zelfs niet door gasvormige stoffen met elkaar in verband staan, zooals bijv. in het luchtledige plaats heeft, dan zal de warmte van het warmere lichaam met aanmerkelijke snelheid naar het koudere overgaan, en dezen overgang noemt men warmte-straling of stralende warmte. Deze laatste verschijnselen, die in 't nauwste verband staan met de lichtverschijnselen, zullen hier niet het onderwerp van de verdere beschouwingen uitmaken. Het woord warmte zal dus hier verder alleen moeten worden opgevat in den zin van temperatuur, en wordt dan ook tevens gebruikt om de eigenaardige gewaarwording aan te duiden die bijv. de aanraking van een of ander verwarmd voorwerp ons verschaft. Reeds bij eenig nadenken beseft men het groot verschil, dat tusschen onze subjectieve gewaarwordingen en de werkingen, waardoor die gewaarwordingen worden opgewekt, bestaat. Het begrip van het verschil tusschen het subjectieve en het objectieve vinden wij ook alweer bij de Grieken duidelijk terug; want DEMOCRITUS sprak reeds de voor zijn tijd zoo stoute meening uit, dat het gansche heelal bestond uit een oneindig aantal in snelle beweging zijnde atomen, en dat de klanken, de geuren, de kleuren enz. slechts subjectieve indrukken zijn, welke door die bewegingen worden opgewekt.

Ook ARISTOTELES leerde de geluidsgewaarwording onderscheiden van de werking, die deze gewaarwording voortbrengt, namelijk van de trillende beweging der lichamen. Zooals dan reeds voor eeuwen de gemakkelijk waarneembare oorzaak van het geluid was verklaard, moest de vraag: wat is licht, wat is warmte? nog tot in latere eeuwen op hare beantwoording wachten. Men denke dan ook niet te licht van de bezwaren, die aan een juiste verklaring van deze verschijnselen verbonden zijn; NEWTON trachtte in de 17e eeuw een verklaring te geven van het licht, dat volgens zijne meening bestaan zou uit fijne stoffdeeltjes, door het lichtgevend lichaam uitgezonden — maar zijne verklaring bleek later onjuist te zijn, en aan onzen grooten HUYGENS was 't gegeven NEWTON's emissie-hypothese te vervangen door de undulatie-theorie, die nog in onzen tijd door de ontdekkingen en proefnemingen

van FOUCAULT, FRESNEL en andere groote natuurkundigen gebleken is boven alle bedenking verheven te zijn.

Zooals men dan eertijds op twee verschillende wijzen de oorzaak van het licht trachtte te verklaren, namelijk door het licht te beschouwen, 1^e als stof, en 2^e als een toestand van de stof, als beweging — zoo bestonden ook nog in onze eeuw twee dergelijke verschillende meeningen omtrent het wezen der warmte. Sommigen verklaarden de warmte als een stof, welke verklaringswijze men de *materieele* theorie noemt; anderen daarentegen beschouwden de warmte als een bewegingstoestand der stof, en waren dus voorstanders van de *dynamische* of *mechanische* theorie. De aanhangers der materieele theorie namen aan, dat een lichaam bij het warmer worden een zekere hoeveelheid warmtestof in zich opnam, welke stof bij het bekoelen weer werd afgestaan; natuurlijk werd die stof niet alleen als onzichtbaar, maar ook als onweegbaar beschouwd, want het was een bekend feit dat een lichaam even zwaar blijft, als het van lager tot hooger temperatuur verhit wordt. Daar verder bekend was, dat, wanneer een lichaam sterk wordt samengedrukt, daarbij warmte ontwikkeld wordt, zoo werd dit op deze wijze verklaard dat de warmtestof, die het lichaam oorspronkelijk in zijne poriën verborg, nu in de tengevolge van de samendrukking kleiner geworden poriën niet meer kon bewaard blijven, maar genoodzaakt was gedeeltelijk te voorschijn te komen.

Men gevoelt reeds dadelijk al 't gedwongene dat in een dergelijke verklaring is gelegen; zij doet ons onwillekeurig denken aan de oude phlogiston-theorie, die de aanwezigheid van een brandbare vloeistof veronderstelde, waardoor men alle verbrandingsverschijnselen trachtte te verklaren, totdat eindelijk LAVOISIER voor goed een einde maakte aan deze onhoudbare begrippen, en het wezen van het verbrandingsproces grondig en duidelijk verklaarde.

Het denkbeeld dat warmte beweging zou zijn, mag waarschijnlijk wat meer nadenken en minder oppervlakkigheid vereischen dan de materieele beschouwing, toch vindt men er de gedwongenheid van de materieele theorie niet in terug; integendeel, de mechanische theorie draagt reeds bij de eerste kennismaking den stempel van een natuurlijk karakter. Vandaar dan ook dat deze beschouwing reeds bij enkele natuurphilosofen van vroegeren tijd wordt aangetroffen. Zoo vinden wij door den reeds bovengenoemden BACO VAN VERULAM een duidelijke meening omtrent het wezen der warmte uitgesproken. In zijn bekend werk:

Novum organum scientiarum, dat in 1620 te Londen verscheen, verklaart hij zich bepaaldelijk een voorstander der mechanische theorie. Hij zegt daarin onder anderen: "Als wij zeggen dat beweging de oorzaak is van warmte, dan willen wij daarmee niet zeggen dat warmte het gevolg is van beweging of dat zij beweging opwekt (hoewel dit soms plaats heeft), maar *dat warmte zelf niets anders dan beweging is.*" Een van BACON's volgelingen, de beroemde LOCKE, drukt dit nog duidelijker uit: "De warmte," zegt hij, "is een zeer levendige beweging van de kleinste, onzichtbare deeltjes van een lichaam, welke beweging bij ons de gewaarwording opwekt, volgens welke wij het voorwerp warm noemen. *Wat dus bij ons het gevoel van warmte opwekt, is in het voorwerp zelf slechts beweging.*"

Ofschoon nu deze meeningen hoogstens gelijk stonden met vermoedens, die wel een groote mate van waarschijnlijkheid bezaten, maar waarvan de juistheid toch nog moest worden bewezen, mogen wij ons geenszins voorstellen dat zij alleen het uitvloeisel waren van een grillige phantasie. Die meeningen waren voornamelijk gegrond op de ervaring, dat tusschen warmte en beweging een zeer nauw verband bestaat. Reeds ARISTOTELES vestigde de opmerkzaamheid op het feit dat een pijl, met groote snelheid de lucht doorklievend, door de wrijving, die hij in de lucht ondervindt, verwarmd wordt; algemeen bekend is het dat de ruwste volkstammen zich vuur verschaffen door het tegen elkaar schuren van stukken droog hout. Wij mogen dus wel aannemen dat reeds eeuwen lang iedereen wel zal geweten hebben dat door wrijving en botsing van lichamen warmte werd opgewekt; maar terwijl de onnadenkende mensch, aan dergelijke vaak voorkomende verschijnselen gewoon geraakt, zich in den regel niet de moeite geeft om eenigszins dieper in 't wezen van het verschijnsel door te dringen en zich dikwijls uitsluitend bepaalt bij het in praktijk brengen van de zaak zelve — men denke slechts aan de vroeger algemeen gebruikelijke wijze van vuurmaken door het slaan van een stuk staal tegen den zoogenaamden vuursteen, welke methode ook bij de oude vuurwapenen werd toegepast; — zijn voor den natuurbeoefenaar dergelijke verschijnselen van het hoogste belang en geven aan zijn geest nieuwe stof tot overdenking. Zoo kunnen de kleinste werkingen in de natuur, die door den ongeoeffende of onoplettende gewoonlijk voorbij worden gezien, als zij door den natuurkundige worden bestudeerd, vaak aanleiding geven tot verhevene beschouwingen en tot het ontdekken van nog verborgene waarheden.

De meening van BACO vond dan ook ondersteuning bij de grootste natuurkundigen van dien tijd; zoo verklaarde BOYLE de warmte als een trillende beweging der atomen en NEWTON, ofschoon hij het licht als stof beschouwde, nam aan dat de warmte zou bestaan in ethertrillingen. Ook CHRISTIAAN HUYGENS hield de warmte voor een beweging. In 1677 gaf hij in de Parijsche Akademie van wetenschappen zijn meening hierover aldus te kennen: "Het is hoogst waarschijnlijk dat de warmte door een beweging ontstaat, eene sterke door eene zeer levendige, eene zwakke door eene langzame beweging. In één woord, ik weet wel niet, welk soort van beweging de warmte is, maar ik houd haar voor eene beweging." ¹ Het is hoogstwaarschijnlijk dat het begrip van het bestaan van een zoogenaamde warmtestof eerst later, in de 18e eeuw, zich op den voorgrond begon te stellen, en wel hoofdzakelijk tengevolge van de belangrijke onderzoekingen van BLACK, WILKE en CRAWFORD over soortelijke en latente warmte. Deze natuurkundigen bepaalden de hoeveelheden warmte die vereischt werden om gelijke gewichtshoeveelheden van verschillende stoffen een zelfde temperatuursverhooging te doen ondergaan. Zoo vonden zij onder anderen dat om één kilogram ijzer één graad in temperatuur te verhoogen slechts ongeveer het één tiende van de warmtehoeveelheid noodig was, welke vereischt werd om aan één kilo water diezelfde temperatuursverhooging te geven. Om dit te verklaren, nam men nu aan dat het water een tienmaal grootere hoeveelheid warmtestof dan het ijzer in zich moest opnemen om evenveel als het laatste in temperatuur te stijgen, en dit vermogen, dat de verschillende stoffen in ongelijke mate bezaten om de warmtestof in zich op te nemen, noemde men *warmte-capaciteit*, een uitdrukking die ook nog heden, maar dan in een geheel andere beteekenis, wordt gebezigd. Ook de verschijnselen van de latente of gebonden warmte bij het smelten van ijs en van andere stoffen werden op dergelijke wijze verklaard.

Men meene niet dat de voorstanders van deze theorie, in weerwil van de grondige argumenten die daartegen, vooral in later tijd, werden aangevoerd, hunne meening spoedig opgaven. Zelfs toen na de schoone

¹ Zie het opstel van Prof. P. HARTING, "CHRISTIAAN HUYGENS in de Parijsche Akademie van Wetenschappen", Album der Natuur, Jaarg. 1869. Dit opstel verscheen naar aanleiding van een werk van BERTHARD, waarvan een hoofdstuk verscheen in de *Revue des cours scientifiques*, 21 Nov. 1868.

onderzoekingen van MELLONI over stralende warmte, de volkomen overeenstemming tusschen licht en stralende warmte was bewezen, en ook de voorstanders der materiele theorie zich genoodzaakt zagen in alle geval de stralende warmte te beschouwen als een trillende beweging van den ether, werd zelfs in 't jaar 1841 door MUNCKE nog deze stelling verdedigd: "Zooals wij een menigte werkingen in de lucht uit de luchtbeweging en den luchtdruk, andere werkingen daarentegen, zooals die van het geluid, uit hare golving verklaren — zoo zouden sommige warmteverschijnselen beschouwd kunnen worden als te ontstaan uit een vermeerdering en een beweging der warmtestof, andere daarentegen uit een trillende beweging van die zelfde stof." ¹

Zoo stonden dan twee geheel verschillende meeningen tegenover elkaar op het gebied der wetenschap; in den strijd, die onvermijdelijk was, moest de overwinning der eene natuurlijk de geheele vernietiging der andere ten gevolge hebben. Ook op wetenschappelijk gebied toch wordt een strijd om het bestaan gestreden, waarin de zwakke voor den sterkere moet wijken. Geen kriegslisten baten hier; met de edele wapenen van de gezonde rede en van de overtuiging trekken de partijen tegen elkaar te velde; het doel van dien strijd is geen kleingeestig eigenbelang, maar de ijveraars voor de wetenschap beoogen alleen het belang, de uitbreiding der wetenschap zelve. Daarom zal ieder, die de wetenschap lief heeft, met belangstelling den loop van zulk een strijd volgen en met spanning den uitslag te gemoet zien.

Het was vooral in 't laatst der achttiende eeuw dat de aandacht werd gevestigd op verschijnselen, die krachtig pleitten voor de mechanische theorie.

Graaf RUMFORD, die zich ook door zijne onderzoekingen op natuurwetenschappelijk gebied een grooten naam heeft verworven, merkte, bij gelegenheid dat hij in het arsenaal te Munchen een kanon zag uitboren, op, dat zoowel in het kanon zelf als in de fijne afgeschaafde metaaldeeltjes gedurende het boren een groote hoeveelheid warmte werd opgewekt. Dit bracht hem op het denkbeeld een werktuig samen te stellen, waarmede het mogelijk zou zijn, alleen door wrijving een groote hoeveelheid warmte voort te brengen.

¹ GEHLER'S *Phys. Woordenboek*, bewerkt door MUNCKE.

In een hollen ijzeren cylinder deed hij een massieve kern plaatsen, die stevig tegen den bodem van den cylinder werd aangedrukt, terwijl hij den cylinder door twee paarden ongeveer 32 maal in de minuut om zijn as deed rondbewegen. De cylinder werd omringd door een houten bak met water, zoodat de warmte, door het wrijven van den cylinder tegen de kern opgewekt, voor een groot deel aan het water werd afgestaan. Terwijl nu het water, naarmate de beweging van den cylinder langer duurde, steeds in temperatuur steeg, begon het, nadat die beweging twee-en-een-half uur geduurd had, inderdaad te koken. Dit was wel een klaar bewijs voor de omzetting van den arbeid, die hier door de paarden werd verricht, in warmte.

Daar het water in den bak van te voren was afgewogen, trachtte RUMFORD te berekenen hoeveel arbeid er noodig was geweest om deze warmte voort te brengen; uit zijne berekeningen volgde dat de arbeid, die noodig was om één kilogram water 1° C. in temperatuur te verhoogen, ruim 570 kilogrammeter bedroeg, d. i. de arbeid die noodig is om 570 kilogram één meter hoog op te lichten. Daar de warmte, die niet tot verwarming van het water had gediend, niet behoorlijk in rekening was gebracht, was deze uitkomst onjuist en verschilde veel van die, welke later door JOULE uit zijne proefnemingen werd afgeleid. Toch komt aan RUMFORD de verdienste toe dat hij reeds toen de aandacht vestigde op een equivalent tusschen warmte en arbeid.

RUMFORD komt uit deze en uit nog eenige andere proefnemingen tot merkwaardige gevolgtrekkingen. Hij maakt er opmerkzaam op, dat de bron der warmte, die bij deze proeven was opgewekt, blijkbaar onuitputtelijk is: aan stof gaat gedurende de bewerking niets verloren; de warmte-capaciteit der metaaldeeltjes, die door de wrijving zijn afgeschuurd, is nog even groot gebleven als voor de bewerking; en terecht zegt hij: "Datgene, wat door een geïsoleerd lichaam of door een stel van lichamen onuitputtelijk kan worden voortgebracht, kan onmogelijk materie zijn; ik vind het moeilijk, zoo niet geheel onmogelijk, mij een bepaalde voorstelling te vormen van datgene, wat bij deze bewerkingen wordt opgewekt en meegedeeld, wanneer ik het niet als beweging beschouw." ¹

Toch hadden zij, die zich van het begrip van warmtestof niet konden losmaken, tegen dergelijke beschouwingen hunne bezwaren in te

¹ *An inquiry concerning the source of the heat, which is excited by friction.* 1798.

brengen; maar die tegenwerpingen verloren nagenoeg geheel hare kracht, toen kort daarna de beroemde DAVY, naar aanleiding van verschillende belangrijke proefnemingen, de uitspraak van RUMFORD ondersteunde. DAVY wist onder anderen in een luchtledige ruimte, wier temperatuur voortdurend op 0° werd gehouden, ijs alleen door sterke wrijving in water te veranderen. Daar nu bekend is dat voor het smelten van één kilogram ijs ongeveer evenveel warmte noodig is als voor het verwarmen van één kilo water van 0° tot 80° C., zoo rijst natuurlijk de vraag, daar bij DAVY's proef geen warmte aan de omgeving kon ontleend worden: als warmte stof is, waaraan wordt dan in dit geval die stof ontnomen? Hier werden de aanhangers der materiele theorie geducht in 't nauw gebracht; hoogstens bleef hun nog de verklaring over, dat de stof gedurende de bewerking ontstaan, uit niets zou zijn voortgebracht; maar wie zou nog waarde hechten aan zulk een belachelijke beschouwing die in strijd is met alles, wat de ervaring ons leert, en ten eenenmale allen wetenschappelijken grond mist?

De uitkomsten van DAVY's proeven waren beslissend. Het was bijna onmogelijk zich die verschijnselen anders voor te stellen dan dat het zichtbare arbeidsvermogen van beweging, in de wrijving verdwenen, in een onzichtbaren vorm, in dien van warmte, was overgegaan. DAVY zegt dan ook: "De directe oorzaak der warmteverschijnselen is beweging, en de wetten van de voortplanting der warmte zijn juist dezelfden als die van de voortplanting der beweging." ¹

Mochten dan ook, na bovengenoemde ontdekkingen, de denkbeelden omtrent het bestaan van een warmtestof ongerijmd genoemd worden, toch was de overwinning der mechanische theorie eerst volkomen, nadat in onze eeuw het beginsel van het behoud van arbeidsvermogen in zijn geheelen omvang werd uitgesproken, en bewezen werd niet alleen ten opzichte der warmte-werkingen, maar ook met betrekking tot alle genoegzaam bestudeerde natuurkundige verschijnselen.

Het mag wellicht niet overbodig geacht worden, ten einde den lezer duidelijk voor te stellen wat eigenlijk door deze *hoofdwet* der natuurkunde wordt uitgedrukt, hieromtrent eene korte toelichting te geven.

Arbeidsvermogen, d. i. het vermogen om arbeid te verrichten, bezit vooreerst elk lichaam dat in beweging is. Zoo heeft bijv. een bal, dien wij over den grond doen voortrollen, het vermogen om een anderen

¹ *Elements of Chemical Philosophy*. 1800.

stil liggenden bal, dien hij op zijn weg ontmoet, voort te duwen en daaraan een zekere snelheid mee te deelen. Deze tweede bal heeft nu ook weer een zekere hoeveelheid arbeidsvermogen verkregen; uit zichzelf zou hij niet in beweging zijn geraakt; zijn arbeidsvermogen is dus niet uit *niets* ontstaan, maar is afkomstig van dat van den eersten bal; deze zal echter na de ontmoeting met den tweeden in snelheid verloren hebben, zijn arbeidsvermogen is kleiner geworden: naarmate arbeidsvermogen meegedeeld of arbeid vereischt wordt, wordt ook arbeidsvermogen uitgeput. Wij noemen nu dit arbeidsvermogen, dat de ballen uithoofde van hun beweging bezitten, *arbeidsvermogen van beweging*. Zoo bezit dus ook een lichaam, dat men met een zekere snelheid vertikaal omhoog werpt, arbeidsvermogen van beweging; terwijl het echter stijgt, vermindert langzamerhand zijne snelheid, tengevolge van den tegenstand dien de zwaartekracht aan zijne beweging biedt, totdat het op zijn grootste hoogte gekomen een zeer klein oogenblik in rust is, om daarna zijne benedenwaartsche beweging te beginnen. Zoodra dus het lichaam, op zijn grootste hoogte gekomen, een oogenblik in rust is, is zijn arbeidsvermogen van beweging verdwenen; maar uithoofde van zijn plaats bezit het nu arbeidsvermogen in een anderen vorm; het zal namelijk, indien het gehoor kan geven aan de werking der zwaartekracht, denzelfden weg weer afdalen, langs welken het is opgeworpen, en zou dan bijv. in staat zijn, om, wanneer men het aan een dun koord bevestigde dat, over een zeer bewegelijke schijf geslagen, aan zijn andere uiteinde een even zwaar lichaam droeg, dit laatste tot een even groote hoogte naar boven te trekken. Het eerste lichaam bezit dus, ofschoon 't een oogenblik in rust is, nog wel degelijk het vermogen om arbeid te verrichten, en wij noemen dit *arbeidsvermogen van plaats* ¹.

Wanneer wij alzoo een lichaam opwerpen, en daaraan dus arbeidsvermogen van beweging meedeelen, zal dit arbeidsvermogen langzamerhand verminderen en omgezet worden in arbeidsvermogen van plaats; op zijn grootste hoogte gekomen, is dit laatste geheel voor 't arbeidsvermogen van beweging in de plaats getreden; valt het voorwerp van die hoogte weer naar beneden, dan zal het arbeidsvermogen van plaats

¹ Wellicht verdient hier de benaming *energie* of *potentiele energie* de voorkeur. Toch meende ik om enkele redenen de uitdrukking: "arbeidsvermogen van plaats" hier te moeten behouden.

weer overgaan in dat van beweging; de wetten van den val van lichamen leeren ons dat een voorwerp met een zekere snelheid opgeworpen, weer met die zelfde snelheid op den grond terugkomt; wanneer dus al het arbeidsvermogen van plaats is omgezet in dat van beweging, zal de hoeveelheid van het laatste dus volkomen gelijk zijn aan die, welke men aanvankelijk aan het lichaam meedeelde; — er is alzoo niets van het arbeidsvermogen verloren gegaan.

Wanneer het gewicht van een uurwerk wordt opgetrokken, wanneer de veer van een horloge wordt opgewonden, verricht men arbeid en voorziet het gewicht en de veer van arbeidsvermogen van plaats; zoodra het gewicht daalt en de veer zich ontspant, gaat dit arbeidsvermogen van plaats over in dat van beweging, duidelijk zichtbaar in de beweging van de raderen en de wijzers van 't uurwerk. Deze twee vormen van arbeidsvermogen worden in de natuur onophoudelijk in elkander omgezet, en daarbij kan nooit de geringste hoeveelheid van dat arbeidsvermogen als zoodanig worden vernietigd.

In hoofdbeginsel vinden wij dat begrip reeds bij enkele natuurphilosofen van den ouden tijd terug; doch eerst in deze eeuw konden de natuurkundigen aantoonen, dat niet alleen bij verschijnselen zooals de hierboven aangehaalde, maar bij alle tot nu toe waargenomen en bekende natuurwerkingen, bij alle verschillende vormen waarin arbeidsvermogen kan optreden, de stelling: "geen arbeidsvermogen kan uit niets ontstaan en geen arbeidsvermogen kan vernietigd worden" onbetwistbaar waar is.

Deze stelling werd in den uitgebreiden zin, waarin wij haar dan moeten opvatten, in 1842 uitgesproken door een geniaal denker, namelijk door MAYER, een geneesheer te Heilbronn. Uitgaande van de talrijke verschijnselen, die zich zoowel in het dieren- en plantenleven als in de anorganische natuur dagelijks voordoen, kwam MAYER, na rijpe overweging en zorgvuldige beschouwing, tot het besluit dat al die verschijnselen slechts verschillende uitingen en omzettingen zijn van een zelfde kracht, en dat geen arbeid, in welken vorm ook, kon worden verminderd of kon verdwijnen, zonder dat een even groote quantiteit arbeidsvermogen in een of anderen vorm daarvoor in de plaats treedt. De verschillende vormen en gedaanten, waarin de kracht zich openbaart en de voorwaarden, waaronder die omzettingen kunnen plaats grijpen, op te sporen moet, zegt hij, het doel der natuurkunde zijn; want evenmin als stof uit niets voortgebracht of verdeeld kan worden, zoo ligt

ook het voortbrengen of vernietigen van een kracht buiten het bereik van het denken en werken van den mensch. Niet alleen ten opzichte van mechanischen arbeid en warmte, maar ook met betrekking tot alle chemische en physische verschijnselen beschouwde hij dus elke werking als het gevolg van een of van meerdere voorafgegaane werkingen, den opgeleverden arbeid steeds equivalent met den verrichten. In verschillende belangrijke geschriften heeft MAYER zijne beschouwingen ontwikkeld, en in die allen vindt men steeds die ééne hoofdgedachte terug: *Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum.*

Ook hij beschouwde de warmte als een vorm van beweging, die steeds optreedt waar de levende kracht bij schokken of wrijving verdwijnt. Het denkbeeld van warmtestof, van elektrische vloeistof enz. is volgens hem ongerijmd; met betrekking tot die zoogenaamde onweegbare stoffen spreekt hij zijne meening aldus uit (ik laat de plaats liefst onvertaald volgen): "Wohl fühlen wir, dass wir mit den eingewürzeltsten, "durch grosse Autoritäten kanonisirten Hypothesen in den Kampf "gehen, dass wir mit den Imponderabilien die letzten Reste der Götter "Griechenlands aus der Naturlehre verbannen wollen; aber wir wissen "auch, dass die Natur in ihrer einfachen Wahrheit grösser und herr- "licher ist, als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen "des erschaffenen Geistes."¹

Later werd door HELMHOLTZ in Duitschland, door SÉGUIN in Frankrijk, door GROVE in Engeland, het beginsel, door MAYER uitgesproken, nog verder uitgebreid en ontwikkeld.

Dit beginsel was weer een van die grootsche gedachten, wier juistheid door het experiment nader moest worden bevestigd. Aan den grooten experimentator JOULE komt in de eerste plaats de verdienste toe, een juist bewijs voor de stelling van MAYER gegeven te hebben.

In een reeks van uitnemende proeven, genomen in de jaren 1843—49 waaronder vooral de aandacht verdienen: het verwarmen van water door middel van de ronddraaiende beweging van een in het water geplaatste as, die voorzien was van vleugels of schoepen; voorts de verwarming van kwikzilver door de wrijving van twee over elkaar schurende ijzeren platen; eindelijk het ontwikkelen van warmte door lucht samen te persen, bepaalde JOULE met de meeste nauwkeurigheid de hoeveelheden warmte

¹ *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel.* 1845.

die hierbij werd opgewekt, alsmede de hoeveelheden mechanisch arbeidsvermogen, die voor de warmte-ontwikkelingen hadden gediend. Uit de nagenoeg overeenstemmende uitkomsten dezer proefnemingen besloot JOULE, dat om een kilogram water 1° C. in temperatuur te verhoogen, een arbeidsvermogen moest besteed worden van 423,5 kilogrammeter. Deze hoeveelheid warmte aannemende als warmte-éénheid of calorie, om daarmee andere warmte-hoeveelheden te vergelijken, is dus 423,5 het getal dat aanwijst met hoeveel mechanische arbeids-eenheden één warmte-eenheid æquivalent is; men zegt daarom: 423,5 is het mechanisch æquivalent van de warmte-eenheid.

Daar het arbeidsvermogen van beweging van een lichaam zich onmiddellijk uit de massa en de snelheid van dat lichaam laat berekenen, zoo kan men dus altijd vinden, wanneer door wrijving of botsing dit arbeidsvermogen geheel of gedeeltelijk wordt uitgeput, *hoeveel* warmte daarvoor in de plaats moet treden. Wanneer daarbij de lichamen verandering mochten ondergaan, zal men natuurlijk bij een dergelijke berekening eerst het verdwenen arbeidsvermogen moeten verminderen met die hoeveelheid arbeid, welke noodig was om de krachten te overwinnen, die zich tegen die verandering verzetten.

Zoo was dan een getal gevonden, dat de gelijkwaardigheid van arbeid en warmte uitdrukte. Maar niet alleen bij de warmte door mechanischen arbeid opgewekt, ook bij alle andere vormen van arbeidsvermogen, die de natuurkundigen konden onderzoeken en die warmte konden doen ontstaan, bleek steeds de opgeleverde warmte æquivalent te zijn met den verdwenen arbeid. Naar aanleiding van zijne onderzoekingen over warmte, voortgebracht door den elektrischen stroom, vond JOULE dat de door een Voltasche zuil ontwikkelde warmte steeds evenredig is met hare elektromotorische kracht. Ook vond hij dat de warmte-hoeveelheid, bij de verbranding van een lichaam opgeleverd, evenredig was met den graad van scheikundige verwantschap van dat lichaam tot de zuurstof.

Hierbij moeten wij even stilstaan. Wij kunnen toch, na bovenstaande beschouwingen over het ontstaan der warmte, terstond de opmerking maken, dat de gewone wijze waarop warmte wordt voortgebracht, namelijk door verbranding van brandstof, oogenschijnlijk zeer veel verschilt van het opwekken van warmte door wrijving of botsing. Heeft bij de verbranding ook wrijving of botsing plaats? kan men vragen. Wij zullen zien dat ook hier de natuurwetenschap een verklaring

geeft, die volkomen overeenstemt met de voorafgegane beschouwingen.

Elke verbranding toch is niets anders dan een scheikundige verbinding van de atomen van een of ander lichaam met die der zuurstof. De atomen moet men zich voorstellen als de kleinste deeltjes, waarin de moleculen van het lichaam kunnen verdeeld worden. Tusschen de atomen van de meesten der verschillende stoffen bestaat een aantrekkingskracht, die men gewoon is scheikundige verwantschap of affiniteit te noemen. Wanneer de atomen gehoor geven aan die affiniteit, dan heeft er plaats, wat men een scheikundige verbinding noemt. Twee atomen die nog niet scheikundig met elkaar verbonden zijn, maar waar-tusschen affiniteit bestaat, verkeerden dus in denzelfden toestand als bijv. een steen met betrekking tot de aarde, wanneer die steen op een zekere hoogte boven 't oppervlak der aarde is opgeheven; zoowel die atomen als de steen en de aarde bezitten dan arbeidsvermogen van plaats, aangezien zij verkeerden in een toestand dat zij gehoor kunnen geven aan de werking eener kracht. Zoodra de steen naar de aarde valt, gaat het arbeidsvermogen van plaats over in dat van beweging, en dit laatste vinden wij, zoodra de steen op den grond is gekomen, terug in den vorm van warmte. Zoodra de atomen zich naar elkaar toe bewegen — en wij moeten aannemen dat dit gebeurt, aangezien uit het bestaan van hunne wederzijdsche aantrekking volgt dat zij nog niet zoo dicht bij elkaar zijn, als wel mogelijk is — gaat ook hun arbeidsvermogen van plaats over in dat van beweging; en, zoodra de atomen zich met elkaar scheikundig hebben verbonden, waar zal dan deze beweging zijn gebleven? Wij vinden haar terug in de daarbij ontwikkelde warmte.

Dezelfde werkingen die wij bij de groote massa's waarnemen, hebben ook ongetwijfeld plaats bij de oneindig kleine atomen. Na de onderzoekingen van groote natuurkundigen, als JOULE, FAYRE en SILBERMANN, HESS e. a., blijft geen andere grondige verklaring voor de aldus ontstane warmte over. Want niet alleen bij verbranding, maar bij elke scheikundige verbinding waarbij een samengestelde stof uit enkelvoudige of minder samengestelde stoffen ontstaat, komt een zekere hoeveelheid warmte vrij, die alleen afhangt van den aard en van de hoeveelheid der bestanddeelen. Wanneer die samengestelde stof weer ontleed wordt in hare bestanddeelen, zal hiervoor dezelfde hoeveelheid warmte moeten verbruikt worden die bij de verbinding werd ontwikkeld; de hoeveelheid warmte, bij eenige scheikundige verbinding ontwikkeld, zal tevens grooter zijn naarmate de affiniteit tusschen de bestanddeelen —

m. a. w. naarmate het arbeidsvermogen van plaats, dat dezen vóór de verbinding bezaten, ook grooter is.

Wanneer wij dit alles in aanmerking nemen, dan behoeven wij er waarlijk niet aan te twifelen dat in onze haarden en ovens in 't klein dezelfde werkingen plaats hebben, die wij dagelijks in 't groot kunnen waarnemen. Men denke daarover eens na, wanneer men op een donkeren winteravond in 't gezellige haardvuur zit te turen; en wanneer dan de vraag mocht opkomen hoe een zoo groote hoeveelheid warmte¹ kan ontwikkeld worden door het ophouden van de onzichtbare beweging van zulke oneindig kleine deeltjes, dan houde men voor oogen, dat de scheikundige verwantschap een zeer sterke kracht kan zijn, en dat in een zeer kleine hoeveelheid brandstof het aantal dier deeltjes onnoemelijk groot is.

Ook wanneer de chemische verbindingen niet rechtstreeks warmte opleveren, maar, zooals dit in sommige omstandigheden kan plaats hebben, zich omzetten in elektrisch arbeidsvermogen, zal toch de elektrische stroom weer een warmte-hoeveelheid kunnen opleveren die, als zij gemeten wordt, geheel gelijkwaardig blijkt te zijn met het scheikundig arbeidsvermogen dat in de cel of batterij is verbruikt. Ook de warmte, die door de magneto-elektrische stroomen wordt opgeleverd, blijkt, zooals ook JOULE vond, steeds evenredig te zijn aan den arbeid, die voor het opwekken van die stroomen werd besteed. Kortom, uit de waarnemingen en proefnemingen van de grootste natuurkundigen is de waarheid van de volgende natuurkundige stelling onomstootelijk bewezen: *alle vormen van arbeidsvermogen kunnen direct of indirect overgaan in den vorm van warmte, en die warmte is steeds aequivalent met de hoeveelheid verdwenen arbeidsvermogen, in welken vorm dit ook voorkwam.*

Het spreekt nu van zelf dat de wet van 't behoud van arbeidsvermogen, die men in alle genoegzaam waargenomen en bestudeerde natuurverschijnselen steeds bewaarheid vindt, die het grondbegrip der eigenlijke natuurkunde vormt, de veronderstelling, dat warmte stof zou zijn, ten eenenmale tot een onmogelijkheid maakt. Wil men de door wrijving of botsing opgewekte warmte verklaren uit een andere verdeeling van de warmtestof, dan is deze beschouwing regelrecht in

¹ Bijv. door de verbranding van een kilo zuivere steenkolen kunnen 70 kilo water van 0° C. tot het kookpunt verwarmd worden.

strijd met bovengenoemde natuurwet, die aangeeft dat de bij deze werkingen opgewekte warmte juist equivalent moet zijn met de verloren levende kracht.

Het is eigenlijk overbodig nu nog verder aan te wijzen hoe alle verschijnselen, die zich bij de warmtewerkingen voordoen, voor de mechanische theorie pleiten. Alle verschijnselen die wij bij de latente warmte, welke bij de verandering van aggregaat-toestand der stoffen optreedt, die wij bij de bepaling der soortelijke warmte (men herinnere zich slechts de wet van DULONG en PETIT in verband met het theoreem van AVOGADRO) kunnen opmerken, rechtvaardigen deze theorie volkomen.

Warmte moet alzoo een vorm van beweging zijn. De mechanische warmte-theorie staat en valt met de wet van 't behoud van arbeidsvermogen. De zoogenaamde materiële theorie kan zelfs op den naam van hypothese geen aanspraak meer maken; zij moet zich voor overwonnen verklaren en is voor goed van het gebied der natuurwetenschap verdwenen. —

Indien men nu vraagt: hoe moet men zich de beweging, die wij warmte noemen, voorstellen? dan kunnen alleen meer of minder waarschijnlijke hypothesen daarop een antwoord geven.

Wij stellen ons de lichamen in de verschillende aggregaat-toestanden voor als bestaande uit moleculen. De verschijnselen van het licht en van de stralende warmte hebben ons echter genoodzaakt nog een onzichtbare, uiterst fijne en veerkrachtige stof aan te nemen, de *ether* genoemd, die het gansche heelal zou vervullen en ook in de lichamen tusschen de moleculen en atomen zou aanwezig zijn.

Volgens sommigen nu zou de warmtebeweging bestaan in de beweging van den in de lichamen voorhanden zijnden ether. Deze meening werd reeds geuit door NEWTON en later verdedigd en verder ontwikkeld door REDTENBACHER.¹ Hiertegen zijn echter gewichtige bedenkingen in te brengen. Een willekeurig aangenomen stelsel van krachten ligt aan deze hypothese ten grondslag, terwijl ook de verschijnselen van opslorping en uitstraling der warmte, welke geheel van den aard van een lichaam afhangen, en eindelijk het groote verschil, dat toch tusschen de voortplanting van warmte door geleiding en door straling bestaat, hieruit moeielijk verklaard kunnen worden.

¹ *Das Dynamidensysteem*, 1857.

De meening dat de warmtebeweging zou bestaan in de beweging der moleculen zelfven is veel eenvoudiger en waarschijnlijker; zij is dan ook door de meeste natuuronderzoekers uitgesproken en door natuurdigen van lateren tijd, JOULE, CLAUSIUS en KRÖNIG, verder ontwikkeld. Reeds DAVY kwam tot de gevolgtrekking dat alle warmteverschijnselen zich gemakkelijk laten verklaren, als men aanneemt dat in de lichamen de moleculen steeds in beweging zijn; in het vaste lichaam bijv. is het molecule wel aan een bepaalde plaats gebonden, maar het kan toch steeds eene heen- en weërgaande beweging ten opzichte van zijn evenwichtsstand bezitten, evenals een slinger die zich ten opzichte van de vertikaal beweegt. In de gassen zouden de deeltjes zich geheel onafhankelijk van elkaar bewegen, terwijl in de vloeistoffen die bewegingstoestand het midden zou houden tusschen dien bij de vaste en dien bij de gasvormige lichamen.

Deze hypothese is voornamelijk door CLAUSIUS verder ontwikkeld, en daardoor heeft zij, zoo al geen bepaalde zekerheid, toch een hooge mate van waarschijnlijkheid gekregen. ¹ Het stijgen in temperatuur van een lichaam zou dan eenvoudig bestaan in het sneller worden, het dalen in temperatuur in het langzamer worden van de beweging der moleculen. Zien wij dan het arbeidsvermogen van beweging van lichamen bij den stoot of schok verdwijnen, dan zal de onzichtbare beweging der moleculen daarvan het gevolg zijn. Op deze wijze krijgen wij een zeer begrijpelijke voorstelling van de omzetting van beweging in warmte. Stellen wij ons bijv. voor een hollen kogel, gedeeltelijk gevuld met hagelkorrels. Wanneer men dezen kogel bevestigt aan een koord en hem snel in de rondte slingert, dan zullen de hagelkorrels, gedurende de beweging van den kogel, ten opzichte van elkaar in rust blijven; doch zoodra de beweging gestuit wordt, doordat men den kogel bijv. tegen een muur doet aanbonzen, hoort men op hetzelfde oogenblik de hagelkorrels zich in den kogel door elkaar heen bewegen: waar de beweging der massa ophoudt, treedt de beweging der deeltjes op. Vervangt men nu in zijn gedachten den kogel met de hagelkorrels door een lichaam met zijne moleculen, dan kan men zich gemakkelijk een begrip

¹ Voor verdere bijzonderheden omtrent den invloed der meech. warmte-theorie op de kennis der moleculen en hunne bewegingen, verwijs ik naar het opstel van Dr. Michäelis: "*De kleinste bestanddeelen der lichamen en hunne bewegingen*," voorkomende in den vorigen jaargang van het Album d. Nat. Aflev. 6.

vormen hoe de botsing, de schok van lichamen ten gevolge moet hebben hebben eene versnelling van de beweging der moleculen, dat is: temperatuursverhooging van het lichaam.

Wanneer dus tengevolge van het geheel of gedeeltelijk verdwijnen van mechanisch arbeidsvermogen steeds een bepaalde hoeveelheid warmte zal optreden, zal dan omgekeerd warmte ook weer in mechanischen arbeid kunnen worden omgezet?

Wij behoeven bij deze vraag slechts even het oog te richten op onze stoomwerktuigen: elken dag worden millioenen kilogrammeters arbeid in de stoommachines ten koste van de verbrandings-warmte der steenkolen verkregen. Voor elke calorie, die als warmte geheel verdwijnt, zouden volgens de wet van behoud van arbeidsvermogen weer 423,5 kilogrammeters mech. arbeid moeten optreden. En toch is 't opmerkelijk dat de hoeveelheid arbeid, die ook door de best ingerichte stoomwerktuigen wordt opgeleverd, nog maar zeer gering is met betrekking tot die, welke de verbranding der daarin verbruikte steenkolen zou kunnen doen ontstaan. De reden hiervan ligt in het wezen der warmte zelf. Terwijl toch mechanische arbeid altijd geheel in warmte kan worden omgezet, kan omgekeerd die warmte nooit weer in haar geheel in mechanischen arbeid worden veranderd, en kan slechts een gedeelte van die warmte *onder bepaalde omstandigheden* in den vorm van mechanischen arbeid optreden. Een van de eerste natuurkundigen, die zich met dit belangrijk gedeelte der warmteleer hebben bezig gehouden, was de Fransche ingenieur en natuurkundige CARNOT. Bij zijne studiën over de natuurkundige theorie van het stoomwerktuig kwam CARNOT tot de gevolgtrekking, dat warmte alleen dan arbeid kan verrichten, als zij van hoogere temperatuur in warmte van lagere temperatuur overgaat; hoe grooter in het stoomwerktuig het verschil is tusschen de temperatuur van den stoom in den ketel en die van den afgewerkten en gecondenseerden stoom, des te meer arbeid zal door het stoomwerktuig kunnen worden voortgebracht.

Deze stelling door CARNOT het eerst uitgesproken, is bij nader onderzoek gebleken zeer juist te zijn; alleen beging CARNOT een dwaling bij het bepalen van de hoeveelheid warmte, die bij dezen val van temperaturen in arbeid kon overgaan. Later hebben CLAUDIUS, THOMSON en RANKINE met de meeste nauwkeurigheid nagegaan welk gedeelte der overgevoerde warmte voor 't verrichten van arbeid kan dienen. Uit

hunne onderzoekingen is gebleken dat het onmogelijk is warmte geheel als zoodanig te doen verdwijnen, dat wil zeggen, dat de toestand waarbij de moleculaire beweging geheel zou moeten ophouden wel denkbaar, doch in werkelijkheid niet bestaanbaar is. Een gedeelte der overgevoerde warmte moet dus als zoodanig blijven bestaan, en dit deel is dus voor 't voortbrengen van mechanischen arbeid als 't ware verloren.'

Ook is gebleken dat warmte van lage temperatuur nooit uit zichzelf in die van hoogere temperatuur zal veranderen; voor deze verandering moet altijd arbeid verricht worden. Terwijl dus alle vormen van arbeidsvermogen in den vorm van warmte kunnen overgaan, kan omgekeerd de warmte in haar geheel niet meer in die verschillende vormen worden omgezet.

Uit een en ander kan duidelijk blijken dat de mechanische warmtetheorie aanleiding moet geven tot eigenaardige beschouwingen en belangrijke gevolgtrekkingen. Voor de voornaamste daarvan wordt ten slotte de welwillende aandacht van den lezer ingeroepen.

Voor den mensch, die, voorgelicht door de ontdekkingen en beschouwingen der groote natuuronderzoekers, in de afwisselende natuurverschijnselen slechts omzettingen ziet van het in 't heelal voorhanden zijnde arbeidsvermogen, is de natuur een bewonderenswaardig en schoon geheel. Hij is doordrongen van de waarheid dat ook de kleinste beweging, de geringste werking hare oneindige gevolgen heeft en onvernietigbaar is. De zwakke toon, door eenig geluidgevend lichaam voortgebracht, moge langzamerhand wegsterven en als zoodanig voor den mensch verloren gaan — toch blijft hij bewaard in de moleculaire beweging van de lichamen, welke die trillende geluidsbeweging overnamen. Het licht van onze lampen, het vuur van onze haarden moge ten slotte

¹ De laagste temperatuur, waarbij de moleculaire beweging dus nul, alzoo alle warmte verdwenen zou zijn, zou — 273° C. bedragen. De temperaturen van dit nulpunt (het absolute nulpunt genoemd) afgerekend, worden absolute temperaturen genoemd. Alzoo is in absolute temperatuur het vriespunt van water 273° en het kookpunt 373°. Als nu een hoeveelheid warmte van de temperatuur T^0 overgaat tot die van t^0 (T en t de absolute temperaturen voorstellende), dan kan slechts dat gedeelte van deze warmte in arbeid worden omgezet, dat wordt uitgedrukt door de breuk $\frac{T-t}{T}$, en dat is nog slechts een theoretische maximum-waarde.

verflauwen en uitdooven — hun arbeidsvermogen, als trillende beweging, zal niet vernietigd maar behouden zijn in de moleculaire beweging van die stoffen, welke door de licht- en warmtestralen zijn getroffen. Geen voorwerp valt op de aarde, of wij vinden zijne beweging, die na den val scheen vernietigd, in zijne meer of minder verhoogde temperatuur terug. Wanneer de weldadige stilte op een hevigen storm is gevolgd, kunnen wij in het verwarmde water, dat door den wind in beweging werd gebracht, nog gedeeltelijk de sporen van de lucht-beweging aantreffen.

In dezelfde mate gelden dergelijke beschouwingen voor de bewerkte natuur. Wanneer men den mechanischen arbeid en de bewegingen door mensch of dier in een' zekeren tijd verricht, op eenige wijze kon omzetten in warmte en daarbij voegde de dierlijke warmte in dien zelfden tijd in het lichaam ontwikkeld, dan zou men daardoor een warmtehoeveelheid krijgen, volkomen gelijk aan die, welke uit de chemische processen, die in dat tijdverloop hadden plaats gegrepen, moesten voortvloeien. Wij weten nu maar al te goed, dat de voedingsstoffen voor het lichaam zijn, wat de steenkolen zijn voor het stoomwerktuig.

Zooals dus de verschillende vormen van arbeidsvermogen allen in warmte worden omgezet, is ook omgekeerd de warmte weer de *oorzaak* van alle beweging op aarde. Door de zon wordt alle leven en beweging op onze planeet opgewekt en onderhouden. Onze kunstmatige licht- en warmtebronnen hebben het arbeidsvermogen, dat zij kunnen opleveren, alleen aan de zon te danken; de scheikundig werkzame stralen van de zon hebben toch het koolzuur in de bladeren der planten ontleed, de zuurstof grootendeels verwijderd, en de koolstof doen assimileeren; deze stralen hebben dus de koolstof onzer steenkolen en van andere brandstoffen van arbeidsvermogen van plaats voorzien, dat later, na de scheikundige verbinding met de zuurstof, dus na de verbranding, weer als warmte te voorschijn komt. Terecht noemt men dan ook het arbeidsvermogen der brandstoffen *opgegaarde zonnewarmte*; de steenkolenmijnen, de veenen, de bosschen, zijn de rijke voorraadschuren, waaruit de mensch het arbeidsvermogen put, dat door de zon gedurende duizendtallen van jaren daarin is opgelegd.

Door de zonnewarmte worden de stroomingen in den dampkring en in het water opgewekt; zij doet het water van den oceaan verdampen en geeft aan dien damp een genoegzame kracht om zich een weg te banen naar die hoogten, waar hij weer als water in vloeibaren of in

vasten toestand neerslaat; stort het water, aldus op die hoogten van arbeidsvermogen van plaats voorzien, soms van de hooge bergen of steile rotsen naar beneden, dan kan die krachtige stroom weer worden aangewend voor de beweging van het waterrad of voor eenigen anderen mechanischen arbeid; en alzoo maakt de mensch, ofschoon veelal onbewust, gebruik van het hem door de zon geschonken arbeidsvermogen. Geen werking, geen beweging heeft er plaats, die wij niet op deze wijze van de zon zouden kunnen afleiden. Wanneer van dit oogenblik af de zon ophield haar licht en warmte aan de aarde af te staan, zou in zeer korten tijd alles op aarde in een dorre en doode massa zijn herschapen.

Onwillekeurig komt dan bij hem, die over de werkingen in de natuur nadenkt, de vraag op: of de zon wel altijd in staat zal zijn het leven op aarde te onderhouden. Reeds ontelbare jaren heeft toch de zon haar arbeidsvermogen onophoudelijk afgestaan en zij gaat daarmee steeds voort; waaraan ontleent zij die ontzaglijk groote hoeveelheid arbeidsvermogen, die zij in den vorm van trillende beweging niet alleen naar de aarde, maar in de geheele ruimte uitzendt; haar voorraad warmte, op welke wijze die ook worde opgewekt, is toch niet oneindig, en zal er niet eenmaal een tijd moeten komen dat die voorraad zal zijn uitgeput?

Die vraag is vooral niet ongegrond, als men bedenkt dat de hoeveelheid warmte, die de aarde jaarlijks van de zon ontvangt, volgens de metingen van POUILLET voldoende zou zijn om een ijskorst, die ter dikte van 31 meter de aarde zou omringen, te smelten. Aangezien wij de grootte van de oppervlakte der aarde kennen, kan men uit deze opgave gemakkelijk het volume en de gewichtshoeveelheid van die ijsmassa berekenen; en als men dan in aanmerking neemt dat voor het smelten van één kilogram ijs ongeveer 80 caloriën noodig zijn, kan men de bovenbedoelde warmtehoeveelheid in caloriën uitdrukken. Den lezer zij deze berekening zeer aanbevolen; de uitkomst geeft een aantal caloriën van wier hoeveelheid men zich geen flauw denkbeeld kan maken. En deze hoeveelheid is dan nog maar het $\frac{1}{2300\,000,000}$ van de geheele hoeveelheid, die de zon jaarlijks naar alle richtingen uitstraalt!

Aangezien nu de quantiteit van dit arbeidsvermogen, door de zon jaarlijks afgestaan, ondenkbaar groot is, zou het dus niet te verwonderen zijn als die voorraad binnen eenigen tijd was uitgeput. Toch heeft men sedert de historische tijden geen merkbare vermindering in de

hoeveelheid warmte, die de zon gemiddeld uitstraalt, bespeurd, en noodzakelijk moet dus de warmte, die voortdurend wordt afgestaan, weer door de eene of andere werking aan de zon worden teruggegeven. Op welke wijze dit geschiedt, daarop kan de wetenschap niet onmiddellijk een beslissend antwoord geven; hoogstens kan zij hieromtrent enkele vermoedens, die op wetenschappelijke gronden steunen, uitspreken.

Voor zoover men bekend is met de physische gesteldheid der zon, zouden de stoffen, die op de zon voorkomen, in hoofdzaak dezelfde zijn, die wij hier op aarde in verschillende aggregaat-toestand aantreffen: de verdienstelijke onderzoekingen van verschillende natuurkundigen en astronomen hebben namelijk in den laatsten tijd bevestigd, dat het voor ons zichtbare heelal zich niet alleen kenmerkt door éénheid, ten opzichte van de bewegingen, maar ook met betrekking tot de stoffelijke samenstelling der verschillende hemellichamen. Nu zou men allicht op het denkbeeld komen dat de scheikundige werkingen, die onophoudelijk op de zon kunnen plaats hebben en in hoofdzaak met verbrandingsprocessen zouden overeenkomen, aan de zon de verloren warmte zouden teruggeven. THOMSON en anderen hebben echter berekend dat ook in het gunstigste geval de warmte, door de scheikundige werkingen ontwikkeld, niet alleen niet voldoende zou zijn om het warte-verlies te dekken, maar dat zelfs, indien dit de eenige bron ware, waaraan de zon hare warmte moest ontleenen, deze in ongeveer 8000 jaren zou zijn uitgeblusht.

MAYER ontwierp in zijn *Dynamik des Himmels* een andere hypothese. Hij ging uit van het onloochenbaar feit, dat zich in ons zonnestelsel, behalve de algemeen bekende lichamen, een ontzaglijk groote hoeveelheid kleinere lichamen bevinden, gewoonlijk *meteoren* genoemd, die, evenzeer onderworpen aan de wet der gravitatie, bij duizenden de ruimte van ons zonnestelsel doorkruisen. Even als velen van die meteoren, door de aarde uit hun loopbaan gerukt, jaarlijks daarop neervallen en bij hun schok warmte ontwikkelen, zoo zou ook de zon onophoudelijk aan zulk een bombardement van meteoren zijn blootgesteld; de kans dat een meteor op de zon zal neervallen, zal, uithoofde van de groote aantrekkingskracht der zon, ook grooter zijn dan dat zulk een lichaam door onze aarde zou worden aangetrokken, waarvan de aantrekkingskracht ongeveer 28 maal kleiner is dan die der zon. Wegens de meerdere versnelling die zulk een lichaam krijgt, als het zich naar de zon beweegt, zal ook bij den schok veel meer warmte

ontwikkeld worden dan wanneer het op de aarde valt. Zoo zou, als onze aarde op de zon neêrviel, bij den schok een warmte-hoeveelheid worden ontwikkeld, groot genoeg om het warmte-verlies der zon gedurende 70 jaar te vergoeden. Het zou dus wel mogelijk zijn dat de zonnewarmte op deze wijze door de botsing van meteoren werd onderhouden; maar verschillende bezwaren zijn toch tegen deze meening in te brengen.

Een grootere mate van waarschijnlijkheid bezit daarom de meening van HELMHOLTZ, die, uitgaande van de nevelhypothese van KANT en LAPLACE, aanneemt dat de langzame verdichting, waardoor zich uit de oorspronkelijke nevelstof de lichamen van ons zonnestelsel zouden hebben ontwikkeld, nog steeds plaats vindt en ook nog altijd op de zon voortduurt. Evenals bij den val van lichamen, zal ook bij de verdichting, bij de inkrumping van lichamen, warmte ontwikkeld worden. Terwijl zich dus uit de oorspronkelijke nevelmassa ons zonnestelsel vormde, moet veel arbeidsvermogen van plaats verloren zijn gegaan en als warmte in de oneindige ruimte zijn uitgestraald; HELMHOLTZ berekende dat, als de zon zich zooveel verdichtte, dat hare middellijn met $\frac{1}{10000}$ van hare lengte verminderde, daardoor een warmte zou ontwikkeld worden, voldoende om het warmte-verlies van de zon gedurende 2000 jaar te dekken. Voor deze meening van HELMHOLTZ valt veel te zeggen; zij steunt wel is waar op een hypothese, maar de waarde van deze hypothese is meer en meer verhoogd, naarmate onze kennis van de hemellichamen door de nieuwste astronomische ontdekkingen is toegenomen.

Maar welke dan ook onze inzichten mogen zijn omtrent het onderhouden van de zonnewarmte, toch worden wij, door hetgeen de natuurwetten ons leeren, genoopt tot de gevolgtrekking dat de voorraad arbeidsvermogen, in de zon voorhanden, langzamerhand zal verminderen en eindelijk, al is 't dan ook over millioenen jaren, zal zijn uitgeput.

Ook wanneer wij in aanmerking nemen dat alle vormen van arbeidsvermogen allengs in warmte overgaan en dat volgens de wet van CARNOT slechts een klein gedeelte van die warmte, welke van hooger tot lager temperatuur overgaat, weer in mechanischen arbeid kan omgezet worden, moeten wij tot de gevolgtrekking geraken, dat eenmaal de mogelijkheid dat warmte nog mechanischen arbeid kan verrichten, niet meer bestaan zal. CLAUSIUS heeft in een beroemde ver-

handeling: *Ueber den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärme-theorie*, deze beschouwing uiteengezet; den eindtoestand, naar welken de verschillende vormen van beweging streven, noemt hij "*entropie*".

Deze *entropie* zal haar maximum bereikt hebben, zoodra het arbeidsvermogen van het heelal zich in den vorm van warmte regelmatig over alle lichamen zal hebben verspreid: waar in de ruimte geen verschil in temperatuur meer bestaat, kan geen beweging meer plaats hebben; voor leven en beweging zal dan 't heelal ongeschikt zijn.

Door enkele natuurkundigen als RANKINE, MOHR, ook door MAYER, is echter deze stelling weerlegd, voornamelijk op grond hiervan dat uit de wetten der mechanische warmte-theorie wel een entropie voor een eindig stelsel van lichamen, die wederkeerig op elkaar werken, zooals bijv. voor ons zonnestelsel, kan voortvloeien, maar dat die stelling daarom nog niet toepasselijk is voor 't oneindige heelal.

Wanneer wij ons verder voorstellen dat een middenstof, de licht- of warmte-ether, het gansche heelal veryult, dan zullen de hemellichamen, die zich door de ruimte bewegen, door den weerstand welken die middenstof aan hunne beweging biedt, noodzakelijk langzamerhand in hunne beweging moeten belemmerd worden, aangezien een gedeelte van de beweging dier lichamen door de wrijving steeds in warmte overgaat en dit gedeelte dus als beweging der massa verloren is. Maar niet alleen de voortgaande beweging in de ruimte, ook de rotatiebeweging van een hemellichaam om zijn as, wanneer ten minste een gedeelte van het oppervlak van dat lichaam uit vloeistof bestaat, zooals dit bij onze aarde het geval is, moet noodwendig langzamerhand tot een bepaald bedrag verminderen. Terwijl toch bijv. de aarde in 24 uren om hare as draait, wordt het water, voornamelijk door de aantrekking der maan, aan weerskanten van de aarde steeds opgehoopt ongeveer in de richting van de rechte lijn, die wij ons tusschen de aarde en de maan kunnen getrokken denken. Dientengevolge moet tusschen de draaiende aarde en de aldus ontstane vloedgolf een zekere wrijving ontstaan, en die vloedgolf is als 't ware de remschoen, die de beweging der aarde tracht tegen te houden en haar noodzakelijk langzamerhand in warmte tracht om te zetten. Dit remmen van de draaiende beweging der aarde zal

Reeds in den jaargang 1855, bl. 225, van dit *Album* heeft Professor HARTING aan het slot van een opstel getiteld: *Het verst verleden en de verste toekomst*, hetzelfde denkbeeld ontwikkeld.

zoolang voortduren totdat de snelheid der rotatie-beweging zoozeer is afgenomen dat de aarde in den zelfden tijd om hare as draait als de maan zich om de aarde beweegt, d. i. in plaats van in 24 uren, in 28 dagen.

Hetzelfde, wat wij nu reeds kunnen opmerken bij de beweging van onze maan zelve en ook bij die van de wachters van Jupiter, is dus ook in de toekomst, al is 't dan ook na verloop van ontelbare eeuwen, voor onze aarde weggelegd.

Terwijl alzoo de mechanische warmtetheorie, in verband met de wet van behoud van arbeidsvermogen, ons een klaar begrip geeft van het wezen en van de omzettingen van verschillende vormen waarin de natuurverschijnselen zich aan ons voordoen; terwijl zij ons het verband toont, dat tusschen de oogenschijnlijk onzamenhangende werkingen in de natuur bestaat en alzoo voert tot het begrip van eenheid, van overeenstemming, waar het de beschouwing van de natuur geldt, wijst zij ons tegelijkertijd op de onvermijdelijke veranderingen, die na verloop van tijd moeten plaats hebben. Zij betoogt ons duidelijk dat alle levensvormen, zooals die nu bestaan, eenmaal niet meer bestaan kunnen en houdt ons voor oogen hoe kortstondig, hoe ephemerisch alle leven, alle verschijnselen op aarde moeten zijn.

Dezelfde leer, die ons de onvergankelijkheid der beweging verkondigt, overtuigt ons tevens van de vergankelijkheid der vormen, waarin de werkingen der natuur zich aan ons openbaren. Zij sluit alzoo een optimistische, of liever gezegd een ideale wereldbeschouwing op den eersten indruk noodzakelijk buiten en herinnert ons onwillekeurig aan de woorden van Mephistopholes:

“... Alles, was entsteht,
Ist werth, dass es zû Grunde geht.”

Zal ons dit nu onvoorwaardelijk tegen haar innemen? Zal de waarde, die een op vaste grondslagen gebouwde theorie voor ons kan hebben, daardoor verminderen, wanneer zij de denkbeelden en voorstellingen, die menigeen zich omtrent het leven en de toekomst vormt, den bodem inslaat? Laten wij, om deze vraag te beantwoorden, ons in de eerste plaats herinneren dat de natuurwetenschap reeds menigmaal den mensch in zijne ijdele bespiegelingen heeft teleurgesteld. Hoe groot was niet

de verbolgenheid toen door COPERNICUS de aarde, die eeuwen lang door de menschheid was beschouwd als het middelpunt en als de vorstin van het heelal, werd onttroond en werd gelijkgesteld met die vele honderden van lichamen, die allen gehoorzame onderdanen zijn van de zon! En hoe hevig *was* en *is* nog bij velen de verbittering tegen de Darwinistische beschouwingswijze, waardoor de mensch van het ideale standpunt werd afgerukt, waarop de traditie hem had geplaatst!

En wie zal nu de waarde van bovengenoemde theorieën willen ontkennen, alleen op grond daarvan dat hij zich in zijn ijdel en waan bedrogen vindt? De waarheid dient erkend te worden, ook dan wanneer zij zich in een minder liefelijke gestalte aan ons vertoont. Wie haar bestrijden wil, omdat zijn gemoed in opstand komt tegen de gevolgtrekkingen waartoe zij voert, bestrijde haar met eerlijke wapenen.

Maar hij, die den strijd met de stellingen, door eene natuurkundige theorie verkondigd, wil wagen, moet er zich op voorbereiden dat hij een machtigen vijand tegenover zich heeft. Want de basis, waarop een natuurkundige theorie steunt, de methode volgens welke zij wordt opgebouwd, de wijze waarop zij zich ontwikkelt, geven haar een kracht, waartegen beschouwingen, die op een minder vaste basis gegrond en volgens een minder degelijke methode ontstaan zijn, nu eenmaal weinig of niets kunnen uitrichten.

Een theorie als de mechanische warmte-theorie dringt zich niet met geweld aan ons op, maar wij worden er, in weerwil van hare gestrengte uitspraken, onweerstaanbaar toe aangetrokken, en wij gevoelen en begrijpen ten slotte dat zij over onze denkbeelden behoort te heerschen. Wanneer ons gevoel voor een oogenblik hier of daar pijnlijk mocht worden aangedaan, mogen wij dit niet aan boos opzet wijten, maar wij moeten begrijpen dat zij niet anders *kan* handelen en spreken dan eerlijk en oprecht; zij vraagt er niet naar of zij ons al of niet bevalt, zij volgt eenvoudig den haar aangewezen weg. En juist in die ongekunstelde, strenge en eerlijke wijze waarop een natuurkundige theorie te werk gaat en hare conclusiën maakt, ligt haar waarde, haar overredende kracht. Gestreng tegenover anderen, is zij dit ook tegenover zich zelve; zij erkent gaarne dat haar gebied beperkt is, dat, al verklaart zij ook veel, toch niet alles in den kring van hare beschouwingen kan worden opgenomen; dat er grenzen zijn, die zij onmogelijk overschrijden kan.

Vooral dit laatste wordt door velen maar al te vaak vergeten, en

dan wordt er onwillekeurig verraad gepleegd aan een wetenschap, die in de allereerste plaats op de eerlijkheid en de oprechtheid van hare beoefenaars mag aanspraak maken.

Niettegenstaande de vorderingen op het gebied der natuurwetenschap in onze eeuw verbazend groot zijn geweest, kan die wetenschap toch nog slechts uitsluitend onze begrippen verhelderen van het bestaande, van de werkingen en verschijnselen in een *eindigen* kring van lichamen; over hetgeen geweest is en wat zijn zal, kan de natuurwetenschap slechts over een betrekkelijk korte tijdruimte een oordeel uitspreken, wellicht zelfs na verloop van tijd eenige zekerheid erlangen; maar toch blijven de diepste diepten der oneindigheid steeds voor haar verborgen.

Wanneer de natuurwetenschap ons leert dat het menschedom niet altijd geweest is en ook niet altijd bestaan zal, dan doet zij slechts een uitspraak over een klein, zeer klein gedeelte van de ontwikkelingsgeschiedenis der aarde. Want al moge ook sedert onheugelijke tijden de mensch op aarde geweest zijn, en al zal hij ook nog duizende jaren na dezen kunnen blijven voortbestaan, is ten slotte, zooals de geologie ons duidelijk leert, de duur van het bestaan van het menschelijk geslacht toch wel iets meer dan een stipje in die tijdperken, die de aarde heeft doorleefd voordat zij geworden is zooals wij haar nu kennen?

Slechts vergelijkenderwijze kunnen wij een denkbeeld krijgen van den duur dier tijdperken, maar het is niet doenlijk ons daarvan een klaar begrip te vormen, indien wij wilden beproeven die in eenige bij ons gebruikelijke tijdmaat uit te drukken. Wanneer wij dit voor oogen houden, wanneer wij ons zooveel mogelijk vertrouwd trachten te maken met het denkbeeld dat de tijdruimte van een eeuw of van eeuwen, schijnbaar ontzaglijk groot, toch ter nauwernood een druppel in den oceaan der tijden mag genoemd worden, dan klinken ons de uitspraken van enkele natuurwetenschappelijke theorieën minder wreed, minder streng, en wij kunnen ons ten slotte zeer goed vereenzelvigen met begrippen, die ons bij den eersten indruk minder aangenaam aandeden. Wij worden dan minder teleurgesteld, wanneer de natuurwetenschap ons betoogt dat het bestaan van alle ons nu bekende levensvormen, ook het bestaan van het menschelijk geslacht, even goed voorbijgaand en eindig is als het bestaan van al die vormen, waaraan wij nog slechts door enkele fossiele overblijfselen worden herinnerd, doch waarvan overigens geen spoor meer te bekennen is. Zou het ons zelfs niet treurig aandoen, als wij moesten denken dat de mensch, hoe hoog hij ook

staan moge, toch bij al zijn onvolkomenheid, terwijl zijn leven nog voor zoo oneindig veel verbeteringen vatbaar is, het hoogste, het ideaal zou zijn, waarnaar de natuur in hare werkingen streefde? Voor welke levensvormen de mensch eenmaal zal moeten plaats maken, niemand zal dit kunnen zeggen of zelfs kunnen denken; maar wij kunnen op goeden grond hopen dat ook die hooger zullen staan dan wij.

Wanneer de natuurwetenschap ons dan zoo duidelijk leert dat het geringste stofje, de kleinste beweging in het heelal niet te vernietigen is; dat elke werking, hoe gering die ook zijn moge, hare oneindige gevolgen heeft; en als zij ons tegelijkertijd wijst op de onvermijdelijke veranderingen waaraan al het bestaande onderhevig is -- dan kan zij ons ook op zedelijk en maatschappelijk gebied van dienst zijn. Want, indien wij dan die waarheden steeds voor oogen houden, kunnen wij daarin een aansporing vinden om in den kleinen kring, waarin wij arbeiden en waarin wij tot de toekomstige veranderingen medewerken, onze krachten zoo te besteden, dat die veranderingen zooveel mogelijk in progressieven zin zullen uitvallen.

Den Haag, Juni 1878.