

GRONDBEGRIPPEN, VOORHEEN EN THANS

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

(Vervolg van blz. 210.)

III

Er zijn zeker niet veel begrippen, die in de natuurwetenschap en ver buiten dien kring zooveel toepassing vinden en zulk een merkwaardige geschiedenis hebben, als dat, hetwelk het woord »kracht" vertegenwoordigt. Veel misverstand zou voorkomen zijn, veel twistgeschrijf zou zich in woordenstrijd opgelost hebben, als vooraf de beteekenis van dit woord streng vastgesteld ware. De strijd over het krachtsbegrip verdeelde de wis- en natuurkundigen van de 18^{de} eeuw — 's GRAVE-SANDE, LEIBNITZ, BERNOULLI en NEWTON's volgelingen — in twee kampen, die van geen toenadering weten wilden. In onze dagen zijn er velen, die het schrappen van het woord kracht in het woordenboek der natuurwetenschap een grooten vooruitgang zouden achten. Prof. TAIT zeide in zijn lezingen over »*Recent Advances in Physical Science*": »that the time-honoured word force is in all probability destined, as science advances, to be relegated to the limbs of departed nomenclature". PEARSON meende in zijn *Grammar of Science* de »vis motrix" van NEWTON geheel te moeten verbannen naar het gebied der metaphysica en er te moeten bijvoegen »Dynamics in all its branches still is Newtonian". Hier is in menig opzicht spraakverwarring. Kracht als de substantieele oorzaak der verschijnselen en als een wiskundige uit meetbare grootheden bestaande uitdrukking, die dienst kan doen bij de beschrijving der bewegingsverschijnselen, worden niet behoorlijk onderscheiden. Zoo ergens, dan blijkt het hier, dat voor een juiste

opvatting van voorname grondbegrippen der wetenschap een historische studie bezwaarlijk gemist kan worden.

Het krachtsbegrip is ongetwijfeld van anthropomorphen oorsprong. De lichamen werden in hun werking op elkander vergeleken met den trekkenden en stootenden mensch. De gewaarwordingen, die de handelende mensch gedurende de activiteit ondervindt — het spiergevoel —, in het algemeen het bewustzijn van eigen oorzakelijke werkzaamheid, met het oog op de buitenwereld, hebben het krachtsbegrip doen ontstaan, dat de verbeelding objectiveerde en toepaste op de geheele natuur. ARISTOTELES heeft, als Griek in het bijzonder op de artistieke werkzaamheid des menschen lettend, voor het eerst het anthropomorfe krachtsbegrip zóó uitgesproken, dat het vrij was van mystieke elementen en al te grove persoonsverbeelding vermeden werd. Te dezen opzichte werd in het voorafgaande voor ons doel genoeg gezegd.

Wat moest dit krachtsbegrip worden bij de natuurkundige hervormers van de 17^{de} eeuw? Men kon zich niet losmaken van de gedachte, dat kracht de werkelijk bestaande oorzaak achter de verschijnselen was.¹ Zij moest echter als grootheid behandeld worden en vereischte dus een maat. Maar wat moest hier de juiste maat geacht worden?

Op het standpunt van de realiteit der kracht was deze vraag belangrijk. De school van NEWTON — de meester zelf begaf zich niet in het strijdperk — antwoordde, dat de grootte der kracht beoordeeld worden moest naar het product van de massa van het lichaam, waarop zij werkte, en van de per seconde voortgebrachte snelheid. Anderen, met LEIBNITZ en BERNOUILLI aan het hoofd, wilden slechts in het product der massa en het vierkant van de snelheid de juiste maat der kracht zien. Zij dachten daarbij bepaaldelijk aan hetgeen LEIBNITZ later de levende kracht noemde, wij zouden hier spreken van het arbeidsvermogen van beweging van snelheid bezittende lichamen. Dat men in beide gevallen van kracht kon spreken, wordt duidelijk uit het

¹ De scheiding tusschen wijsbegeerte en natuurwetenschap was nog pas zoo kort geleden voltrokken. De wijsbegeerte had de geleerden zoo vertrouwd gemaakt met de gedachte aan dingen, die onafhankelijk van den waarnemer bestonden en wist er alles van mede te deelen. De kracht was ook zulk een transcendent iets, een substantie achter de verschijnselen. Met KANT zou het eerst goed duidelijk worden, dat alles wat de zinnelijke ervaring ons leert slechts als object bestaat voor een waarnemend subject, dat het met het laatste staat of valt. KANT onderscheidde van deze werkelijkheid — de eenige, die wij kennen — scherp het „Ding an sich”, waarvan het verstand ons niets kan leeren; waarvan niemand zelfs het bestaan kan bewijzen.

scholastiek verleden. Wij meenen, dat er kracht vereischt wordt, om in den toestand van beweging van een voortsnellend lichaam iets te veranderen. Dikwijls kan men dit zelfs als een axioma zien voorgesteld. De geschiedenis bewijst de onjuistheid dezer opvatting. Voor de scholastieken was het juist een vraagstuk, hoe lichamen, die door een stoot snelheid verkregen, in beweging konden blijven. Zij konden slechts ééne oplossing vinden. De kracht ging van het ééne lichaam in het andere over. Zoo bracht de kracht van den stoot, thans gezeteld in het zich voortbewegende lichaam, elk oogenblik nieuwe snelheid voort.¹ Welk een eigenaardig licht valt er nu op het beginsel van de traagheid, dat zoo dikwijls met de waardigheid van een axioma wordt bekleed.

HUYGENS had bij de behandeling van de botsing, zonder evenwel het genoemde vraagstuk op het tapijt te brengen, de hoogte, waartoe een lichaam, dat snelheid heeft, zich vertikaal opwaarts kan bewegen, als maatstaf voor de kracht gebruikt. Die hoogte is, zooals bekend is, evenredig met het vierkant van de snelheid. 's GRAVESANDE toonde proefondervindelijk aan, dat de diepten, waartoe vallende kogels in boter doordrongen, zich verhielden als de valhoogten, d. i. als de vierkanten van de verkregen eindsnelheden.

De strijd werd met heftigheid gevoerd; getuige o. a. den onhebbelijken aanval van den Engelschman CLARCKE op onzen 's GRAVESANDE. De laatste stond eerst aan de zijde van NEWTON, doch werd later in deze materie een bondgenoot van LEIBNITZ. BERNOUILLI schreef aan 's GRAVESANDE in een brief, waarin de quaestie breedvoerig werd behandeld, dat hij met genoegen gezien had, dat de Leidsche hoogleraar de zijde van LEIBNITZ had gekozen, dat het daarvoor echter ook tijd werd.

Het verschil in standpunt werd bijzonder helder uiteengezet in een open briefwisseling tusschen 's GRAVESANDE en CALANDRIN, hoogleraar in de wiskunde te Genève. Daaruit blijkt ook, dat men allengs den weg begon te vinden, die uit den doolhof leiden kon. Men begon in te zien, dat met de uitdrukkingen $m \times v$ en $m \times v^2$ niet hetzelfde

¹ Cum autem movens debeat esse mobili conjunctum, quaeritur hoc loco, à quâ causâ projectorum motus continuetur. (Daar met het bewogen lichaam het bewegende verbonden moet zijn, vragen wij door welke oorzaak de beweging van voortgeworpen lichamen voortduurt.) *Coll. Phys.* pag. 85.

Allerlei oorzaken worden onderzocht, o. a. de lucht. De middenstof wordt als zoodanig verworpen. Aangenomen wordt, dat door den stoot in het lichaam een kracht of eigenschap overgaat, die voortdurend daarin snelheid blijft voortbrengen.

werd gemeten. Voor beide begrippen behield men echter het woord kracht en beide verwerkelykte men. Dit kon niet anders onder den invloed der nog lang niet uitgestorven scholastieke overlevering. Met de onderscheiding echter was reeds veel gewonnen. Men sprak voortaan van doode krachten, evenredig aan de uitdrukking $m \times v$ en van levende, die door $m \times v^2$ gemeten werden. De onderscheiding zou eenmaal tot volkomen scheiding leiden. Uit het laatste is ons begrip van arbeidsvermogen of energie voortgekomen.

Onze 's GRAVESANDE, wiens leerboek in de 18de eeuw gelezen werd door ieder, die wetenschappelyk physica beoefende, heeft veel tot verheldering der denkbeelden aangaande dit onderwerp bijgedragen. Hij vormt den schakel, die ons verbindt met de 17de eeuwse grondleggers der natuurwetenschap. Hij wees er op, dat men in den strijd over het krachtsbegrip twee ongelijksoortige dingen met elkander vergeleek en dat hier hoegenaamd geen logische of wiskundige tegenstrijdigheid bestond. Na de kracht der Newtoniaansche school met haar maat $m \times v$ besproken te hebben, vervolgt hij: »Il y a dans le mot de Force, pris dans le sens que nous avons déterminé, une autre équivoque, qui cause un plus grand embarras. Ceux qui au mot de Force attachent l'idée de pouvoir agir, dont est pourvu le corps en mouvement, ne se forment pas la même idée de l'action; et par là, quand il s'agit de la mesure de ce pouvoir, ils envisagent la Force sous des idées différentes. Mais dans une action, qui dure pendant un tems, il y a deux choses à considérer: 1^o. La grandeur de l'action dans chaque moment infiniment petit, que nous nommons *Action instantanée*. 2^o. La grandeur de la somme de toutes les petites actions, que nous nommons *Action totale*. Quand il s'agit de mesurer la Force, c. a. d. de comparer ensemble différentes Forces, les uns ne font attention qu'à l'action instantanée, et les autres considèrent les actions totales; les uns et les autres mettent les Forces en raison des actions, et il n'est pas surprenant qu'il ne s'accordent pas.»

Duidelyker kan het niet gezegd worden. Er ontbreekt slechts aan het weglaten van de hypostase der begrippen, het verwerpen van de kracht als een substantie achter de verschijnselen, om geheel modern te zijn. Trouwens zelfs de leerboeken der physica, in den allerlaatsten tijd ontstaan, zijn hier niet altijd modern. Merkwaardig is het hoezeer 's GRAVESANDE tot op den naam zelfs — le pouvoir d'agir — ons begrip van arbeidsvermogen nadert. Dat wij voor het

arbeidsvermogen van beweging $\frac{1}{2} mv^2$ en niet mv^2 schrijven is uitsluitend een kwestie van de eenheden, die men aanneemt. HELMHOLTZ sprak in zijn baanbrekend werk nog van de »Erhaltung der Kraft''. Alleen een ruimer en algemeener opvatting werd vereischt, om ons begrip van energie kant en klaar te voorschijn te doen springen.

De werking van verwijderde lichamen op elkander, door NEWTON als onderstelling ingevoerd, haar anthropomorph karakter aan het voorhoofd dragend, en de oudere electriciteitsleer, waarbij geen rekening werd gehouden met de middenstof tusschen de lichamen zich bevindend, waren de voornaamste steun en grondslag van het oudere krachtsbegrip. Zonder blijvend goed gevolg hadden DESCARTES en HUYGENS getracht de verschijnselen der zwaartekracht te verklaren als een werking, die zich in een middenstof — den ether — van deeltje tot deeltje voortplante. Gelukkiger waren de pogingen van FARADAY en MAXWELL op het gebied van magnetisme en electriciteit. De leer der uitbreiding der electricische en magnetische kracht in het veld, het dielectricum, en van de terugwerking van het laatste op de geleiders heeft op dit gebied de krachten verdreven, wier werking zich over groote afstanden deed gevoelen. Krachten vertegenwoordigen volgens de jongste opvatting niets meer, wat afzonderlijk bestaat. Zij zijn niet de substantieele oorzaken van de verandering in den bewegingstoestand van een lichaam, maar die verandering zelf op bepaalde wijze uitgedrukt. Kracht is de naam voor een grootheid, die verkregen wordt door de massa van een lichaam en de versnelling met elkander te vermenigvuldigen. Deze grootheid, wier ontstaan alleen uit ons denken voortvloeit, kan goede diensten bewijzen bij het beschrijven van de verschijnselen van beweging. Zoolang zij dit kan doen, is er geen enkele reden, om het woord kracht te schrappen en prof. TAIT zou even goed als de andere natuurkundigen vrede hebben met haar behoud.

Volgens de groote wet van NEWTON is de deviatie-versnelling, die een hemellichaam B van een ander A verkrijgt omgekeerd evenredig met het vierkant van den afstand van A en B van elkander en rechtstreeks evenredig met de massa van A. Voert men nu bij het uitspreken van de wet het woord kracht (hier aantrekking) in voor het product van massa en versnelling, dan blijft de wet dezelfde, doch de formuleering wordt anders. Zij luidt dan: de hemellichamen A en B trekken elkander aan met een kracht, die rechtstreeks evenredig is met de producten hunner massa's en omgekeerd evenredig met de

vierkanten hunner afstanden. In dezen zin en met deze bedoeling kan men nu van aantrekking en afstooting en van krachten in het algemeen spreken, zonder ook maar eenigermate anthropomorph te zijn, of scholastieke elementen in de wetenschap te brengen. Nog kan men de kracht een oorzaak van beweging noemen, doch ook in anderen zin. Zij is niet meer een onuitputtelijke bronwel van werking, die altijd gevend zelve niets verliest, gelijk de kracht der oudere natuurkundigen, die achter de verschijnselen zetelde. De verandering in den toestand van beweging, de kracht, kan in een ander punt der ruimte een soortgelijke verandering opwekken; zij kan zich m. a. w. voortplanten. De oorzaak en het gevolg zijn dus gelijksoortig en behooren beide tot den kring van de verschijnselen. Elke oorzaak is gevolg in verband met hetgeen voorafging en elk gevolg wordt weder oorzaak van een nieuwe reeks verschijnselen. Dit is de groote en verstrekkende beteekenis van het nieuwe krachtsbegrip; men ontleent voor dit begrip niets meer aan het voor de zintuigen ontoegankelijke gebied.

Men zegt, dat een steen op een dak door de aarde aangetrokken wordt. Dit beteekent dan, dat de steen na het verwijderen van een beletsel versnelling zou verkrijgen in de richting van de vertikaal. Feitelijk zou men niet van kracht ($m \times v$) kunnen spreken, waar geen versnelling is. De leer van het evenwicht maakt dit echter mogelijk. Van het scholastieke begrip »potentieel» maken wij, zonder het te weten, nog een ruim gebruik. Het evenwicht van twee krachten zou met dien term moeten heeten de aanwezigheid van twee potentieele versnellingen in tegengestelde richting bij massa's, in zoodanige betrekking tot elkander staande, dat het product van een dier massa's met de actueele snelheid, die zij verkrijgen kan, gelijk is aan het overeenkomstige product bij de andere.

IV

Het vermenigvuldigen van het getal, dat de kracht voorstelt, met dat, hetwelk den weg aangeeft, door het aangrijpingspunt der kracht in de richting der laatste afgelegd, doet een nieuwe meer samengestelde grootheid ontstaan, die onder den naam van verrichten *arbeid* een belangrijke beteekenis in de natuurwetenschap verkregen heeft. Een lichaam, dat arbeid verrichten kan, wordt gezegd *arbeidsvermogen* of *energie* te bezitten en die arbeid is de maat voor het bedrag, dat

van het laatste aanwezig is. Verschillende toestanden van een lichaam kunnen het bezit van arbeidsvermogen medebrengen; met het oog daarop spreekt men van verschillende vormen van arbeidsvermogen, gelijk men vroeger van verschillende krachten sprak. Proeven leerden met behulp der grootheden, kenmerkend voor elken toestand, het bedrag van het arbeidsvermogen uitdrukken. Waar snelheid aanwezig is, is arbeidsvermogen — men noemt het kinetische energie — en het bedrag er van wordt gegeven in de uitdrukking $\frac{1}{2}mv^2$, waarin m en v respectievelijk het aantal eenheden van massa en van snelheid van het lichaam beteekenen. Reeds vroeger wezen wij op het verband tusschen dezen vorm van arbeidsvermogen en de levende kracht van LEIBNITZ. In de warmte heeft een lichaam arbeidsvermogen en elke warmte-eenheid vertegenwoordigt 425 arbeids-eenheden. Ook electriciteit is energie. Voor het beschrijven der electricische verschijnselen gebruikt men de termen hoeveelheid electriciteit en potentiaal en hierin kan men ook de hoeveelheid der energie uitdrukken. Zoo kan men allerlei verschijnselen, zonder kennis van hun aard en wezen, beschrijven, elk op zijne wijze met de voor elk meest passende termen, en toch de laatste gebruiken om ze als vormen van arbeidsvermogen op te vatten en daarmede alle met elkander in verband te brengen. Zoo wordt een eenheid en samenhang verkregen, die met het oog op 't onvolledige en gebrekkige der kennis onbereikbaar scheen. De groote wet van het behoud van het arbeidsvermogen stelt in staat om vergelijkingen op te stellen, die een betrekking uitdrukken tusschen grootheden, die niets met elkander gemeen schijnen te hebben, b. v. tusschen de electricische en chemische energie van een galvanische keten, haar absolute temperatuur, electromotorische kracht en de hoeveelheid in bepaalden tijd door het element gevloeide electriciteit; tusschen de omzettingwarmte, de volumeverandering, de absolute temperatuur en de verandering van de drukking met de temperatuur bij tal van processen, die allen in het nauwste verband staan met de tweede hoofdwet der mechanische warmte-theorie.

Zelfs de voorwaarden voor 't optreden van physische verschijnselen worden met de verschijnselen zelve in de energie-leer onder hetzelfde gezichtspunt gebracht. Het begrip van potentieele energie komt hier te hulp. Een dakpan op een huis heeft ten opzichte van de aarde potentieele energie, waarvan het bedrag bepaald wordt door haar gewicht en haar afstand tot de oppervlakte van den grond.

Alle gebeurtenissen op stoffelijk gebied kan men beschouwen als

omzettingen van den éénen vorm van arbeidsvermogen in den anderen. De physica wordt dan de wetenschap, die de voorwaarden en wetten leert kennen, waardoor die vormverandering beheerscht wordt. Zulk een beschrijven van de meest ongelijksoortige verschijnselen uit één en hetzelfde gezichtspunt is ongetwijfeld een groote vooruitgang. De medaille heeft echter ook haar keerzijde. Wat aan breedte gewonnen wordt, verliest men aan diepte. Het bevordert het werken met notaties, die slechts uit een bepaald oogpunt beteekenis hebben en sluit het onderzoek in andere richtingen af. Het maakt den natuurkundige voor een goed deel tot een wiskundige. Men meent een verschijnsel geheel te hebben verklaard, als het slechts, wat de hoedanigheid en de hoeveelheid betreft, als arbeidsvermogen is opgevat. Het mechanisme der verandering blijft geheel onbekend. Onze kennis van de voorwaarden, waarop een vorm van arbeidsvermogen in een anderen vooraf scherp bepaalden zal overgaan is nog zeer onvolkomen. Er zijn natuurkundigen, die beweren, dat de physica door het invoeren van het begrip arbeidsvermogen er niet fraaier op geworden is.

Eerstgenoemde voordeelen wegen echter zwaar. Een der sterkste indrukken, die OSTWALD'S *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* bij den lezer achterlaat, is wel die van de verrassende orde, den samenhang en het verband, die de leer der energie tusschen de verwarrende veelheid der physische en chemische verschijnselen brengen kan. Daartoe brengt de splitsing van de energie in twee factoren, die OSTWALD op den voorgrond stelt, het hare bij. De ééne factor — de *intensiteit* — bepaalt of er al of niet verschijnselen zullen optreden, of er m. a. w. al of niet arbeidsvermogen van vorm zal veranderen. Het laatste kan alleen dan geschieden, als de intensiteits-factor op verschillende plaatsen een ongelijke waarde heeft. Genoemde factor is bij de warmte de temperatuur, bij de electriciteit de potentiaal (electriciteitsgraad), bij de kinetische energie v of v^2 en bij de potentieele energie $m \times v$, wat in het voorafgaande de kracht genoemd werd. De voorwaarden voor het verrichten van arbeid door warmte in een stoomwerktuig is een verschil in temperatuur tusschen stoomketel en condensor; zonder potentiaalverschil geen elektrische stroom; zonder verandering van snelheid geen omzetting van kinetische energie in andere vormen; geen verandering in het bedrag der potentieele energie, als er geen val is in de grootte van de kracht. Zoo stelt de leer van het arbeidsvermogen in staat, om het begrip van kracht veel ruimer op te vatten en het gebied er van aanmerkelijk uit te breiden.

De *capaciteits-factor* bepaalt de hoeveelheid energie, die een lichaam bevat, als de intensiteit de eenheid bedraagt. Hij is bij de warmte de warmtecapaciteit of de entropie, bij de electriciteit de hoeveelheid van het werkzame gedeelte er van, bij de kinetische energie de massa of het product mv (de factor $\frac{1}{2}$ is hier buiten beschouwing gelaten); bij de potentieele energie de weg, afgelegd door het aangrijpingspunt der kracht in de richting der laatste; bij de scheikundige energie is zij evenredig met de massa. Ook hier is het gezichtsveld verruimd. De massa behoudt geen andere beteekenis als die van capaciteits-factor der kinetische energie, hoewel zij ook identiek, althans evenredig is met den overeenkomstigen factor van het scheikundig arbeidsvermogen en op het gebied der electrolyse krachtens de wet van FARADAY de hoeveelheid der overgevoerde electriciteit bepaalt.

Het licht, waaronder de massa zich op energetisch standpunt vertoont, was de voornaamste beweegreden voor OSTWALD, om in 1895 te Bremen te spreken van: »Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus”.¹

De kern van het begrip materie is dat van massa. Daarbij denken wij het opvullen van ruimte, het bezit van volume, de ondoordringbaarheid, het gewicht, de scheikundige eigenschappen en andere allen op dezelfde plaats van de ruimte vereenigd, allen als het ware gegroepeerd om datgene, wat in de werkelijkheid aan het begrip massa beantwoordt en er mede vereenigd tot dat, wat men gewoon is materie te noemen. De massa, die dezelfde blijft, terwijl de andere eigenschappen meer of minder veranderen, wordt als de drager der laatste beschouwd en werkelijk bestaande geacht. Volgens OSTWALD zijn al deze op één plaats der ruimte vereenigde eigenschappen, materie genaamd, niet anders dan een groep verschillende vormen van arbeidsvermogen, n. l. volume-energie, gewicht (een bijzondere vorm van arbeidsvermogen van plaats), scheikundige energie enz. De materie als zoodanig bestaat dus in de werkelijkheid niet. Het eenige, wat bestaat, is het arbeidsvermogen of de energie. Wat de zintuigen ons leeren kennen, dat zijn verschillen in drukking, in temperatuur enz., d. z. verschillen in de energie.

Alle gebeuren is vormverandering van energie. Elke natuurwetenschap moet zich oplossen in een stelsel van wetten, welke die vorm-

¹ »Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus”. W. OSTWALD. *Naturf. Versammlung*, Lubeck, 20 Sept. 1895.

verandering bepalen. Achter de verschijnselen is niets. De energie behoeft geen drager in den zin der oude substanties, waarvoor de materie bij de physica van NEWTON en HUYGENS zoolang dienst heeft gedaan. De laatste, die alles wilde beschrijven met wiskundig-mechanische aan de beweging ontleende beelden met de materie als rustende pool, heeft afgedaan. Een nieuwe baan moet worden betreden. Alles moet opgaan in energetiek. Ziedaar de korte inhoud van de beruchte redevoering van OSTWALD en de geest van zijn *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*.

Zingt de physica van NEWTON en HUYGENS dan in onze dagen haar zwanenzang? Zoover is het nog niet gekomen. Het is zelfs niet eens waarschijnlijk, dat het zoover komen zal. Er zijn echter groote gebeurtenissen in aantocht. OSTWALD, zoo bout sprekend, denkt aan de uitkomsten van den arbeid van MAXWELL en HERTZ. De laatste namen hebben een bekenden klank voor ieder die, zij het slechts in hoofd-trekken, de geschiedenis der physica in het laatste decennium gevolgd heeft. De undulatie-leer van het licht, door HUYGENS in hoofdzaken uitgedacht, door FRESNEL, CAUCHY en anderen ontwikkeld, was een der voornaamste titels, die de mechanisch-kinetische natuurverklaring aanspraak gaven op algemeene instemming en erkenning. Nu is een nieuwe — de magneto-electrische theorie der lichtverschijnsels — met den naam van MAXWELL verbonden. De laatste zou echter niet de minste kans van slagen hebben, als haar oudere zuster aan alle vereischten voldeed. Het is op natuurkundig gebied een voor altijd vaststaand beginsel, dat een theorie, die de verschijnsels, waarvoor zij opgesteld is, geheel bevredigend verklaart, niet verlaten wordt voor een andere. Het laatste wordt eerst het geval, als zij niet te rijmen en door wijziging niet pasklaar te maken is voor op haar gebied nieuw ontdekte feiten.

Nu heeft de leer, dat het licht een trillende beweging is, zich voortplantend in een de geheele wereldruimte vullende middelstof — de zoogenaamde ether — inderdaad nooit alle lichtverschijnsels volkomen kunnen verklaren. Voornamelijk op het gebied van de breking en terugkaatsing der stralen schoot zij te kort.

Wel gaf zij ook hier een beeld van de richting der teruggekaatste en gebroken stralen en van de golfoppervlakken, dat met de ervaring strookte; dit was echter niet het geval, waar ook de intensiteit der stralen in het oog werd gevat. Het laatste vereischte bepaalde onderstellingen betreffende den aard van den ether en zijn verband met de

weegbare stof, die voor het eerste gemist konden worden. Met behulp van verschillende onderstellingen heeft men getracht het vraagstuk in zijn vollen omvang tot oplossing te brengen. FRESNEL nam aan, dat de veerkracht van den ether in de twee middenstoffen, aan wier grensvlak de breking en terugkaatsing plaats vinden, dezelfde, doch de dichtheid in beide verschillend is. Op dien grondslag zocht hij langs wiskundigen weg uitdrukkingen voor de amplitudo der trillingen, voor de voortplantingssnelheid, enz. De laatsten kwamen niet overeen met de ervaring en waren geheel in strijd met bepaalde verschijnselen op dit gebied, die kristallen vertoonden.

NEUMANN stelde de dichtbeden in de twee aangrenzende middenstoffen gelijk, doch de veerkracht in beide verschillend. Ook zijn berekeningen namen echter alle bezwaren niet weg. De beroemde wiskundige CAUCHY heeft niet alleen de krachten van den ether in rekening gebracht, doch ook die, welke de moleculen der weegbare stof op den ether in hunne nabijheid uitoefenen. Ook hij is niet volkomen geslaagd. De undulatie-leer kon dus de breking en terugkaatsing der lichtstralen slechts verklaren op voorwaarde, dat het vraagstuk niet in zijn volle algemeenheid gesteld werd.

Het fraaie gebouw der lichttheorie van HUYGENS heeft dus zwakke gedeelten. OSTWALD zou er op kunnen wijzen, om afgodische vereering te voorkomen. Het wettigt echter zijn voorstelling niet, dat dit gebouw dreigt in een te storten. Wellicht kan er met behoud van den ouden stijl veel veranderd en vernieuwd worden.

Het ontbrak echter langen tijd aan ideeën en aan een bouwmeester, die nieuwe motieven wist te vinden en uit te werken. MAXWELL en LORENZ hebben in onze dagen, geheel onafhankelijk van elkander werkend, het nieuwe tijdperk geopend.

Het uitgangspunt der genoemde natuurkundigen was gelegen op het gebied der electriciteit; het nieuwe, dat zij brachten, was de rol, die zij in navolging van FARADAY aan de niet-geleiders — de diëlectrica — toeschreven bij het voortbrengen der electricische verschijnselen; waardoor de werking op afstanden, door NEWTON ingevoerd, van een belangrijk gebied verdreven werd.

Onder den invloed van een met electriciteit geladen geleider of van een magneet plant zich in het niet geleidende veld (het diëlectricum) de zoogenaamde diëlectrische en magnetische polarisatie van deeltje tot deeltje voort. De diëlectrische polarisatie bestaat in het optreden van een positieve en negatieve lading in elk afzonderlijk deeltje; waardoor

in de verschillende punten van het veld krachten zich openbaren. Alle energie van electricische geleiders berust in den vorm van drukkingen en spanningen in het omringende medium. Een voortplanting van de electricische en magnetische kracht volgens de voorstelling van MAXWELL vereischt tijd, terwijl de Newton'sche werking op afstanden geen tijd in beslag neemt. HERTZ heeft nu indirekt door proeven aangetoond, dat de induceerende werking van geladen geleiders in opeenvolgende oogenblikken op de verschillende plaatsen van het veld zich openbaart. MAXWELL had uit berekeningen afgeleid, dat de snelheid, waarmede de diëlectrische polarisatie voortgaat, gelijk is aan de voortplantingssnelheid van het licht. Deze uitkomst is het voornamelijk, welke geleid heeft tot het aannemen van een nauwe betrekking tusschen de verschijnselen van electriciteit en van licht, die ons zullen noodzaken de oude theorieën belangrijk te wijzigen.

Het laden van een geleider brengt de genoemde diëlectrische polarisatie te weeg. De laatste heeft echter haar grenzen, omdat zij tegenwerkt wordt door een weerstand van bijzonderen aard, dien MAXWELL in het diëlectricum aanneemt.

Deze weerstand — diëlectrische weerstand genaamd — heeft overeenkomst met die van een vast veerkrachtig lichaam; zij wordt vergeleken met een veer, die gespannen wordt. Hij stelt grenzen aan de diëlectrische polarisatie en maakt evenwicht met de electromotorische kracht van den geleider, die de eerste te voorschijn roept. Wordt de geleider ontladen en daarmede de electromotorische kracht opgeheven, dan verkrijgt de diëlectrische veerkracht vrij spel. Zij heft de diëlectrische polarisatie op. Nu weten wij sedert FEDDERSEN, dat de ontlading, b. v. van een Leidsche flesch, geenszins zulk een eenvoudig verschijnsel is, als men vroeger dacht. Zij vormt een heen- en weergaande (oscilleerende) beweging der electriciteit; zoodanig, dat elk der geleiders — het buiten- en binnenbekselsel — achtereenvolgens een positieve en negatieve lading verkrijgt. Met die afwisselende lading treedt telkens een electromotorische kracht op, die telkens een diëlectrische polarisatie in het veld te voorschijn roept. De laatste heeft dan ook afwisselend het positieve en negatieve teeken; d. w. z. op dezelfde plaats in het diëlectricum treedt afwisselend positieve en negatieve electriciteit op. Op volkomen dezelfde wijze heeft in stoffen, die er voor vatbaar zijn, magnetische polarisatie plaats; d. i. in het veld verschijnt op opeenvolgende plaatsen noord en zuid-magnetisme. Wisselstroommen hebben ook een magnetisch veld.

In den laatsten tijd is men er in geslaagd, om de wisselingen van electriche polariteit in een geleider door ontlading met zulk een snelheid te doen plaats vinden, dat de stroom 100- tot 1000 millioen malen per seconde van richting verandert, waardoor ook het verschijnsel in het veld dezelfde groote frequentie verkrijgt.

De genoemde verschijnselen in het veld zijn door MAXWELL electriche en magnetische trillingen genoemd. HERTZ heeft proefondervindelijk aangetoond, dat zij de verschijnselen van breking, terugkaatsing en interferentie kunnen vertoonen en in dit opzicht dus op éene lijn komen met de lichttrillingen van FRESNEL in den veerkrachtigen ether.

Wij hebben in enkele trekken de ver strekkende denkbeelden van MAXWELL uiteengezet, die OSTWALD aanleiding gaven, om het oude eerwaardige gebouw der natuurwetenschap in zijn grondslagen ondermijnd te achten.

Heeft OSTWALD het recht om zoo te spreken? Geenszins. Een helder inzicht in de grondbegrippen en het karakter der wiskundig-kinetische natuurbeschrijving, hetwelk dit opstel trachtte te geven, brengt zulk een besliste ontkenning op de lippen. Wij zagen, dat met de wiskundige formule, de mathematische uitdrukking der natuurwet, een aanschouwelijk beeld moet verbonden worden en dat dit tot nu toe uitsluitend ontleend werd aan de beweging van stoffelijke voorwerpen. Het laatste is echter geenszins noodzakelijk. Met één en dezelfde formule kan meer dan één aanschouwelijk beeld gepaard gaan. MAXWELL heeft de periodieke verschijnselen in het dielectricum electriche wisselstroomen genoemd, die electro-magnetische induceerende werkingen uitoefenen, als zij snel genoeg van richting veranderen. Geschiedde het laatste niet veel minder dan 1000 biljoenen malen per seconde, dan zouden het lichtstralen zijn. In alle richtingen worden dan door inductie soortgelijke wisselstroomen van groote frequentie opgewekt, dat is de voortplanting van het licht. Zulke op berekening steunende beschouwingen zijn bekend als de beroemde electro-magnetische theorie van het licht. Licht en stralende warmte zouden dan in graad, niet in wezen, verschillen van de electriche en magnetische trillingen in het dielectricum. Men begrijpt welk een beteekenis in dit verband van gedachten de uitkomsten van de proeven van HERTZ bezaten en boven alles de berekende gelijkheid in de snelheid van voortplanting der electriche en magnetische inductie en van de ethertrillingen van FRESNEL.

Dit beeld kan men verwerpen, doch de grondgedachte der trillingen behouden. Die trillingen moeten dan echter ook alleen en uit-

sluitend een wiskundigen inhoud en beteekenis hebben. Inderdaad zijn zij bij MAXWELL niet anders dan de uitkomsten van wiskundige analyse, die van bepaalde onderstellingen uitgaat. Bij zijn berekeningen vervingen de componenten der electricische en magnetische krachten in het veld de verplaatsingen der etherdeeltjes van FRESNEL en NEUMANN. De vorm der bewegingsvergelijkingen onderging weinig verandering. Noemt men de wisselende electricische en magnetische polarisatie in het veld electricische en magnetische trillingen, dan beteekent dit, wiskundig gesproken, alleen dit, dat de formule er van een periodieke functie is van den tijd. M. a. w. dat het bedrag dier polarisatie op een bepaalde plaats in opeenvolgende tijdstippen een reeks van opklimmende en afnemende waarden verkrijgt, die zich voortdurend in dezelfde volgorde herhalen en dat dit verschijnsel zich achtereenvolgens op dezelfde wijze vertoont in verschillende punten van het veld. Zulk een periodiek verschijnsel, welks aard geheel onbeslist blijft, moet de interferentie vertoonen, die HERTZ ons liet zien.

Zulk een opvatting van electricische en magnetische trillingen — de essentieele inhoud van MAXWELL's leer — laat verschillende aanschouwingsbeelden toe. Het is dus zeer wel mogelijk, dat er later weder een beeld mede verbonden zal worden aan de beweging van de stoffelijke punten ontleend; m. a. w., dat de oude grondslagen blijven en alleen in het opgetrokken gebouw hier en daar gedeelten veranderd en vernieuwd zullen worden.

Dit is ook de beteekenis van de woorden, die BOLZMANN, tot spreken bevoegd als geen andere, OSTWALD toevoegde.

Bij hem heet het, als hij in herinnering gebracht heeft, dat in de leer van het geluid, de atoomtheorie, de mechanische theorie der warmte, in de kristallographie en de chemie mechanische beelden nog in eere zijn: »Ja selbst die Undulationstheorie des Lichtes ist durch die electromagnetische Lichttheorie keineswegs einfach beseitigt, wenn sie auch sicher bedeutender Veränderungen bedarf. Denn wenn die Erklärung der Electricität vom Standpunkte der heutigen oder wohl auch einer weiter entwickelten Mechanik gelingen sollte, wovon die Möglichkeit nicht erwiesen, aber auch nicht widerlegt ist, so können ganz gut die rasch wechselenden diëlectrischen Polarisationen, welche nach der electro-magnetischen Lichttheorie das Wesen des Lichtes bilden, wieder mit einem Hin — und Herschwingen von Theilchen identisch werden.”¹

¹ *Ein Wort der Mathematik an der Energetik von LUDWIG BOLZMANN, 1896. Annalen der Physik und Chemie, Wiedemann's Annalen, No. 1.*

Elders zegt dezelfde natuurkundige van de mechanische natuurverklaring:

»Diese Vorstellung ist uns nur ein Bild, das wir nicht anbeten, das möglicherweise der Vollendung fähig ist, möglicherweise aber eins ganz zu verlassen sein wird. Heute aber ist es uns jedenfalls noch von dem grössten Werthe, als das einzig consequent durchgeführte in vielen wichtigen Zügen mit der Erfahrung übereinstimmende Bild, das wir besitzen.»

Zoo zal de mechanisch-kinetische beschrijving der verschijnselen, waarvan in dit opstel de hoofdbegrippen werden ontwikkeld, nog wel langen tijd de leidvrouw zijn op het gebied der natuurwetenschap en is het voortshands nog niet waarschijnlijk, dat zij het veld zal moeten ruimen voor de energetische verklaringswijze van OSTWALD en zijn voorgangers. Om haar op de rechte wijze te schatten, verlieze men echter nimmer uit het oog, dat zij slechts beeldspraak is en dat de wetenschappelijke formule alleen den onveranderlijken inhoud der natuurwetten uitmaakt.

Deventer.
