

GRONDBEGRIPPEN, VOORHEEN EN THANS

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

Algemeene ontwikkeling wordt, zelfs in onzen tijd van specialiteiten, nog op prijs gesteld. Waarin zou zij bestaan? Zij onderstelt in den mensch, die ze bezit, zedelijke eigenschappen en verstandelijke. Op de laatste zij uitsluitend de aandacht gevestigd. Bestaat zij in de kennis van vele en velerlei wetenschappen? Zeker niet. Dit is het wezen der geleerdheid. Ontwikkeling en beschaving hebben betrekking op een helder inzicht in de grondbegrippen, de methoden, het karakter van de voornaamste wetenschappen.

De kennis, die zij onderstelt, is meer van formeelen aard dan van materieelen. Zij draagt een wijsgeerig karakter en dient in de eerste plaats om den verstandelijken horizon te verruimen en om de opvattingen op een bepaald gebied breder en dieper te maken. Isolement en bekrompenheid gaan dikwijls samen. Wat vloeit uit deze gedachten voort met het oog op populair-natuurwetenschappelijke geschriften? Moeten zij bevatten een tot in bijzonderheden afdalende beschrijving van een bepaald gedeelte der wetenschap, al is dit ook in hooge mate actueel? Het antwoord luidde allicht bevestigend, als men let op de vragen van leeken, die de nieuwste uitvindingen in verschillende vormen op hun weg ontmoeten en er alles van willen weten. Men verwarre echter nieuwsgierigheid niet met wetenschappelijke belangstelling. Wie, met het oog op zijn werkkring, bijzonder belang heeft bij een of ander onderwerp, hij neme een vakblad ter hand. In de populair-wetenschappelijke tijdschriften vinde in de allereerste plaats de beschaafde leek, die algemeene ontwikkeling en verruiming van

gezichtsveld beoogt, datgene, wat hij zoekt. In bovenstaande orde van denkbeelden past zeker een beschouwing van aard en karakter der natuurwetenschap, zooals zij zich in de vorming en het gebruik der grondbegrippen openbaren.

I

Bij een onderzoek van enkele voornamelijk grondbegrippen en van het karakter onzer natuurverklaring is het van veel belang nu en dan het oog te slaan op het verleden. De kennis van de ontwikkeling onzer denkbeelden kan zooveel bijdragen tot de kennis van hun wezen.

Het verklaren der natuur was altijd beschrijven en rangschikken naar bepaalde typen of modellen. Het verschil tusschen verklarende en beschrijvende natuurwetenschappen, dat men nog kort geleden zoo op den voorgrond plaatste, is door een dieper inzicht geheel vervallen. Aan KIRCHHOFF komt de eer toe, dit het eerst helder in het licht gesteld en scherp geformuleerd te hebben.

Uit het oogpunt, waaruit die beschrijving ondernomen werd, vloeit nu het voornaamste verschil voort tusschen onze natuurkunde en die der ouden. Onder de laatsten wordt uitsluitend ARISTOTELES verstaan, wiens stelsel tot aan de 16^{de} eeuw met onbeperkt gezag alle natuuronderzoek beheerschte. ARISTOTELES zag in de verschijnselen de openbaring van een werkzaamheid, die volgens het model van het denken en handelen van den mensch geschiedde. Het algemeene schema van verklaring van den grooten Griek, waarin elk bijzonder geval moest passen, is in elk opzicht anthropomorph; het drukt de verschillende zijden van de causale werkzaamheid des menschen uit. De mensch is bij zijn werken afhankelijk van stoffelijke omstandigheden; geen verschijnsel komt volgens ARISTOTELES tot stand zonder een materiele oorzaak (*ύλη*; *de scholastieke causa materialis*). Dit is dus niets anders dan de stof, beschouwd uit het oogpunt van een noodzakelijke voorwaarde voor het gebeuren. Zij behoorde echter tot de zoogenaamde passieve oorzaken; haar aanwezigheid was voldoende; zij diende om andere oorzaken de gelegenheid tot werken te geven. Al het actieve in het menschelijk handelen is door ARISTOTELES in de laatsten belichaamd.

De formeele oorzaak (*Εύδος*; in de scholastiek *causa formalis*) zouden wij met eenig recht de ziel van het werkende lichaam kunnen noe-

men. De ouden hadden in hooge mate de neiging om de begrippen te hypostaseeren, te verwerklijken, zooals het zou kunnen heeten.

Wat in een begrip was saámgevat, dat had ook in de werkelijkheid een afzonderlijk en onafhankelijk bestaan. Dit was het naïve realisme. Elk ding is voor definitie vatbaar en de laatste gaf het essentieele er van aan, hetwelk dan ook als een afzonderlijke wezenheid bestond. In elk paard bestond o.a. het paard in het algemeen; de drager van de eigenschappen, die alle paarden met elkander gemeen hebben. Zulke wezenheden, die uit den aard der zaak veelal buiten den kring van het zinnelijk waarneembare vielen, werden causaal werkzaam gedacht. Het was er eenigermate mede gesteld als met de ziel, die in onze dagen nog wel belast wordt met de taak om, onder den naam van levenskracht of force directrice, eenheid en samenhang te brengen in de verschijnsels van het levend organisme en die er tevens het meest wezenlijke deel van heet uit te maken.

De derde Aristotelische oorzaak is de bewegende (de *causa efficiens* der scholastiek). Zij was een uitwendige oorzaak, die niet, zooals de materieele en formeele, in het lichaam zelf gelegen was. Elke verandering in een lichaam werd geacht door een ander bewerkt te worden, hetwelk dan als zoodanig de bewegende oorzaak vertegenwoordigde; al was daarbij de medewerking der eigen inwendige krachten niet uitgesloten. »Nihil potest a se ipso fieri. Quicquid enim fit, ab alio fit; datur ergo causa efficiens.»¹ De anthropomorphe oorsprong van dit beginsel is niet twijfelachtig. De mensch brengt zich zelven niet voort. Het ontstaan van een beeld onderstelt een beeldhouwer. De bewegende oorzaak is met de materieele de eenige die, zij 't ook in gewijzigden vorm, uit het Aristotelische stelsel in de moderne natuurwetenschap is overgegaan; zij correspondeeren met onze begrippen van kracht en stof.

Als laatste, eveneens van buiten af werkende oorzaak, nam ARISTOTELES de finale (*causa finalis*) aan. Elk verschijnsel heeft een doel; het heeft op zichzelf in verband met het geheel der dingen een bepaalde beteekenis. Niets geschiedt toevallig.

Hier vooral treedt het in het licht, dat de mensch als model zat, waar ARISTOTELES de regels en beginsels der natuurverklaring ontwierp. Waar de mensch iets tot stand brengt, werkt hij volgens een plan, dat als voorstelling bij hem bestaat, voordat het door hem werke-

¹ „Niets kan door zichzelf ontstaan. Wat ontstaat, ontstaat door een ander; daarom is er een *causa efficiens*.” *Instit. Metaphys.* Franconis Burgersdici, blz. 147.

lijkheid wordt in de zinnelijke wereld. Het is hier de plaats niet, om uiteen te zetten op welke wijze ARISTOTELES zich de medewerking van die doelloorzaak voorstelde. Wel moet er gewezen worden op de taaiheid van leven, waarvan de laatste de blijken heeft gegeven en niet het minst in dit *Album*. KAISER, JAN V. D. HOEVEN, CLAAS MULDER — om slechts de voornaamsten te noemen — lieten nooit na in de opstellen, die van hunne hand in het *Album* verschenen, te wijzen op de doelmatigheid der door hen behandelde verschijnsels, die elke gedachte aan toeval uitsloot. Weinig dachten zij er aan, dat zij van de Aristotelische eindoorzaak gebruik maakten. Die gedachte toch had hen tot het besluit moeten leiden, dat in de mechaniek niet de geheele en voldoende verklaring van het verschijnsel gegeven was, en dit zouden moderne natuurkundigen niet kunnen erkennen.

Wij zouden de vier Aristotelische oorzaken ook kunnen noemen de voorwaarden, wier vervulling noodig en voldoende is, om op fysisch gebied een gebeurtenis — een verschijnsel — te doen plaats vinden.

Het beschrijven der natuurverschijnsels naar analogie van het werken des menschen — in het bijzonder, waar hij als kunstenaar optreedt — is ongetwijfeld als een ernstige poging te beschouwen, om orde en samenhang te brengen in den chaos van verandering, van worden en vergaan, die de stoffelijke wereld vertoonde. Wat wij ARISTOTELES mogen verwijten, dat is het karakter van volstrekte en blijvende waarheid, dat hij aan zijn stelsel gaf. Had hij het beschouwd als een eerste, alles omvattende, consequent doorgevoerde proeve van natuurbeschrijving, die door een betere moest vervangen worden zoodra de ervaring haar als onvoldoende had leeren kennen, dan had geen natuurkundige ooit ARISTOTELES verwenscht. Maar, dan was de wijsgeer van Stagyra ook een modern man geweest.

In de 16^{de} eeuw was het aan de meest intelligente en onbevangen geesten zonneklaar geworden, dat de Aristotelische leer in haar toepassing op de werkelijkheid opging in zinledige phrasen; dat natuurverschijnsels en menschelijke werkzaamheid te veel van elkander verschilden, om het eene naar het model van het andere te kunnen beschrijven en dat men reeds lang een anderen weg had moeten inslaan. En zij lieten het niet blijven bij een afbrekende kritiek. Nieuwe beginsels voor zulk een beschrijving werden aangegeven en toegepast. De wiskunde gaf niet alleen uit een formeel oogpunt het voorbeeld, dat gevolgd werd; zij gaf ook door haar inhoud de middelen, die zulk een natuurbeschrijving vereischte.

De wetten van KEPLER, de loopbanen der planeten betreffend, waren de eerste groote natuurwetten in modernen zin. Het was een wiskundige beschrijving van bewegingsverschijnsels met de begrippen »afgelegde weg», »tijd» en »snelheid». De wiskunde kent slechts grootheden en hunne onderlinge betrekking; zij leert ons de bewerkingen kennen, waardoor de samengestelde hoeveelheden (afhankelijk veranderlijke) uit de enkelvoudige (onafhankelijk veranderlijke) worden gevormd en geeft ons in de leer van de functies de behandeling van de verandering, die de eerste ondergaan onder den invloed van wisselingen in grootte van de laatsten, waaruit zij ontstaan zijn. Hoe was deze wiskunde te gebruiken voor het beschrijven van natuurverschijnsels? Door de laatsten, die voor vermeerdering en vermindering, voor versterking en verzwakking vatbaar zijn, uitsluitend te behandelen als grootheden. De natuurkundige begrippen moeten in verband gebracht worden met verschijnselen van veranderlijke grootte, wier waarde door wegen of meten nauwkeurig bepaald en in een eenheid uitgedrukt kan worden.

Het is gemakkelijk een afgelegden weg in centimeters uit te drukken. Waar het 't natuurkundig begrip van tijd betreft, wordt de moeilijkheid reeds grooter. Wij kunnen door de eigen middelen van onzen geest den duur van een tijdsverloop schatten. Zulk een schatting is echter weinig nauwkeurig. Zij is geheel afhankelijk van de snelheid van den stroom van voorstellingen in ons. Nu eens schijnt de tijd ons toe vleugels te hebben; dan weder is het, of hij lood aan de voeten heeft. Voor den wijsgeer, staande op het standpunt van KANT, bestaat de tijd alleen in ons bewustzijn en wel als een van de waarnemingsvormen, waarin wij de gegevens der ervaring opvatten en ordenen. De moderne natuurkundige echter beschouwt als zoodanig den tijd als iets werkelijk bestaande, dat onafhankelijk van elke beweging gelijkmatig vloeit, dat begin noch einde heeft. Het was NEWTON, die in zijn *Elementa mathematica* dezen objectieven tijd onder den naam van den absoluten tegenover den subjectieven stelde, waarvan boven sprake was. De physische tijd is dus een grootheid. Onmiddellijk meetbaar is hij echter niet. Dit is alleen het geval met de deelen van de ruimte — lengten, oppervlakken en inhouden. Hij moet dus vastgekoppeld worden aan een verschijnsel, dat meetbaar is en dat geächt wordt er gelijkmatig mede aan te groeien en af te nemen. Zulk een verschijnsel wordt gevonden in de periodieke dagelijksche beweging van zon en vaste sterren, die inderdaad alleen een beweging

is van de aarde om haar as. Na een kort tijdsverloop vertoont een vaste ster zich voor ons oog weder (voor het eerst) op dezelfde plaats aan den hemel. Een aswenteling der aarde is volbracht; een etmaal is verlopen. Nu neemt men aan, dat gedurende dien tijd gelijke wegen, hoe klein ook, aan den hemel door de ster in gelijke tijden doorlopen worden, dat de beweging der ster (inderdaad de aswenteling der aarde) eenparig is. De tijd, welke respectievelijk met $\frac{1}{24}$ en $\frac{1}{86400}$ gedeelte van den in één etmaal doorlopen weg correspondeert, noemt men één uur en één seconde. Dit is de astronomische tijdsberekening. Een getal van 366,2422 van die sterredagen maken een tropisch jaar uit. Het dagelijksch leven richt zich naar de zon, die tengevolge van haar eigen verplaatsing aan den hemel (inderdaad de beweging der aarde om de zon) geen eenparige beweging bezit. Met het oog op de tijdsberekening neemt men hier een denkbeeldige zon aan, wier beweging eenparig is en spreekt men van middelbare zonnedagen, waarvan er 365,2422 in één tropisch jaar gaan.

Groeit nu inderdaad de lengte van den verloopenden dag in de kleinste onderdeelen gelijkmatig aan met de verplaatsing van de ster aan den hemel en is die aangroeiing steeds in gelijke tijden even groot bij de opeenvolgende dagen? M. a. w. is de beweging der aarde om haar as eenparig, blijft zij dit in den loop der tijden en verandert de omloopstijd niet? Een belangrijke vraag voor de wetenschap zoowel als voor het dagelijksch leven. Op die beweging berust de tijdmaat en naar den tijd is alles in het maatschappelijk leven geordend en geregeld. Maar hoe de vraag te beantwoorden? Daarvoor zou men den tijd ook nog op geheel andere wijze moeten kunnen meten en dan nog weten, dat de laatste de juiste waarde gaf. Had men met een gelijkmatige versnelling of vertraging van alle bewegingen te doen, dan ware de vraag inderdaad niet te beantwoorden. Kwam er echter alleen verandering in de beweging van de aarde om haar as, terwijl o. a. die der aarde om de zon standvastig bleef, dan zou de verhouding van de lengte van dag en jaar veranderen. Het aantal dagen, in het jaar bevat, zou dan niet hetzelfde blijven. Alleen uit de getallen, voor zulke verhoudingen gevonden, zou dus de verandering blijken; want men vergete niet, dat het gebruiken van den op genoemde wijze gemeten tijd, ter beschrijving van verschijnselen van beweging, feitelijk neêrkomt op het vergelijken van bewegingen met die van de aarde om haar as.

Er is inderdaad reden om niet volkomen gerust te zijn op de on-

veranderlijkheid van onzen tijdmaat. De undulatie-leer van het licht moet in de wereldruimte de aanwezigheid van een soort van stof, den veerkrachtigen ether, onderstellen. Zou de draaiende beweging der aarde door dien ether geen wrijving en daarmede vertraging kunnen ondervinden? Ook in eb en vloed heeft men verschijnselen, welke in denzelfden zin op de genoemde beweging van invloed konden zijn.

Is de wet van het behoud der massa volstrekt waar? Of ontsnappen aan onze betrekkelijk grove waarnemingen, die slechts op korte tijdsverloopen betrekking hebben, kleine veranderingen in het bedrag der massa? Zon en aarde zijn het tooneel van scheikundige werkingen.¹

De rekenkunde leert ons op verschillende wijzen, o. a. door deeling, uit gegeven hoeveelheden nieuwe af te leiden. Doen wij dit met de getallen, die doorloopen wegen en de daarvoor bestede tijden uitdrukken, dan heeft het quotient — de afgeleide hoeveelheid — een bijzondere physische beteekenis. Het heet de gemiddelde snelheid der beweging en stelt den weg voor, die in de tijdseenheid wordt afgelegd. De laatste is de seconde; de eenheid van lengte of weg de centimeter.

De eenheid van snelheid is die, waarmede in de seconde een weg van één centimeter wordt afgelegd. De differentiaal-rekening stelt ons in staat, om een uitdrukking te vinden voor de snelheid op een bepaald oogenblik der beweging; d. i. voor de waarde van het quotient, als de tijd oneindig klein wordt.

Met de drie genoemde grootheden — waarvan twee grondeenheden en de derde een afgeleide eenheid vertegenwoordigen — heeft KEPLER

¹ Denkt men uitsluitend aan historische tijdperken, dan zal de eventueele verlenging van den dag in een eeuw niet veel meer dan 22 seconden bedragen. Vat men echter duizendtallen van vervlogen eeuwen in het oog, dan worden de verschillen in de lengten der dagen in verschillende tijden zeer groot. Prof. DARWIN heeft te dezen opzichte een nieuwe theorie gegeven, die den invloed aangeeft der getijden op de wording van ons zonnestelsel. Onze dagen hebben dan met het oog op hun lengte een ware ontwikkelingsgeschiedenis. Er was dan een tijd, waarop onze aarde als gloeiende gesmolten lavamassa in ongeveer 3 uren om haar as wentelde. De snelheid van omwenteling nam toe met de afkoeling en inkrimping van den bol, zij nam af door de getijwerking der zon en later ook door die van de maan. Zoo is ten slotte de lengte van den dag geworden, wat zij nu is. Nog werken beide oorzaken, doch zwakker. Afkoeling en inkrimping gaan langzaam voort. De getijden bepalen zich, nu de aardkorst vast is, tot de oceanen. Volgens de berekening van DARWIN zal de lengte van den dag in den loop der volgende eeuwen nog toenemen tot een bedrag van 1400 uren.

nu de beweging der planeten beschreven en daarmee het moderne natuuronderzoek ingeleid. Strikt genomen, gebruikte hij het woord snelheid niet, maar dat van omloopstijd, waarin het begrip snelheid is opgesloten.

De eerste wet van KEPLER zegt, dat de loopbanen der planeten ellipsen zijn en de zon in een der brandpunten is geplaatst. Volgens de tweede worden door de voerstralen (de lijnen getrokken van zon naar planeet) sectoren van gelijken inhoud, gelijke perken, in gelijken tijd doorlopen. De derde wet luidt, dat de tweede machten der omloopstijden der verschillende planeten tot elkander in verhouding staan als de derde machten hunner gemiddelde afstanden tot de zon. Dit is een wiskundige beschrijving der planetenbeweging. De waarde der verschillende grootheden — afstanden tot de zon, inhoud der perken, omloopstijden — wordt door waarneming en meting vastgesteld en de wiskundige betrekking aangegeven, waarin die grootheden bij elke verandering tot elkander blijven staan. Zulk een wet van onderlinge afhankelijkheid van veranderlijke grootheden, wiskundig uit te drukken met behulp der functie-leer, is een natuurwet in modernen zin.

GALILEÏ bestudeerde op soortgelijke wijze den vrijen val der lichamen. Hoezeer verschilde zijn opvatting van die der Aristotelische geleerden van zijn tijd. Aan de Leidsche hoogeschool was BURGERSDIJK (van 1590 tot 1636 levend) zijn tijdgenoot. In het Collegium Physicum van den laatste is ons als het ware een dictaat bewaard van het college in de natuurlijke wijsbegeerte aan onze eerste hoogeschool en BURGERSDIJK zwoer nog bij het gezag van den Stagyriet. De vrije val was de natuurlijke beweging (de *motus naturalis*) der lichamen. De orde van het heelal bracht mede, dat elke stof een bepaalde plaats innam. Van het middelpunt der aarde af gerekend kwam de eerste (laagste) plaats toe aan de aarde (vaste stoffen), daarop volgden het water, de lucht en het vuur. De elementen bewegen zich daarom rechtlijnig met het doel om tot rust te komen op de plaatsen, waar zij behooren.¹ Dit is de finale of eindoorzaak van het verschijnsel. De formeele oorzaak is gelegen in de zwaarte en de lichtheid, die tot

¹ *Elementa ergo naturaliter moventur recto motu, idque eo fine, ut in locis naturae suae consentaneis quiescant et sic universum ordinate component.* (De elementen worden van nature rechtlijnig bewogen en wel met het doel, om te rusten op de plaatsen, die bij hun natuur passen, en zoo stellen zij het geordende universum samen) *Coll. Physic.*, blz. 120.

het wezen of tot de hoofdeigenschappen der lichamen behooren;¹ zij werken mede om de zware elementen naar beneden, de lichte naar boven te bewegen. Lichamen, die van nature een rechtlĳnige beweging aannemen, worden in den beginne vrij langzaam, daarop sneller en ten slotte zeer snel bewogen. Dit leert de ervaring; want een vallende steen komt met des te meer kracht beneden, naarmate hij van grooter hoogte viel. Volgens mijn gevoelen is de oorzaak van dit verschĳnsel gelegen in de middenstof, waarin de beweging plaats vindt.²

Het betoog van BURGERSDIJK komt hierop neer, dat de lucht, zoolang zij in rust is, — dus in den beginne — de meeste weerstand biedt. Is zij eenmaal door het bewegende lichaam in beweging gebracht, dan vermindert die weerstand, terwijl zij daarenboven, om het ontstaan van een luchtledig te beletten (de horror vacui is bekend) achter het bewogen lichaam opdringt en op het laatste drukking uitoefent. Zoo wordt de snelheid van het vallende lichaam steeds grooter.

Ziedaar de in Aristotelischen stijl gegeven verklaring van den vrijen val der lichamen, die eigenlijk slechts een bijzonder geval (de *motus localis*) van de algemeene bewegingsleer der scholastieken uitmaakt.

Laten wij nu GALILEÏ aan het werk zien, dan komt het karakter der moderne natuurwetenschap helder in het licht en wordt het duidelijk hoe ver GALILEÏ en de zijnen en de scholastieken van elkaar verwijderd waren.

Inderdaad was het standpunt der partijen zoo verschillend, dat zij elkander niet begrijpen en waardeeren konden. Met medelĳdend lachen zagen de Aristotelische professoren van Pisa GALILEÏ zijn bekende valproeven nemen, die in hun oog zoo nutteloos waren. Dat was op hun standpunt geen verklaring en de hunne was het niet voor GALILEÏ. Aan de ééne zijde werden anthropomorphe beelden gebruikt, aan de andere waren zij van wiskundig-mechanischen aard. Toch was GALILEÏ,

¹ *Inclinatio ad motum in elementis est gravitas et levitas.* (Zwaarte en lichteheid is de neiging der elementen tot beweging.) T. a. p., blz. 120.

² *Quae naturaliter moventur motu recto, in principio tardius moventur, in progressu celerius, in fine celerrime, idque non solum si violentus motus antecessit, sed etiam cum antecessit longa quies. Atqui id ipsa docet experientia. Lapis enim cadens tantò vehementius ferit, quantò ex altiori loco venit. Hujus rei causam, ut aliorum sententias omittamus, in medium, per quod motus sit, referendam existimo. Id enim ante motum immobile est: ideoque mobili in principio magis urget, etc.* Het aangehaalde en wat er verder volgt is de scholastische verklaring, in den tekst gegeven, T. a. p., blz. 84.

de wiskundige van zijne hoogheid den groothertog van Toscane, nog meer de voorlooper dan de grondvester der moderne physica. De begrippen, massa en kracht, in den nieuwen zin waren hem nog onbekend. Hij verhief zich niet tot een algemeen standpunt. Zijn studie van de valwetten leidde niet tot het opstellen van een enkele wiskundige formule voor het verschijnsel van den vrijen val. In een lange reeks van theorema's formuleerde GALILEÏ de betrekkingen tusschen de verschillende grootheden — tijden, valhoogten en snelheden — die de proeven hem hadden leeren kennen. Het nieuwe beginsel was daarmede uitgesproken. HUYGENS en NEWTON zouden later de theorema's samenvatten in een enkel wiskundig beeld, de formule van de eenparig versnelde beweging in het algemeen. GALILEÏ verbond de begrippen met verschijnselen, die hij metend waarnam. In zijn theorema's met de woorden tijd, snelheid en valhoogte den vrijen val beschrijvend, gaf hij feitelijk een reeks wiskundige beelden van beperkte strekking en algemeenheid.

II

Met de formule $s = \frac{1}{2} a t^2$ van HUYGENS, nog de onze, is het scherpe mechanische beeld geteekend van alle bewegingen, die behooren tot het genus eenparig versnelde zonder beginsnelheid. De letters s , a en t zijn daarin algemeene getallen, die respectievelijk het aantal eenheden van lengte van den weg, van versnelling en van tijd aangeven, die de beschouwde grootheden bevatten. De standvastige betrekking, door de formule uitgedrukt, is kenmerkend voor het geslacht. De waarde van a verschilt naar de soorten. Voor den vrijen val in het luchtledige is $a =$ omstreeks 9.8 M; voor de beweging zonder wrijving langs het hellend vlak hangt de waarde van a af van de verhouding tusschen lengte en hoogte van het vlak. Bij den val in den bekenden toestel van ATWOOD wordt a bepaald door de verhouding van overwicht en totaal gewicht. Zoo zijn ook op het gebied der physica de beginselen van systematiek toepasselijk en blijkt de juistheid van KIRCHHOFF's uitspraak, dat ook in de physica het woord »verklaren" geen andere beteekenis heeft dan het woord »beschrijven" in de natuurlijke historie.

De eenparige beweging beantwoordt aan de formule $s = vt$, waarin s , v en t in bovengenoemden zin respectievelijk den doorloopen weg, de snelheid en den tijdsduur der beweging uitdrukken.

Een bewegingsverschijnsel heet nu verklaard, wanneer het wiskundig-mechanische beeld wordt aangewezen, dat er op toepasselijk is. Verklaren is dus het opstellen der genoemde typen en het aanwijzen van het gebied, dat zij beheerschen.

Wij werpen een lichaam verticaal opwaarts. Tusschen de snelheden, de stijghoogten en de tijden bestaat een vaste betrekking, die langs proefondervindelijken weg gevonden zou kunnen worden. Hebben wij hier een nieuw beeld of type? In de physica wordt geleerd, dat de eenparig vertraagde beweging beantwoordt aan de formule $s = vt - \frac{1}{2} at^2$. Staande op een hoogte laten wij een lichaam los met een stoot in vertikaal nederwaartsche richting. De beweging geschiedt nu volgens de formule $s = vt + \frac{1}{2} at^2$. (in beide gevallen wordt de beweging geacht in het luchtledige plaats te vinden.) Wij hebben hier dus te doen met een combinatie der beelden van de eenparige beweging en van de eenparig versnelde zonder beginsnelheid. Een herleiding, die dit in het licht stelt, is een verklaring van het verschijnsel in modern-physischen zin; zij bepaalt het gebied der beelden.

Aan HUYGENS hebben wij de verklaring der slingerbeweging en de undulatie-leer van het licht te danken. Beiden vertegenwoordigen een enkel mechanisch type, dat in de formules $s = a \sin. 2\pi \frac{t}{T}$ en $v = a \frac{2\pi}{T} \cos. 2\pi \frac{t}{T}$ uitgedrukt is. De laatste der formules is, strikt genomen, reeds in de eerste opgesloten. De letters s en v stellen daarin respectievelijk de verplaatsing van het punt en de snelheid voor, terwijl de amplitudo der beweging, de slinger- of trillings-tijd en de tijd, sedert het verlaten van den evenwichtsstand verlopen, respectievelijk door de letters a , T en t aangeduid worden. Dat het licht, hetwelk in geen enkel opzicht aan beweging doet denken, waarvoor in den ether eerst nog een middenstof uitgedacht moest worden, zich tot in zijn meest ingewikkelde verschijnsels van polarisatie, interferentie, buiging en dubbele breking, met behulp van de slingerformule *althans in hoofdzaken* liet beschrijven, dat was een overwinning voor de nieuwere physica grooter dan die, welke NEWTON op het gebied der sterrekunde behaalde. NEWTON bleef daar binnen het terrein der zichtbare bewegingen. HUYGENS toonde aan, dat de mechanisch-mathematische, aan de beweging ontleende beelden, ook daar buiten gebruikt konden worden; hij wekte de verwachting, dat zij wellicht geschikt zouden blijken te zijn, om een wetenschap op te bouwen, die alle natuurverschijnsels omvatte. En wij weten, dat die verwach-

ting nog niet opgegeven behoeft te worden. Had HUYGENS in dit opzicht terstond de erkenning gevonden, die NEWTON overal ten deel viel, de leer van het licht zou veel vroeger den vorm aangenomen hebben, dien zij in onze dagen bezit.

De natuurkundige beschrijving der genoemde verschijnselen was in de wiskundige formules niet geheel gegeven. De laatsten bevatten niets, dat den aard der grootheden aanwijst. Zij missen dus ten eenenmale aanschouwelijkheid. Zij spreken alleen tot het abstraheerende verstand. Wordt er bijgevoegd, dat zij betrekking hebben op grootheden, voor voorstelling vatbaar, b. v. afmetingen der ruimte, dan verkrijgt ook de verbeelding het aandeel, dat zij bij een zinnelijk wezen als de mensch behoort te hebben. Dit nu geschiedt, waar de formule betrokken wordt op de verplaatsing van een stoffelijk punt in de ruimte. De wiskundige grootheden van de formule verkrijgen daardoor; zooals het heet, een natuurkundige beteekenis. De natuurkundige beteekenis van heen- en weergaande etherdeeltjes, die HUYGENS met de wiskundige uiteenzetting der undulatie-leer verbond, gaf aanschouwingsbeelden voor het geestelijk oog, waar het stoffelijke niets kon ontwaren. De wiskundige analyse heeft dus, zelfs op het gebied der mathematische physica, het woord niet alleen. Vaak echter loopt de wiskundige den physicus vooruit en is de analytische vorm reeds gevonden, voordat de physische beteekenis is vastgesteld. Het noemen van den naam MAXWELL is voldoende, om de waarheid dezer uitspraak te staven. Men zoekt voor vele zijner analytische uitkomsten nog het passende physische beeld. Veelal wordt er nog meer dan één voorstelling mede verbonden. De krachtlijnen in het electriche en magnetische veld zijn ook uit die behoefte aan aanschouwelijkheid geboren.

Geen natuurkundig begrip heeft een belangwekkender ontwikkelingsgeschiedenis dan dat van *stof of materie*. ARISTOTELES had er veel zorg aan besteed en het tot een der grondslagen van zijn stelsel gemaakt. De materie was voor hem het blijvende en onveranderlijke in den stroom der verschijnselen; zij was voor definitie niet vatbaar, had geen wezen en dus ook geen bestaan in den gewonen zin van het woord. Haar bestaan is *potentieel*; een woord, dat wij verstaan en in de leer van het arbeidsvermogen overgenomen hebben.

De stof is niets, doch kan alles worden. Heeft zij een vorm opgenomen, dan is zij overgegaan in een werkelijk bestaand lichaam. Dit is de *primaire* stof. *Secundaire* stof is elk lichaam, beschouwd in betrekking tot een ander, dat er uit ontstaat. Zoo is hout secundaire

stof met het oog op de tafel, die er uit gemaakt wordt. De stof draagt een anderen naam, naarmate zij behoort bij een verschijnsel, dat bestaat in verplaatsing in de ruimte, in eenvoudige wijziging van eigenschappen of in het ontstaan van een nieuw lichaam. Dit Aristotelische stofbegrip was tot in de 17^{de} eeuw de grondslag van elke redeneering op natuurkundig gebied; de scholastieken kenden geen ander. Het moge geschikt zijn voor woordenstrijd en oefening in dialectiek en uit een logisch oogpunt verdienen hebben, als middel voor beschrijving van physische verschijnselen was het zeer gebrekkig en heeft het weinig nut gedaan.

NEWTON en HUYGENS hebben het onder den naam van massa den vorm gegeven, dien het in de nieuwere natuurkunde behoeft; zij verbonden het met een meetbaar bestanddeel van de werkelijkheid. Bij NEWTON heette het: »Deze hoeveelheid duid ik overal in het vervolg aan met den naam van *massa* of *lichamelijkheid*. Zij wordt gekend uit het gewicht van elk lichaam.”¹ »Want” zoo heette het verder »ik heb door zeer nauwkeurige slingerproeven aangetoond, dat zij evenredig is met het gewicht.”

HUYGENS zeide: »Dat de zwaarte der lichamen nauwkeurig evenredig is met de hoeveelheid stof, die zij bevatten, waaruit volgt, dat lichamen, die evenveel stof bevatten, ook even zwaar zijn.”² Beiden verwierpen de opvatting van DESCARTES, die in de uitgebreidheid het eenige kenmerk vond der stof en dus de laatste met de ruimte identificeerde. HUYGENS zegt met het oog op deze Cartesiaansche gedachte, die in zijn tijd bij velen instemming vond: »Ik heb geen bezwaar tegen het aannemen van ledige ruimten, omdat 't niet duidelijk is hoe de lichamen zich zonder dat bewegen kunnen; in deze zaak verschil ik dus geheel in gevoelen met CARTESIUS, die het wezen der lichamelijkeit alleen in de uitgebreidheid zocht, terwijl ik meen er te moeten bijvoegen de volkomen hardheid, die de ondoordringbaarheid van het lichaam uitmaakt.”³

¹ „Hanc autem Quantitatem sub nomine corporis vel massae in sequentibus passim intelligo. Innotescit ea per corporis cuiusque Pondus.”

Philos. nat. Princip. mathem. auctore Isaaco Newtone, equita aurato. Amstelodami MDCCXXIII, blz. 1.

² „Adeoque gravitatem corporum praecise sequi proportionem materiae, ex qua componuntur. . . . Ergo sequitur, quod ea qui aequalem continent materiae quantitatem aequales sunt gravitatis, quod demonstrandum erit.” HUYGENS *Opera reliqua*, I, 123.

³ Vacuum equidem facile admitto videnturque corpuscula parva absque eo non

NEWTON en HUYGENS hebben met hun groot gezag de opvatting van DESCARTES, waaruit alleen de wiskundige sprak, spoedig van de baan gedrongen.

Te Leiden werd zij nog eenigen tijd verkondigd door den hoogleeraar DE VOLDER. Toen 's GRAVESANDE er den leerstoel voor physica bezette, deed de Newtoniaansche wijsbegeerte, en daarmede het nieuwe stofbegrip, ook ten onzent zijn intrede om er voor goed te blijven.

NEWTON en HUYGENS verbonden het begrip van massa of hoeveelheid stof onmiddellijk met dat van de werking der zoogenaamde algemeene zwaartekracht.

Daaraan lag de gedachte ten grondslag, dat de veranderingen in den bewegingstoestand, als gravitatie aangeduid, een uiting waren van de werking der lichamen op elkander. Zulk een gedachte lag voor de hand in een tijd, die onmiddellijk paalde aan het scholastiek verleden. De verdienste van NEWTON en de zijnen lag voornamelijk hierin, dat zij bij de uitwerking er van den anthropomorphen weg verlieten. HUYGENS preciseerde die gedachte door het beginsel der gelijkheid van actie en reactie, van werking en tegenwerking. Volkomen oorspronkelijk was hij ook hier niet; de scholastieken spraken reeds van actio en reactio; het zoo veelvuldig gebruikte woord »reactie" is van zeer ouden datum. In de wijze, waarop de nieuweren in de verschijnselen de maat vonden voor de genoemde gelijkheid is het kenmerkende van den vooruitgang gelegen.

De werking van de zon op de aarde is dus even groot als die van de aarde op de zon. De planeten vallen voortdurend in de richting van de zon; d. i. zij ontvangen een versnelling, evenredig met den tijd, volgens de rechte lijn, die hen met de zon verbindt (zon en planeten als stoffelijke punten beschouwd.) Men noemt dit de deviatie-versnelling. Tevens bezitten zij een snelheid, die op een gegeven oogenblik gericht is volgens de raaklijn aan de baan getrokken. Uit beide snelheden resulteert de kromlijnige baan, die zij beschrijven. De zon verkrijgt eveneens een deviatie-versnelling volgens de lijn, die haar met de planeten en de aarde verbindt.

De gravitatie-werking der lichamen op elkander ging van elk stofdeeltje uit. Waarom zou men enkele er van uitsluiten? Daarom vonden NEWTON en HUYGENS er de maat in voor de massa of de hoeveelheid stof

posse inter se moveri; qua in re longe aliter sentio ac Cartesius, qui essentiam corporis in extensione sola posuerit, cum addendam esse putem duritiem perfectam quâ corpus impenetrabile fiet." T. a. p. 123.

van de lichamen. De weegschaal leert ons de gelijkheid van gewicht van twee lichamen op een bepaalde plaats kennen — d. i. de gelijkheid van gravitatie-werking, die zij van de aarde ondervinden en wederkeerig op de aarde uitoefenen — en dit sluit dus in de gelijkheid hunner massa's. Wij zagen dat NEWTON zeide: »Deze hoeveelheid noem ik lichamelijkeid of massa, zij wordt gekend uit het gewicht van een lichaam, dat er mede evenredig is"; en dat HUYGENS zich in denzelfden geest uitliet.

Ook uit de bewegingsverschijnselen, door de zwaartekracht veroorzaakt, kan het massa-begrip afgeleid worden. Vatten wij daarvoor de beweging der hemellichamen in het oog. Volgens de beroemde wet van NEWTON zijn de deviatie-versnellingen, die twee hemellichamen elkander geven, omgekeerd evenredig met de tweede machten hunner afstanden.

Nu is bij gelijkheid van afstand de deviatie-versnelling in het algemeen nog zeer verschillend. Er is dus nog een andere factor in het spel en dit is de massa. Onderstellen wij b.v. de aarde en de zon op gelijken afstand geplaatst van de maan; dan zou de laatste van de zon een ongeveer 321.000 maal zoo groote versnelling ontvangen dan van de aarde. De werking van de zon op de maan is dus bij gelijkheid van afstand ongeveer 321.000 maal zoo groot als die van de aarde op hetzelfde hemellichaam; derhalve heeft de zon een massa of hoeveelheid stof 321.000 maal zoo groot als die der aarde. De aan de stof toegeschreven gravitatie-werking wordt hier, bij volkomen gelijkheid van al het andere, evenredig gesteld aan de per tijdseenheid voortgebrachte snelheid.

Het dynamisch evenwicht kan voor hetzelfde doel dienen. Kon men de deviatie-versnelling van de zon ten opzichte van de aarde nauwkeurig meten, men zou er één voor vinden, als de overeenkomstige versnelling van de aarde ten opzichte van de zon gelijk 321.000 gesteld werd. Het beginsel van actie en reactie eischt gelijkheid van werking van zon op aarde en van aarde op zon. De deviatie-versnellingen van zon en aarde verhouden zich als 1 : 321.000. Dus moet de verhouding der andere factoren — de massa's — het omgekeerde zijn van de bovengenoemde, d. i. 321.000 : 1. Alleen dan, als in de zooveel geringere versnelling, die de aarde aan de zon geeft, door een zooveel grootere massa (hoeveelheid stof) der laatste gedeeld wordt, kan de werking gelijk geacht worden aan die, waardoor de aarde met haar kleine massa een zooveel grootere versnelling ontvangt.

NEWTON en HUYGENS meenden het recht, om het begrip massa, uit een statisch verschijnsel (het gewicht) afgeleid, bij de bewegingsverschijnselen te gebruiken, te moeten bewijzen. Van twee ballen, in alles behalve in grootte gelijk, gaat zeker een ongelijke gravitatie-werking op de aarde uit en omgekeerd is de werking der aarde op elk dier ballen verschillend. De weegschaal drukt het uit door verschil in gewicht. Toch leert de proef, dat zij in het luchtledige over denzelfden afstand vallend, dezelfde eindsnelheid verkrijgen. De snelheden kunnen hier dus niet alleen de maat van de werking der aarde zijn. Weegt de ééne bal 2 en de andere 1, dan moet de snelheid van de eerste door een tweemaal zoo groote massa gedeeld worden. Ware meting mogelijk, het zou blijken, dat de aarde van den vallenden bal met het gewicht 2 een tweemaal zoo groote versnelling verkregen had, als van den bal met het gewicht 1. Dus moeten gewicht en massa evenredig zijn.

Men kan zich ook op een algemeener standpunt plaatsen en niet alleen de gravitatie, maar krachten in het algemeen beschouwen. De steen werkt in gelijke mate terug op den persoon, die hem voortwerpt, als de laatste op den eerste. Springt men op van de aarde, dan stoot men de laatste, zij 't ook met geringe snelheid, voort. Als dezelfde lading buskruit, uit hetzelfde geweer, onder overigens volkomen gelijke omstandigheden aan twee kogels respectievelijk snelheden geeft van 500 en 1000 meter, dan verhouden zich de massa's dier kogels als de getallen 2 en 1. De werking van het geweer, dat ook snelheid verkrijgt, op elk dier kogels en de terugwerking der laatste op het eerste zijn dan gelijk. Men drukt dit uit door de vergelijking $M \times V = m \times v = m' \times v'$; waarin M , m en m' respectievelijk de massa's en V , v en v' respectievelijk de snelheden van het geweer en van de kogels aanwijzen. Feitelijk wordt bij het bepalen van de massa alleen van de zwaartekracht gebruik gemaakt, omdat zij alleen nauwkeurige meting toelaat.

De voorstelling van kracht, d. i. van werking, moet dus aan het begrip van massa voorafgaan. De gravitatie-werking hing van den afstand der lichamen af, waartusschen zij plaats vond; zij was, wiskundig uitgedrukt, een functie van die afstanden. Hing zij alleen van de laatsten af, er ware op astronomisch gebied geen aanleiding voor het vormen van het begrip van massa. De verkregen snelheid is hier echter anders, dan op grond der wet verwacht moest worden; elders verschilt zij van die, welke uit het beginsel van de gelijkheid van werking

en tegenwerking voortvloeit. De invoering van het begrip massa stelt in staat de overeenkomst tusschen theorie en werkelijkheid te herstellen, de wet der gravitatie en het beginsel van actie en reactie zoo te formuleeren, dat zij een juiste uitdrukking zijn der waargenomen feiten.

In de keuze van de eenheden van massa en van het daarmee samenhangende gewicht heerscht niet de eenstemmigheid, zoo gewenscht om verwarring te voorkomen. Als eenheid van gewicht gold bij de natuurkundigen van de 17^{de} eeuw het gram of het kilogram. Het laatste is het gewicht van een kubiek centimeter of decimeter water van 4°. ¹ Wil men nu, dat hetzelfde getal het aantal der gewichts- en der massa-eenheden aangeeft, die een lichaam bevat — dat het 10 KG. wegend ook een massa 10 heeft — dan zou de massa van 1 dM³ water van 4° de eenheid van massa moeten zijn. Ware P het gewicht en m de massa van zulk een lichaam, dan had men $P = m$. Men gebruikt echter de vergelijking $P = g \times m$, waarin g de versnelling der zwaartekracht voorstelt. Deze gelijkheid onderstelt, dat hetzelfde lichaam gmaal zooveel gewichts-eenheden als massa-eenheden bevat; dat derhalve elk der laatste g -maal zoo groot is als elk der eerste. De eenheid van massa ware dan de massa van g dM³ water van 4°, als voor het gewicht het KG. behouden wordt. Daar g op verschillende breedte der aarde een verschillende waarde heeft, is in dit gravitatie-stelsel zoowel de eenheid van gewicht als die van massa een veranderlijke grootheid.

In het stelsel van de zogenaamd volstreckte eenheden van GAUSS is het gram ² de eenheid van massa en de eenheid van kracht die, welke in één seconde aan een massa van één gram een snelheid van één centimeter geeft. Heeft een lichaam dan m massa-eenheden, d. i. weegt het m gram, dan is de kracht, waarmee het door de aarde aangetrokken wordt — zijn gewicht — $m \times g$ der genoemde krachts-eenheden, dynes genaamd. Het gewicht van één cM³ water is hier dus geen eenheid van kracht. Wil men het toch als krachts-eenheid onder den naam van gramgewicht behouden, dan bedenke men, dat het geheel buiten het stelsel staat. De volstreckte eenheden van massa en kracht zijn standvastig. Dit is het C. G. S. stelsel.

¹ Het standaardkilogram van platina, dat te Parijs bewaard wordt, is niet precies gelijk aan de massa van 1 dM³ water. Het laatste bevat 0,9999 massa-eenheden. Dit standaardkilogram is echter een eenheid van massa.

² Men ziet thans in, dat de weegschaal de massa en niet het gewicht leert kennen.

Het begrip massa, zooals het in het voorafgaande ontwikkeld is, is geheel aan de bewegingsverschijnselen ontleend. Het kan dus ook alleen tot beschrijving van de laatste gebruikt worden of van die verschijnselen, waarop de mechanisch-wiskundige bewegingsbeelden toepasselijk gemaakt kunnen worden. In de leer van het arbeidsvermogen wordt het begrip onder den naam van *capaciteit* zoo algemeen opgevat, dat het boven ontwikkelde massa-begrip slechts een bijzonder geval gaat vertegenwoordigen.

Zoo wordt op dit standpunt zeer consequent de hoeveelheid electriciteit gemeten naar de werking, die er van uitgaat. Op het theoretische Faraday-Maxwell'sche standpunt beteekent dit dan alleen de hoeveelheid werkzame electriciteit. Ook op het gebied van warmte, electriciteit en chemische werking vindt men dan grootheden, die analoog zijn met de massa bij de bewegingsverschijnselen. In de Newton'sche gravitatie-werking wordt alle materie geacht te deelen.

Kracht en massa zijn dus correlate begrippen. Het ééne kan niet bepaald worden zonder het andere aan te roeren. Daarom moest in het voorafgaande reeds van gewicht en kracht gesproken worden. Thans willen wij de ontwikkeling van dit belangrijke begrip aan een kort onderzoek onderwerpen.

(Slot volgt.)