

DE VERSCHILLENDE METHODEN TOT BEPALING VAN DE SNELHEID DES LICHTS

DOOR

F. G. GRONEMAN.

La détermination précise de la vitesse avec laquelle la lumière traverse l'espace constitue à proprement parler une de merveilles de la science moderne.

DELAUNAY.

Als men een voorwerp van ijzer van de temperatuur van smeltend ijs, of nul graden Celsius, één graad verwarmt, wordt zijn inhoud 36 millioenensten grooter. Voor koper bedraagt dit 52, voor glas 26 millioenensten, voor elke andere stof, die door verwarming uitzet, is er weer een ander getal. Deze getallen heeten uitzettingscoëfficiënten.

Zilver geleidt den galvanischen stroom tienmaal zoo goed als platina, goud zesmaal, koper zeven- à achtmaal zoo goed.

Het geluid legt in onzen dampkring in elke seconde een weg van 340 meters af, het licht in de wereldruimte 300000000 meters, in rond getal.

Het violette licht volbrengt in de seconde 728 trillioen trillingen, het roode 497 trillioen.

Volgens de nieuwere beschouwingen omtrent het wezen der gassen, bewegen zich de moleculen van het waterstofgas onophoudelijk in alle richtingen dooreen met een snelheid van 1859 meters per seconde, indien het gas nul graden temperatuur heeft. Elk molecule botst daarbij in elke seconde 17750 millioenmaal tegen een ander molecule aan.

CLARK MAXWELL's lezing te Bradford (*Revue scientifique*. Oct. 1873).

Dergelijke getallen noemt men wel eens physische constanten. Het zou geen moeite kosten deze lijst tot eenige bladzijden uit te breiden. Buitendien heeft men chemische constanten, astronomische en andere.

Voor den lezer van dit tijdschrift heeft het niets belangrijks te weten, of deze getallen volkomen juist zijn, of dat zij iets grooter of kleiner moeten genomen worden. Hoogstens kunnen deze waarden hem verbazen, als het grootte cijfers zijn. Voor de wetenschap zijn zij echter van het hoogste belang. Van de kennis van zulk een constante hing soms de oplossing van de diepst ingrijpende vraagstukken af. De techniek kan vaak niet buiten haar; men denke aan specifieke gewichten, het draagvermogen van balken, weerstand tegen uitrekking, verbrandingswarmte, dampspanningen, en zoovele anderen.

Maar hoe weinig het den lezer ook moge treffen, dat zekere planeet dertig duizend millioen kilometers van de zon verwijderd is, of dat een kilogram ijs bij zijn smelting bijna 80 warmte-eenheden latent maakt, geheel anders is het met de verschillende methoden, door welke men er in geslaagd is, al deze constanten te meten. Ten eerste moet vaak de weetgierigheid geprikkeld worden, wanneer men bij menige constante vraagt, hoe men ooit in staat was haar te bepalen. Hoe kon men ooit den afstand meten, die een planeet van de zon scheidt? Hoe verwierf men de zekerheid, dat sommige sterren zoo ver van ons af zijn, dat haar licht 1000 jaar besteedt om ons te bereiken?

En veel meer nog zal een kennismaking met sommige dezer methoden onze belangstelling wekken door het vernuftige, dat daaraan eigen is, door de fijnheid en juistheid der bij de bepaling gebruikte instrumenten, door de bewonderenswaardige bedrevenheid en scherpzinnigheid — in den letterlijken zin — van den proefnemer, al hetwelk een historische reputatie aan menig onderzoek heeft geschonken. Ik meen dan ook, dat de bespreking van eenig daaraan ontleend onderwerp in een tijdschrift als het Album der Natuur allezins op haar plaats is. Zulk een onderwerp is in de volgende bladzijden door mij behandeld. De meting van de snelheid des lichts, die sedert meer dan twee eeuwen telkens de grootste natuuronderzoekers heeft bezig gehouden, biedt zooveel aan, waarop het gezegde van zooveen van toepassing is, dat het zonder twijfel den lezer zal kunnen boeien. Zou ik mogen onderstellen, dat hij door de eerste regels zal worden afgeschrikt, die eenige inspanning kosten, waar de schrijver deze soms onvermijdelijk van den lezer moet vergen?

Ik geloof het niet.

Gaarne echter roep ik zijne welwillendheid voor mijzelf in.

De literatuur over het onderwerp is zeer uitgebreid. Hier en daar noemde ik de voornaamste bronnen, waaruit ik geput heb. Een algemeen, beknopt overzicht vindt men in elk leerboek of handboek der proefondervindelijke natuurkunde. Uityoeriger en zeer lezenswaardige verhandelingen zijn die van DELAUNAY, in het *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1865, en van LOVERING, in SILLIMAN'S *Journal* van 1862. Ook eenige figuren zijn naar oorspronkelijke verhandelingen genomen.

I.

Dat het geluid tot zijne voortplanting tijd behoeft, valt zeer gemakkelijk op te merken. Gewoonlijk wijst men, om dit aan te toonen, op den houthakker, die in de verte in 't bosch aan 't werk is. Men ziet telkens zijn bijl op den boomstam vallen, maar verneemt den slag eerst na eenige oogenblikken.

Men lette eens op een colonne soldaten, die op het geluid van de trom in den pas marcheert. Natuurlijk zorgt ieder soldaat er voor, zooveel mogelijk in den pas te blijven met den rhytmus der trommelslagen. Elk volgend gelid is iets verder naar achteren en verneemt dus die slagen een zeer klein tijdsdeel later dan het voorgaande. Het verschil is te gering om in 't oog te vallen, en daarom schijnt dan ook ieder soldaat in den pas te zijn met zijn voorman. Wanneer men echter het oog laat gaan langs de geheele colonne, van het voorste tot het achterste gelid, bespeurt men, dat deze in een zacht golvende beweging is. Deze wordt door het ongelijktijdige in den pas der op elkaar volgende manschappen veroorzaakt. Bij elken slag van de trom ontstaat een golf vooraan, die zich met groote snelheid naar achteren beweegt. Het is duidelijk dat deze golf ons de voortplantingssnelheid van het geluid als het ware rechtstreeks doet waarnemen.

Evenaardde deze voortplantingssnelheid die van het licht, men zou haar niet zoo gemakkelijk en duidelijk kunnen bespeuren. De snelheid van het licht toch is zóó groot, dat men vroeger niet anders meende, of zij was oneindig groot, d. w. z. het licht behoefde geen tijd, hoe klein ook, om eenigen afstand te doorloopen.

Bij GALILAEI, die in zoo menig opzicht de baanbreker was der nieuwere wetenschap, treffen wij deze meening echter niet aan. Althans hij trekt het zeer in twijfel, ofschoon hij geen bewijzen voor het tegendeel heeft. In zijn beroemde *samenspraken*¹ laat hij iemand beweren, dat de snelheid des lichts oneindig is, want, zegt deze: als er een kanon wordt afgeschoten zien wij het licht op het oogenblik zelf, maar hooren wij het geluid eerst later. “De andere — die gewoonlijk GALILAEI’s eigen meeningen en inzichten weergeeft — antwoordt: Even goed zou men kunnen zeggen, dat wij de zon’s morgens terstond zien, als zij boven de kim is. Hoe weet men, of zij niet alreeds eenige oogenblikken boven de kim gestaan heeft, voordat wij haar konden zien?” Daarop beschrijft deze persoon een proef, welke zou kunnen dienen om uit te maken, wie van hen beiden gelijk had. GALILAEI schijnt die proef gedaan te hebben. Maar hij verkreeg zonder twijfel niet het minste positieve resultaat. En geen wonder! ’t Moge blijken uit het volgende, dat op kleinigheden na de proef van GALILAEI is².

Twee personen, ieder van een brandende lamp voorzien, plaatsen zich des nachts op eenige mijlen van elkaar, doch zoó, dat zij elkaars lampen kunnen zien. Op een zeker oogenblik dooft de eerste zijn lamp plotseling uit. De tweede persoon ziet dit niet zoodra, of hij doet met zijn lamp hetzelfde. Dit wordt wederom door den eersten persoon gezien.

Heeft nu het licht tijd noodig om den afstand, die de proefnemers vaneen scheidt, te doorloopen, dan zal de eerste persoon dat terstond bespeuren, want de tijd, dien het licht voor dien heen-en-weergang besteedt, gaat voor hem voorbij tusschen het oogenblik, waarop hij zijn lamp uitbluscht, en dat, waarop hij die handeling door zijn medewerker ziet herhalen.

GALILAEI was nog niet in het bezit van fijne werktuigen om den tijd te meten. Tiendedeelen van seconden ontsnapt zeker aan zijn waarneming. Hij moest zijn proef dus zoo inrichten; dat het te meten tijdsverloop zoo groot mogelijk werd. Daartoe moesten de waarnemers zoo ver uiteen staan, als de omstandigheden toelieten. Ook zou men den tweeden waarnemer kunnen vervangen door een grooten vlakken spiegel, waarin de eerste het licht van zijn lamp laat terugkaatsen. Daardoor valt de tijd weg, dien de tweede waarnemer noodig heeft

¹ *Mechanica*, *Dialogus* I (omstreeks 1638).

² Zie de aangehaalde verhandeling van DELAUNAY.

om, als hij de lamp van den eersten ziet uitgaan, zijn eigen lamp uit te dooven, en waardoor de zuiverheid der proef benadeeld wordt. Maar al neemt men nu ook al deze voorzorgen, al stond de proefnemer 50 uur gaans van den spiegel af — en op grooter afstand is de proef onmogelijk — dan zou men, zonder betere hulpmiddelen dan die van GALILAEI, zich te vergeefs inspannen om eenig resultaat te verkrijgen. Immers een eenvoudige berekening doet zien, dat het dien weg in minder dan $\frac{1}{500}$ seconde aflegt!

Wij zullen echter zien dat de tijd en het vernuft die fijnere hulpmiddelen heeft verschaft, en dat de proeven van FIZEAU en die van CORNU, met zulk een schitterenden uitslag bekroond, eigenlijk de proef van GALILAEI zijn, maar met aanwending van al wat de nieuwere waarnemingskunst kon aanbieden.

GALILAEI, de man der ervaring, laat het dus min of meer in 't midden of het licht eene oneindige snelheid bezit of niet. Anders doet DESCARTES, die over dit punt een zeer onwetenschappelijk en allesbehalve juist betoog houdt¹. Eigenlijk staat hij hier beneden den man van het zuivere autoriteitsgeloof, want hij voert proeven aan, maar die niet de minste kracht van bewijs hebben en door hem zeer valsch geïd worden. Hij beweert met ronde woorden, dat wij er ons in 't minst niet over verwonderen moeten, dat het zonlicht, zonder eenig tijdsverloop, van de zon uit tot ons komt. Wij zullen zijne toelichtingen hier achterwege laten, daar deze ons weinig leeren zouden.

De uitspraak van DESCARTES woog bij vele geleerden van zijn tijd, en nog van later dagen, zwaar. Wij zullen weldra zien, dat er langen tijd eigenlijk aan hare waarheid niet getwijfeld werd, ja dat een overtuigende proef menigeen niet van haar afvallig kon maken.

II.

Alle metingen van de constante, die ons bezig houdt, op één na, zijn te Parijs verricht. Zoo ook de eerste van allen, die wij nu gaan mededeelen.

Fransche sterrekundigen deden in 1670 tot 1675 waarnemingen op de manen van de planeet Jupiter. Met hen werkten twee leden der Académie Royale des Sciences. De een, ROEMER, was echter een Deen,

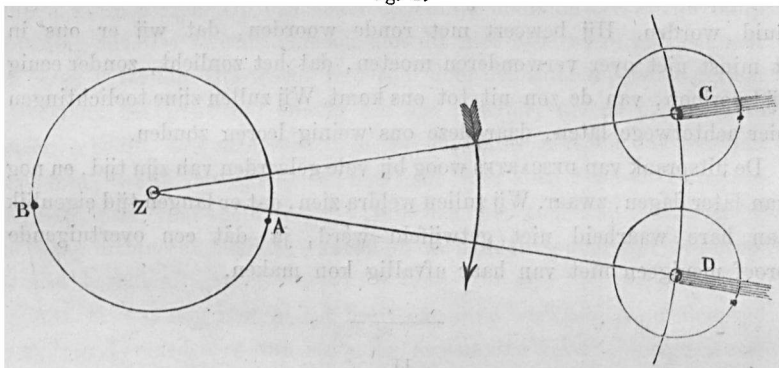
¹ *Dioptrices*, Caput I, § 3 (omstreeks 1636).

de andere, CASSINI, een Italiaan. Beiden waren echter sinds lang te Parijs gevestigd. In de bewegingen dier wachters had men verscheidene zoogenaamde "ongelijkheden" opgemerkt, wier verklaring men zocht. Wanneer men de plaats, die een wachter op zeker oogenblik aan den hemel moest innemen, zorgvuldig berekende, kwam deze niet altijd overeen met de plaats, die men later met den kijker waarnam. Daarom moesten vlijtige en zorgvuldige observaties langen tijd achtereen geregeld voortgezet worden, om die "ongelijkheden" volkomen naar aard en grootte te constateeren.

Die vijfjarige arbeid leverde vele vruchten op. Vooral de binnenste wachter werd nagegaan, d. i. die satelliet, welke het dichtst bij de planeet zich beweegt. Maar toch was de uitkomst niet bevredigend, daar er nog steeds een zekere "ongelijkheid" bleef te verklaren, wier oorsprong te vergeefs in de werking der aantrekkingskracht tusschen de zon, de wachters en de planeet gezocht werd. Wij willen met behulp van figuur 1 uitleggen, waarin dit tergende feit bestond.

Zij in die figuur ¹ Z de standplaats van de Zon. Om haar beweegt

fig. 1.



Z. de Zon, A. en B. twee standen van de Aarde in haar baan, C. en D. twee standen van de planeet Jupiter en haar binnensten wachter.

zich de Aarde, die zich op het oogenblik in A bevindt. De planeet Jupiter, ongeveer $5\frac{1}{5}$ maal zoover van de Zon verwijderd als de Aarde, zij alsdan in C. De om haar getrokken kring stelt de loopbaan voor

¹ De afmetingen der figuur zijn, om de duidelijkheid, geheel anders dan met de natuur overeenkomt.

van haar binnensten wachter; diens afstand tot het centrum der planeet bedraagt slechts driemaal de middellijn van den Jupiterbol. Achter dezen bol strekt zich natuurlijk een schaduwkegel uit, daar het donkere lichaam der planeet het zonlicht onderschept. De genoemde satelliet moet zich bij elken omloop in dien schaduwkegel dompelen, en na eenigen tijd — de eclipsen duren ruim 2 uur — daaruit weder te voorschijn treden. De indompelingen volgen elkaar, evenals die uittredingen, geregeld na bijna $42\frac{1}{2}$ uur op, den tijd, dien de wachter voor zijn omloop gebruikt.

Uit de figuur blijkt duidelijk dat men, bij de standen A en C, van de Aarde uit de uittredingen moet kunnen waarnemen. De bewegingen grijpen plaats in den zin van het pijltje. Werkelijk is reeds eene kleine kijker voldoende om dit verschijnsel aan den nachtelijken hemel waar te nemen, en geen beminnaar der sterrekunde zal zich de moeite beklagen, indien hij zijn werktuig eens voor dat doel opstelt. Vrij plotseling ziet men op eenigen afstand van de heldere schijf der planeet den wachter als een klein schitterend sterretje uit den donkeren grond van den hemel te voorschijn treden, en het oogenblik, waarop dit geschiedt, kan men vrij scherp bepalen.

ROEMER en CASSINI deden dat eenige malen achtereen en vonden zoodoende den tijd, die twee eclipsen vaneen scheidt. Indien men nu dezen tijd een genoegzaam aantal malen neemt, kan men gemakkelijk berekenen op welk tijdstip een latere eclips moet eindigen. Zoo berekenden zij de tijden, waarop zich dit verschijnsel ongeveer een half jaar later moest herhalen. De Aarde stond dan in B, de planeet Jupiter in D. Was nu dat halve jaar voorbij, dan sloegen zij wederom de eclipsen van den wachter gade. Zij bespeurden nu tot hun verwondering, dat de einden der eclipsen elkaar wel weder na hetzelfde tijdsverloop van bijna $42\frac{1}{2}$ uur opvolgden, maar, zij hadden allen ongeveer 14 minuten later plaats, dan de oogenblikken, die men door berekening gevonden had!

Nog vreemder werd het verschijnsel, indien men na verloop van nog een half jaar de waarnemingen weder opvatte. Dan toch troffen de berekende tijdstippen en de waargenomene nauwkeurig met elkaar samen. Zooals wij zeiden, werd de verklaring aanvankelijk te vergeefs gezocht.

Toen stelden de beide astronomen de hypothese op, dat de "ongelijkheid" veroorzaakt werd, doordat het licht zich met zekere eindige

snelheid voortbewoog. Was dat zoo, dan zou men de eclipsendeinden op de Aarde zooveel tijd later waarnemen dan zij werkelijk plaats hebben, als het licht behoeft om van den wachter tot de Aarde te komen. Dit brengt geen verandering in het tijdsverloop, dat twee opvolgende eclipsendeinden vaneenscheidt. Omstreeks de standen A en C bewegen zich de beide hemelbollen nagenoeg evenwijdig aan elkaar. Evenzoo in de standen B en D. Maar de weg D B is veel langer dan de weg C A. De genoemde 14 minuten heeft het licht gebruikt om het verschil der wegen D B en C A af te leggen, dat is ongeveer een afstand als de lijn A B, of de middellijn van de loopbaan der Aarde.

Men ziet, de hypothese is eenvoudig en geeft eene natuurlijke oplossing van het verschijnsel. Maar in 1675 mocht zij stout heeten. Dat leert ons ook de geschiedenis. Want niet alleen hielden vele geleerden vast aan de uitspraak van DESCARTES, maar, — een sterk bewijs hoe moeilijk een nieuwe waarheid ingang vindt, — zelfs CASSINI trok zich terug. Nog in 1707 werd ROEMER's hypothese door MARALDI ernstig in de Academie bestreden. Toen echter zonder gevolg of gevolgen.¹

Men noemt ROEMER dus niet ten onrechte den ontdekker van de snelheid des lichts. Hij berekende ook in hoeveel tijd het licht der Zon de Aarde bereikt, en vond daarvoor 11 minuten. Met den in zijn tijd nog zeer onzekeren afstand van de Zon tot de Aarde leidde hij hieruit verder af, hoe groot de *snelheid* des lichts is, d. i. de weg, dien het in één seconde doorloopt. Daarvoor verkreeg hij dus een zeer onnauwkeurig antwoord. Tegenwoordig kent men genoemden afstand beter. Berekent men tegenwoordig de snelheid des lichts uit de 11 minuten van ROEMER, dan komt er 223860 kilometer per seconde².

In lateren tijd heeft men de methode der eclipsen van de Jupiter-wachters herhaaldelijk toegepast, en daardoor 7 minuten, en nog later 8' 13" gevonden. Ik heb echter niet nagegaan, door wie en wanneer gedaan is.

(Wordt vervolgd.)

¹ Zie *Mémoires de l'Acad.* 1707. Voor ROEMER's ontdekking *Hist. de l'Acad.* I. *Journ. des Savants* 1676.

² De afstand Aarde—Zon is gelijk 147710000 K. M. genomen.