

DE VERSCHILLENDE METHODEN TOT BEPALING VAN DE SNELHEID DES LICHTS,

DOOR

F. G. GRONEMAN.

(Vervolg van bladz. 96.)

III.

Het is zeer toevallig dat er veel overeenkomst bestaat tusschen de aanleiding, waardoor ROEMER tot zijn ontdekking werd gevoerd en die, waardoor juist 50 jaar later een Engelschman, BRADLEY, er toe werd geleid, om ROEMER's hypothese op de schitterendste wijze te bevestigen. Eigenlijk kan men wel zeggen dat BRADLEY, door zijne ontdek-

king, de snelheid des lichts uit den rang van waarschijnlijke hypothese tot dien van onbetwistbaar feit verhief. Gaan wij de geschiedenis hiervan na.

Na den bekenden TYCHO DE BRAHÉ had nog geen sterrekundige nauwkeurige plaatsbepalingen aan den hemel verricht. BRADLEY, voorzien van het machtige hulpmiddel der astronomische kijkers, dat BRAHÉ nog niet bezat, was de eerste die dezen arbeid weder opvatte. In 't bijzonder wilde hij een heldere ster, γ uit den Draak, aan zijne metingen onderwerpen. Met de meest mogelijke nauwkeurigheid zou de stand van deze vaste ster met bepaalde onveranderlijke punten van het hemelgewelf worden vergeleken. Daartoe had hij een kostbaar en zeer nauwkeurig instrument laten vervaardigen door MOLYNEUX, dat hij te Kew bij Londen deed opstellen. Nauwelijks was het gereed of hij ving zijne waarnemingen aan.

Toen deze metingen eenigen tijd geregeld waren voortgezet, bespeurde BRADLEY verschil in de waarnemingen, op de verschillende avonden verkregen. Hij schreef dit echter toe aan onjuistheden, bij het gebruik van het nog nieuwe instrument begaan, of aan nog niet ontdekte onnauwkeurigheden in de constructie van zijn werktuig. Daarom verdubbelde hij zijne zorgvuldigheid, maar het opgemerkte verschil kwam ook thans weer uit; zelfs scheen het, alsof het hoe langer hoe grooter werd. Natuurlijk gaf BRADLEY het thans niet op. Toen hij eenige maanden lang had gearbeid, had het verschil, toenemende, eene vrij aanzienlijke grootte bereikt (namelijk voor een goed instrument en een bekwaam observator!) en begon vervolgens eerst langzaam, later spoediger af te nemen. Het bedoelde verschil bestond hierin, dat men de ster telkens op een andere plaats zag staan dan die, waar men haar vroeger had waargenomen. Eindelijk was er een rond jaar verstreken. Toen gaf het instrument weder nauwkeurig dezelfde standplaats als de eerst gevondene. De plaatsen die men in Maart en September had gemeten verschilden ten minste 39 seconden in afstand tot de noordpool des hemels!

BRADLEY wenschte nog meer kennis te erlangen van dit verschijnsel. Daar zijn instrument slechts weinig speling had, liet hij door den kundigen GRAHAM te Londen een ander vervaardigen, dat hem zou veroorlooven de waarnemingen over vele andere sterren uit te strekken. In 1727 was het gereed en werd te Wanstead opgesteld. Om kort te gaan, BRADLEY constateerde dezelfde verschijnselen bij alle sterren, die hij onderzocht, en hij zag nu tevens dat het hierin bestond, dat elke ster om haar eigenlijke standplaats een ellipsje beschreef, waarvan

de langste as of middellijn bij allen even groot was, doch waarvan de korte as verschilde, naarmate de ster verder van of dichtër bij dien cirkel stond, dien men de ecliptica of zonsweg noemt. De vorm van die ellipsjes bleek hem volkomen gelijk te zijn aan de gedaante, die de jaarlijksche loopbaan der Aarde, van de ster uit gezien, vertoonen zoude.

Na het *hoe* moest het *waarom* gevonden worden. BRADLEY onderstelde het eene voor, het andere na. Eerst na lang vergeefsch zoeken vond hij een verklaring in de hypothese van ROEMER: de snelheid van het licht, gecombineerd met de jaarlijksche beweging der Aarde. Daar de Aarde zich beweegt, moet een kijker, die de lichtstralen eener ster volgens zijn as móet doorlaten, niet zelf de richting dier stralen hebben, maar hij moet uit die richting een weinig afwijken, en wel naar die zijde heen, waarheen de Aarde zich op dat oogenblik beweegt. ¹ Evenzoo zal de windvaan van een bewegend schip anders wijzen dan die van een stilliggend vaartuig. BRADLEY zou zelfs door dit laatste feit, waarop hij bij een wandeling langs den Theems toevallig opmerkzaam werd, op het denkbeeld zijn gekomen van zijn zooveen aangehaalde verklaring. ² Werkelijk moest het verschijnsel, dat den naam van aberratie ontvangen heeft, tot de Aarde in nauw verband staan, niet alleen om de eigenaardige en stellig slechts schijnbare beweging van alle vaste sterren, maar ook omdat elke ster steeds naar die zijde uit haar ware plaats verschoven scheen, waarheen zich de Aarde bewoog, op het oogenblik der waarneming.

Wij kunnen, zonder ons te veel in wiskundige zaken te verdiepen, geen volkomen verklaring van dit verschijnsel geven. Maar de hoofzaak, de genoemde "verschuiving" moge uit het volgende duidelijk worden, en ons dan tevens blijken, hoe BRADLEY's verklaring ROEMER's hypothese volledig bevestigde.

De evenwijdige lijnen in figuur 2 stellen de van een ster komende lichtstralen voor. In plaats van een teleskoop nemen wij een koker, die de stralen in zijn bovenste opening opvangt en volgens zijn as laat passeeren. Daartoe moet deze as nauwkeurig met de richting der stralen samenvallen. Zoo zou ook een kijker met haar as volkomen juist op de ster moeten gericht zijn, als de Aarde stilstond, en wel onverschillig hoe snel het licht zich voortplant.

¹ *Phil. Transact.* No. 406 (1728).

² HOEFER, *Biographie*, zie BRADLEY.

Als de koker niet stilstaat, maar, evenwijdig aan zich zelf, van den stand A naar den stand B verplaatst wordt, zal hij de stralen niet meer ongehinderd doorlaten. Stel b. v. dat hij dezen weg AB in 1 seconde doorloopt. De lichtstraal die dan bij A van boven intreedt zal weldra door den linkschen binnenwand worden opgevangen, en zoo ook alle andere stralen. Geen hunner bereikt het andere uiteinde des kokers.

Fig. 2.

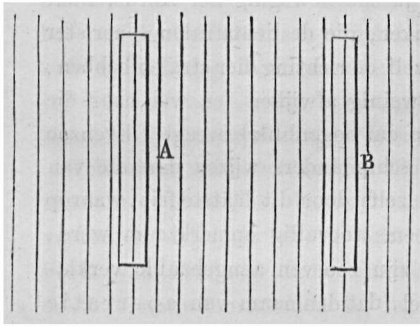
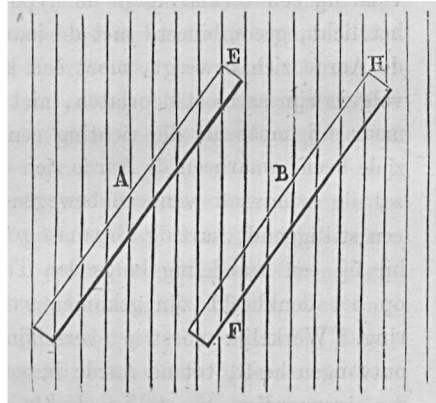


Fig. 3.



Verklaring van de aberratie des lights.

Wij laten nu den koker naar dien kant overhellen waarheen hij zich beweegt (fig. 3). In 1 seconde verplaatst hij weder b. v. van A naar B. Een lichtstraal treedt bij E den koker binnen. Een seconde later is de opening van den koker in H. De lichtstraal zou dan reeds in F zijn, als de koker er niet was. Maar als deze den lichtstraal steeds langs zijn as moet laten doorgaan, moet die as, welks top zich in H bevindt, ook door F gaan, en dus den stand HF hebben. Men denke zich een insectje dat in een seconde van E naar F kruipt, en knippe in een speelkaart een spleet zoo groot als de koker in de figuur. Houdt men dan de spleet in den stand A en beweegt men haar in 1 seconde, evenwijdig aan zich zelf, naar B, dan is het klaar, dat het insect ongehinderd in die seconde van E naar F kan kruipen, en zich daarbij steeds op de as van de spleet zal bevinden.

De helling, die de koker moet hebben, hangt dus af van de snelheid zijner beweging, en van de snelheid van het licht. Hoe grooter de laatste is met betrekking tot de eerste, hoe minder hij van de richting der lichtstralen moet afwijken. Uit de grootte der helling kan

men langs wiskundigen weg nauwkeurig afleiden hoeveelmaal de eene snelheid grooter is dan de andere.

Wanneer men nu, werkelijk naar een ster ziende, den kijker een zekere richting moet geven, bepaalt deze richting voor ons de plaats van de ster. Als de kijker nu, met de Aarde, in den tijd van een jaar een cirkel beschrijft en dus steeds een aanzienlijk snelle beweging heeft, moet hij ook steeds van de richting der lichtstralen afwijken, wil men die ster door den kijker kunnen zien. De ster schijnt dus verschoven uit haar plaats en wel, zooals wij opmerkten, altijd naar die zijde, waarheen de beweging der Aarde gericht is.

BRADLEY kon met deze theorie alle verschijnselen en afmetingen der aberratie verklaren. Ook leidde hij uit de grootte der verschuiving af, dat het licht een snelheid moest bezitten, welke die der Aarde 10210 maal overtrof.

Weet men nu de snelheid der Aarde, dan kan men door vermenvuldiging met 10210 die van het licht vinden. Indien men den op bladz. 96 vermelden afstand Aarde — Zon ten grondslag legt aan de berekening, vindt men zodoende voor de snelheid des lichts 294000 K.M. per seconde. Onafhankelijk van dien toestand kan men uit dit getal 10210 berekenen in hoeveel tijd het licht der Zon ons bereikt. Daarvoor vond BRADLEY 8 min. 12 sec.

Van 1840 tot 1842 heeft STRUVE, directeur van de sterrewacht te Pulkowa bij St. Petersburg, de grootte der aberratie op nieuw gemeten. Zijne hulpmiddelen overtroffen in kracht en fijnheid verre die van BRADLEY, ruim een eeuw vroeger. Zijne resultaten zijn dan ook veel nauwkeuriger. Volgens deze is de snelheid des lichts 10089 maal zoo groot als die der Aarde in haar baan, en het licht der Zon bereikt ons in 8 min. 18, 2 sec. Daaruit berekent men de snelheid des lichts op 296600 K.M. per seconde.

IV.

Tot 1838 werd er geen nadere poging gedaan om de snelheid des lichts te meten. In dit tijdperk had echter de natuurwetenschap eene groote ontwikkeling ondergaan, zooals zeker niemand mijner lezers onbekend is. Daarbij was o. a. ook meer en meer gebleken hoe nuttig het zou zijn, deze constante nauwkeurig te kennen. Het zal ons niet moeielijk vallen het wenschelijke daarvan in te zien, in de eerste plaats

Zie de *Phil. Trans.* t. a. p

voor de sterrekunde, in de tweede plaats voor de eigenlijke natuurkunde.

Wat men ook meten wil en hoe men ook meten wil, nimmer zal men zeker zijn, dat men met volstreckte nauwkeurigheid meet. Het is onmogelijk naar een metalen staaf van zekere lengte een andere van absoluut dezelfde lengte te vervaardigen. Door het aanwenden van honderde voorzorgen kan men geene volstreckte maar wel eene zeer aanzienlijke nauwkeurigheid verkrijgen. Dit maakt, dat men zich bij alle metingen met een zekereren graad van nauwkeurigheid moet te vreden stellen, afhankelijk van het beoogde doel, en eene grootere scherpte, dan voor dat doel toereikend is, moet men niet eischen. Een slager en een kruidenier zouden dwaas doen, indien zij voor hun wegingen de balansen en gewichten van den chemicus gingen leenen. Maar den chemicus is geen weegschaal te nauwkeurig.

Had men voor de wetenschap niet meer noodig dan de vraag te beantwoorden, of het licht al of niet eene oneindige snelheid bezit, BRADLEY's en ROEMER's ontdekkingen zouden dit voldoende hebben uitmaakt, en geen natuuronderzoeker zou — daargelaten dat elk onderzoek, al is het schijnbaar geheel zonder nut, in de toekomst een groote vruchtbaarheid kan verkrijgen — zijn tijd niet liever aan ander werk besteden. Maar de astronomie zag met verlangen naar het oogenblik uit dat hare zuster, de natuurkunde, langs den haar eigen weg met eene nauwkeurigheid, die nimmer te groot kan wezen, de snelheid des lichts zou doen kennen.

Immers waren de afmetingen van ons zonnestelsel, dus de afstanden der planeten tot het zonsmiddelpunt, de afstanden der wachters tot de planeten, en dergelijke grootheden, alle nauwkeurig gemeten, maar slechts met een maatstaf, wier lengte zelf nog inaar zeer ten ruwe bekend was. Alle sterrekundige afstanden werden nl. uitgedrukt in den afstand van de Aarde tot de Zon als maat, en het was deze afstand zelf, die nog op een nauwkeurige vergelijking met aardsche maten, als de kilometer, wachtte.

Er zijn echter verschillende sterrekundige methoden in den loop der tijden uitgedacht, om dit laatste vraagstuk op te lossen. Van eene rechtstreeksche meting kan hier natuurlijk geen sprake zijn. Men meet dus andere grootheden, die met genoemden afstand in nauw verband staan, en leidt zijne grootte uit de grootte van deze door berekening af. Zoo heeft men uit verschijnselen aan de planeten Mars of Venus waar te nemen, of uit zekere onregelmatigheden in de bewegingen der

Aarde en der Maan, met eene hooge nauwkeurigheid de "parallaxis der Zon" afgeleid, die, met den diameter der Aarde verbonden, terstond den afstand Aarde — Zon oplevert. ¹ Inzonderheid geven de zoo zeldzame overgangen van de planeet Venus over de zonneschijf gelegenheid om die parallaxis met bijzondere scherpste te vinden, en deze methode is zeker van alle wel de beste. Zulk een overgang zal voor de eerste maal weder plaats grijpen op 8 December 1874. Daarna in 1882, en dan niet weer voor 2004! Het is bekend hoe alle beschaafde staten kostbare en zorgvuldig toegeruste expeditiën zullen uitzenden naar de verschillende punten van het aardrond, waar de overgang van 1874 met vrucht kan geöbserveerd worden. Ook Nederland blijft ditmaal niet bij andere landen achter, daar zoowel de regeering, als vele wetenschappelijke maatschappijen het hare doen, om de eer van ons land, het vaderland van HUYGENS en KAISER, op een waardige wijze op te houden. ²

De laatste overgangen van Venus, in 1761 en 1769 waargenomen, en door ENCKE en POWALKI in 1824 en 1865 berekend, gaven voor den afstand Aarde — Zon 153185000 en 148202000 kilometers. Het laatste getal is het beste, maar nog op geen tweehonderdste deel zijner waarde nauwkeurig, en stemt vrij wel overeen met de uitkomsten van andere methoden.

Er wordt echter geen beter controle verkregen, dan wanneer men twee geheel verschillende methoden toepast, die tot dezelfde uitkomst moeten voeren. Nu kan men uit de snelheid des lichts, in verband met hare verhouding tot de snelheid der Aarde in haar baan ook den afstand Aarde — Zon bepalen. Kent men de eerste door eene zuiver physische meting, dan vindt men de snelheid der Aarde door deeling met het getal 10089, dat STRUVE (zie bladz. 127) uit de aberratie vond. Kent men de snelheid der Aarde, dan is de lengte van haar loopbaan spoedig gevonden, die zij in een jaar tijds doorloopt. En daaruit berekent men den afstand Aarde — Zon. Alles komt op de nauwkeurigheid aan, waarmede de lichtsnelheid gemeten wordt. Wellicht kan men langs dezen weg de parallaxis der Zon scherper bepalen dan door de astronomische methoden. Ziedaar het belang onzer constante voor de sterrekunde aangetoond.

Omtrent het wezen des lichts waren de meeningen der natuurkun-

¹ Men zie de mededeeling van Prof. Kaiser in de *Versl. en Mededeel. der Kon. Akad. afd. Naturk.* II, 6 p. 48. Ook *Alb. der Nat.* 1866, afl. 3.

² Men zie onderscheiden nummers van dit Album, jaarg. 1873.

digen verdeeld. Twee theorieën stonden tegenover elkaar. De eene werd door den grooten NEWTON voorgestaan en uitgewerkt, de andere door onzen landgenoot CHRISTIAAN HUYGENS. NEWTON hield het licht voor een zeer bewegelijke onweegbare stof, die van de lichtbronnen met groote snelheid naar alle richtingen uitstraalde en de doorschijnende lichamen doordrong. HUYGENS hield het voor een trilling van een zeer dunne stof, den licht-ether, die alle lichamen doordringt, en welke in de geheele wereldruimte verspreid moet zijn. De eerste noemt men de *emanatie*-, de andere de *vibratie*- of *undulatie*-theorie.

Welke was de ware?

De leer van NEWTON vond de meeste aanhangers, zoodat men tot op het laatst der vorige eeuw niet meer aan de undulatie-theorie dacht. Toen ontdekte men echter nieuwe proeven en lichtverschijnselen, wier verklaring naar NEWTONS leer op zijn minst zeer gezocht en gewrongen mocht heeten. Men toetste er de theorie van HUYGENS aan, en het bleek, dat deze, behoorlijk uitgebreid of gewijzigd, waartoe de nieuwste vorderingen der wiskunde de hand moesten reiken, de verschijnselen als noodzakelijkheden kon voorstellen. Ziedaar een schok aan de emanatie-theorie gegeven, waarvan zij zich niet herstellen kon. Maar hoewel na de eerste vijftientig jaren onzer eeuw de physische wereld haar geheel liet yaren, was er nog een belangrijk tweegevecht te wachten tusschen beide theorieën, waardoor de strijd voor goed zou uitgemaakt worden.

Men weet dat een lichtstraal, die schuin uit lucht op water valt, daarin niet in een rechte lijn voortgaat, maar gebroken wordt. Dit grondverschijnsel moeten beide theoriën verklaren. Zonder bezwaar konden NEWTON en HUYGENS dat doen. De eerste moest dan echter onderstellen, dat het licht zich in het water sneller bewoog dan in de lucht, de tweede moest juist het tegenovergestelde aannemen. Zoolang men nu die snelheden niet rechtstreeks kon meten, was er ook geen definitief vonnis te vellen. Het bleef daarom voor de proefondervindelijke natuurkunde eene opene maar zeer belangrijke vraag: beweegt het licht zich sneller in water, of in lucht? Na de lange rust werd het tijd de handen aan 't werk te slaan. Wat er geschiedde in de laatste vijftientig jaren moge het vervolg doen zien.