

DE VERSCHILLENDE METHODEN TOT BEPALING VAN DE SNELHEID DES LICHTS,

DOOR

F. G. GRONEMAN.

(Vervolg van bladz. 128.)

V.

In de zitting van de Académie des Sciences van 8 December 1838 ¹ diende FRANÇOIS ARAGO eene uitvoerige verhandeling in, getiteld: "*Sur un système d'expériences à l'aide duquel la théorie de l'émission et celle des ondes seront soumises à des épreuves décisives.*"

Gaarne zouden wij eene geheele vertaling van dit stuk leveren, dat door netheid en helderheid van voorstelling uitmunt. Maar het is daartoe te lang. Ik geef er echter hier een zeer verkorte en vrije vertolking van, die althans eenigermate den geest der époque makende verhandeling doet kennen.

Beginsel der methode. Om dit te verstaan herinnere men zich slechts, dat een lichtstraal, die een spiegel onder zekeren hoek treft, bij de terugkaatsing, die hij ondergaat, den spiegel onder een even grooten hoek verlaat.

Uit twee punten, verticaal dicht boven elkaar gelegen, vertrekken gelijktijdig twee lichtstralen van zeer korten duur, in dezelfde horizontale richting. Beiden vallen op een verticaal staanden vlakken spiegel.

¹ *Comptes rendus*, VII, p. 954.

Daar beiden den spiegel onder denzelfden hoek treffen, zullen beiden hem ook onder dienzelfden hoek verlaten, en dus ook beiden in dezelfde richting teruggekaatst worden. In welke richting? Dat hangt slechts van den hoek af, dien zij, op den spiegel invallende, met dezen vormen.

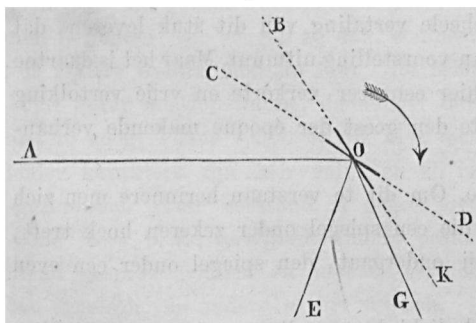
Geven wij aan den spiegel eene gelijkmatige ronddraaiende beweging, om de verticale lijn, welke de beide stralen treffen. Als deze nu weder op zeker oogenblik te gelijk den spiegel bereiken, zullen zij teruggeworpen worden in een richting, die van dat oogenblik afhangt, omdat de stand van den spiegel nu steeds verandert. Fig. 4 heldere dit op, waarin de lijn CD den stand van den spiegel te kennen geeft, van boven gezien. AO zijn de beide, gelijktijdig uit A vertrokken stralen, die elkaar natuurlijk bedekken, daar zij boven elkaar geplaatst zijn. De ronddraaiing geschiedt in den zin van het pijltje. Beide stralen worden teruggeworpen in de richting OG .¹

Waren beide een oogenblik later vertrokken, dan zouden zij den spiegel b.v. in den stand BK getroffen hebben, en volgens de richting OE zijn teruggeworpen.

Laat nu de twee stralen niet tegelijk uit de punten A gaan, maar even na elkaar, de onderste het eerst. Deze zal dan ook het eerst den spiegel bereiken, b. v. als deze den stand CD heeft, en volgens OG verder gaan; de andere komt iets later, treft den spiegel in den stand BK , en gaat volgens OE voort.

Maar plaatsen wij nu tusschen A en O in den weg van den boven-

Fig. 4.



Project van ARAGO.

water *sneller* gaat dan door lucht, dan zal de bovenste straal *het*

¹ ARAGO geeft geen figuur; in deze verkorte uiteenzetting konden wij de hulp van een figuur niet missen.

eerst den spiegel bereiken, en dus in een richting teruggeworpen worden, die met een *vroegeren* stand van den spiegel overeenkomt.

Gaat het licht in water *langzamer* voort, dan bereikt de bovenste straal den spiegel *na* den ondersten, en beantwoordt zijne richting na de terugkaatsing aan een *lateren* stand van den spiegel, of, zooals ARAGO's woorden luiden:

“L'image supérieure (de bovenste straal) est-elle moins avancée que celle d'en bas?

La lumière est un corps.

Le contraire a-t-il lieu?

La lumière est une ondulation.”

Men ziet, ARAGO zeide terecht van zijn systeem: *il tranchera mathématiquement.”*

Nu volgen de vragen:

Welke omwentelingssnelheid kan men aan een spiegel geven?

Daar de afstand A O altijd betrekkelijk gering moet blijven, zullen de door water en lucht voortgeplante stralen slechts met een uiterst gering tijdsverschil in O aankomen. In dien tijd moet de spiegel zich echter merkbaar verplaatst hebben. Nu hadden de proeven van WHEATSTONE, waaraan ARAGO het denkbeeld van het draaiend spiegeltje ontleend had, aangetoond ¹, dat men 1000 omdraaiingen per seconde en meer kon verkrijgen. Geholpen door GAMBIEY vond ARAGO de middelen uit om die snelheid te verviervoudigen! Zulk een snelheid had hij echter niet noodig.

Kan men door een lange kolom water heen een licht nog duidelijk genoeg zien?

ARAGO leidt uit proeven van BOUGUER af, dat een licht door een buis van 80 voet (dus 25 meter) lengte nog $\frac{1}{50}$ van zijn oorspronkelijke sterkte behoudt.

Voorts geeft hij eenige numerieke bijzonderheden om aan te toonen, dat men de grenzen der mogelijkheid niet behoeft te overschrijden, om zeer zichtbare afwijking tusschen de beide teruggekaatste stralen te weeg te brengen.

¹ WHEATSTONE had dit middel uitgevonden, om daarmede de snelheid der elektriciteit in geleidraden te meten.

ARAGO stelt zich hierbij voor dat men eenen hoek van 1 minuut tusschen de stralen O G en O E wil bereiken. Dit is buiten twijfel meer dan men behoeft om de afwijking te kunnen waarnemen bij de proef.

Zal die hoek tusschen de teruggekaatste stralen bestaan, dan moeten zij den spiegel getroffen hebben in twee standen, die onderling een halve minuut verschillen ¹. Als de spiegel 1000 omwentelingen per seconde maakt, besteedt hij voor één geheele omdraaiing $\frac{1}{1000}$ seconde, voor één graad het $\frac{1}{360 \times 1000}$, voor een halve minuut het $\frac{1}{2 \times 60 \times 360 \times 1000}$ van een seconde, of $\frac{1}{13\ 200\ 000}$ seconde.

Dit kleine tijdje moet dus verstrijken tusschen de beide oogenblikken, waarop de twee stralen uit A den spiegel treffen. ARAGO rekent nu uit, dat de buis met water daartoe 28 meter lang zou moeten zijn op zijn hoogst, of 21 meter op zijn minst, al naarmate het licht een stof of een trilling is. — Ten overvloede geeft ARAGO nog allerlei aan, waardoor men met een buis van minder lengte zou kunnen volstaan. Onder zekere omstandigheden zou 1 meter voldoende zijn. Wij zullen den gang van deze redeneeringen echter niet nagaan.

Een eigenaardig bezwaar, maar niet onoverkomelijk, is het volgende. Wanneer de lichtstralen in A in elke seconde eenmaal ontstaan, dan weet men niet, bij de verbazend snelle omwenteling van den spiegel, in welken stand zij dezen zullen treffen, en dus ook niet naar welke zijde heen zij zullen teruggeworpen worden. Dit zal bovendien nu eens naar deze zijde, dan naar een andere, dan weer in een andere richting plaats hebben; alle richtingen hebben evenveel kans. ARAGO wilde daarom een kring van waarnemers rondom den spiegel opstellen. Door menigvuldig herhalen van de proef zou het, meende hij, niet missen, of telkens zou een hunner het verschijnsel zien en kunnen meten.

Vermelden wij nog ten slotte, dat ARAGO, onder meer, dit systeem hoopte dienstbaar te maken aan de meting van de volstreckte snelheid des lichts, zonder dat daarbij de hulp van verschijnselen aan den sterrenhemel zou vereischt worden.

Wij zien dus, dat ARAGO het onderzoek naar de lichtssnelheid geheel

¹ In de leer der terugkaatsing kan men gemakkelijk aantonen dat de hoek tusschen O E en O G altijd het dubbel is van dien tusschen O K en O D. Een minuut is hier het 60^{ste} deel van 1 graad, of van het 90^{ste} deel van een rechten hoek.

op proefondervindelijk physisch gebied bracht, waar het eigenlijk ook te huis behoorde. Hij opende een nieuw tijdperk in de geschiedenis van deze belangrijke constante.

VI.

Terwijl ARAGO de uitvoering van zijn project bleef voorbereiden, en van allerlei deskundigen opmerkingen daarover en voorstellen tot verbetering daarvan ontving, werd in 1849, dus ruim 11 jaren later, de eerste werkelijke meting van de snelheid des lichts volbracht. De Fransche natuurkundige FIZEAU herhaalde de proef van GALILAEI, nadat hij deze op geheel origineele wijze zoodanig had veranderd, dat zij met hoop op vrucht kon ingesteld worden. Het voornaamste, wat GALILAEI ontbrak, was een werktuig om kleine tijden te meten. Het draaiend spiegeltje van WHEATSTONE was het eerste van dien aard. FIZEAU gebruikte dit echter niet, maar eene geheel andere inrichting, wel zoo eenvoudig en ruim zoo zeker in haar werking.

ARAGO nam veel aandeel in zijn arbeid, en waar FIZEAU vreesde eenigszins onrechtmatig op een gebied te gaan experimenteeren, wat min of meer ARAGO's eigendom was geworden door zijn voordracht van 1838, daar gaf deze hem volmondig geheele vrijheid van onderzoek, en was hij hem zelfs behulpzaam in het bereiken van zijn doel.¹ FIZEAU diende zijne verhandeling in in de zitting der Academie van 23 Juli 1849. Wij zullen zijn eigen verslag eenigermate volgen.

Wanneer een schijf om een door haar middelpunt gaande as zeer snel ronddraait, is de tijd, dien eenig punt van den omtrek besteedt om een zeer klein boogje te beschrijven, van b. v. $\frac{1}{1000}$ van een geheel omgang, natuurlijk zeer kort. Maakt de schijf een omwenteling per seconde, dan zou die tijd $\frac{1}{1000}$ seconde zijn; maakt zij er 100 in elke seconde, dan wordt die tijd $\frac{1}{100\,000}$ van een seconde. Is de schijf aan haar rand van rechthoekige tanden voorzien, P in fig 5, dan zal de tijd, waarin de schijf zich over de breedte van een tand of eene tusschenruimte verplaatst, dezelfde geringe waarde bezitten. In zulke korte tijden legt het licht ook een betrekkelijk korten weg af. In

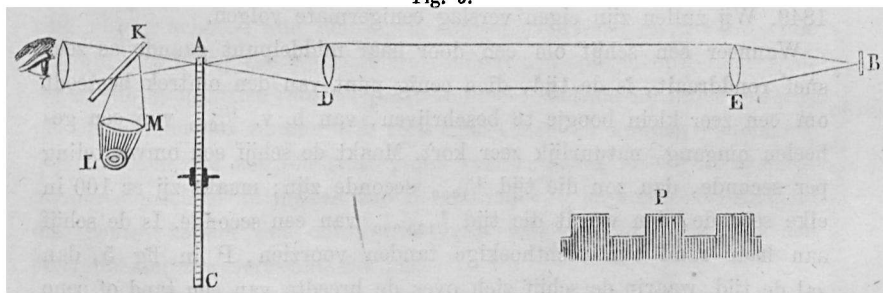
¹ *Comptes rendus* XXIX p. 495. en p. 90.

één seconde ongeveer 300 000 kilometer, in $\frac{1}{100\ 000}$ seconde dus slechts 3 kilometer.

Laat men nu een lichtstraal tusschen twee tanden van de schijf doorgaan, en wordt deze op eenigen afstand door een spiegel loodrecht opgevangen en vervolgens terug geworpen naar de schijf, dan zal men gemakkelijk inzien dat de omstandigheden zoo kunnen geregeld zijn, dat de straal bij zijn terugkomst op den omtrek der schijf hetzij door een tand wordt opgevangen, of tusschen twee tanden kan doorgaan.

Om een lichtstraal van genoegzame kracht te verkrijgen, laat men zon- of lamplicht op een lens M vallen, zoodat het licht zich in een punt achter de lens zou vereenigen. Door een schuin geplaatst onverfoelied spiegelglas K werpt men den stralenbundel op zijde, zoodat het bedoelde vereenigingspunt der stralen in A valt. Thans plaatst men een tweede lens D zoodanig, dat haar brandpunt ook in A ligt. Zij vangt de stralen op, die door A heen hun weg vervolgen, en maakt ze, volgens eene bekende eigenschap der positieve lenzen, tot een evenwijdigen bundel. Deze kan nu zijn weg vervolgen. Op een grooten afstand van D plaatst men de derde lens E, die alle stralen opvangt en in haar brandpunt vereenigt. In dit punt stelt men een klein vlak spiegeltje B, dat al de stralen terugkaatst, zoodat zij ten tweedemale de lens E treffen. Daar zij uit haar brandpunt gekomen zijn, maakt deze lens hen weder evenwijdig, en zullen zij den geheelen afstand nogmaals doorloopen, en door de lens D gaan, zonder dat er een verloren gaat, tenzij door de ondoorschijnendheid van den dampkring.

Fig. 5.



Inrichting van de proef van FIZEAU.

L Lamp. M, D, E, lenzen. A C schijf. K spiegelglas. B spiegel.

Deze lens concentreert hen weder in het brandpunt A, vanwaar zij uitgaan en op het spiegelglas K vallen. Een gedeelte wordt nu terugge-

zonden naar de lamp, een ander deel gaat door het glas heen, en wordt door het oog, of door een loupe opgevangen. Het oog ontwaart een lichtend puntje in A, evenals of daar een zwak vonkje geplaatst was. Met lenzen van 6 centimeter middellijn en een afstand D E gelijk 8 kilometer kon men dit nog duidelijk waarnemen.

De getande schijf nu wordt met haar omtrek in A geplaatst. A C stelt haar voor, op den kant gezien. De as was zoodanig met een stelsel van raderen en wijzers verbonden, dat men het aantal omwentelingen der schijf per seconde gemakkelijk kon aflezen.

Als de schijf in rust is, neemt het oog onafgebroken het licht waar in A. Evenzoo als de schijf niet snel draait. De stralen, die door een zekere tusschenruimte tusschen twee tanden ontsnappen, zijn namelijk reeds tot B gekomen en weder terug, voordat die ruimte merkbaar verplaatst is. Bij snellere draaiing vangt echter de tand, die op de tusschenruimte volgt, een gedeelte van het licht op, dat van B terugkomt. Is de omwenteling zoo snel dat in den tijd, dien het licht besteedt om den weg A B heen en weer te doorloopen, de open ruimte, waardoor het vertrokken is, juist door den op die ruimte volgende tand is vervangen, dan is de onderschepping volkomen, en dringt geen enkele straal tot het oog door. Het lichtende puntje in A tot dien tijd gezien is zwakker geworden, en is nu geheel verdwenen.

FIZEAU nam deze verduistering waar, terwijl het rad 12,6 omwentelingen per seconde maakte. Bij toenemende omwentelingssnelheid kwam het licht weder te voorschijn, totdat het bij nog snelleren gang van de schijf ten tweede male geëclipseerd werd, en zoo kon hij een derde en vierde verduistering verkrijgen. De schijf droeg 720 tanden en evenveel tusschenruimten. Als

nu de schijf ééne omwenteling per sec. maakt, zal de schijf zich in $\frac{1}{2 \times 720}$ seconde over de breedte van een tand hebben verplaatst. In dien tijd, d. i. in $\frac{1}{1440}$ seconde heeft zich dus de tand in de plaats van de voorgaande opening gesteld. Bij 12,6 omwentelingen per sec. wordt dit

$\frac{1}{12,6 \times 1440} = \frac{1}{18144}$ sec. In dien tijd had dus het licht den weg A B heen en weer doorloopen. De schijf en de waarnemer bevonden zich te Surresnes bij Parijs, de lens E en de spiegel B op den bekenden Montmartre. De afstand AB was slechts ruw gemeten geworden en bevonden 8633 meters te bedragen. In eene seconde doorloopt dus vol-

gens deze proef het licht een weg van $18144 \times 8633 \times 2$ meter, dat is ongeveer 313.000 kilometer.

Zoo was dus door FIZEAU de lichtssnelheid het eerst gemeten langs den zuiveren proefondervindelijken weg. Wij zien dat zijn uitkomst niet zeer veel verschilde van die welke ROEMER en BRADLEY verkregen. Echter moet men niet vergeten dat FIZEAU geen aanspraak op groote nauwkeurigheid kon maken, al was het alleen omdat hij den afstand A B niet dan ruw had opgemeten. Dit neemt niet weg dat zijn naam door dezen arbeid steeds beroemd zal blijven. Het Fransche Institut erkende zijn verdienste, toen het hem in 1856 den driejaarlijkschen keizerlijken prijs toekende: *pour l'ouvrage que les cinq Académies de l'Institut ont jugé le plus propre à honorer ou à servir le pays.*

De Académie des Sciences besloot, toen FIZEAU zijne proefneming had bekend gemaakt (1849), hem in staat te stellen deze op grooter schaal te herhalen en alles daarbij aan te wenden, wat zou kunnen mede- werken om een nauwkeurige uitkomst te verzekeren. Ook ARAGO be- tuigde openlijk zijne belangstelling in deze heuchelijke gebeurtenis. Door den slechten toestand zijner oogen zelf niet in staat een werkzaam aandeel aan het onderzoek te nemen, gaf hij zoowel aan FOUCAULT als aan FIZEAU en BRÉGUET volle vrijheid om van zijn eigen apparaten gebruik te maken. In den aanvang van 1850 herhaalde ARAGO deze vergunning voor de Academie, maar toen had reeds twee dagen vroe- ger FOUCAULT zijn proefneming volvoerd en ten gunste van de undu- latie-theorie beslist. Hij gaf hiervan in het *Journal des Débats* kennis (30 April en 4 Mei 1850). In de Academiesitting van 6 Mei deed hij meer uitvoerige mededeelingen daarover, en tegelijk zonden FIZEAU en BRÉGUET bericht, dat hun toestellen geheel gereed en in orde waren om de proef te nemen, maar dat gebrek aan zonneschijn hun in den weg had gestaan om hun waarneming te volvoeren.

De zon werd weldra ook hun vriendelijker gezind, en terstond ver- kregen ook zij hetzelfde resultaat als FOUCAULT. Wij zullen in de beide volgende paragrafen deze twee proefnemingen beschrijven, ofschoon het geen metingen waren van de snelheid des lichts, maar slechts verge- lijkingen van die snelheid in verschillende doorschijnende stoffen, als lucht en water. Wij bespreken eerst de proef van FIZEAU en BRÉGUET.

VII.

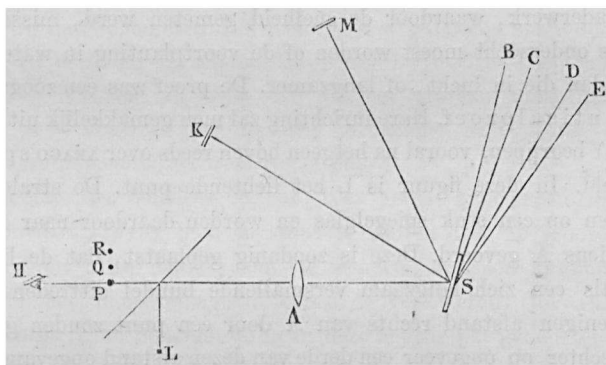
Het spiegeltje, dat BRÉGUET voor ARAGO had vervaardigd, maakte met gemak 1200 a 1500 omwentelingen in de seconde, en men kon dat getal tot 2000 opvoeren. Toen ARAGO eens het asje alleen liet wentelen, nadat hij er het spiegeltje had afgenomen, volbracht dit het verbazend getal van 8000 omwentelingen in de seconde.¹ Voor de proefneming behoefde FIZEAU echter zulk een snelheid niet. Ook kon hij het raderwerk, waardoor de snelheid gemeten werd, missen, daar er slechts onderzocht moest worden of de voortplanting in water sneller was dan die in lucht, of langzamer. De proef was een zoogenoemde differentiaalproef. Hare inrichting zal men gemakkelijk uit figuur 6 (volg. bl.) begrijpen, vooral na hetgeen boven reeds over ARAGO's project is meegedeeld. In deze figuur is L het lichtende punt. De stralen daarvan vallen op een stuk spiegelglas en worden daardoor naar een dubbelbolle lens A gevoerd. Deze is zoodanig geplaatst, dat de lichtstralen er als een zich langzaam versmallende bundel uittreden, zoodat zij op eenigen afstand rechts van A door één punt zouden gaan. Zij worden echter op ongeveer een derde van dezen afstand opgevangen door den draaibaren spiegel S. In de figuur is deze slechts in één stand geteekend; maar de lijntjes uit S getrokken naar de punten B, C, D en E, dienen om andere standen aan te duiden. De draaiingsas van den spiegel staat dus loodrecht op het vlak van de tekening. De spiegel zij in rust in den stand B. De lichtbundel wordt dan in de richting S K geworpen. In K ligt thans het vereenigings- of brandpunt der lichtstralen. Hier stelt FIZEAU, verder gaande dan ARAGO, een vlak spiegeltje, dat den bundel loodrecht opvangt en naar den spiegel S terugwerpt. Zij vervolgen nu den geheelen weg, langs welken zij gekomen zijn, en vereenigen zich door de werking der lens A in een brandpunt P. Dit wordt door het gewapend oog bekeken. In de daarvoor dienende loupe is een fijn verdeeld glazen plaatje aangebracht, waardoor men de ligging van het punt P in het veld van de loupe kan bepalen.

Wanneer de spiegel S draait — men stelle zich de voortplanting des lichts zeer langzaam voor — wordt het anders met het punt P. De lichtstralen S K zullen namelijk met den spiegel mede draaien, en het brandpunt K

¹ Men vindt meer bijzonderheden in de *Comptes rendus* 1850, p 562 en 771.

beschrijft daarbij een cirkelomtrek met S als middelpunt. Plaatst men op dien cirkelomtrek verschillende spiegeltjes, als K en M, dan zullen deze den rondzwaaienden lichtbundel elk een oogenblik opvangen en het licht naar S terugwerpen. Maar dit teruggeworpen licht vindt dien spiegel in een anderen stand, als waarin het dien verliet. In den tijd, waarin het licht tussehen S en K is heen- en weer gegaan, heet zich de spiegel verplaatst, b. v. van den stand B tot den stand C. Daaruit

Fig. 6.



Differential-proef van FIZEAU en BRÉGUET.

L lichtend punt. A lens. S draaiende spiegel. K en M spiegels die het beeld van L opvangen en terugkaatsen. P, Q, R beelden van L. — H oog.

volgt dat de lichtbundel door S naar de lens A wordt teruggekaatst, maar niet zoo, dat hij volkomen met den eersten bundel samenvalt. Het brandpunt, waarin de lens A de stralen vereenigt, valt nu dan ook niet in P, maar een weinig ter zijde, b. v. in Q.

Stond K in M, dan zou dit geen verschil veroorzaken. Evenmin als K en M beide werken. De door hen veroorzaakte brandpunten zullen in het veld der loupe samenvallen in Q. De stand S D werpt den bundel naar M, de stand S E vangt dien weder op en voert hem naar de lens terug. Wegens de gelijkheid der wegen S K en S M verschillen de standen B en C evenveel als de standen D en E.

Nu brachten FIZEAU en BRÉGUET tussehen S en M een 2 meter lange buis met water aan. Het licht gaat daarin of langzamer of sneller dan in de lucht. De spiegel zal dus in den tijd, waarin het licht door deze buis heen en weer gaat of meer of minder gedraaid zijn dan hij zoude doen, indien de voortplanting in lucht geschiedde, d. i. het verschil tussehen de standen D en E wordt grooter of kleiner, dan

dat tusschen de standen B en C. Het brandpunt, waarin de lens A de door het water gegane stralen vereenigt, zal zich dus òf verder van P af vormen, dan Q, bijv. in R, òf tusschen P en Q in. Meer had de proef niet uit te maken.

Men ziet echter, dat de proef helder en klaar beslissen kon tusschen de beide theorieën; wij weten reeds dat de undulatie-theorie het proces gewonnen heeft, en dat men dus het vereenigingspunt der door water gegane stralen in R vond, verder af dan Q van het punt P. De beide spiegels K en M werden te gelijk aangewend en dus waren de beide punten Q en R ook te gelijk in de loupe zichtbaar. Bij elke omwenteling van den spiegel ontstaan zij eenmaal. Daar het aantal omwentelingen echter zeer groot is, volgen die verschijningen zoo snel op elkander, dat het oog er een gelijkmatig aanhoudenden indruk van ontvangt. De beiden lichtpunten vertoonen zich daardoor als een lichtstreepje. De proef werd gedaan in de meridiaanzaal van de sterrewacht te Parijs.

VIII.

Wij zijn thans tot de beroemde proef van LÉON FOUCAULT genaderd. Wij zullen aan haar bijzonder onze aandacht wijden, omdat zij dat ten volle verdient, wegens haar schoone en in vele opzichten geheel oorspronkelijke inrichting. Zij is van veel meer algemeene bekendheid dan de weinig minder verdienstelijke proef, die wij zooeven beschreven. Voor een groot deel moet dit aan FOUCAULT zelf worden toegeschreven, die veel meer publiciteit aan zijn arbeid gaf dan FIZEAU, en het eerst een resultaat verkreeg. Zoodra hij het vonnis geveld zag, plaatste hij een overzicht van de proef in het *Journal des Debats* (30 April en 4 Mei 1850), terwijl hij de Academie er den 6 Mei uitvoeriger over onderhield¹. Hij hield zich echter voortdurend bezig met het aanbrengen van verbeteringen, en na een paar jaren plaatste hij eene keurige verhandeling er over in de *Annales de Chimie et de Physique*, met vele figuren². Wat mij in dit stuk evenwel hindert is, dat FOUCAULT, in de inleiding een historisch overzicht gevende van de meting der lichtssnelheid, in 't geheel niet de zooeven beschreven proef van FIZEAU en BRÉGUET vermeldt.

¹ *Compt. rendes* XXX, p. 551.

² 3^{me} Série, CXVI, p. 129.

Hier mis ik deze ongaarne. WÜLLNER en JAMIN noemen FIZEAU en BRÉGUET in dezen ook niet, maar een leerboek kan niet alle namen noemen. FOUCAULT wil vooral in 't oog doen vallen, dat hij de eerste geweest is, die een "*image fixe*" van een, "*image mobile*" ontworpen heeft. Het eerste is echter het brandpunt Q of R van fig. 6, en het tweede het brandpunt, dat met den spiegel S bewegende den cirkel beschrijft, langs welken de spiegels K en M staan. Nimmer heeft hij FIZEAU en BRÉGUET van wetenschappelijken diefstal beschuldigd. Ik geloof dat deze twee natuurkundigen onafhankelijk van hem tot het denkbeeld van de spiegels K en M gekomen zijn, de hoofdzaak, waardoor zich de latere inrichtingen van ARAGO's project onderscheiden. Zonder op den roem van FOUCAULT iets te willen afdingen, geloof ik dus dat men de proef van FIZEAU en BRÉGUET te veel en onverdiend vergeet.

De inrichting van FOUCAULT's proef is in hoofdzaak dezelfde als fig. 6. Wij geven echter de afzonderlijke figuur 7, om de uit FOUCAULT's opstel in de *Annales de Chimie et de Physique* merkwaardige punten van verschil in het oog te doen vallen. Deze en de volgende (fig. 8—11) zijn overgenomen.

Sterk zon- of kunstlicht valt in een donkere kamer op een verticale ondoorschijnende plaat. In deze is een kleine opening van 2 millimeter in het vierkant, die door een zeer dunnen platinadraad midden-door gedeeld wordt. Fig. 8 (bl. 142) stelt die opening bijna 5 maal lineair vergroot voor. Zij dient als lichtbron. In figuur 7 denke men haar in *a*. De van haar uitgaande stralen vallen op een zeer nauwkeurige achromatische lens, van 1,90 meter brandpunts-afstand. Zij is bijna 3 meter van *a* verwijderd ¹, en daar haar as nauwkeurig door *a* gericht was, zoo zou zij een beeld van de opening *a* ontwerpen, dat op een scherm kon opgevangen worden, en zeer scherp kan verkregen worden. Dat scherm zou dan op 5,18 meters van de lens moeten geplaatst zijn. Dit beeld komt echter niet tot stand, daar de lichtstralen door den draaibaren spiegel C worden opgevangen, die ruim 1 meter van de lens verwijderd is. Evenals wij bij figuur 6 zagen, worden de stralen door dien spiegel teruggekaatst in zekere richting, en vormt zich het zooeven bedoelde beeld, b. v. in M of M', als de stand van den spiegel er naar is. Draait C rond, dan beschrijft het beeld een cirkel-omtrek, waarvan de straal 5,18—1 meter is = CM of CM', dus

¹ Het is noodeloos bij al deze beschrijvingen te herhalen dat de lenzen positieve waren, en dat zij zuiver gericht moesten zijn.

ruim 4 meter. Dit is hetgeen FOUCAULT uitdrukkelijk het "image mobile"

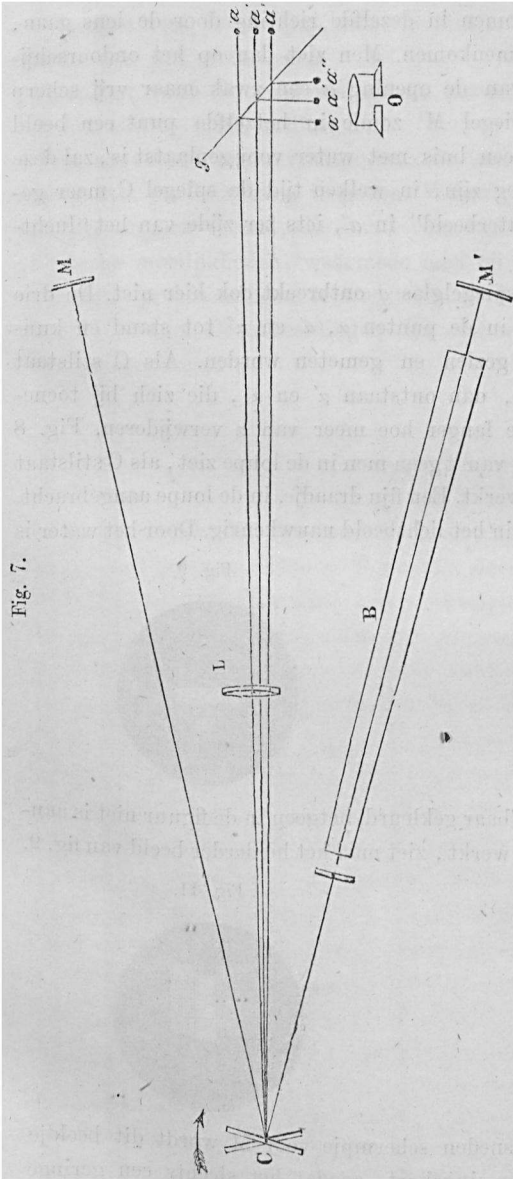


Fig. 7.

Differentiaal-proef van FOUCAULT.

α lichtbron. C draaiende spiegel. M en M' spiegels, die het beeld van α opvangen en terugwerpen. L achromatische lens. B buis met water gevuld. α , α' , α'' beelden van α , door de loupe O beschouwd.

noemt. Wanneer men een klein scherm maakt, dat zich aan dien omtrek volkomen aansluit, en den spiegel langzaam draait, ziet men bij elke omwenteling het beeld over het scherm heenglijden. Versnelt men de omwenteling, dan volgen zich die verschijningen spoediger op, en zoodra er 30 à 40 in de sec. komen, is de indruk op het oog reeds onafgebroken. Bij de proef wordt dat scherm door een even sterk gebogen kleinen spiegel M vervangen. Deze kaatst de op hem vallende stralen terug naar C.

Stond deze spiegel C stil, dan zou zich door de lens een beeld van

de opening vormen in a zelf. Maar door het wentelen van den spiegel C tref-
fen de van M terugkeerende stralen dien in een eenigszins anderen stand
aan, zoodat zij niet volkomen in dezelfde richting door de lens gaan,
maar in een punt a' samenkomen. Men ziet dan op het ondoorschij-
nend scherm ter zijde van de opening a een zwak maar vrij scherp
beeld daarvan a' . De spiegel M' zoude in hetzelfde punt een beeld
geven, maar indien hier een buis met water voorgeplaatst is, zal deze
lichtstraal langer onderweg zijn, in welken tijd de spiegel C meer ge-
draaid is, zoodat het "waterbeeld" in a'' , iets ter zijde van het "lucht-
beeld" a' ontstaat.

Het schuin geplaatste spiegelglas g ontbreekt ook hier niet. De drie
beelden komen daardoor in de punten α , α' en α'' tot stand en kun-
nen door een loupe O gezien en gemeten worden. Als C stilstaat
ziet men α ; beweegt hij, dan ontstaan α' en α'' , die zich bij toene-
mende snelheid van C hoe langer hoe meer van α verwijderen. Fig. 8
is een getrouwe afbeelding van 'tgeen men in de loupe ziet, als C stilstaat
en als alleen de spiegel M' werkt. Een fijn draadje, in de loupe aangebracht,
bedekt het platinadraadje in het lichtbeeld nauwkeurig. Door het water is

Fig. 8.

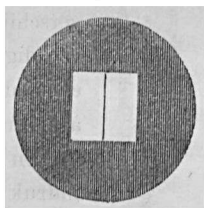
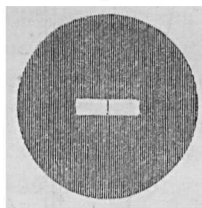


Fig. 9.



dit beeld echter altijd merkbaar gekleurd, hetgeen in de figuur niet is aan-
geduid. Wanneer M alleen werkt, ziet men het helderder beeld van fig. 9.

Fig. 10.

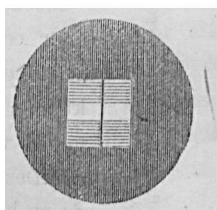
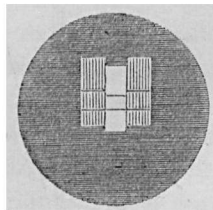


Fig. 11.



Door een doelmatig uitgesneden schermppje voor M wordt dit beeldje
van onderen en van boven ingekort, zoodat het slechts een geringe
hoogte, maar zijn volle breedte behoudt. Werken M en M' beide, dan

ontwaart men fig. 10, bij stilstand van C, en als deze draait, fig. 11. Men ziet dat de beide beelden uit het midden van het veld naar de rechterzijde verschoven zijn, maar de smalle streep van het luchtbeeld minder dan het waterbeeld.

FOUCAULT vond de verplaatsing van het eerste 0,375 millimeter, die van het laatste 0,469 millimeter.

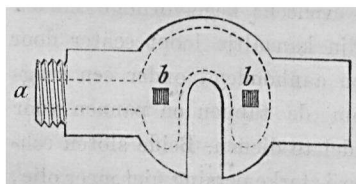
Van FOUCAULT's eigen vinding was de inrichting om den spiegel een genoegzaam snelle rotatie te geven. Wij volgen zijne eigene beschrijving van dien fraaien toestel, die ons tevens een blik doet slaan in de vele technische moeilijkheden, waarmede men bij het in 't werk stellen van zulke fijne proefnemingen te worstelen heeft. Ik moet mij hier dwingen om kort te zijn. De afbeeldingen zijn ook weder uit de genoemde *Annales* overgenomen.

IX.

BRÉGUET bracht bij zijn toestelletje het spiegeltje in beweging door middel van getande raderen. FOUCAULT sloeg daarvoor een geheel anderen weg in. Hij gebruikte een werktuigje, dat men een stoomturbine zou kunnen noemen. Hoe dit samengesteld was en hoe het in beweging kwam, zal uit de volgende beschrijving blijken.

De stoom werd in een kleinen ketel ontwikkeld, en door een buis verder geleid. Daar het voor de goede werking vereischt werd, dat die stoom geen vochtigheid meevoerde — kleine waterdruppels, wat

Fig. 12.



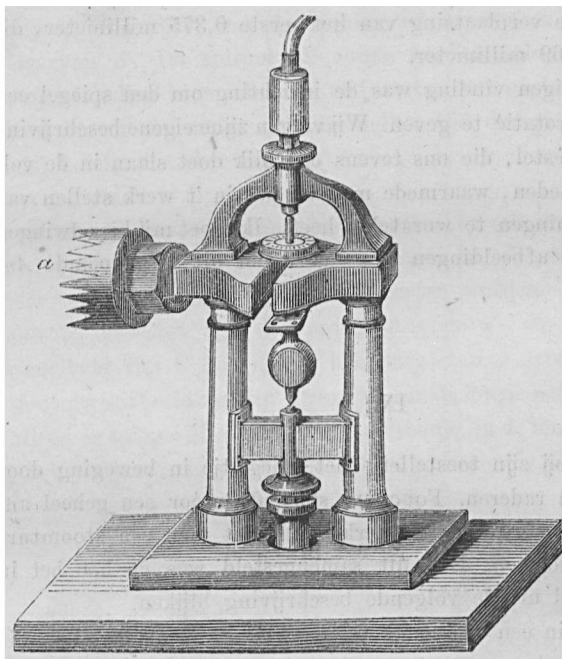
Kamer van de turbine.

a ingang van den stoom. *b, b* uitgangen.

altijd gebeurt — werd hij eerst in een wijde maar platte buis gelaten, die door een daaronder geplaatste lamp genoegzaam verhit werd, om hem geheel te drogen. Nu trad hij uit deze buis (*a*, fig. 13 volg. bl.) in eene holte van den toestel, die wij de stoomkamer zullen noemen. Zij is in fig. 12 van boven gezien afgebeeld. Het is een stevig stuk metaal. De buis wordt aan de schroef bij *a* vastgeschroefd. De inwendige holte is gestippeld. Deze kamer rust met hare twee zijstukken op twee stevige kolommen (fig. 13), die aan den voet van den toestel verbonden zijn. Van voren heeft de kamer eene insnijding, om de draaiingsas

van den spiegel vrij door te laten. In de dekplaat zijn twee vierkante openingen aangebracht, die er evenwel niet loodrecht, maar schuin doorheen

Fig. 13.

Turbine, om den spiegel in beweging te brengen.¹

Vertikaal door het midden dezer verbandstukken zijn sterke stalen schroeven gebracht, wier naar elkaar toegekeerde einden kegelvormig zijn uitgehold. In die holten passen de eveneens kegelvormige einden van de draaiingsas des spiegels. Een fijn kanaaltje loopt echter door iedere schroef heen. Daardoor voert men aanhoudend onder een zorgvuldig geregelde drukking olie aan, om de tapp en pannen voor heetloopen te bewaren, en als smeermiddel te dienen. Beide sloten echter zoo net in elkaar, dat er ondanks de vrij sterke persing niet meer olie, dan noodig was, toevloede, en er ook geen olie langs den toestel afdroop.

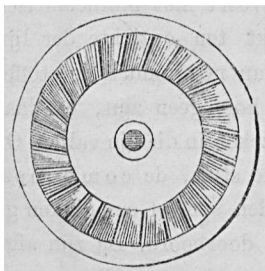
Aan de as zijn drie even gewichtige stukken verbonden. Ten eerste de schijf, waarop de twee stoomstralen moeten werken. Deze ziet men

gesneden zijn. De stoom blaast daardoor in twee stralen naar buiten: bij fig. 12 uit de linksche opening eenigszins hellende naar de onderzijde, uit de rechtsche, insgelijks eenigszins hellende naar de bovenzijde der figuur. De beide kolommen zijn voor de stevigheid van boven door een sterken metalen boog, meer naar onderen nog door een rechten dwarsbalk verbonden.

¹ Ik meen te mogen onderstellen, dat deze figuur op een derde van de ware grootte geteekend is.

in fig. 14 op de drievoudige grootte van fig. 12. Zij bestaat uit een massieve binnenste schijf en een wijderen ring; de tusschenruimte is aangevuld door 24 schuin geplaatste schotten. Deze sluiten tegen den rand der schijf en den binnenrand van den ring aan. Hun eigen bovenranden

Fig. 14.



Schijf van de turbine met de 24 schuin geplaatste tusschenschotten. Op de drievoudige schaal van fig. 12 geteekend.

den kan men in de figuur zien, hun benedenranden niet. De beide stoomstralen blazen, als de schijf onmiddellijk boven de kamer op haar plaats is gebracht, tegen deze schuine schotten aan, en oefenen daarop eene drukking uit, waardoor de schijf in beweging komt. Wie zich een helder denkbeeld van deze werking vormen wil, vrage naar de sirene van CAGNIARD DE LA TOUR, die men in de meeste physische kabinetten aantreft, en op geheel overeenkomstige manier in beweging komt. De schijf is overigens zoo dicht boven de kamer geplaatst, dat er

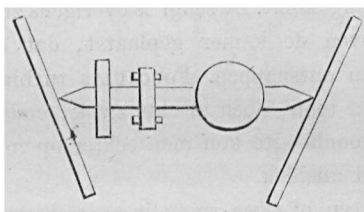
geen stoom tusschen beiden door kan ontsnappen. FOUCAULTS turbine gaf, even als de genoemde sirene, een toon, doch slechts zwak, omdat de schotten zoo dun waren. Uit de toonhoogte kon men echter op voldoende wijze de omwentelingssnelheid afleiden.

Meer naar onderen draagt de as een of twee ruggelings geplaatste spiegels, in een sterken ring vastgemaakt. Hun diameter is 14 millim. Daarmede bezwaard bereikte de as 800 rotaties per sec., wat voldoende was voor de proef. De spiegels bestonden uit verzilverd spiegelglas. Gewone verfoeliede spiegels betoonden zich onbruikbaar. Reeds bij 200 omwentelingen werd het steeds vloeibare kwik uit de foelie weggeslingerd. De omwentelingssnelheid wordt door een voor de buis geplaatste kraan naar willekeur geregeld.

Het is volstrekt geen kunst om al deze deelen zoodanig te maken, dat de as eene snelle draaiing verkrijgt. Maar men ziet gemakkelijk in, dat de spiegel'tjes volstrekt geen andere beweging moeten hebben, dan de wenteling om een zekere denkbeeldige rechte lijn; zonder de minste schokken of ongelijkheden derhalve, en dan 800 omwentelingen in het zoo korte bestek van slechts één seconde! Daardoor wordt de uitvoerbaarheid bijna onmogelijk. Wanneer FOUCAULT de tot dusver beschreven deelen in beweging bracht, was de werking bij geringe snelheid uiterst zuiver. Maar wanneer de snelheid aangroeide liet de

toestel weldra een diep brommend geluid hooren, dat door allerlei trillingen en dreuningen werd opgewekt, die in de tappen en pannen ontstonden. De terruggekaatste lichtstralen geraakten dermate in trilling, dat de proef niet te doen was. Oorzaken van dit bezwaar zijn er meer dan een. De aspunten en de pannen zijn nimmer *volmaakt* kegelrond. Maar al kon ook de as en al wat zij meevoert met mathematische nauwkeurigheid symmetrisch worden gemaakt ten opzichte der lijn, die door de aspunten kan gedacht worden, dan nòg zouden de stoffen, die alles samenstellen, niet in alle deelen homogeen zijn, en daardoor zou het zwaartepunt nog niet vast en zeker in die lijn vallen. Om deze fout te herstellen draagt de as een derde stuk, de *compensator* geheeten. In figuur 13 ziet men boven den spiegel een dikken gelijkzijdigen driehoek, in 't midden door de as doorboord. Bij zijn afgeronde hoekpunten draagt hij drie zware metalen schroeven. De as wordt

Fig. 15.



Wijze om de spiegel-as met haar aanhangsels
tusschen twee schuine glasplaten te plaatsen.

nu tusschen twee hellende glasplaten gelegd — zooals fig. 15, door mij ontworpen, doet zien — en draait dan uiterst gemakkelijk. Zij neemt dan een stand aan, waarbij haar zwaartepunt zoo laag mogelijk ligt. Nu vijlt men den naar beneden gewenden hoek van den compensator een weinig af, en onderzoekt op nieuw, totdat de as geen be-

paalden stand bij voorkeur aanneemt, maar in alle standen zonder onderscheid in evenwicht is. Het zwaartepunt ligt nu blijkbaar in de lijn der aspunten.

Maar nog is de trilling niet opgeheven. Ieder deeltje van den toestel tracht bij de omwenteling zich van de lijn der aspunten te verwijderen. Daar het echter vast daarmede verbonden is, oefent het als het ware eene zijdelingsche trekking daarop uit, zoodat de beide uiteinden der as van binnen tegen de wanden van de kegelvormige pannen worden aangedrukt. Indien nu alle stoffen, waaruit de toestel bestaat, volkomen homogeen waren en daarbij volmaakt symmetrisch geplaatst ten opzichte van de lijn der aspunten, dan zouden de door alle deeltjes te zamen uitgeoefende trekkrachten tegen elkaar volkomen opwegen en de aspunten in geen richting meer dan in eene andere tegen de wanden der pannen drukken. Maar die symmetrie, wij zeiden het

zooeven reeds, is nooit geheel te bereiken, en hoe zorgvuldig alle deelen ook vervaardigd zijn, nimmer zal de toestel zonder trilling ronddraaien. De fout moet verholpen worden, en daarvóór dienen de drie schroeven in de hoeken van den compensator aangebracht. De operatie is uiterst delicaat ¹. Men bezwaart een der schroeven, no 1, met een klein stukje was, en kleeft op de tegenoverliggende zijde van den compensator insgelijks eenig was, om het zwaartepunt niet te verplaatsen. Brengt men nu den toestel in beweging, dan zullen de trillingen sterker of zwakker geworden, of wel zij zullen niet veranderd zijn. Men kan daarnaar beoordeelen of schroef no 1 een weinig op of neer moet geschroefd worden, of wel of men op de beide andere schroeven werken moet. Na elke verandering beproeft men weder hoe het met de trillingen is. Daarna herhaalt men de bewerking met no 2 en dan met no 3 en zoo vervolgens, terwijl men steeds weer onderzoekt of de fout vermindert. Men tracht zodoende de volkomenheid te naderen; FOUCAULT slaagde er in om den toestel uren achtereen in snellen gelijkmatigen gang te houden, zonder dat er gebreken of onregelmatigheden in de werking ontstonden.

Wij zeiden reeds dat het aantal omwentelingen door FOUCAULT naar de hoogte van den toon geschat werd, die er bij ontstond, 't geen eigenlijk niet eens noodig was, omdat de proef slechts behoefde uit te maken welke van de twee gelijke wegen door het licht het langzaamst werd doorlopen, en niet hoe groot de lichtssnelheid was. Toch wilde FOUCAULT ook deze nauwkeurig meten, en daartoe was de toestel volkomen in staat, wanneer er slechts een middel gevonden werd om beter dan door de toonhoogte het aantal omwentelingen te meten. Dat middel vond FOUCAULT uit, en wij vinden het reeds in de *Comptes Rendus* van 1850 beschreven. Eerst veel later heeft hij het gebruikt, namelijk toen hij in den zomer van 1862 de lichtssnelheid mat ². Wij voegen ten slotte aan deze beschrijving toe, dat alle toestellen door den Parijschen mechanicus FROMENT waren vervaardigd, aan wiens vinding de wetenschap zulk een tal van fraaie werktuigen te danken heeft.

¹ Wanneer door de vorige correctie het zwaartepunt op de lijn der aspunten is gebracht, die tevens de as van de figuur is; dan zal de traagheidsas deze wel snijden, omdat zij ook door het zwaartepunt gaat, maar beide assen zullen nog in 't algemeen een hoek met elkaar vormen. Eerst wanneer beide samenvallen houdt alle trilling bij de rond-draaiing op.

² *C. Rend.* I V. 1862, p. 501 en p. 792.

X.

Twaalf jaar zijn sedert deze proefnemingen voorbijgegaan. Foucault voltooide zijnen arbeid door de meting van de snelheid des lichts. Zijne proefneming werd verricht binnenskamers. De toestellen, waarmede wij zooeven hebben kennis gemaakt, hadden eenige niet onbelangrijke wijzingen ondergaan. Een enkel woord zal ter verklaring kunnen volstaan.

De plaat met vierkante opening was door een glasplaat vervangen, waarop FROMENT eenige fijne evenwijdige lijntjes, 10 op een millimeter, getrokken had. Een bundel zonnestralen viel daardoor. Deze bereikte nu echter eerst den rondwentelenden spiegel, die op 1 meter afstand stond. De turbine werd niet door stoom, maar door lucht gedreven, die uit een blaastoestel kwam, zooals men voor geluidsproeven veelal gebruikt. Daaraan was echter een regulator verbonden (beide toestellen van CAVAILLÉ-COL), waardoor de luchtstroom zeer gelijkmatig werd, en niet meer dan $\frac{1}{1500}$ van hare waarde varieerde.

Op den ronddraaienden spiegel volgde terstond de achromatische lens, die een scherp beeld van de lijntjes der glasplaat ontwierp, dat op 4 meters afstand op een scherm kon opgevangen worden. Men plaatste daar een hollen spiegel van verzilverd glas, en kon er het beeld zeer goed op zien. Om goed te begrijpen wat er verder gebeurde, behoef ik slechts even te doen opmerken, dat een holle spiegel een gedeelte van een bolvormige schaal is. Als men in het centrum van een bolvormige en inwendig spiegelende holte een lichtend punt stelt, zullen alle stralen het vlak loodrecht treffen en loodrecht teruggekaatst worden. Zij zullen elkaar dan alle weder in het lichtend punt snijden. Plaatst men echter het lichtende punt een weinig ter zijde van het centrum, dan zal het snijpunt der teruggekaatste stralen even ver naar de andere zijde verplaatst worden. Foucault plaatste nu den hollen spiegel zoo, dat zijn as niet dóor, maar langs de lens ging. Hij kaatste dus de opgevangen stralen niet naar deze terug, maar eenigszins op zijde. Op 4 meter van den eersten spiegel stond een tweede, wiens krommingsmiddelpunt naast den eersten spiegel viel, dus niet ver van het daarop gevormde lichtbeeld van de fijne lijntjes. Hij vormde daarvan een tweede lichtbeeld, dat nog meer op zijde geplaatst was, zoodat het in een derden spiegel viel, na welken nog

een vierde en een vijfde kwamen, allen volkomen gelijk en op dezelfde wijze geplaatst. De vierde zond de stralen naar den laatsten, maar het krommingsmiddelpunt van dezen lag *in* het midden van den vierden spiegel, en *hij* zond dus de stralen op hun weg terug, zoodat zij alle terugkaatsingen in omgekeerden zin nogmaals ondergingen en op den rondwentelenden spiegel terug kwamen. Stond deze stil, en was alles met zorg gesteld, dan moest de lens een beeld ontwerpen, dat samenviel met de lijntjes zelf. Natuurlijk werden de stralen, die dit beeld gingen vormen, door de bovengenoemde glazen plaat opgevangen, en het bedoelde beeldje in een loupe gevormd, die het aan het oog sterk vergroot vertoonde. Een dergelijk glaasje met fijne lijntjes in de loupe bevestigd en met het beeld vergeleken, kon dienen om de positie daarvan scherp te bepalen. Daar de geheele weg van den rondwentelenden spiegel over alle holle spiegels heen en terug 40 meter bedroeg, was de verplaatsing, die men bij de proef verkreeg, veel aanmerkelijker dan vroeger. De verplaatsing kon men bovendien nog vergrooten, wanneer de draaiende spiegel meer van de glasplaat met de lijntjes verwijderd werd. Deze afstand werd bij de proef van tijd tot tijd veranderd, en telkens de verplaatsing met de loupe gemeten. -

Maar nu moest niet alleen deze laatste meting met scherpte geschieden, maar ook de omwentelingssnelheid van den spiegel moest juist bekend zijn. Zie hier hoe vernuftig FOUCAULT dit deed.

Onmiddellijk voor de loupe was een schijf met fijn getanden rand geplaatst, die door een uitmuntend uurwerk van FROMENT in gelijkmatige beweging werd gebracht. Als men in de loupe zag en men de schijf stil zette, zag men twee of drie harer tanden in het veld der loupe, mits dat verlicht was. Die verlichting grijpt bij de proef alleen dan plaats, als de stralen door den rondwentelenden spiegel in de loupe worden geworpen, dus bij elke rondwenteling van dezen eenmaal.

Wanneer de schijf zich tusschen twee opvolgende verlichtingen één tand verplaatst heeft, kan men daarvan niets bespeuren, als zijnde dit in het donker geschied. De tanden schijnen niet veranderd te zijn, en alles maakt den indruk alsof de schijf had stil gestaan. Dit blijft nog zoo, al maakt de spiegel 400 rondwentelingen in de seconde, mits er slechts bij elke omdraaiing één tand, dus in de seconde 400 tanden door het veld der loupe gaan. Wanneer er slechts 399 of 401 voorbijgaan, schijnt het voor het oog alsof de schijf zich in die seconde één tand achter- of vóórwaarts heeft gedraaid. De rand der schijf had

400 tanden. Men ziet dus dat zij zich betrekkelijk slechts langzaam behoefde te bewegen.

De gang der proef is derhalve deze. Nadat alles naar behooren afgepast en gericht is, opent men de luchtkraan. De turbine begint zich te bewegen. De rondwentelings-snelheid der getande schijf wordt geregeld op een bepaalde grootte, en gemeten door het uurwerk. Men laat de snelheid der turbine aangroeien. Zoodra haar aantal rondwentelingen gelijk is aan het aantal tanden der schijf, die in denzelfden tijd door het veld der loupe gaan, staan deze schijnbaar stil. Alles werkte zóo verwonderlijk juist, dat FOUCAULT nu den gang der turbine minuten lang zonder moeite in stand hield.

Hij verplaatste daarop de glasplaat naar den draaienden spiegel toe totdat de "verplaatsing" van het lichtbeeld in de loupe 0,7 milimeter bedroeg. Alle gegevens waren nu verkregen, om de gezochte constante te berekenen.

Ik zoude te veel vergen van de aandacht mijner lezers, wanneer ik de bijzonderheden van deze berekening hier wilde inlasschen. Wat haar slotsom aangaat, FOUCAULT vond 298000 kilometer, en was zeker, dat deze niet 500 kilometer grooter of kleiner kon zijn. Wij willen aan het einde van dit opstel dit resultaat met die van FIZEAU en anderen vergelijken.

XI.

Ook de jongste tijd leverde nog eene nieuwe en nauwkeurige bepaling op van de snelheid des lichts, zonder dat daarbij evenwel een nieuw beginsel in toepassing werd gebracht. Het was eene herhaling en verbetering van de proef van FIZEAU. In dit tijdschrift werd zij in het Bijblad vermeld, 5^e aflevering van 1873. Zij is voorts in de *Comptes rendus*¹ en in *Nature*² te vinden. Wij volgen het laatste, waarin ook de gebruikte toestellen zijn afgebeeld.

CORNU, professor aan de École Polytechnique te Parijs, vond FIZEAU's methode beter dan die van FOUCAULT, omdat er bezwaren kunnen gemaakt

¹ LXXVI p 338.

² No 192 vol. 8 1873.

worden tegen het draaiend spiegeltje, zooals werkelijk ook van meer dan eene zijde in der tijd gedaan is, zonder dat men echter algemeen daarmede ingestemd heeft. Tegen FIZEAU's proef gelden zij in alle gevallen niet. Deze kan buitendien gemakkelijk in vele opzichten verbeterd worden.

Moelijkheden baart het waarnemen van de oogenblikken, waarop het licht zijne volle sterkte vertoont, of waarop het geheel verdwenen is. Voorts moest FIZEAU op die oogenblikken de snelheid van zijn getande schijf standvastig houden, om haar door middel van den daaraan verbonden teltoestel te meten.

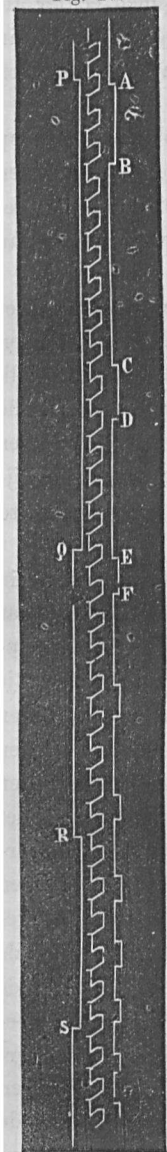
CORNU overwon dit bezwaar door aan de schijf eene langzaam toenemende snelheid te geven, die onophoudelijk door een galvanischen stroom op een met lampzwart bedekte rol wordt geregistreerd. Zulk een rol wordt tegenwoordig zeer dikwijls bij de meest verschillende physische, astronomische of physiologische proefnemingen gebruikt, en behoort tot de beste microchronometers, of werktuigen om kleine tijden nauwkeurig te meten. Aan wie haar niet kennen, kan een korte beschrijving een denkbeeld daarvan geven.

Een metalen rol, een paar decimeters lang en ruim een decimeter in middellijn, ook grooter of kleiner naar omstandigheden, draait om haar as en ondergaat te gelijk eene voortgaande beweging. Zij is met lampzwart bedekt, waarin een fijne glasdraad een dun maar scherp lijntje teekenen kan. Nu is er een stangetje met een zijner uiteinden bijna tegen de rol aan geplaatst, in de stelling, waarin men een beitel zou houden tegen een slijpsteen. Dit draagt een fijn glasdraadje, of dergelijk elastiek en puntig voorwerp, 't welk dient om te schrijven. Als de rol draait en het draadje er tegendrukt, ontstaat er een schroeflijn op haar zwarte oppervlakte. Nu draait het andere uiteinde van de stang om een asje, zoodat een elektromagneetje die stang, waaraan het anker van den magneet is vastgemaakt, naar zich toe kan trekken en weer loslaten, op dezelfde wijze als met het anker in den telegraaf van MORSE geschiedt. Daardoor ondergaat de stift een kleine zijdelingsche verplaatsing, die op de rol wordt aangeteekend, omdat de schroeflijn op dat punt eveneens een weinig zijdelings verspringt. Telkens wanneer in het uurwerk, dat de schijf beweegt, een zeker wiel een omwenteling heeft volbracht, raakt een daaraan bevestigde tand den sluitdraad van den galvanischen stroom aan, wordt de stroom gesloten, en de schrijfstift op zijde getrokken, en daarna weer losgelaten.

CORNU registreerde door een tweede stift de oogenblikken, waarop

het lichtbeeld verdween en terug kwam, die beide evenver van het

Fig. 16.



Geregistreerde lijnen van
de proef van CORNU.

oogenblik verwijderd waren waarop het licht werkelijk volkomen onderschept werd. De absorptie in den dampkring maakt het zwakke licht reeds eerder onzichtbaar.

Een derde stift teekent den tijd op, daar zij met een secondewijzer is verbonden, en in elke seconde eene kleine zijdelingsche beweging doet; figuur 16 is de getrouwe copie van een experiment, gedaan in Juni 1872.

De lijn aan de rechterhand vertoont de aangroeiende beweging der getande schijf. Bij A B, C D, E F enz. is de stroom gesloten geweest en de stift op zijde gerukt.

De middelste lijn zijn de seconden, afkomstig van een electrisch uurwerk. Die aan de linkerhand teekent ons de oogenblikken waarop CORNU het licht zag verdwijnen of terugkomen, en waarop hij met een sleutel, als bij den telegraaf van MORSE, den stroom sloot. Van P tot Q en van R tot S was het licht onzichtbaar.

Deze methode heeft veel voor. Men kan veel rustiger experimenteren en later zoo dikwijls men wil zijn resultaat beschouwen, overdenken en aan de berekening onderwerpen. Het wiel met de tanden maakte, gedreven door een gewoon klokuurwerk, 700 à 800 omwentelingen per seconde. De snelheid kon door de wrijving van een klein hefboomje worden geregeld. Ook kon de schijf zoowel in den eenen zin als in den anderen rondwentelen. Als lichtbron gebruikte hij Drummonds kalklicht, soms ook een petroleumlamp. Bij zijn definitieve proeven stond deze toestel op een vliering van de Polytechnische school; de spiegel, die den weggezonden lichtstraal opvangt en terugkaast, stond in een der barakken van het welbekende fort op den Mont Valérien. CORNU heeft meer dan 1000 proefnemingen verricht en onderwierp, na eene zorgvuldige schifting, 690 daarvan aan de berekeningen. Dikwijls was mist of een sterke trilling der dampkringslucht

een beletsel. Ja, de warme lucht, die uit den schoorsteen van het Lycée Louis-le-Grand opsteeg, was bijna een klip, waarop de geheele proef schipbreuk zou geleden hebben. CORNU wachtte echter totdat er vacantie was, en toen gelukte de meting. De afstand bedroeg, bij triangulatie gevonden, 10310 meter, dus ruim zeven kwartier gaans. De snelheid des lichts in het luchtledig, hieruit berekend, was 298500 kilometer per seconde. CORNU verzekert, dat de werkelijke waarde minder dan 775 kilometer van dit getal moet verschillen, d. i., dat de gevonden waarde op $\frac{1}{200}$ nauwkeurig is.

Evenals RIZEAU besluit CORNU zijne mededeelingen met eene aanbeveling voor de toekomst. Zonder veel bezwaar, zegt hij, kan men de proef onder een helderder hemel en op een geschikter plaats (dan het mistige Parijs) herhalen, met stations die 20 á 30 kilometer van elkaar verwijderd zijn. Men kan dan op $\frac{1}{1000}$ zekerheid rekenen. CORNU heeft grooten lust om die proef te bewerkstelligen, en hoopt op den steun der Academie.

XII.

Wij zijn thans aan het einde van onze beschrijvingen gekomen, en de lezer, die mij tot hiertoe gevolgd heeft, is zeker iemand, die veel belang stelt in de natuurwetenschap. Wij zullen het twaalfstal paragraphen vol maken, door nu de beschreven methoden en hare uitkomsten nog eens te overzien en te vergelijken.

De methode van ROEMER heeft dit voor, dat zij de lichtssnelheid afleidt door het meten van een vrij aanzienlijke tijdgrootheid, t. w. van den tijd, welken het licht besteedt om een ruimte te doorloopen gelijk aan den diameter van de loopbaan der Aarde. Deze tijd bedraagt nagenoeg $16\frac{1}{2}$ minuut. Toch zijn haar resultaten niet zeer nauwkeurig. Kon men namelijk dezen tijd zeer scherp bepalen, b. v. op $\frac{1}{10}$ seconde na, dan zou ROEMERS methode zeer hooge waarde hebben. Maar dit kan niet. Het is duidelijk, dat de Jupiterwachter, wegens zijne lichamelijke uitgebreidheid, altijd eenige oogenblikken noodig heeft om uit den schaduwkegel in het zonlicht te treden, en daarom hangt het van vele omstandigheden af, op welk oogenblik zijn licht het eerst in den kijker wordt bespeurd. De helderheid van den dampkring en het vermogen van den kijker zijn hierop van grooten invloed. In 't begin dezer eeuw heeft DELAMBRE deze methode nog eens toegepast. Meer dan duizend

eclipswaarnemingen werden door hem aan de berekening onderworpen. Zijn uitkomst vermelden wij hieronder.

Meer vertrouwen wekt de bepaling door de aberratie des lichts. De verbazende verfijning onzer astronomische meetwerktuigen draagt daartoe bij. De plaatsbepaling van vaste sterren aan den hemelbol kan met groote scherpthe geschieden. Men kan zooveel sterren uitzoeken als men verkiest, en dus de waarnemingen vermenigvuldigen.

Beide methoden geven de snelheid des lichts echter niet uitgedrukt in een of anderen aardschen maatstaf, b. v. in kilometers per seconde, zij leveren slechts den tijd, waarin het licht der Zon de Aarde bereikt, en dus de snelheid des lichts in dezen afstand als eenheid. Om de uitkomsten, volgens haar verkregen, met die van de zuiver physische proeven van FIZEAU, POUCAULT en CORNU te vergelijken, moet men genoemden afstand in kilometers kunnen overbrengen. Dit is wel mogelijk, maar ook slechts, zooals wij zagen, met zekeren graad van nauwkeurigheid. Uit de beide laatste Venusovergangen (1761 en 1769) leidden HANSEN, LEVERRIER, WINNECKE, POWALKI, STONE en HALL dien afstand af. Het gemiddelde daarvan is 19.890.300 geographische mijlen, of 147.335.300 kilometers. Deze waarde kan echter nog ruim 200.000 kilometers grooter of kleiner zijn. ¹ Laten wij haar als de juiste aannemen. Vereenigen wij haar met de door ROEMER en BRADLEY of hun navolgers gevonden getallen, dan kunnen wij het volgende tafeltje samenstellen. De tweede kolom daarvan bevat de tijden, waarin volgens de in de eerste kolom genoemde waarnemers het licht der Zon de Aarde bereikt. De derde kolom geeft de snelheid des lichts, verkregen door de genoemde tijden op den zooveen meegedeelden afstand Zon- Aarde te deelen.

WAARNEMING VOLGENS	GEMETEN TIJD.	SNELHEID DES LICHTS.
I. Methode ROEMER.		— Kilometers.
ROEMER.	11 min.	223240
DELABRE.	8 „ 13 sec.	298850
II. Methode BRADLEY.		
BRADLEY.	8 „ 12 „	299460
STRUVE.	8 „ 18,2 „	295730

¹ *Der Vorübergang der Venus* von Dr. F. SCHORR p. 97.

FIZEAU, FOUCAULT en CORNU hebben de lichtssnelheid rechtstreeks gemeten. Deelen wij hun uitkomsten op den zonsafstand, dan vinden wij in hoeveel seconden het licht dien afstand zou doorloopen. Daaruit is het volgende tafeltje samengesteld, dat geen nadere toelichting behoeft.

WAARNEMER.	GEMETEN SNELHEID.	TIJD.
FIZEAU.	313000 Kilometer	7 min. 50,7 sec.
FOUCAULT.	298000 "	8 " 14,4 "
CORNU.	298500 "	8 " 13,6 "

Gelijk men ziet, is er tusschen de getallen van beide tafeltjes dikwijls eene groote overeenkomst. De proef van FIZEAU heb ik ter wille der historische merkwaardigheid opgenomen. Zij geeft de minste overeenstemming, maar moet ook slechts als een voorloopige proef, als eene ruwe benadering worden aangemerkt. Die van FOUCAULT en CORNU stemmen zeer goed overeen. Wij begrijpen echter dat de door hen verkregen getallen ook niet volkomen zeker zijn.

CORNU's uitkomst kan nog ruim 700 kilometers te groot of te klein zijn, die van FOUCAULT nog meer. Indien de drie metingen, namelijk die volgens ROEMER en BRADLEY, die volgens FOUCAULT en CORNU, en de meting van onzen afstand tot de Zon, met volmaakte scherpte konden gedaan worden, zouden de getallen, in dergelijke tafeltjes als de bovenstaande vereenigd, ook volmaakt overeenstemmen onder elkaar. Uit zulk eene overeenstemming, zoo zij tusschen de waargenomen getallen gevonden wordt, zou de juistheid der waarnemingen of der proeven en der daarop toegepaste berekeningen blijken. Of nu de methode van FIZEAU, zooals CORNU die herhaald heeft en wellicht spoedig op grooter schaal herhalen zal, dan wel eene nieuwe uitvoering van de proef van FOUCAULT ons eenige grootere zekerheid zal geven omtrent de waarde der lichtssnelheid, kan men natuurlijk niet weten. Zeker is het, dat men meer verwachting van de eerstgenoemde heeft. Door FOUCAULT moest toch uit de verschuiving van een lichtbeeld, ten bedrage van 0,7 millimeter, eene grootheid van honderduizenden kilometers bepaald worden! De inrichting zijner toestellen is veel meer samengesteld. Hun werking, hoe voortreffelijk ook, is veel meer aan storing en aan veranderingen onderhevig. De weg, dien het licht bij zijn proef heen en

weder doorliep, was slechts weinige meters. Kon men de proef verrichten met een afstand van evenveel kilometers, wie weet, welke scherpte dan FOUCAULTS methode toeliet te bereiken. Van den anderen kant heeft de methode van FIZEAU voor, dat het licht daarbij een aanmerkelijken afstand heen en weder doorloopen moet; de wijze om het daarvoor gebruikte tijdsverloop te meten door het omwentelend tandrad laat zeer veel scherpte toe. Zeer terecht heeft CORNU de laatste methode boven de eerste verkozen, en ik hoop, dat zijn wensch om zijn proef spoedig op groote schaal te mogen herhalen, met aanwending van alles, wat de nieuwere waarnemingskunst kan aanbieden, niet lang onvervuld moge blijven. Wat echter in dit opzicht de eerstkomende jaren mogen opleveren, nimmer zal het den roem verduisteren van wat ons sedert ARAGO's project tot heden geschonken werd.