



De trillingsrichting in het rechtlijnig gepolariseerde licht

<https://hdl.handle.net/1874/276448>

II 3

DE TRILLINGSRICHTING
IN HET
RECHTLIJNIG GEPOLARISEERDE LICHT.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,

NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

DR. W. KOSTER,

GEWOON HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE,

MET TOESTEMMING VAN DEN ACADEMISCHEN SENAAAT

EN

VOLGENS BESLUIT VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDIGE
WETENSCHAPPEN,

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE,

AAN DE HOOGESCHOOL TE UTRECHT,

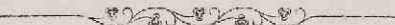
TE VERDEDIGEN

OP WOENSDAG 12 JUNI 1867, DES NAMIDDAGS TEN 2 URE,

DOOR

RUDOLF ADRIAAN MEES,

GEROREN TE ROTTERDAM.



AMSTERDAM,
P. N. VAN KAMPEN.

1867.

THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

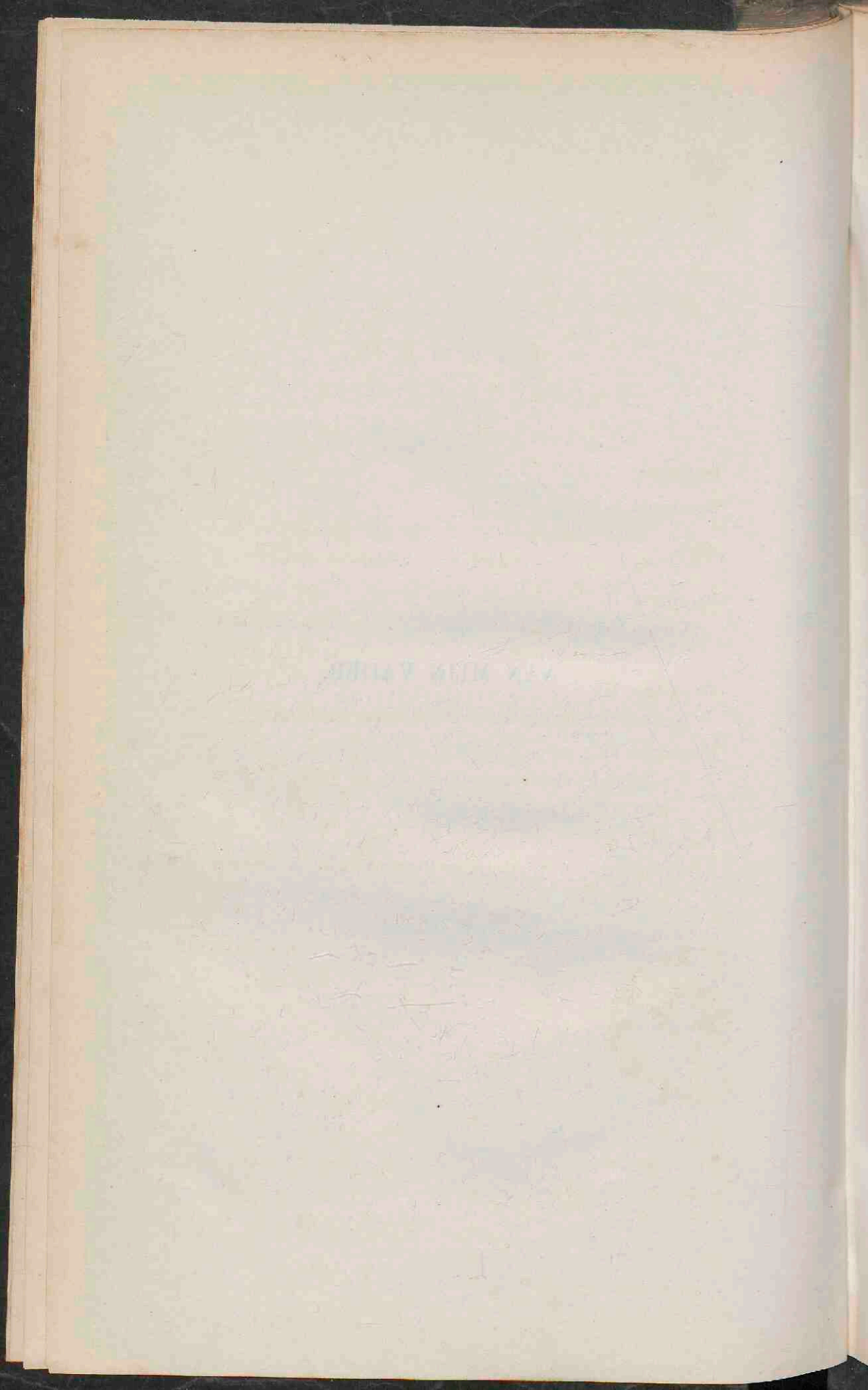
RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY



RECEIVED FROM THE AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

AAN MIJN VADER.



I N H O U D.

	Blz.
INLEIDING.	1.
HOOFDSTUK I.	
Tot welke uitkomsten leiden ons de verschijnselen der terugkaatsing en breking bij onkristallijne stoffen? . . .	10.
HOOFDSTUK II.	
Kunnen de verschijnselen der dubbele straalbreking ons tot een besluit leiden?	51.
HOOFDSTUK III.	
Welke uitkomsten geven ons de buigingsverschijnselen? . .	76.
HOOFDSTUK IV.	
Verschillende proeven, waardoor men de trillingsrichting heeft willen bepalen.	93.
HOOFDSTUK V.	
Wat leeren ons de aberratieverschijnselen en de proeven van Fizeau?	115.
HOOFDSTUK VI.	
Besluit.	131.
AANHANGSEL	145.
STELLINGEN.	147.

ERRATA.

Blz. 2, reg. 14 van onderen staat *die*, lees: *dien*.

Blz. 26, reg. 6 van boven staat *die*, lees: *dien*.

Blz. 43, reg. 8 van onderen staat $\Delta_1 : \Delta = \sin^2 2r : \sin^2 2i$, lees:

$$\Delta : \Delta_1 = \sin^2 2r : \sin^2 2i.$$

INLEIDING.

In de volgende bladzijden stel ik mij voor een onderwerp te behandelen, waarover reeds gedurende ongeveer een halve eeuw strijd gevoerd is, en hetgeen naar veler meening nog niet als opgelost te beschouwen is.

De kennis van de verschijnselen, door het licht voortgebracht, heeft tegenwoordig reeds een groote hoogte bereikt, en nog immer wordt die kennis door verschillende natuuronderzoekers met nieuwe bijdragen verrijkt. Ook de theorie van het licht kan men als reeds zeer gevorderd aanzien; de meeste verschijnselen laten zich toch theoretisch verklaren, en al blijven er ook nog immer eenige verschijnselen, die zich aan een volkomen verklaring blijven onttrekken, er bestaat veel hoop, dat ook hun theoretische verklaring weldra zal gevonden worden. De theorie omtrent het wezen van het licht, welke tot zulke groote uitkomsten geleid heeft, de zoogenaamde undulatie-theorie, is reeds voor meer dan twee eeuwen door onzen grooten landgenoot Huyghens aangegeven, echter eerst in het begin dezer eeuw onderging zij in handen van den Franschen natuurkundige Fresnel en van den Engelschen natuurkundige Th. Young die verandering, welke haar geschikt maakte om bijna alle lichtverschijnselen te verklaren. Daartoe was de tot dien

tijd algemeen aangenomen theorie, de zoogenaamde emissie-theorie niet in staat. Toen de kennis der lichtverschijnselen zich uitbreidde, moest de laatstgenoemde theorie worden opgegeven, en in Huijghens' door Fresnel en Young gewijzigde theorie vond zij een opvolger, die volkomen voor de haar opgelegde taak berekend was. Het is de bekende theorie, die het licht toeschrijft aan de trillingen eener stof, die alles doordringt, en welke men ether noemt; terwijl verder die trillingen niet, zooals Huijghens meende, evenals de trillingen, die het geluid opwekken, longitudinaal zijn, d. i. in die richting plaats hebben, welke het licht volgt, doch transversaal, d. i. loodrecht op die richting.

Hoe groote voordeelen deze undulatie-theorie moge bezitten boven de emissie-theorie, het valt toch niet te ontkennen, dat ook zij hare zwakke zijde bezit. Dit zwakke bestaat niet in de bij haar noodzakelijke veronderstelling, dat de lichttrillingen transversaal zijn, dit heeft niets aanstootelijks; doch dat men met haar genoodzaakt is een ether aan te nemen, waarvan men niets weet, die men nooit heeft kunnen opmerken, heeft meer bezwaren. Dat er eenigerhande stof is, die het heelal vult, is zeer waarschijnlijk, als men opmerkt, dat wij gewaarwordingen onder vinden van lichamen, die ver van ons verwijderd zijn. Het is toch wel niet aan te nemen, dat de oorzaken dier gewaarwordingen door een ledige ruimte tot ons overkomen. Doch ook rechtstreeksche waarnemingen, zooals storingen in de loopbanen van kometen, schijnen aan te duiden, dat de ruimte tusschen de verschillende wereldbollen niet ledig is. Dat die overal verspreide stof ook in de lichamen op aarde zich bevindt, dat zij een zeer klein, ja voor onze werktuigen niet merkbaar specifiek gewicht heeft, dit alles kan men zeer goed aannemen. Dat men haar

echter, om de verschijnselen te verklaren, allerlei, dikwijls voor het minst zeer willekeurige, ja zelfs onwaarschijnlijke eigenschappen moet toeschrijven, dit is minder goed te verdedigen. Ook in de volgende bladzijden zullen wij daarvan zeer sprekende voorbeelden aantreffen.

Met dit alles blijft de undulatie-theorie, buiten tegenspraak, toch altijd nog de beste theorie; en het zal daarom wel niemand verwonderen, dat ook ik, niettegenstaande ik niet kan loochenen, dat er groote bezwaren aan verbonden zijn, haar toch voor het tegenwoordige als de ware zal beschouwen. Op die undulatie-theorie steunt dan ook geheel en al het onderwerp, dat ik hier wensch te behandelen. Voordat ik echter dit mijn onderwerp noem, nog eenige opmerkingen ter inleiding.

Gelijk bekend is, ondergaat het gewone van eenigerhande lichtbron afkomstige licht, wanneer men het door sommige stoffen laat doorgaan of daarop terugkaatsen, veranderingen, welke het ongeschikt maken, om daarna in eenige richtingen weder gebroken of teruggekaatst te worden. Het licht heet dan gepolariseerd. Het hoofdverschil, dat er bestaat tusschen gewoon of natuurlijk en gepolariseerd licht, is dit, dat het eerste dezelfde eigenschappen bezit aan alle zijden van den straal, of van de richting, waarin het licht zich voortplant, terwijl het gepolariseerde licht aan de verschillende zijden van den straal verschillende eigenschappen vertoont.

Wanneer nu zulk een gepolariseerde lichtstraal eigenschappen vertoont, die, ofschoon niet voor alle zijden van den straal dezelfde, toch symmetrisch zijn ten opzichte van een bepaald vlak, dat door dien straal gelegd kan worden, dan noemt men zulk een lichtstraal, om na te vermelden redenen, een rechthoekig gepolariseerden lichtstraal, ter on-

derscheiding van licht, dat op andere wijze gepolariseerd is. Het genoemde vlak, ten opzichte waarvan die rechtlijnig gepolariseerde lichtstraal symmetrische eigenschappen bezit, heet het polarisatievlak van dien straal. Daar nu zulk een rechtlijnig gepolariseerde lichtstraal alle mogelijke door zijn voortplantingsrichting gaande vlakken tot polarisatievlak kan hebben, is zulk een lichtstraal nog niet volkomen bepaald door zijn voortplantingsrichting, maar moet men daartoe tevens weten, welke richting zijn polarisatievlak heeft. Men geeft daarom ook immer op, welke richting het polarisatievlak van den beschouwden rechtlijnig gepolariseerden lichtstraal bezit, ten opzichte van een door den straal gaand en als grondvlak aangenomen vlak, en zegt dan, dat de lichtstraal in die richting gepolariseerd is.

Deze rechtlijnige polarisatie van het licht (en daar wij in het vervolg meestal over deze handelen, zullen wij het woord *rechtlijnig* weglaten, ten minste wanneer er geen onduidelijkheid te vreezen is,) vindt haar verklaring in de undulatie-theorie, door aan te nemen, dat de transversale trillingen in het natuurlijke licht achtereenvolgens in alle mogelijke richtingen loodrecht op den straal plaats hebben, terwijl die in het gepolariseerde licht immer in een zelfde richting geschieden. De naam rechtlijnig berust op het rechtlijnig zijn van de ethertrillingen in zoodanig gepolariseerd licht, terwijl die trillingen bij andere soorten van gepolariseerd licht niet volgens rechte lijnen, maar volgens kromme lijnen plaats hebben. Daar nu de richting van het polarisatievlak van eenigerhande lichtstraal de eigenschappen van dien lichtstraal, in zooverre zij tot de polarisatieverschijnselen behooren, volkomen bepaalt, zoo zal ook voor een gegeven richting van het polarisatievlak van een lichtstraal, de richting der trillingen van dien straal een

bepaalde moeten zijn. Die richting der trillingen in den rechtlĳnig gepolariseerden straal te bepalen ten opzichte van de richting van het polarisatievlak van dien straal, dit is het onderwerp, hetgeen wij hier willen behandelen.

Omtrent de richting dier trillingen bestaan twee hypothesen. Eenigen meenen dat die richting loodrecht is op het polarisatievlak, anderen daarentegen, dat zij in dat vlak gelegen is. De eerste dier hypothesen is de oudste. Bij de behandeling der dubbele straalbreking nam Fresnel die eerste hypothese aan; wij zullen haar daarom Fresnel's hypothese noemen, ter onderscheiding van de tweede, welke wij Neumann's hypothese zullen noemen, omdat Neumann, zoo misschien niet de eerste, dan toch een der eersten geweest is, die haar tegenover Fresnel's hypothese heeft overgesteld. Misschien zouden wij haar met evenveel recht den naam van MacCullagh of van Cauchy, als dien van Neumann hebben kunnen toevoegen. Cauchy echter heeft later de hypothese van Fresnel omhelsd; zijn naam zou dus minder bij de tegenovergestelde hypothese passen, die hij wel in de eerste jaren verdedigd, doch later ook des te sterker bestreden heeft. Wat MacCullagh betreft, dien naam zou ik misschien even goed hebben kunnen kiezen. Daar ik echter met Neumann's arbeid over dit onderwerp eerder bekend werd dan met dien van MacCullagh, heb ik den naam van den eersten aan die hypothese gegeven. Het was toch noodig, dat de hypothese een naam had, om niet altijd een langdradige omschrijving te behoeven; en of men nu den eenen of den anderen naam kiest, doet minder ter zake.

Deze beide hypothesen hebben reeds langen tijd om den voorrang gestreden. Men zou echter nog kunnen meenen,

dat zij geen van beide met de waarheid overeenkomen, en dat nog een andere richting de wezenlijke richting der trillingen kan zijn. Hierop moet ik echter antwoorden, dat dit niet waarschijnlijk, zoo niet onmogelijk is. Wij hebben toch opgemerkt, dat de eigenschappen van den gepolariseerden lichtstraal symmetrisch zijn ten opzichte van het polarisatievlak. Zij zijn dit eveneens ten opzichte van een vlak loodrecht op het polarisatievlak door den lichtstraal gelegd. Is dit zoo, dan kan echter de richting der trillingen niet anders dan in een der beide vlakken vallen. Zij valt dus óf in het polarisatievlak, óf zij is daarop loodrecht. Hadden zij een andere richting, de symmetrie ten opzichte van de beide vlakken zou verbroken zijn.

Wij zullen dit geval dan ook uit onze verdere redeneering uitsluiten, en slechts de beide hypothesen van Fresnel en van Neumann, die dan als de eenig mogelijke overblijven, behandelen.

Hoe men getracht heeft die trillingsrichting te bepalen, zal in het vervolg blijken. Dat daaraan groote moeilijkheden verbonden zijn, zal wel niemand verwonderen. De trillingen toch van den ether zijn even als de ether zelf geheel voor ons oog verborgen, en wij bezitten geen middelen om ze zichtbaar te maken. Slechts het polarisatievlak van een lichtstraal kan men immer gemakkelijk waarnemen. Kende men dus maar de richting der trillingen ten opzichte van dat vlak, dan zou men ook voor elken gepolariseerden lichtstraal tevens de trillingsrichting kunnen aangeven. Dit is echter juist hetgeen te bepalen is. Om omtrent dit punt iets te vinden, zal men daarom op een meer indirecten weg moeten te werk gaan. Zoo men een der beide hypothesen aanneemt, kan men door de

theorie bepalen, welke verschijnselen zich moeten vertoonen, als men het licht aan de een of andere proef onderwerpt. Door dan na te gaan welke theoretisch vooruitgeziene verschijnselen het best met de waargenomen verschijnselen overeenkomen, die welke uit Fresnel's, of die welke uit Neumann's hypothese voortvloeien, kan men de geldigheid van de eene of van de andere hypothese onderzoeken. Ongelukkig, zooals wij zien zullen, voldeden zeer dikwijls beide hypothesen even goed, zoodat men dan daardoor tot geen beslissing komen kon, of er waren bedenkingen te maken tegen de geldigheid der theoretische afleiding, of verschillende natuurkundigen kwamen tot verschillende experimenteele uitkomsten. Daaraan is het dan ook toe te schrijven, dat de beslissing omtrent de trillingsrichting nog altijd op zich heeft laten wachten.

Doch op nog andere wijze kan men trachten de trillingsrichting te bepalen. Gelijk de theorie in verband met de verschijnselen aantoont, is er een nauw verband tusschen de trillingsrichting en de constitutie van den ether in de verschillende stoffen. Een veronderstelling omtrent die constitutie van den ether voert tot de hypothese van Fresnel omtrent de trillingsrichting, een andere veronderstelling voert tot die van Neumann. Ware het dus mogelijk die constitutie van den ether in middelstoffen te bepalen, ook de strijd omtrent de trillingsrichting zou beslist zijn. Ook deze wijze om ons vraagstuk op te lossen heeft men bij de hand genomen. Met welk gevolg, zal in de volgende bladzijden blijken.

Wij wenschen hier namelijk de verschillende methoden, waardoor men getracht heeft tot de beslissing van den strijd te komen, aan een nauwkeurige beschouwing te onderwerpen, om zoo mogelijk ten slotte tusschen de eene

of de andere zienswijze een keuze te doen. Die methoden zijn vele en velerlei. Bijna alle gedeelten der optica heeft men daartoe gebruikt. Het was daarom moeilijk een goede volgorde te kiezen voor de behandeling dier zoo uiteenlopende, en toch weder onderling met elkander in verband staande methoden. De door mij gekozen volgorde berust hierop, dat ik van de methoden uitga, welke uit die deelen der optica genomen zijn, waarvan de theorie zoowel als de kennis der verschijnselen kunnen geacht worden het meest ontwikkeld te zijn, om daarna over te gaan tot dezulke, welke tot die gedeelten der optica behooren, die, én in theorie, én in de kennis der verschijnselen nog minder gevorderd zijn. Tot de eerste reken ik die methoden, welke berusten op de verschijnselen der breking en terugkaatsing zoowel bij isotrope als bij dubbelbrekende stoffen; tot de tweede diegene, waarbij de bewijsgronden uit de buigings- en diffusie-verschijnselen worden geput. Omdat de verschijnselen der aberratie van het licht van de even genoemde verschijnselen zeer verschillen, heb ik gemeend de op deze rustende methoden het laatst te moeten behandelen, vooral omdat deze verschijnselen niet in staat zijn een directe beslissing omtrent de trillingsrichting te geven, maar zij slechts de constitutie van den ether in middelstoffen kunnen aangeven, en daarom meer indirect tot de beslissing omtrent de trillingsrichting medewerken.

In de volgende bladzijden heb ik mij niet tot taak gesteld de kennis der lichtverschijnselen uit te breiden, in zoo verre zij slechts door waarneming kunnen gevonden worden. Proeven omtrent het onderwerp, dat ik hier ga behandelen, zijn er reeds vele gedaan, en ik gevoel mij niet in staat, om naast de te vermelden zoo nauwkeurige

proeven van geoefende waarnemers er andere en even nauwkeurige aan toe te voegen.

Die proeven, welke overal verspreid staan opgeteekend, en waaruit de waarnemers dikwijls besluiten hebben getrokken, zonder op de waarnemingen van hun voorgangers te letten, hier bijeen te verzamelen, ze in verband tot elkander aan een nauwkeurige kritische beoordeeling te onderwerpen, en te trachten ze alle uit éenzelfde theorie omtrent het wezen van licht en ether te verklaren, zie daar hetgeen ik mij in het volgende heb voorgesteld.

Dat niet slechts het bijbrengen van nieuwe verschijnselen tot de taak der natuurkundigen behoort, zal wel niemand ontkennen. De gevonden verschijnselen moeten ook verklaard, en wel alle uit éenzelfde theorie verklaard kunnen worden. Het heeft dus ook zijn nut, soms eens stil te staan, en te beschouwen, wat de waargenomen verschijnselen ons wel leeren. Eerst daardoor kan men komen tot de algemeene wetten, waaraan alle stof en alle verschijnselen onderworpen zijn. Eerst wanneer men die wetten gevonden heeft, en geene verschijnselen zich meer aan de verklaring uit die gevonden wetten onttrekken, eerst dan kan men zeggen dat gedeelte der wetenschap te kennen. Ook zoo mogelijk iets bij te dragen tot deze volkomen kennis der natuur, dit is de wensch, die mij tot mijn arbeid heeft aangespoord.

HOOFDSTUK I.

TOT WELKE UITKOMSTEN LEIDEN ONS DE VERSCHIJN- SELEN DER TERUGKAATSING EN BREKING BIJ ONKRISTALLIJNE STOFFEN?

De terugkaatsing en breking van gepolariseerd licht door doorzichtige onkristallijne middelstoffen heeft men tot middel willen aanwenden om tot de oplossing te komen van den in de vorige bladzijden vermelden strijd omtrent de trillingsrichting in den rechtlijnig gepolariseerden lichtstraal.

Als men een rechtlijnig gepolariseerden lichtstraal laat vallen op het scheidingsvlak van twee middelstoffen, dan heeft men opgemerkt, dat, als het polarisatievlak van den invallenden straal een bekenden doch willekeurigen hoek maakt met het invallingsvlak, het polarisatievlak van den teruggekaatste straal een anderen en wel kleineren hoek maakt met datzelfde vlak. Slechts in het geval, dat het polarisatievlak van den invallenden straal samenvalt of een rechten hoek maakt met het invallingsvlak, behoudt dat polarisatievlak ook in den teruggekaatste straal denzelfden stand.

Het was Fresnel, die van dit verschijnsel het eerst een goede verklaring gegeven heeft. Elken rechtlijnig gepolariseerden invallenden straal kan men zich denken samengesteld te zijn uit twee stralen, waarvan de eene gepolariseerd is

in, de andere loodrecht op het invallingsvlak. De intensiteiten dier beide componenten zijn in het algemeen ongelijk; slechts als het polarisatievlak van dien straal een hoek van 45° maakt met het invallingsvlak, zullen die componenten een gelijke intensiteit bezitten. De verhouding, waarin die componenten van den invallenden straal worden teruggekaatst, is nu niet voor beide componenten dezelfde, maar is grooter voor de in het invallingsvlak gepolariseerde component dan voor de andere. Hieruit vloeit van zelf voort, dat de hoek, dien het polarisatievlak maakt met het invallingsvlak, of het azimuth van polarisatie, altijd kleiner zal zijn voor den teruggekaatsten dan voor den invallenden straal. Hoogstens zal het voor beiden gelijk kunnen zijn, namelijk als de invallende straal, óf in, óf loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerd is.

De verandering, die het azimuth van polarisatie door de terugkaatsing ondergaat, is echter niet slechts afhankelijk van de grootte van dat azimuth, maar tevens van den hoek van invalling van den invallenden straal. Voor beide componenten verandert namelijk de hoeveelheid teruggekaatst licht, als de invallingshoek verandert; en die verandering is bij beide componenten niet even groot. Die verhouding tusschen de hoeveelheden teruggekaatst licht van beide componenten is zelfs zoo veranderlijk, dat er een zekere hoek van invalling bestaat, die voor eenzelfde stof een bepaalde waarde heeft, doch voor verschillende stoffen verschillend is, waarbij de loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerde straal bijna niet wordt teruggekaatst (de eerste onderzoekers, waaronder ook Fresnel, meenden zelfs in het geheel niet), terwijl de andere componenten in een ruime mate wordt teruggekaatst. Bij dien invallingshoek, den zoogenaamden polarisatiehoek, zal dus

de teruggekaatste straal altijd bijna volkomen in het invalingsvlak gepolariseerd zijn, hoedanig ook de polarisatie van het invallende licht zij, ja zelfs wanneer dit natuurlijk licht is.

Er is nog meer. De verhouding tusschen de intensiteitsvermindering door de terugkaatsing der beide componenten voor eenzelfde hoek van invalling is niet voor alle stoffen dezelfde, doch hangt tevens af van den tot dien invalingshoek behoorenden brekingshoek, d. i. van den brekingsindex der beide middelstoffen.

Men ziet, het vraagstuk om voor eenigerhande stof en voor eenigen hoek van invalling de intensiteit te vinden van den teruggekaatsten straal ten opzichte van die van den invallenden straal is vrij ingewikkeld. En nog hebben er bij de terugkaatsing verschijnselen plaats, die wij hier niet eens vermeld hebben, doch waarover wij eerst later zullen spreken, daar de eerste onderzoekers ze niet, of slechts in enkele gevallen hebben in acht genomen.

Niettegenstaande het ingewikkelde, hebben toch velen hun krachten ingespannen om de zoo even genoemde verschijnselen in verband te brengen met de theorie. Met welke uitkomst dit geschied is, doch vooral op welke wijze men getracht heeft uit deze verschijnselen tot de oplossing van ons vraagstuk te geraken, dit na te gaan, ziedaar het onderwerp, dat ik mij heb voorgesteld in dit hoofdstuk te behandelen.

Fresnel, door wien de optica, door de invoering der transversale trillingen in Huyghens' undulatie-theorie, zoo veel is vooruitgebracht, zag zich juist door die wijziging der undulatie-theorie in staat gesteld op theoretischen weg formules te vinden voor de intensiteit der teruggekaatste

stralen ten opzichte van die der invallende, en wel voor beide stralencomponenten, d. i. zoowel voor die met trillingen in, als voor die met trillingen loodrecht op het invallingsvlak ¹⁾).

Deze zijne theoretische formules werden door Arago nauwkeurig aan de waarneming getoetst, en kwamen daarmede zeer goed overeen, als men aannam, dat Fresnel's straal met trillingen loodrecht op het invallingsvlak overeenkwam met den in dat vlak gepolariseerden straal, die met trillingen in het invallingsvlak met den loodrecht op dat vlak gepolariseerden straal. Dit zou dus tot het besluit leiden, dat de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak.

Neumann ²⁾ deed hetzelfde, en kwam tot dezelfde formules, echter met dit onderscheid, dat zijn formule voor den straal met trillingen in het invallingsvlak overeenkwam met die van Fresnel voor den straal met trillingen loodrecht op dat vlak, en omgekeerd. Neumann komt daardoor tot het besluit, dat de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak.

Vanwaar dit verschil? Door niets anders, dan dat zij van verschillende beginselen uitgaan omtrent de constitutie van den ether in middelstoffen bevat. Terwijl Fresnel de dichtheid van den ether in de verschillende middelstoffen verschillend, de elasticiteit van den ether daarentegen constant aanneemt, doet Neumann juist het tegenovergestelde. Gelijk wij reeds in de inleiding hebben opgemerkt,

¹⁾ De intensiteits-formules van Fresnel vindt men het eerst *Ann. de Ch. et de Ph.* (1821) t. 17, p. 193 en p. 312; *Pogg. Ann.* t. 22, p. 84 en p. 87, en met een volledig bewijs *Ann. de Ch. et de Ph.* t. 46, p. 225; *Pogg. Ann.* t. 22, p. 90.

²⁾ *Pogg. Ann.* t. 40, p. 507.

en wij later immer zien zullen, is dit een der wezenlijkste verschillen tusschen de beide theoriën. De eerste hypothese voert altijd tot de eene richting der trillingen, de tweede altijd tot de andere. Overigens gaan zij van bijna dezelfde beginselen uit, namelijk 1°. dat de bewegingen, die de deeltjes in het scheidingsvlak der beide stoffen verkrijgen door de beide golven in de eerste stof, in richting en grootte gelijk zijn aan die, welke zij door de golf in de tweede stof verkrijgen¹⁾; en 2°. dat de som der levende krachten in de teruggekaatste en gebroken golven gelijk is aan de levende kracht in de invallende golf.

Waren deze beide afleidingen der intensiteitsformules de eenige die wij hadden, dan zou zeker hierdoor Neumann's theorie de voorkeur verdienen boven die van Fresnel²⁾. Want terwijl in Neumann's analyse niet slechts de sommen van de componenten der bewegingen of der snelheden evenwijdig aan het scheidingsvlak gelijk genomen worden, maar hetzelfde ook gedaan wordt voor die loodrecht op dat vlak, mocht men in Fresnel's analyse die gelijkheid wel aannemen voor de componenten evenwijdig aan het scheidingsvlak, doch zij laat dit niet toe voor die loodrecht op dat vlak. Jamin³⁾ noemt dit zelfs een onmogelijkheid,

¹⁾ Dit beginsel, ten minste, zooals het door Neumann is toegepast, is wezenlijk hetzelfde, dat later door J. Mac Cullagh is ingevoerd onder den naam van het beginsel van de aequivalentie der trillingen. Men vindt dit beginsel o. a. zeer goed ontwikkeld in zijn verhandeling over de terugkaatsing door dubbelbrekende kristallen, Royal Irish Academy t. 18, p. 31.

²⁾ Zie hierover ook A. v. Ettingshausen, in zijn verhandeling over Cauchy's formules, Sitz. Ber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Math. naturw. Cl. t. 18, p. 369.

³⁾ In zijn verhandeling over Cauchy's formules Ann. d. Ch. et d. Ph. (3) t. 59, p. 413. Later is Jamin echter tot Fresnel's meening omtrent de trillingsrichting overgegaan.

en verwerpt daarom Fresnel's analyse geheel en al; want, zegt hij, als men de sommen der componenten evenwijdig aan het scheidingsvlak gelijk aanneemt, alsof de twee middelstoffen identisch zijn, dan moet men ditzelfde ook voor de normale componenten aannemen. Al kan men Jamin nu ook niet toegeven, dat Fresnel's theorie tot een volstrekte onmogelijkheid leidt, vooral daar de verhouding dier sommen der normale componenten aan de beide zijden van het scheidingsvlak toch voor twee zelfde stoffen constant is, en geheel onafhankelijk van den invallingshoek (die verhouding is namelijk gelijk aan het vierkant van den brekings-index, hetgeen Jamin schijnt te zijn ontgaan), toch kan men niet loochenen, dat hierdoor in Fresnel's analyse voor het minst een groote mate van willekeur heerscht. Men moet echter ook niet vergeten, dat de toestand des ethers juist in die richting loodrecht op het scheidingsvlak zijn grootste verandering ondergaat. Het zou dus nog mogelijk wezen, dat hetgeen men in Fresnel's theorie moet aannemen, met de waarheid overeenkwam; waarschijnlijk is het echter niet.

Deze arbeid van Fresnel en die van Neumann waren echter slechts voorloopers van een geheele reeks van onderzoekingen over deze verschijnselen, waartoe de grootste mathematici en physici van deze eeuw hebben medegewerkt. Het is natuurlijk niet mijn plan, al deze verschillende onderzoekingen hier afzonderlijk na te gaan; dat zou mij te ver van mijn eigenlijk onderwerp afleiden. Slechts aan eenige der belangrijkste, en die het meest in verband staan met onze onderzoeking omtrent de trillingsrichting, zullen wij meer opzettelijk onze aandacht wijden.

De eerste aanleiding tot een meer volledigen en nauwkeurigen arbeid over de terugkaatsing was de twijfel, die

er bij velen oprees omtrent de volledige overeenstemming van Fresnel's en Neumann's formules met de verschijnselen. Bij nader onderzoek vond men toch niet altijd een volkomen rechtlijnige polarisatie in het teruggekaatste licht, al was het invallende licht ook volkomen rechtlijnig gepolariseerd. Voorts vond men, dat niet alle stoffen het natuurlijke licht onder zekeren hoek van invalling volkomen door de terugkaatsing polariseeren, maar dat sommige stoffen ook een gedeelte, al is het ook een klein gedeelte, van het onder den polarisatiehoek invallende en loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerde licht terugkaatsen. Vooral de proeven van Airy op den diamant bewezen, dat de theoretische formules niet bij alle stoffen met de verschijnselen der terugkaatsing volkomen overeenstemmen.

Daar nu de verschillende onderzoekers door zeer verschillende beginselen getracht hebben tot de ware intensiteitsformules te komen, en die beginselen in het algemeen verschillend zijn, naarmate zij Fresnel's of Neumann's theorie zijn toegedaan, zal het niet onnut zijn, om, voordat wij tot de beschouwing der voornaamste onderzoekingen overgaan, kortelijk aan te geven, waarop de hoofdbeginselen en hypothesen betrekking hebben, van welke men in de theoretische behandeling dier lichtverschijnselen is uitgegaan.

Wanneer men het licht volgens de undulatie-theorie, en dus als door ethertrillingen opgewekt beschouwt, dan kan men natuurlijk de voortplanting van het licht terugbrengen tot de voortplanting der zeer kleine trillingen in een of andere stof. Men zal dus op de lichttrillingen kunnen toepassen de vergelijkingen, die men gevonden heeft voor de zeer kleine trillingen in elastische stoffen. Hierbij moet

men dan echter wel in het oog houden, dat de ether, die in de lichamen bevat is, niet mag beschouwd worden als onafhankelijk te zijn van de ponderabele stof, waaruit die lichamen bestaan. Dit blijkt ten duidelijkste uit de verschillende verschijnselen, welke het licht in onderscheidene middelstoffen oplevert. Hoedanig nu de toestand van den ether met de verschillende middelstoffen verandert, is ons onbekend, en kan men niet door onmiddellijke waarnemingen leeren kennen; slechts door verschillende hypothesen kan men zich dien toestand voorstellen, en het al of niet overeenstemmen der uit die hypothesen voortvloeiende besluiten met de waargenomen verschijnselen, zal het eenige criterium zijn omtrent het al of niet waar zijn dier hypothesen. Dit verband dus tusschen den ether en de ponderabele stof, welke hij doordringt, moet men juist trachten op te vatten, en juist hierin hebben, zooals wij weldra zien zullen, velen gefaald. Er is echter nog meer, waaromtrent men tot nog toe niet anders dan door hypothesen kan besluiten. Hoedanig zijn namelijk de longitudinale ethertrillingen, die door een middelpunt van trilling naast de transversale trillingen zijn opgewekt, en op welke wijze moet men ze in rekening brengen? Ook hierover loopen de gevoelens uiteen; men kan echter de beide volgende hypothesen omtrent het wezen der longitudinale trillingen als de voornaamste beschouwen: de golflengten der longitudinale trillingen zijn zeer groot ten opzichte van die der transversale trillingen; of zij zijn imaginair. De eerste hypothese is afkomstig van Green, de tweede van Cauchy. Beide stemmen ongeveer even goed met de verschijnselen overeen; de verschillen, welke het aannemen der eene hypothese of der andere oplevert, zijn zoo klein, dat men daaruit niet kan besluiten, welke van haar de ware is.

Verder zij nog opgemerkt, dat Neumann en Fresnel nog niet de mogelijkheid van een onderscheid in phase der verschillende stralen in hun berekening hebben ingevoerd. Dit geschiedt in de volgende onderzoekingen wel, en juist omdat dit in het vervolg bijna altijd geschiedt, zullen wij het er niet altijd uitdrukkelijk bij vermelden.

Gaan wij nu over tot de beschouwing der verschillende methoden, waardoor zij de terugkaatsings- en brekingsverschijnselen getracht hebben te verklaren, dan is het Green, een Engelsch natuurkundige, met wien wij ons het eerst hebben bezig te houden.

Green ¹⁾ gaat uit van de algemeene bewegingsvergelijking van Lagrange. Deze past hij toe op de ethertrillingen, die in een lichaam plaats hebben. Hij komt daardoor tot vergelijkingen, waarin twee constanten A en B voorkomen, die zoodanig met elkander samenhangen, dat de vierkantswortels uit deze constante grootheden tot elkander staan als de voortplantingssnelheden der longitudinale en transversale trillingen in het beschouwde lichaam. Hij neemt nu A zeer groot aan ten opzichte van B , d. i. hij veronderstelt de golflengte der longitudinale trillingen zeer groot ten opzichte van die der transversale trillingen. Tot het aannemen van deze veronderstelling komt hij uit de bijzonderheid, dat de longitudinale trillingen bij den doorgang door een prisma nooit transversale trillingen schijnen op te wekken, daar men op die wijze nooit een lichtverschijnsel verkrijgt. Dat men dit ook zou kunnen verklaren, door de golflengte der longitudinale trillingen, evenals Cauchy deed, een imaginaire waarde toe te kennen, daar-

¹⁾ Cambridge Transactions t. 7, p. 1.

aan schijnt hij niet gedacht te hebben. Voor het gemak neemt hij verder A oneindig groot aan ten opzichte van B .

Doch deze hypothesen zijn hem nog niet genoeg, om tot de gewenschte formules te komen. Daartoe moet hij nog aannemen, dat zoowel A als B in alle middelstoffen dezelfde waarde bezitten, een zeker zeer willekeurige hypothese, en tevens nog, dat de dichtheid des ethers in de verschillende middelstoffen verschillend, zijn elasticiteit daarentegen constant is. Doch deze laatste hypothese is juist degene, die met Neumann's theorie in strijd is. Het is dus niet te verwonderen dat zijn formules hem tot het besluit brengen, dat de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak. Zijn veronderstellingen geven hem vergelijkingen die aantoonen, dat de verschuivingen en normale drukkingen aan beide zijden van het scheidingsvlak gelijk zijn. Voor de trillingen loodrecht op het invallingsvlak komt hij tot Fresnel's formule, voor die in het invallingsvlak tot andere, welke de intensiteit van den teruggeskaatsten straal wel nooit nul maken, doch overigens toch niet volkomen met de waarneming overeenkomen.

Het was daarom, dat S. Haughton ¹⁾ Green's formules trachtte te verbeteren, door niet zooals Green deed de verhouding tusschen A en B oneindig groot aan te nemen, maar slechts zeer groot. De formules verkrijgen dan behalve den brekingsexponent nog een tweede zeer kleine constante ϵ , die zoodanig is, dat wanneer men haar gelijk nul neemt, men tot Green's formules terugkomt. Haughton's formules stemmen zeer goed met Jamin's proeven overeen. Zij hebben echter slechts als empirische formules waarde, wat de theorie betreft geenerlei. In die formules komt

1) Phil. Magaz. (4) t. 6, p. 81.

namelijk een constante Q voor, die van de beide bovengenoemde constanten afhangt. Van deze constante Q kan men slechts door de proef de waarde bepalen, daar de waarde van ϵ onbekend is. Eisenlohr ¹⁾ heeft echter volkomen overtuigend aangetoond, dat de grootste waarde, die Q voor het sulphureet van arsenik kan hebben, aan welke stof Haughton zijn formules toetst, volgens Haughton's formule $Q = \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \epsilon^2} + \mu^3 \sqrt{1 - \epsilon^2}}{(\mu^2 - 1)^2}$, d. i. dus voor $\epsilon = 0$, veel kleiner is, dan die, welke Haughton daaraan moet geven om zijn formules met de verschijnselen te doen overeenstemmen. ²⁾

Noch Green's, noch Haughton's formules geven dus een goede theoretische verklaring van de terugkaatsing en breking. Cauchy meent, ³⁾ dat Green daarom tot geen goede resultaten gekomen is, omdat hij gemeend heeft Lagrange's vergelijking op de beweging van den ether te mogen toepassen, die andere lichamen doordringt. Dit nu keurt Cauchy af. Hij meent namelijk, dat noch het beginsel der gelijke drukkingen aan beide zijden van het scheidingsvlak, noch de algemeene bewegingsvergelijking van Lagrange, die tot hetzelfde beginsel voert, op den ether, in middelstoffen bevat, zijn aan te wenden. Want, zegt hij, men zou wel de werkingen van den ether tegenover die der ponderabele stof, doch niet omgekeerd die der ponderabele stof tegenover die van den ether kunnen verwaarloozen. En dit doct men toch, als men het begin-

1) Pogg. Ann. t. 104, p. 360.

2) Haughton's waarde van Q is namelijk $= 2, 55$, terwijl de grootste waarde van Q volgens zijn formule, wegens $\mu = 2, 454$, slechts is $Q = 0,278$. Waarlijk geen klein verschil!

3) Compt. rend. t. 28, p. 25 en p. 27.

sel der gelijke drukkingen op den ether toepast, die in andere stoffen bevat is. De drukking op het scheidingsvlak van weërszijden uitgeoefend, is toch niets anders dan de resultante van al de werkingen, door de ponderabele stof en den ether aan de eene zijde van het scheidingsvlak uitgeoefend op de ponderabele stof en den ether aan de andere zijde van dat vlak. Nu kan men het gedeelte der drukking, dat afkomstig is van de werkingen van den ether als zeer klein beschouwen ten opzichte van datgene, wat afkomstig is van de werkingen der ponderabele stof. Men zal dus bij een eerste benadering wel het eerste gedeelte tegenover het laatste, niet echter omgekeerd het laatste tegenover het eerste kunnen verwaarloozen. Wanneer wij later ook Cauchy's handelwijze en uitkomsten hebben medegedeeld, komen wij nogmaals op dit punt terug.

Eisenlohr ¹⁾ schrijft daarentegen Green's verkeerde uitkomsten voornamelijk toe aan zijn hypothesen omtrent de constanten A en B . Door deze voor alle stoffen dezelfde aan te nemen, neemt Green aan, dat de voortplantingsnelheden en dus de golflengten der longitudinale golven in verschillende stoffen tot elkander staan als de voortplantingssnelheden of golflengten der transversale golven in die stoffen. Eisenlohr vindt dit geheel onhoudbaar. Hierdoor verschillen volgens hem Green's uitkomsten van die van Cauchy. Ik meen echter, dat de oorzaak, daarvoor door Cauchy zelve opgegeven, meer met de waarheid overeenkomt, zeker ten minste de voornaamste oorzaak van dit onderscheid is. De genoemde hypothese omtrent A en B was bij Green slechts noodig om, terwijl hij van verkeerde beginselen was uitgegaan, zijn uitkomsten toch met de waarneming in overeenstemming te brengen.

¹⁾ Pogg. Ann. t. 104, p. 358.

Men zou verder nog kunnen meenen, dat ook Green's hypothese omtrent het wezen der longitudinale trillingen een der oorzaken kan zijn van zijn verkeerde uitkomsten. Doch deze hypothese voldoet even goed als die van Cauchy aan de waargenomen verschijnselen. Hierin kan dus niet de fout van Green gelegen zijn.

Wij hebben lang bij Green's afleiding der terugkaatsingsformules stil gestaan, omdat hierbij dadelijk reeds de meeste hypothesen ter sprake kwamen, die in de lichttheorie het voorwerp van strijd geweest zijn. Wij zullen daardoor bij de andere onderzoekingen korter behoeven stil te staan. ¹⁾

Het is vooral Cauchy, van wien wij nu de onderzoekingen moeten beschouwen. Zijn eersten arbeid omtrent dit onderwerp zullen wij niet behandelen, omdat de latere veel vollediger is, en zijn vroegeren vervangen heeft. ²⁾

¹⁾ Ik zou ook nog hebben kunnen melding maken van een verhandeling van O'Brien, waarin hij de terugkaatsing en breking van het licht door onkristallijne stoffen behandelt en tot formules komt, die hem tot Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting doen besluiten. De afleiding zijner formules bestaat echter uit zulk een aaneenschakeling van willekeurige en voor het minst gezegd onwaarschijnlijke beginselen, en is er zoo bepaald van den beginne aan op aangelegd om de door hem gewenschte formules te verkrijgen, dat ik geneigd heb dezen arbeid van O'Brien niet anders dan als een kunststuk te kunnen beschouwen, hetwelk, wat ons onderwerp betreft, van geenerlei waarde is, en waarop ik daarom ook verder geen acht geslagen heb. Men kan deze verhandeling vinden in de Transactions of the Cambridge philosophical society t. 8, p. 6.

²⁾ Cauchy was in den aanvang Neumann's hypothese toegedaan (zie o. a. zijn verhandeling over de dubbele straalbreking, *Mém. de l'Acad. de France*, t. X, p. 404, waar hij echter geen redenen voor die meening opgeeft, en *Exercices*, 51^e livraison, die ik echter niet gezien heb). Later is hij daarvan teruggekomen. In een brief aan Libri zegt hij tot de aanhangers van Fresnel's hypothese over te gaan, zoowel omdat hij uit zijn nieuwe beginselen, in zijn *Mémoire sur la dispersion* ontwikkeld, tot formules komt, die met Fresnel's terugkaatsingsformules overeenkomen,

Cauchy begint hiermede, dat hij de vergelijkingen opstelt voor de oneindig kleine bewegingen van twee stelsels van moleculen, die elkander onderling doordringen ¹⁾. Deze beide stelsels homogeen aannemende, komt hij, door de beschouwing van de werkingen door de moleculen van een stelsel op die van hetzelfde stelsel en op die van het andere stelsel uitgeoefend, voor de oneindig kleine bewegingen tot zes lineaire vergelijkingen met partiële differentiaalquotienten en constante coëfficiënten. Hij vindt dan, dat een *eenvoudige* beweging, die zich door de beide stelsels kan voortplanten, voor beide van denzelfden aard is, als zulk een beweging, die zich in een enkel stelsel kan voortplanten; dat zij altijd is een beweging door vlakke golven, en dat de bewegingsverschijnselen van het eene stelsel niet veranderen, als de beweging in het tweede stelsel verdwijnt.

In een tweede verhandeling ²⁾ over de terugkaatsing en breking van een enkelvoudige beweging, neemt hij nu de beweging van het tweede stelsel in de bovengenoemde vergelijkingen als nul aan, zoodat deze tot drie worden teruggebracht. Deze maakt hij vervolgens benaderenderwijze homogeen, en komt dan ten slotte tot vergelijkingen met twee constanten. De integralen dezer vergelijkingen, d. i.

alsook op gronden aan de dubbele straalbreking ontleend, omdat hij niet kan aannemen, dat de drukkingen, die op den ether in den natuurlijken toestand in de ledige ruimte worden uitgeoefend, verdwijnen (Compt. rend. t. 2 (1836, I.) p. 342 en p. 343 of Pogg. Ann. t. 39, p. 48, de eerste der vijf daar overgenomen brieven van Cauchy aan Libri.) Hij zegt daar, dat dit laatste volgt uit de in zijn laatsten brief geuite begiinselen, doch waar is die brief? Ook Quineke (Pogg. Ann. t. 118, p. 446) schijnt de gronden tot dit besluit niet gevonden te hebben.

¹⁾ Compt. rend. (1839, I) t. 8, p. 579, p. 779 en p. 811.

²⁾ Compt. rend. t. 8. p. 935 en t. 9 (1839, II), p. 1, p. 59 en p. 91.

de drie componenten der beweging volgens de coördinaatassen zullen dan den volgenden vorm hebben:

$$\begin{aligned}\xi &= Ae^{ux + vy + wz - st}, \\ \eta &= Be^{ux + vy + wz - st}, \\ \zeta &= Ce^{ux + vy + wz - st},\end{aligned}$$

waarin A , B , C , u , v , w en s reële, imaginaire of complexe waarden kunnen hebben.

Deze integralen zullen echter in de nabijheid van het scheidingsvlak veranderingen ondergaan. Op dezelfde wijze als hij dit in een vorige verhandeling ¹⁾ gedaan heeft, komt hij dan tot betrekkingen tusschen de verschillende componenten der beweging aan weërszijden van het scheidingsvlak. Wegens de onbekendheid der constanten komt hij echter tot twee verschillende stelsels van betrekkingen. Vormt men namelijk aan weërszijden van het scheidingsvlak de sommen van de componenten der beweging en die van de eerste afgeleiden dier componenten volgens de richting loodrecht op het scheidingsvlak, dan vindt hij, dat die sommen voor waarden der coördinaten, die aan de vergelijking van het scheidingsvlak voldoen, óf aan weërszijden van dat vlak gelijk zijn, óf dat er tusschen hen constante verschillen bestaan, welke verschillen afhankelijk zijn van den aard der beide middelstoffen. Het eerste stelsel van betrekkingen verwerpt hij hier, omdat hij meent te kunnen aantoonen, dat het slechts dan voldoet als het golfvlak of de trillingen van de invallende beweging evenwijdig zijn aan het scheidingsvlak. Bij de keuze tusschen de beide stelsels neemt hij aan, dat zoowel de invallende als de teruggekaatste en gebroken beweging een gewone

¹⁾ Compt. rend. t. 8, p. 374, p. 432 en p. 459.

periodische beweging is, d. i. bijv. een gewone transversale trilling, waarvan de exponent van e in de waarden van ξ , η en ζ een zuiver imaginaire waarde heeft. Hij zegt dit niet uitdrukkelijk, maar men moet dit wel veronderstellen. Deed hij dit niet, dan zou men juist het eerste stelsel van betrekkingen als met de waarheid overeenkomende kunnen aannemen, hetgeen hij ook later gedaan heeft. Hier kiest hij dus het tweede stelsel, en komt dan tot betrekkingen tusschen de verschillende constanten, die voorkomen in de algemeene formules voor de componenten der invallende, teruggekaatste en gebroken bewegingen.

Deze gevonden betrekkingen toepassende op de lichttrillingen ¹⁾, komt hij tot zijn bekende formules omtrent de azimuths en anomalïën der teruggekaatste en gebroken stralen, en wijst verder het verband aan tusschen zijn formules en die van Fresnel. Zijn formules vereischen Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting. Zij zijn nauwkeurig onderzocht door Jamin ²⁾, en stemmen met de verschijnselen zeer goed overeen; zeker veel beter dan die van Fresnel, en niet minder goed dan eenige der later gevonden intensiteitsformules. Jamin's proeven bepalen zich echter tot invallingshoeken nabij den polarisatiehoek. Voor andere invallingshocken meent Kurz ³⁾ uit zijn proeven te kunnen opmaken, dat Cauchy's formules minder volkomen voldoen, waarom hij ze dan ook nog slechts voor benade-

1) Zie zijn verhandelingen Compt. rend. t. 9, p. 676, p. 726 en p. 727. Zijn formules vindt men het eerst, doch zonder betoog en met een kleine fout in een teeken t. 9, p. 9, en met een betoog en zonder die fout op p. 730.

2) Ann. d. Ch. et d. Ph. (3) t. 29, p. 263; en Pogg. Ann. Ergänzungsband III, p. 232.

3) Pogg. Ann. t. 108, p. 582.

ringsformules houdt. Wat daarvan zij, voor het tegenwoordige zijn Cauchy's formules zeker de beste die wij bezitten.

Zooals wij gezien hebben, in deze afleiding der terugkaatsings- en brekingsformules wordt door Cauchy geen gebruik gemaakt van het beginsel der gelijke drukkingen, maar geeft hij wel degelijk acht op den invloed, die de middelstof op de bewegingen van den daarin bevatten ether uitoefent. Later is Cauchy nog meermalen hierop teruggekomen, en heeft hij de afleiding zijner formules op veel eenvoudiger weg verkregen ¹⁾, ofschoon de daarbij door hem vooropgestelde beginselen wezenlijk op zijn vorige redeneering berusten. Die beginselen berusten namelijk op het eerste door hem gevonden doch verworpen stelsel van betrekkingen tusschen de trillingen aan weërszijden van het scheidingsvlak. Hij gaat dan namelijk van de twee volgende beginselen uit:

1°. De éénvoudige invallende, teruggeskaatste en gebroken bewegingen zijn corresponderende bewegingen ²⁾.

2°. De beweging in den ether is continu.

Volgens dit laatste beginsel neemt hij aan, dat de moleculaire verplaatsingen evenwijdig aan de coördinaatassen en hare eerste differentiaalquotienten ten opzichte der onafhankelijke veranderlijken (de coördinaten en de tijd), of ten minste die differentiaalquotienten, wier waarden niet bepaald zijn door de vergelijkingen der oneindig kleine bewegingen, in het algemeen continue functiën dezer veranderlijken moeten zijn, of met andere woorden, dat zij door onmerkbare

¹⁾ Compt. rend. (1848 II) t. 27, p. 99, p. 621 en p. 622, en (1849, I) t. 28, p. 4 en p. 60.

²⁾ Aan het woord corresponderend schijnt hier bij Cauchy wel dezelfde beteekenis gehecht te moeten worden, die het woord equivalent bij andere schrijvers bezit.

overgangen met de coördinaten en den tijd moeten veranderen. Men komt tot dit beginsel terstond, zoo gaat hij voort, zoodra men aanneemt, dat de oneindig kleine bewegingen in den ether kunnen worden voorgesteld, in elke middelstof, door lineaire vergelijkingen met partiële differentiaalquotienten en met constante coëfficiënten; want de continuïteit eener functie in de nabijheid eener waarde, die men aan een onafhankelijk veranderlijke gegeven heeft, is een noodzakelijke voorwaarde van het bestaan eener corresponderende waarde van de afgeleide.

Het eerste beginsel, waarin ik geen verschil kan vinden van dat van Mac Cullagh van de aequivalentie der trillingen, is wel door allen, die over dit onderwerp geschreven hebben, aangenomen; het eigenaardige hier bij Cauchy is echter dit, dat het een noodzakelijk uitvloeisel is van zijn tweede beginsel, dat van de continuïteit der beweging in den ether. Dit beginsel vervangt dus zoowel het beginsel van de aequivalentie der trillingen, als dat van de gelijke drukkingen der vroegere schrijvers. Wij hebben reeds vroeger ¹⁾, bij de beschouwing van Green's arbeid, de redenen ontvouwd, waarom Cauchy gemeend heeft, dit laatste beginsel, dat der gelijke drukkingen te moeten verwerpen. Dat die redenen van Cauchy dit beginsel een gevoeligen stoot toebrengen kan niet geloochend worden. Daarin slaat men toch geen acht op de werking der ponderabele stof. Slechts den ether beschouwt men, alsof hij van de ponderabele stof onafhankelijk ware. Cauchy's beginsel omtrent de continuïteit der beweging verdient in dit opzicht zeker de voorkeur. Hierdoor zou men echter tot het besluit moeten komen Neumann's theorie te verwerpen, daar deze juist

¹⁾ Zie bl. 20.

het beginsel der gelijke drukkingen gebruikt. Neumann slaat echter in zijne afleiding slechts acht op transversale trillingen, evenals Fresnel dit ook gedaan had. Dat dit verwaarloozen der longitudinale trillingen een groote verandering brengt in de overgangsvoorwaarden voor de etherbeweging, bewijst ook de eerst vermelde analyse van Cauchy. Het is daarom, dat ik meen Neumann's hypothese voor als nog niet te kunnen verwerpen wegens het onwaar zijn van het beginsel der gelijke drukkingen. Later zullen wij echter zien, dat dit beginsel der continuïteit zich niet met Neumann's hypothese laat rijmen, ook al neemt men de longitudinale trillingen in de berekening op.

Uit deze beide beginselen leidt Cauchy nu juist dezelfde formules af, die hij vroeger gevonden heeft. Daartoe neemt hij niet slechts de gewone transversaal trillende, maar ook de longitudinaal trillende stralen in zijn beschouwing op. Voor den invallenden straal behoeft men slechts aan te nemen, dat zij uit transversale trillingen bestaat. De golflengten der longitudinale trillingen neemt hij hierbij imaginair aan, d. i. hij houdt deze soort van golven voor evanescente, verdwijnende golven, namelijk zoodanige, wier amplitude bij de voortplanting in meetkundige reden afneemt.¹⁾

Cauchy's beginselen leiden dus tot Fresnel's hypothese omtrent de trillingrichting. Dat zij ook de daarmede overeenkomende constitutie van den ether vereischen, kan gemakkelijk worden aangetoond. Algemeen toch wordt de vergelijking der levende krachten als geldig aangenomen, d. i. diegene, die aangeeft, dat de som der levende krachten van de terugge-

¹⁾ Cauchy's formules zijn uit zijn beginselen o. a. zeer goed en duidelijk afgeleid door A. v. Ettinghausen, Sitz. Ber. d. Kais. Akad. in Wien, Math. Naturw. Cl. t. 18 (1855, IV), p. 369; en door Eisenlohr, Pogg. Ann. t. 104.

kaatste en gebroken stralen gelijk is aan die van den invallenden straal. Als men nu de longitudinale trillingen wegens haar spoedig verdwijnen buiten rekening laat, komt men, door in die vergelijking de door Cauchy gevonden waarden te stellen voor de amplituden der teruggekaatste en gebroken stralen, tot de uitkomst, dat de dichtheid van den ether in verschillende middelstoffen verschillend is. ¹⁾ De beginselen van Cauchy vereischen dus ook Fresnel's zienswijze omtrent de constitutie van den ether. Daartoe moeten wij echter in de vergelijking der levende krachten de longitudinale trillingen verwaarloozen. Men zou nog kunnen vragen, of dit wel geoorloofd is. Bij het berekenen van de levende kracht van den straal, neemt men ΣMv^2 over een lengte, die gelijk is aan een golflengte in de beschouwde stof of, wat hetzelfde zegt, gedurende den tijd van één ethertrilling. Doen wij dit voor de longitudinale trillingen, dan zal die som, wegens het zeer snel afnemen van de intensiteit bij deze trillingen, slechts een kleine waarde bekomen, en zich hoofdzakelijk reduceeren tot die termen der som, die betrekking hebben tot het begin der trilling. Wij zullen deze sommen dus benaderenderwijze wel kunnen weglaten, daar zij zeker klein zijn ten opzichte van de sommen voor de transversale trillingen, ten minste als men aanneemt, dat de longitudinale trillingen zeer snel in intensiteit afnemen. Daarbij komt nog, dat zelfs de eerste termen dier sommen voor de longitudinale trillingen waarschijnlijk tevens zeer klein zijn ten opzichte van die voor de transversale trillingen, daar er naar alle waarschijnlijkheid een veel grootere kracht noodig is om longitudinale trillingen, dan om even krachtige transversale trillingen voort te brengen,

¹⁾ Zie v. Ettinghausen, l. c.

zoodat dus transversale trillingen slechts longitudinale trillingen van zeer geringe intensiteit kunnen opwekken. Ik meen dus, dat het besluit gerechtvaardigd is, dat Cauchy's beginselen leiden tot een verschillende dichtheid van den ether in verschillende stoffen, en wel juist tot zulk een dichtheid, dat zij evenredig is aan het vierkant van den brekingsexponent van de stof, waarin de ether bevat is.

Wij moeten hier nog opmerken, dat, wanneer wij in plaats van Cauchy's hypothese omtrent den aard der longitudinale trillingen die van Green in Cauchy's formules invoeren, wij tot formules komen, die slechts daarin van die van Cauchy verschillen, dat de ellipticiteitscoëfficiënt in die formules een eenigszins andere waarde verkrijgt, doch die overigens even goed als die van Cauchy met de waarneming overeenstemmen. ¹⁾ Men zou echter Green's longitudinale trillingen in de vergelijking der levende krachten, niet wegens hare snelle intensiteitsvermindering kunnen verwaarloozen. Om dus toch de dichtheid van den ether evenredig aan het vierkant van den brekingsexponent te mogen beschouwen, hetgeen vereischt, dat men de longitudinale trillingen in de vergelijking der levende krachten verwaarloost, moet men aannemen, dat de intensiteit der opgewekte longitudinale trillingen hier altijd zeer gering is tegenover die der transversale trillingen. Dan toch zullen de sommen voor de longitudinale trillingen zeer klein zijn ten opzichte van die voor de transversale trillingen, ofschoon de eerste hier toch immer een grootere waarde zullen hebben dan met Cauchy's hypothese. Dat men in dit geval, d. i. met Green's hypothese, de longitudinale

¹⁾ Zie bijv. Kurz, Pogg. Ann. t. 108, p. 582 en Eisenlohr, Pogg. Ann. t. 104, p. 356.

trillingen wel zou kunnen verwaarloozen in de vergelijking der levende krachten, en wij dit niet kunnen doen in de vergelijkingen, die de gelijkheid aangeven van de sommen der verschuivingen aan weêrszijden van het scheidingsvlak, op welke vergelijkingen Cauchy's formules berusten, is zeer wel mogelijk. In de laatste vergelijkingen komen toch de eerste machten dier verschuivingen of snelheden voor, terwijl deze in de vergelijking der levende krachten in de tweede macht voorkomen. Wegens de geringe intensiteit der longitudinale trillingen tegenover die der transversale zal die verwaarloozing in de vergelijking der levende krachten dus veel geringer zijn dan in de andere genoemde vergelijkingen.

In de bovengenoemde methoden om de intensiteitsformules der teruggekaatste en gebroken lichtstralen te verkrijgen, heeft men weinig of geen acht geslagen op de verandering van den ether in een middelstof in de nabijheid van het vlak, dat deze middelstof van een andere scheidt. Het is namelijk niet waarschijnlijk dat de ether bij den overgang van de eene middelstof in de andere plotseling zijn toestand verandert. Veeleer moet men aannemen, dat deze verandering, ofschoon snel, toch eerst van lieverlede plaats heeft. De ponderabele moleculen oefenen toch een kracht uit op de ethermoleculen. De ponderabele moleculen der eene middelstof, die nabij het scheidingsvlak gelegen zijn, zullen dus een kracht uitoefenen op de ethermoleculen in de andere middelstof, die ook nabij dat scheidingsvlak gelegen zijn. Ware nu de straal van de werkingspheer der ponderabele moleculen op de etherdeeltjes zeer klein ten opzichte oener golflengte, dan zouden de lagen van overgang een zoo geringe dikte hebben, dat men bij de berekeningen dien overgang als plotseling

zou kunnen aannemen, zonder daardoor de nauwkeurigheid der uitkomsten te benadeelen. Er zijn echter lichtverschijnselen, voornamelijk die der dispersie, tot wier verklaring men genoodzaakt schijnt aan te nemen, dat de straal dier werkingspheer niet zoo zeer klein is ten opzichte eener golflengte. ¹⁾ Doch zoodra men dit aanneemt, kan men vragen, of het dan wel geoorloofd is, dien overgang in de rekening als plotseling in te voeren, of men daardoor niet tot andere besluiten komt, dan wanneer men dien overgang als langzaam aanneemt.

Reeds Green ²⁾ heeft hierop de aandacht gevestigd. Deze zijn arbeid is echter nog zeer onvolledig, zoodat het meer een aanduiding is der wijze, hoe deze langzame overgang is in te voeren, dan een wezenlijke uitvoering daarvan. Wij vermelden het daarom slechts als historisch belangrijk, doch zullen er niet langer bij stilstaan, en liever zien, hoe Lorenz van dezen langzamen overgang heeft gebruik gemaakt bij de terugkaatsings- en brekingsverschijnselen.

In zijn verhandeling ³⁾ begint hij met aan te nemen, dat de formules van Fresnel, en dus ook die van Neumann, gelden voor de terugkaatsing en breking van het licht aan het grensvlak van twee middelstoffen, die oneindig weinig van elkander verschillen. Verder neemt hij aan, dat de straal, die onder een zekeren hoek van invalling aan de grens van twee middelstoffen komt, aldaar door evenwijdige vlakke lagen gaat, die den hoek van invalling lang-

¹⁾ Zie Ch. Briot, *Essais sur la théorie mathématique de la lumière*, Préface p. XVI. Hij komt daar namelijk tot het besluit, dat de ponderabele moleculen de ethermoleculen aantrekken in omgekeerde reden van het kwadraat van den afstand.

²⁾ Cambridge Trans. t. 7, p. 115.

³⁾ Pogg. Ann. t. 111, p. 460.

zamerhand veranderen, totdat de straal eindelijk volkomen in de tweede middelstof is ingedrongen, waar de veranderlijke invallingshoek ten slotte een constante waarde verkrijgt, namelijk die van den waargenomen brekingshoek. Die overgangslagen laat hij namelijk elk op zich zelve brekend en terugkaatsend op de op haar invallende stralen werken, en daar zij slechts oneindig weinig van elkander verschillen, meent hij op twee zulke opvolgende lagen de formules van Fresnel te mogen toepassen. Het gedeelte van den straal, dat een dier tusschenlagen bereikt, wordt gedeeltelijk teruggekaatsd, gedeeltelijk gebroken. Doch deze teruggekaatste en gebroken gedeelten zullen door de vorige en volgende lagen weder teruggekaatsd en gebroken worden, zoodat sommige gedeelten van den straal zeer dikwijls zulk een terugkaatsing en breking ondergaan.

Sommeert men nu de amplituden van al die deelen van den straal, welke een even aantal malen, en eveneens de amplituden van die deelen, welke een oneven aantal malen worden teruggekaatsd, dan verkrijgt men in het eerste geval de amplitude van den gebroken, in het tweede geval die van den teruggekaatsden lichtstraal. Neemt men hierbij nu niet de vertragingen in aanmerking, welke het licht ondervindt bij zijn herhaaldelijken doorgang door die lagen van overgang, dan komt men weder tot de formules van Fresnel. Neemt men echter deze vertragingen in aanmerking, dan komt men voor den teruggekaatsden straal tot formules, die met Jamin's proeven in de hoofdpunten goed overeenstemmen. Zij verschillen slechts weinig van die van Cauchy. Daar ik echter niet gevonden heb, dat zij voor eenigerhande stof met de proeven vergeleken zijn, kan ik er niet over oordeelen, of zij voor alle invallingshoeken voldoen.

Lorenz meent dus, dat zijn verkregen formules zijn veronderstelling bevestigen, dat die van Fresnel voor oneindig weinig verschillende middelstoffen met de proeven overeenkomen. Zijn eindformules zijn mij daartoe echter niet overtuigend genoeg. Ik meen echter, dat men er geen bezwaar in kan hebben, dat Fresnel's formules in het genoemde geval ten minste zeer nabij voldoen.

Hierdoor is echter nog niets omtrent de waarheid van Fresnel's of van Neumann's hypothese beslist, daar de formules van beiden volkomen dezelfde zijn voor den eveneens gepolariseerden straal. In een tweede verhandeling ¹⁾ tracht hij nu aan te toonen, dat men, zoo Fresnel's of Neumann's formules geldig zijn bij een oneindig klein verschil der beide middelstoffen, den met Fresnel's hypothese overeenkomenden toestand van den ether in de verschillende middelstoffen moet aannemen. Hij komt tot dit besluit door uit te gaan van de algemeene wetten der kleine bewegingen in elastische vaste lichamen. Hij neemt in zijn vergelijkingen ²⁾ zoowel de dichtheid als de elasticiteitscoëfficiënten veranderlijk aan, namelijk als functiën van de coördinaat loodrecht op het scheidingsvlak. Later beperkt hij deze veranderlijkheid door aan te nemen, dat zij slechts veranderlijk zijn zeer nabij het scheidingsvlak, doch dat zij overigens aan beide zijden van dat vlak constant zijn, doch verschillende waarden kunnen bezitten. Ja hij neemt ten slotte die veranderlijkheid van dichtheid en elasticiteit slechts aan voor een oneindig kleinen afstand van het scheidingsvlak, d. i. hij neemt die verandering plotseling aan. Doch

¹⁾ Pogg. Ann. t. 114, p. 238.

²⁾ Dezelfde, die Lamé in zijn *Théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*, 2e édition, p. 26, form. (1), (2) en (4) geeft voor homogene vaste lichamen.

dit is hier ook geoorloofd, daar hij de beide middelstoffen als oneindig weinig verschillend beschouwt. Voor de trillingen loodrecht op het invallingsvlak vindt hij dan, dat men, zoowel door de dichtheid, als door een der elasticiteitscoëfficiënten constant aan te nemen, tot Fresnel's of Neumann's formules kan komen. Voor de trillingen in het invallingsvlak kan men door den elasticiteitscoëfficiënt constant aan te nemen tot Fresnel's formule komen, niet echter door het aannemen eener constante dichtheid tot Neumann's formule. Hij meent dus hiervan te mogen besluiten, dat Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting de ware is. De longitudinale trillingen vat hij op eveneens als Cauchy.

Het aannemen van een langzamen overgang van den toestand van den ether in de nabijheid van het scheidingsvlak van twee middelstoffen schijnt dus ongeveer dezelfde uitkomsten te geven, als die welke men door het aannemen van een plotseligen overgang verkrijgt; terwijl verder, aangenomen dat de formules van Fresnel gelden bij oneindig klein verschil der beide middelstoffen, de elasticiteitsleer aan Fresnel's hypothese de voorkeur geeft, die van Neumann zelfs geheel en al verwerpt. Dit laatste gedeelte van Lorenz's redeneering, waarin hij uit de elasticiteitsleer tot Fresnel's hypothese besluit, kan echter, naar mijne meening, niet op genoegzame gestrengheid bogen, om zijn besluit met volkomen overtuiging te kunnen aannemen.

Tot dusver hebben wij, behalve op Neumann, slechts op aanhangers van Fresnel's hypothese onze aandacht gevestigd. De billijkheid vordert, dat wij nu ook den door de tegenpartij geleverden arbeid nauwkeurig nagaan. Voordat wij daartoe overgaan, houd ik het echter voor goed,

nog even de resultaten op te sommen door de vorige natuurkundigen verkregen. Green's methode, wegens haar onvolgende uitkomsten achterwege latende, hebben wij gezien, dat Cauchy het beginsel van de continuïteit der beweging in den ether als grondslag zijner theorie aanneemt, dat hij echter in het scheidingsvlak der beide middelstoffen de verandering in den toestand van den ether als plotseling beschouwt.

Lorenz daarentegen is door middel van de algemeene elasticiteitsvergelijkingen tot het besluit gekomen, dat bij een oneindig klein verschil der beide middelstoffen de formules van Fresnel slechts dan waarheid kunnen zijn, als men de dichtheid veranderlijk aanneemt, en dat men die van Neumann niet geldig kan maken door de elasticiteit veranderlijk aan te nemen. Reeds vroeger had hij bewezen, dat men, zoo men Fresnel's formules als de ware beschouwt bij oneindig klein verschil der beide middelstoffen, door de veronderstelling van een langzamen geleidelijken overgang van den toestand van den ether tot formules komt, die weinig van die van Cauchy verschillen, en ten minste in de hoofdpunten met de waarneming overeenstemmen. Hierin vindt hij nu een bewijs, dat Fresnel's formules in het genoemde geval geldig zijn, zoodat hij die veronderstelling tot grondslag meent te kunnen nemen voor zijn onderzoek omtrent de constitutie van den ether in verschillende middelstoffen.

Beiden, zoowel Cauchy als Lorenz, hebben ook de longitudinale trillingen in hun berekeningen opgenomen, en wel als met den tijd in intensiteit afnemende trillingen. Door die vermindering in intensiteit zeer snel aan te nemen hebben wij verder aangetoond, dat Cauchy's beginselen niet slechts Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting vereischen, maar tevens, dat zij ook tot de daarmede over-

eenkomende hypothese omtrent de constitutie van den ether in verschillende middelstoffen leiden.

Uit dit alles blijkt dus, dat Fresnel's beide hypothesen zich zeer goed met de verschijnselen der terugkaatsing vereenigen. Of dit ook met Neumann's hypothese het geval is, tot dat onderzoek moeten wij nu overgaan.

Van de tegenstanders van Fresnel's theorie hebben wij wel vooreerst te vermelden den Franschen natuurkundige Jamin, wiens proeven omtrent de hier behandelde verschijnselen wij reeds meermalen gelegenheid gehad hebben te vermelden.

Deze proeven bewezen hem, dat Cauchy's formules zeer goed met de verschijnselen overeenstemmen. Als aanhanger van de tegenovergestelde hypothese trachtte hij daarom ook uit deze hypothese diezelfde formules af te leiden. ¹⁾ De longitudinale trillingen verwaarlooze, is hem het beginsel der aequivalente trillingen aan weerszijden van het scheidingsvlak in verband met het beginsel der levende krachten genoeg, om zijn doel te bereiken. Met Cauchy neemt hij aan, dat de phase van trilling in de teruggekaatste en gebroken stralen kan verschillen van die in den invallenden straal. Verder stelt hij geen hypothese voorop omtrent de constitutie van den ether. Voor de trillingen in het invallingsvlak komt hij dan, alleen door het beginsel van de aequivalentie der trillingen, tot het besluit, dat de phasen hier in de drie stralen dezelfde zijn, terwijl hij voor de amplituden der teruggekaatste en gebroken stralen Neumann's formules voor dit geval terugvindt. Door de waarden dezer amplituden te stellen in de vergelijking

¹⁾ Ann. d. Ch. et d. Ph. (3) t. 59, p. 413.

der levende krachten, vindt hij natuurlijk, even als Neumann, de dichtheid van den ether constant. Gebruik makende van deze gevonden uitkomst levert hem dan zijn verdere analyse voor de amplitude en phaseverandering van den teruggekaatste straal, alsmede voor de intensiteit en de phaseverandering van den gebroken straal, formules, die bijna geheel en al overeenkomen met de formules van Cauchy voor den straal met trillingen in het invallingsvlak. De amplitude van den gebroken straal heeft bij Jamin echter een andere waarde dan bij Cauchy. Het eenige verschil tusschen zijn formules en die van Cauchy is dit, dat, waar Cauchy heeft $\epsilon \sin i$ (ϵ is de ellipticiteits-coëfficiënt en i de invallingshoek), Jamin een anderen coëfficiënt E heeft, die niet van den invallingshoek afhangt. Dit is echter een zeer gering verschil. Zoowel ϵ als E hebben immer zeer kleine waarde, zoodat het al of niet constant zijn van dien term (E en $\epsilon \sin i$) bij verschillende invallingshoeken geen merkbaar mindere overeenstemming met de verschijnselen oplevert in het eene geval dan in het andere.

Dat hij voor de amplitude van den loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerden gebroken straal een andere waarde verkrijgt als Cauchy, en dus ook voor het azimuth van den gebroken straal, als dat van den invallenden een waarde heeft verschillende van 0° of van 90° , is een onderscheid van meer belang, waarover misschien de waarneming een beslissing zou kunnen geven.

Er is echter, zooals Jamin opmerkt, nog een karakteristich onderscheid voor de waarde van de amplitude van den teruggekaatste straal voor het geval, dat het polarisatievlak samenvalt met het invallingsvlak. Terwijl Fresnel en Cauchy hiervoor een negatieve waarde vinden, heeft zij bij Neumann en Jamin een positieve waarde. De tangens

van het azimuth van den teruggekaatste straal zal dus ook in het algemeen in de verschillende theoriën een verschillend teeken hebben. Kon men dus hiertusschen door proeven beslissen, dan zou men ook tot de beslissing omtrent trillingsrichting en constitutie van den ether kunnen geraken. Jamin meent tot die beslissing op weg te zijn. Ik heb echter verder niets meer daaromtrent van hem gevonden. ¹⁾

Uit deze beschouwing van Jamin's arbeid ziet men, dat het al of niet opnemen der longitudinale trillingen in de berekening een groote verandering kan te weeg brengen in de uitkomsten. Zonder de longitudinale trillingen kan men de eerste afgeleiden der verschuivingen of der snelheden geheel en al uit de berekening weglaten. In Jamin's analyse wordt van deze dan ook niet gesproken. Men kan echter zeer gemakkelijk uit Jamin's uitkomsten opmaken, dat Cauchy's beginsel der continuïteit in Jamin's methode niet past. De sommen der afgeleiden volgens de richting loodrecht op het scheidingsvlak van de componenten der verschuivingen zijn namelijk bij Jamin niet aan beide zijden van het scheidingsvlak gelijk. Men zou echter nog kunnen denken, dat door de invoering der longitudinale trillingen deze gelijkheid wel verkregen werd. Het is namelijk volstrekt niet onmogelijk, dat men hier de verschuivingen der longitudinale trillingen tegenover die der transversale trillingen wegens de geringe intensiteit der eerste kan weglaten, doch dat men niet eveneens de eerste afgeleiden dier verschuivingen voor de longitudinale trillingen mag verwaarloozen tegenover die der transversale trillingen. Dit zou kunnen plaats hebben, wanneer de kracht, die noodig

¹⁾ In het onlangs uitgekomen laatste deel van zijn *Cours de Physique* bespreekt hij nog dit punt; daarop kom ik later terug.

is om een verschuiving met verdichting of een longitudinale trilling voort te brengen, veel grooter is dan die, welke een even groote verschuiving zonder verdichting of transversale trilling kan voortbrengen, zoodat de hier door transversale trillingen opgewekte longitudinale trillingen tegenover de eerste een zeer geringe intensiteit bezitten. Doch ook zulk een invoering der longitudinale trillingen kan Jamin's uitkomsten niet in overeenstemming brengen met het beginsel der continuïteit. Want voor de trillingen loodrecht op het invallingsvlak geldt bij Jamin dit beginsel ook niet, en hier kan toch van geen longitudinale trillingen sprake zijn. Wij kunnen dus gerustelijk besluiten, dat in Jamin's methode voor het beginsel der continuïteit geen plaats is. Doch ook het beginsel der gelijke drukkingen past hier niet. Jamin's analyse steunt dus slechts op het beginsel van de aequivalentie der trillingen, en is met beide andere genoemde beginselen in strijd.

Op de zoo even vermelde wijze om de longitudinale trillingen in de berekening op te nemen steunt de analyse van P. Zech, die wij hier nog willen nagaan, daar deze wel de verschuivingen, doch niet de afgeleiden of liever de drukkingen der longitudinale trillingen tegenover die der transversale verwaarloost. ¹⁾

Zech, een voorstander van Neumann's hypothese, stelt de daaruit voortvloeiende hypothese omtrent de constitutie van den ether in verschillende middelstoffen voorop, en neemt verder aan, dat zoowel de sommen der verschuivingen als die der drukkingen in het scheidingsvlak aan beide zijden van dat vlak gelijk zijn in grootte en in richting. Hij neemt drie verschillende middelstoffen aan,

¹⁾ Pogg. Ann. t. 109, p. 60.

waarvan de middelste een dunne plaat is met volkomen evenwijdige zijden. Voor den loodrecht op het invallingsvlak trillenden straal past hij nu, aan beide eindvlakken dier plaat, zijn beginsel der verschuivingen en drukkingen toe. Voor den in het invallingsvlak trillenden straal heeft hij aan de verschuivingen genoeg. Dit laatste verschafft hem het voordeel, de longitudinale trillingen geheel buiten rekening te kunnen laten. Hij komt hierdoor natuurlijk tot Neumann's resultaten. De verandering in den toestand des ethers bij den overgang van de eene middelstof in een andere heeft volgens hem echter niet plotseling plaats. Aan het invoeren van een langzamen overgang meent hij nu ten minste eenigszins te voldoen, door in de dunne tussenplaat voor den invallingshoek van den straal den arithmetisch middelevenredige aan te nemen tussen den invallingshoek in de eerste en den brekingshoek in de derde middelstof, en verder door de dikte der plaat klein aan te nemen ten opzichte eener golflengte. De plaat vormt dan den tusschentoestand van den ether. De alzoo verkregen formules stemmen in de meeste punten met Jamin's proeven even goed overeen als Cauchy's formules. De negatieve terugkaatsing, die Jamin voor sommige stoffen meent gevonden te hebben, vindt echter in zijn formules geen plaats, ja zij zijn daarmede zelfs in strijd.

Ik kan echter aan Zech's arbeid niet veel waarde hechten. Vooreerst neemt hij het beginsel der gelijke drukkingen als waar aan, waartegen, zooals wij gezien hebben, ¹⁾ zeer veel is in te brengen. Zijn verdere arbeid is een poging om door middel van het aannemen van een langzamen overgang van den toestand des ethers Neumann's

¹⁾ Zie bl. 20.

formules met de proeven in overeenstemming te brengen. Doch die poging moet men als een mislukte aanzien, hoe goed zijn formules in vele punten ook met de waarneming overeenkomen. De wijze toch, waarop hij door middel van die tusschenplaat een tusschentoestand des ethers wil invoeren, is naar mijne meening bepaald verkeerd. Hij doet dit namelijk op de volgende wijze. Aan het tweede grensvlak der plaat past hij zijn beginselen der verschuivingen en der drukkingen toe op de volgende stralen: aan de eene zijde van dat vlak, op de invallende en teruggekaatste stralen, aan de andere zijde, op den gebroken straal. Aan het eerste grensvlak doet hij hetzelfde, aan de eene zijde voor de invallende en aldaar teruggekaatste stralen, aan de andere zijde voor de aldaar gebroken en de door het tweede grensvlak der plaat teruggekaatste stralen. Men ziet dadelijk in, dat deze invoering, aan het eerste grensvlak, van den aan het tweede grensvlak teruggekaatsten straal verre van juist is, vooral wanneer men het vergelijkt met de vroeger vermelde methode van Lorenz in een soortgelijk geval. Die aan het tweede grensvlak teruggekaatste straal zal toch aan het eerste grensvlak gekomen weder zoowel een teruggekaatsten als een gebroken straal moeten opleveren, en van dien laatsten teruggekaatsten straal wordt bij Zech in het geheel niet gesproken. Dat Zech echter, niettegenstaande deze gebreken, toch uitkomsten verkrijgt, die als vrij voldoende zijn aan te zien, is wel een bewijs, dat men aan de toepassing van mechanische beginselen in de lichttheorie slechts een zeer voorwaardelijk vertrouwen kan schenken, en waarschuwt ons tevens, om niet terstond uit de aldus verkregen uitkomsten te besluiten, of deze beginselen al of niet op den ether van toepassing zijn. Niet voordat men door die beginselen ook

andere lichtverschijnselen volkomen verklaard heeft, kan men hieromtrent besluiten trekken.

Ik dien hier nog te spreken van een verhandeling van Bartlett ¹⁾, niet zoo zeer omdat ik haar als zeer belangrijk beschouw, maar omdat de uitkomsten, waartoe hij geraakt, in strijd zijn met die van allen, welke zich met de lichttheorie hebben bezig gehouden. Hij komt namelijk tot Neumann's uitkomsten omtrent de trillingsrichting, maar niet tot diens veronderstelling omtrent de constitutie van den ether in de verschillende middelstoffen. Terwijl toch Neumann de dichtheid van den ether voor alle middelstoffen constant aanneemt, vindt Bartlett, evenals Fresnel, die dichtheid voor de verschillende stoffen verschillend. De waarde, die Bartlett voor de dichtheid van den ether in eenigerhande stof vindt, verschilt echter van die van Fresnel. Zijn namelijk Δ en Δ_1 de dichtheden van den ether in twee verschillende middelstoffen, i de invallingshoek van een lichtstraal in de eerste middelstof, r de brekingshoek van dien zelfden straal in de tweede stof, dan heeft men volgens Fresnel:

$$\Delta : \Delta_1 = \sin^2 r : \sin^2 i$$

volgens Bartlett daarentegen:

$$\Delta_1 : \Delta = \sin^2 2r : \sin^2 2i.$$

Hoe komt Bartlett tot deze vreemde uitkomsten? Hij zoekt de uitdrukking voor de levende kracht, in een vierde van een golfs lengte bevat, en eveneens die voor de hoeveelheid van beweging in dat vierde gedeelte van een golfs lengte. Hij neemt nu het beginsel der levende krachten als waar aan, zoowel voor de componenten der trilling loodrecht op als voor die evenwijdig aan het invallingsvlak; de dicht-

¹⁾ American Journal of Science and Arts, November 1860.

heden van den ether beschouwt hij daarbij als onbekend doch veranderlijk. Voor den straal met trillingen in het invalingsvlak zoekt hij nu de componenten van de hoeveelheid van beweging van de invallende golf, ten opzichte van de richtingen der teruggekaatste en gebroken stralen, en stelt die respectievelijk gelijk aan diezelfde componenten van de gebroken golf, ten opzichte van de richting van den teruggekaatste straal en aan die van de teruggekaatste golf, ten opzichte van de richting van den gebroken straal. Daardoor verkrijgt hij voor deze stralen-componenten, met de vergelijking der levende krachten, drie vergelijkingen, waaruit zich de verhoudingen tusschen de amplituden der teruggekaatste en gebroken golven tot die van de invallende golf, alsmede de verhouding tusschen de dichtheden van den ether in de beide middelstoffen laten berekenen ¹⁾.

Voor den straal met trillingen loodrecht op het invalingsvlak komt hij tot de verhoudingen der amplituden door de nu bekende wet van de dichtheden des ethers, door de vergelijking der levende krachten en door een vergelijking, die uitdrukt, dat de som der hoeveelheden van beweging in de gebroken en teruggekaatste golven gelijk is aan de hoeveelheid van beweging in de invallende golf. Voor de amplituden van de teruggekaatste stralencomponenten vindt hij dan de gewone waarden van Neumann.

Deze analyse van Bartlett komt mij echter vrij willekeurig voor. Dat de som van de hoeveelheden van beweging in het vierde gedeelte eener golfslenge van de teruggekaatste en gebroken golven juist gelijk zou zijn aan de hoeveelheid van beweging in het vierde gedeelte eener golfslenge van de invallende golf, daarvoor voert hij in het geheel geen gronden aan.

¹⁾ Hij neemt alleen de transversale trillingen in zijn rekening op.

Ik houd deze zijne handelwijze dan ook bepaaldelijk voor verkeerd. De levende kracht van eenig bewegend lichaam drukt, naar mijne meening, de werking uit, waartoe dat lichaam in staat is. Daarom is het beginsel der levende krachten zeer zeker als waar te beschouwen; want dit drukt uit, dat de som der werkingen, waartoe de teruggekaatste en gebroken golven in staat zijn, gelijk is aan de werking, waartoe de invallende golf in staat is. Ditzelfde kan men echter niet omtrent de hoeveelheid van beweging beweren. Deze drukt niet de werking uit, waartoe eenig bewegend lichaam in staat is. Men mag daarom ook niet, zooals Bartlett doet, beweren, dat de som der hoeveelheden van beweging in de teruggekaatste en gebroken golven gelijk is aan de hoeveelheid van beweging in de invallende golf. Dat men bij de hoeveelheid van beweging ook genoodzaakt is slechts een vierde gedeelte van een golflengte in acht te nemen, en niet een halve of een geheele golflengte daartoe kan gebruiken (voor een halve of geheele golflengte is de hoeveelheid van beweging namelijk nul), bewijst wel, dat wij hier niet te doen hebben met iets, dat aangeeft de hoegrootheid van de werking, waartoe een bewegend lichaam in staat is, zooals bij de levende kracht het geval is.

Wegens het verkeerde van dit door Bartlett gebruikte beginsel meen ik daarom ook aan zijn uitkomsten geen de minste waarde te mogen toeschrijven, en kunnen zij dan ook van geen invloed zijn op onze meening omtrent de trillingsrichting.

Bij het bespreken van Jamin's arbeid hebben wij opgemerkt ¹⁾, dat er een karakteristisch onderscheid in de uit-

¹⁾ Bl. 38.

komsten voortvloeit uit de beide theoriën; dat namelijk Fresnel een negatieve waarde vindt voor de amplitude van den teruggekaatste straal, die in het invallingsvlak gepolariseerd is, terwijl Jamin evenals Neumann daarvoor een positieve waarde verkrijgt. Jamin had beloofd dit punt nader na te gaan. Ik had daarover echter niets meer van hem gevonden. In het onlangs uitgekomen laatste gedeelte van zijn *Cours de Physique* vindt men echter iets, dat op dit punt betrekking heeft ¹⁾. Zijn A en A' de azimuths der invallende en teruggekaatste stralen, i en r de hoeken van invalling en breking, dan vindt men, zoo men op de phaseveranderingen geen acht slaat, uit Fresnel's theorie:

$$\operatorname{tg} . A' = \operatorname{tg} . A \frac{\cos .(i + r)}{\cos .(i - r)}$$

Brewster daarentegen is op experimenteelen weg gekomen tot de formule:

$$\operatorname{tg} . A' = - \operatorname{tg} . A \frac{\cos .(i + r)}{\cos .(i - r)}$$

Deze beide formules verschillen in teeken. Op het eerste gezicht zou men dus meenen, dat dit tegen Fresnel's theorie pleitte, en voor die van Neumann, daar de uit de laatste theorie afgeleide formule juist met Brewster's formule ook in teeken overeenstemt. Dit besluit trekt echter Jamin niet daaruit. Hij is dan ook op gronden, waarover wij in het volgende hoofdstuk zullen spreken, overgegaan tot de aanhangers van Fresnel's theorie. Dit verschil in de beide formules, de theoretische en de empirische, tracht hij op de volgende wijze te verklaren. Hij toont namelijk aan, dat dit verschil alleen voortspruit uit de verandering in den stand van den waarnemer, wanneer hij van de

¹⁾ J. Jamin, *Cours de Physique*, t. III, p. 673.

beschouwing van den invallenden straal tot die van den teruggekaatste straal overgaat. De teruggekaatste straal heeft namelijk een andere richting dan de invallende straal. Beschouwt men nu eerst den teruggekaatste straal bij een normale invaling, dan zal men ten opzichte van de in het brekende vlak gelegen coördinaatassen een anderen stand innemen als wanneer men den invallenden straal beschouwt. Wat in het eerste geval een draaiing links is, is in het tweede geval een draaiing rechts, en omgekeerd; wat dus in het eerste geval een positieven hoek maakt met een der assen, maakt in het tweede geval met die as een negatieven hoek. Als de proeven dus aantoonen, dat het azimuth van den teruggekaatste straal een negatieve waarde heeft, moeten de theoretische formules juist een positieve waarde aangeven, daar deze het azimuth van den teruggekaatste straal aangeven ten opzichte van de assen in denzelfden stand gezien, als waarin men den invallenden straal waarneemt. Ook voor niet normale invallingen van het licht toont Jamin aan, dat hetzelfde gebeuren moet, zoodat de empirische formule van Brewster volkomen met de theoretische formule van Fresnel overeenstemt.

Dit zijn betoog schijnt mij toe juist te zijn, altijd als men aanneemt, dat Brewster niet op die verandering in den stand van den waarnemer gelet heeft. Dat hij dit niet gedaan heeft, komt mij wel het waarschijnlijkst voor. In zijn empirische formule behoefde hij daarop ook minder te letten. De proeven van Brewster schijnen dus voor Fresnel's en tegen Neumann's theorie te pleiten.

Het is hier de plaats om van nog een direct betoog melding te maken, hetgeen Cauchy gegeven heeft, en het-

geen hij meent volkomen overtuigend te spreken voor Fresnel's hypothese. 1) Het is als volgt:

Valt een gepolariseerde straal op het scheidingsvlak van twee isophane middelstoffen, en zijn de ethertrillingen van dien straal evenwijdig aan het scheidingsvlak, dan kunnen er geen longitudinale trillingen worden opgewekt; er kunnen dus slechts transversale gebroken en teruggekaatste golven ontstaan. De teruggekaatste straal kan onder geenerlei invalling verdwijnen. Want, verdween hij, dan zou wegens het beginsel van de continuïteit der beweging in den ether, de gebroken straal niet anders kunnen zijn dan de verlenging van den invallenden straal, en dit is onmogelijk, tenzij de brekingsexponent de éénheid zij. Daar nu de teruggekaatste straal dus niet kan verdwijnen voor trillingen loodrecht op het invallingsvlak, en zulk een straal, dien de terugkaatsing niet kan opheffen, gepolariseerd is in het invallingsvlak, zoo hebben de trillingen plaats loodrecht op het polarisatievlak.

Wanneer men dit betoog voor het eerst leest, zou men kunnen meenen, dat daartegen weinig is in te brengen. Bij nader inzien verdwijnt echter dat volkomen overtuigende wel eenigszins. Men kan toch, zooals Neumann en Jamin gedaan hebben, bewijzen, dat het wel degelijk mogelijk is, dat de teruggekaatste straal in het beschouwde geval, d. i. met trillingen loodrecht op het invallingsvlak, verdwijnt, indien men de dichtheid van den ether constant aanneemt. De gebroken straal behoeft dan ook niet het verlengde van den invallenden te zijn. Neemt men echter de continuïteit der beweging aan, zooals Cauchy dit doet, d. i.

1) *Compt. rend.* (1849) t. 29, p. 645; Moigno, *Répertoire d'Optique moderne* t. IV, p. 1368; Haidinger, *Sitz. Ber. d. Kais. Akad. in Wien, Math. Naturw. Cl.*, t. 8, p. 56 en *Pogg. Ann.* t. 86, p. 136.

neemt men niet slechts de sommen der verschuivingen, doch ook die der eerste afgeleiden dier verschuivingen, volgens een richting loodrecht op het scheidingsvlak, aan beide zijden van dat vlak gelijk aan, dan zeker kan men niet komen tot het geval, dat de teruggekaatste straal verdwijnt voor trillingen loodrecht op het invallingsvlak; doch het beginsel der continuïteit is, naar het schijnt, ook niet aan te nemen, als men Neumann's hypothese aanneemt. Ook Jamin's formules sluiten die continuïteit der beweging uit. Men is hier dus teruggebracht tot de vraag, of het beginsel der continuïteit toe te passen is, of niet. Dat het naar mijne meening een groote mate van waarschijnlijkheid heeft, heb ik reeds vroeger gezegd.

De slotsom onzer voorgaande beschouwingen is deze, dat de brekings- en terugkaatsings-verschijnselen voor Fresnel's en tegen Neumann's hypothese getuigen.

Terwijl men toch met de laatste hypothese zijn toevlucht moet nemen tot het zeer onwaarschijnlijke beginsel der gelijkheid der drukkingen, of juister nog geenerlei beginsel omtrent de eerste afgeleiden der verschuivingen kan aannemen, laat Fresnel's hypothese de aanwending toe van het veel waarschijnlijker beginsel der continuïteit.

Verder kan men de opgewekte longitudinale trillingen, zooals zij door Cauchy zijn opgevat, met Fresnel's hypothese zeer goed in de beschouwingen opnemen; terwijl men met Neumann's hypothese, óf ze geheel en al moet loochenen, óf haar zulk een geringe intensiteit moet toekennen, dat zij zonder fout verwaarloosd kunnen worden. En ofschoon ik het nu volstrekt niet voor onmogelijk houd, dat de longitudinale trillingen, die bij de terugkaatsing worden opgewekt, zulk een geringe intensiteit bezitten, dat men ze

tegenover de transversale trillingen zou kunnen verwaarloozen, acht ik toch Cauchy's opvatting dier trillingen de meest waarschijnlijke.

Eindelijk schijnt ook Brewster's empirische formule, zooals wij gezien hebben, voor Fresnel's zienswijze te pleiten.

Voordat wij nu verder nagaan, of ook de andere gedeelten der optica de voorkeur rechtvaardigen, die ik aan Fresnel's hypothese heb toegekend, zij omtrent het vorige nog het volgende opgemerkt.

Ofschoon het voorgaande voor Fresnel's hypothese pleit, mogen wij hierbij niet vergeten, dat de theorie van Neumann niet, zooals die van Fresnel, onder hare voorstanders een man gehad heeft als Cauchy, die met zijn groote mathematische kennis de theorie van laatstgenoemden krachtig ondersteund heeft. ¹⁾ Mocht eenmaal een even krachtige steun aan de theorie van Neumann te beurt vallen, het ware denkbaar, dat de stand van den strijd geheel anders wierd. Het door Cauchy voorgedragen beginsel der continuïteit moge nog zoo veel waarschijnlijkheid hebben, en moge nog zoo zeer te verkiezen zijn boven dat der gelijke drukkingen, onmogelijk ware het echter niet, dat ook dat beginsel nog door een ander verdrongen wierd, hetgeen misschien weêr voor Neumann's hypothese zou pleiten. Want wij moeten wel bedenken, dat Cauchy's formules, al zijn zij ook de beste die wij bezitten, toch waarschijnlijk nog slechts benaderings-formules zijn. ²⁾ Voor het tegenwoordige hebben wij, zooals gezegd, echter niets beters. Mijn besluit omtrent de trillingsrichting kan daarom thans ook geen ander zijn.

¹⁾ Al is Cauchy in het begin ook Neumann's theorie toegedaan geweest, zijn belangrijkste werken omtrent dit onderwerp zijn toch afkomstig uit den tijd, dat hij Fresnel's theorie als de ware beschouwde.

²⁾ Zie bl. 25.

HOOFDSTUK II.

KUNNEN DE VERSCHIJNSELEN DER DUBBELE STRAALBREKING ONS TOT EEN BESLUIT LEIDEN?

Nadat Huyghens de wetten der dubbele straalbreking in éénassige kristallen had doen kennen, ging er meer dan een eeuw voorbij, eer dat de aandacht weder op die wetten gevestigd werd. Dit is vooral hier aan toe te schrijven, dat Newton, die gedurende langen tijd, op physisch zoowel als op mathematisch gebied, een grooten invloed uitoefende, deze wetten als onwaar verwierp. Eerst toen de proeven van Wollaston en van Malus de juistheid dier wetten bevestigden, en Fresnel het Newton'sche juk, waaronder de optici van dien tijd gebogen gingen, van zich afwierp, mocht het gelukken, deze verschijnselen met de theorie van het licht in overeenstemming te brengen.

Huyghens had namelijk wel die wetten bekend gemaakt, doch het schijnt, dat hij daartoe meer door nauwkeurige waarnemingen, dan door zijn lichttheorie, gekomen was. En het was ook wel niet mogelijk, voordat Fresnel en Young de Huyghens'sche theorie door het aannemen der transversale trillingen volmaakt hadden, tot een goede theoretische afleiding dier wetten te komen.

Deze zoo vruchtbare lichttheorie gaf echter ook van dit deel der optica een wetenschappelijke verklaring; en niet slechts de wetten der dubbele straalbreking bij éénassige kristallen, doch ook die bij tweeassige werden door Fresnel op een in bijna alle opzichten bevredigende wijze uit die theorie afgeleid. ¹⁾

De mathematische theorie der dubbele straalbreking bracht Fresnel reeds dadclijk tot de vraag naar de trillingsrichting, waarmede wij ons hier bezig houden. Hij meende uit zijn onderzoekingen te moeten besluiten tot de richting loodrecht op het polarisatievlak. Doch, zooals wij gezegd hebben, Neumann en Mac Cullagh verhieven daartegen hun stem, en de ook thans nog niet volkomen besliste strijd, waarover wij ook in het vorige hoofdstuk gehandeld hebben, nam daarop een aanvang. Wij hebben gezien, dat de beide hypothesen, ter verklaring der lichtverschijnselen aan de grens van twee isotrope middelstoffen, verschillende veronderstellingen vereischen omtrent de constitutie van den ether in middelstoffen bevat; en wij zullen zien, dat ook de verschijnselen bij dubbelbrekende kristallen verschillende veronderstellingen vereischen, naar gelang men van de eene of van de andere hypothese uitgaat.

In dit hoofdstuk willen wij aantoonen, hoe men getracht heeft de verschijnselen der dubbele straalbreking te verklaren, natuurlijk slechts in zooverre zij met ons onderwerp in verband staan, om daardoor de verschillende bewijzen te kunnen beoordeelen, die men uit die verschijnselen heeft willen afleiden voor de eene of de andere trillingsrichting. Ten slotte zullen wij dan nog de voornaamste

¹⁾ Zie zijne Mémoire sur la double réfraction, in t. 7 der Mémoires de l'Institut de France; of ook Pogg. Ann. t. 23, p. 372 en p. 494.

verschillen moeten nagaan, die uit de beide hypothesen voortvloeien.

De theorie der dubbele straalbreking zoekt een verklaring te geven van de verschillende verschijnselen, die zich bij de voortplanting van het licht in een dubbelbrekend kristal voordoen. Zij zoekt namelijk het verband te bepalen tusschen de voortplantingssnelheid eener trilling, de richting dier trilling ten opzichte van de assen van het kristal en de richting van den straal, waartoe die trilling behoort.

Fresnel ¹⁾ stelt dat verband als een hypothese voorop, en leidt daaruit het golfoppervlak af. Hij neemt namelijk aan, dat de voortplantingssnelheid eener trilling slechts afhangt van de richting dier trilling; en dat dus, zoo die richting slechts dezelfde is, ook de voortplantingssnelheid dezelfde zal zijn, hoedanig ook de richting van het golfvlak of van den straal zij, waartoe die trilling behoort. Hij tracht die hypothese te rechtvaardigen, door, naar hij meent, aan te toonen, dat het niet anders kan zijn. Ofschoon nu uit het verdere zijner verhandeling blijkt, dat men door deze hypothese tot uitkomsten geraakt, die met de verschijnselen goed overeenstemmen, heeft Fresnel's betoog mij toch volstrekt niet overtuigd van de waarheid van deze hypothese. Op deze hypothese steunende, besluit hij nu uit eenige verschijnselen bij éénassige kristallen, dat de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak. Zijn redeneering is als volgt. De proeven leeren ons, dat bij een éénassig kristal de gewone straal gepolariseerd is in de hoofddoorsnede van het kristal, d. i. in het vlak dat door de kristalassen en den straal gaat. Deze gewone straal heeft een

¹⁾ Zie zijn reeds genoemde Mémoire; Pogg. Ann. t. 23, p. 428.

constante snelheid, hoedanig zijn richting moge zijn. De trillingen van dien straal moeten dus altijd dezelfde richting hebben ten opzichte van de kristalas. Zij moeten echter tevens loodrecht zijn op de richting van den straal. Daar de gewone straal in een zelfde hoofddoorsnede nu alle mogelijke richtingen hebben kan, zoo kan men aan de beide genoemde voorwaarden niet voldoen, tenzij de trilling een rechten hoek make met de as, en dus loodrecht sta op de hoofddoorsnede of, wat hier hetzelfde is, op het polarisatievlak.

Dit bewijs is volkomen juist, als men aannemt, dat de voortplantingssnelheid hier slechts van de richting der trillingen afhangt. Neemt men echter een andere hypothese aan, dan kan men door bijna dezelfde redeneering juist tot de tegenovergestelde uitkomst komen, dat de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak. Daartoe behoeft men in Fresnel's hypothese, en dus ook in zijn bewijs, voor de richting der trillingen slechts in de plaats te stellen de richting, die tegelijk loodrecht is op de trillingsrichting en op den straal. Doet men dit, verandert dus overal de trillingsrichting in de richting dier loodlijn, dan komt men tot het besluit, dat niet de trillingsrichting, maar die loodlijn een rechten hoek moet maken met de kristalas. Omdat die loodlijn nu ook loodrecht moet zijn op den straal, zal zij dit ook moeten zijn op de hoofddoorsnede of op het polarisatievlak; doch hieruit volgt dan dadelijk, dat de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak.

Men zou kunnen meenen, dat deze laatste hypothese veel gezochter is dan die van Fresnel. Hier voert men toch in plaats van de zeer bepaalde trillingsrichting een loodlijn in, die niets bepaalds, ja zelfs iets denkbeeldigs schijnt voor te stellen. Dit is echter niet het geval. Neemt

men niet aan, dat de voortplantingssnelheid alleen van de trillingsrichting afhangt, dan moet men wel aannemen, dat zij behalve van de trillingsrichting ook nog van de richting van den straal afhangt, dat zij dus afhankelijk is van de richting van het vlak, dat door die beide richtingen gaat, hetgeen wij met anderen het trillingsvlak zullen noemen. Doch de richting van een vlak is volkomen bepaald door de richting van den normaal op dat vlak. Omgekeerd geven wij dus door te zeggen, dat de voortplantingssnelheid afhangt van dien normaal, dat is namelijk onze loodlijn, niet anders te kennen, dan dat zij afhangt van de richting van het trillingsvlak, hetgeen toch zeker een hypothese is, die evenveel recht van bestaan heeft als die van Fresnel.

Dat de eene hypothese tot de eene trillingsrichting, de andere tot de andere trillingsrichting voeren moet, kan men zeer gemakkelijk en kort aldus inzien. De proeven leeren, dat de eigenschappen van het licht, en dus ook de voortplantingssnelheid in een kristal, slechts afhangen van de richting van het polarisatievlak ten opzichte van de kristalassen. Neemt men dus aan, dat die voortplantingssnelheid slechts afhangt van de trillingsrichting, dan moet men noodwendig aannemen, dat de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak, daar slechts dan het polarisatievlak van het licht door de trillingsrichting volkomen bepaald is. Om dezelfde reden voert de hypothese, dat de voortplantingssnelheid afhangt van de richting van het trillingsvlak, tot het besluit, dat het trillingsvlak samenvalt met, en de trillingen dus plaats hebben in het polarisatievlak. Omgekeerd vereischt Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting noodwendig zijn hypothese omtrent de voortplantingssnelheid, terwijl Neumann's hypothese

even noodwendig de andere hypothese omtrent de voortplantingssnelheid vordert.

Neumann was ook op dit terrein de eerste, die Fresnel's uitkomsten trachtte te weêrleggen, door op een meer wetenschappelijke wijze de verschijnselen der dubbele straalbreking in verband te brengen met de theorie. ¹⁾ Hij ging daarbij uit van de elasticiteitsleer, zooals Navier die vóór hem had opgesteld. Doet men dit, dan komt men tot het resultaat, dat de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak. Hij vindt namelijk, dat van de beide stralen, die in een hoofddoorsnede langs dezelfde wegen zich voortplanten, onverschillig of het een hoofddoorsnede van een éénassig, dan wel van een tweeassig kristal zij, die straal een constante snelheid bezit, waarvan de trillingen plaats hebben in die hoofddoorsnede. Hij komt hier dus tot de tweede door ons genoemde hypothese omtrent de voortplantingssnelheid, die bij hem echter geen hypothese meer is, maar een uitvloeisel uit zijn theorie.

Ook Lamé heeft door middel der elasticiteitsleer de dubbele straalbreking theoretisch behandeld, ²⁾ en komt daardoor tot dezelfde resultaten als Neumann. Beiden gaan uit van de elasticiteitsvergelijkingen voor de kleine bewegingen der deeltjes van homogene vaste lichamen, wier elasticiteit niet in alle richtingen dezelfde is.

Hier doet zich echter de vraag op, of het geoorloofd is, op den ether, in kristallijne stoffen bevat, de vergelijkingen toe te passen voor homogene lichamen. Deze vraag brengt

¹⁾ Abh. d. Berl. Akad. 1835 en Pogg. Ann. t. 25, p. 418.

²⁾ G. Lamé, Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides, 2e édition, p. 225 tot het einde

ons tot het bespreken van de constitutie van den ether in de kristallen, evenals de verschijnselen, in het vorige hoofdstuk beschouwd, ons voerden tot het bespreken van de constitutie van den ether in isotrope stoffen, echter met dit onderscheid, dat, terwijl wij daar den ether in verschillende isotrope stoffen beschouwden, wij ons hier bepalen tot den ether in één enkel kristal.

Cauchy beschouwde de ethermoleculen in de kristallen eveneens geordend, als de ponderabele deeltjes dier kristallen. Ware deze opvatting de ware, dan zou men zeker de handelwijze van Neumann en Jamin als verkeerd moeten afkeuren. Doch tegen deze opvatting van Cauchy kan men verschijnselen aanvoeren, die daarmede bepaald in strijd schijnen te zijn. De lichtverschijnselen bij kubische kristallen zijn toch dezelfde als die bij een niet kristallijn lichaam. Ware nu de rangschikking der ethermoleculen een kristallijne, kwam zij overeen met de rangschikking der ponderabele moleculen dier soort van kristallen, dan zou het door zulk een kristal gebroken licht in het algemeen gepolariseerd moeten zijn, en de voortplantingssnelheid van het licht zou ook moeten veranderen met de richting van de lichtstralen ten opzichte der kristalassen. Het is waar, ook met een kristallijne rangschikking der ethermoleculen kan men komen tot de verklaring der lichtverschijnselen in kubische kristallen. Echter niet anders dan door op een sterke wijze te verwaarloozen en te benadelen. ¹⁾ Ik meen daarom Cauchy's opvatting niet als de ware te kunnen aannemen.

¹⁾ Zie daarover o. a. Beer, Einleitung in die Höhere Optik, p. 254. Beer vereenvoudigt zijn vergelijkingen door de trillingsrichting van Fresnel aan te nemen; over zijn benaderingen, zie p. 284 en vgl.

Briot, die deze vraag uitvoerig behandeld heeft, ¹⁾ stelt voor Cauchy's meening deze in de plaats. Hij beschouwt den ether in de kristallen als een isotrope stof, waarin echter door de inwerking der ponderabele moleculen wijzigingen en ongelijkheden gebracht worden. Die ongelijkheden zullen wij volgens hem op de navolgende wijze moeten opvatten. Wanneer men een rechte lijn van bepaalde lengte deelt door het aantal ethermoleculen, die op deze lijn gelegen zijn, heeft men wat men den gemiddelden afstand dier moleculen kan noemen in de richting dier lijn. In een isotrope stof is nu deze gemiddelde afstand voor alle richtingen dezelfde. De werking der ponderabele moleculen van het kristal zal echter dezen gemiddelden afstand veranderen, en wel niet in alle richtingen in dezelfde mate. Men stelle zich den ether in de kristallen dus voor als een isotrope stof, van een dichtheid gelijk aan de gemiddelde dichtheid van den ether in het kristal, en neme verder aan, dat die isotrope stof uitzettingen en samendrukkingen ondergaan heeft in zekere bepaalde richtingen, namelijk langs de kristalassen. Eigenlijk zal de ether niet overal homogeen zijn, want de verspreiding van den ether zal ongelijk zijn in de ruimte eener cel. In de verschillende cellen is die verspreiding van den ether echter dezelfde, zoodat de dichtheid van den ether in de corresponderende punten van zulke cellen dezelfde is. Daarvoor ontstaan periodische ongelijkheden in den ether, die men echter tegenover de genoemde algemeene ongelijkheden in den gemiddelden afstand der moleculen kan verwaarloozen.

¹⁾ Ch Briot, *Essais sur la théorie mathématique de la lumière*, Préface, p. VII en vgl., en *Compt. rend.* (1859, II) t. 4, p. 888.

Hierop voortbouwende komt Briot tot Fresnel's zienswijze omtrent de trillingsrichting. ¹⁾

Waarin verschillen nu de methoden van Neumann en Lamé van die van Briot? In Neumann's en Lamé's methoden worden de periodische wijzigingen van den ether ook verwaarloosd. Lamé ²⁾ meent daarom, dat men misschien, zoo men deze periodische verschillen niet verwaarloosde, tot Fresnel's resultaat zou komen. Ik meen echter, dat het een andere oorzaak heeft, dat Briot niet hetzelfde vindt als Neumann en Lamé. In de methoden der laatsten wordt namelijk de dichtheid van den ether stilzwijgend constant aangenomen; de elasticiteit is slechts voor de verschillende richtingen veranderlijk. Briot daarentegen spreekt niet van elasticiteit; bij hem is echter de gemiddelde afstand van de ethermoleculen verschillend met de richting, en het verschil in werkingen en verschijnselen vindt geheel en al in dien verschillende afstand der ethermoleculen zijn verklaring. Dit is, naar ik meen, het hoofdverschil, waardoor zij tot verschillende uitkomsten geraken. En het is opmerkelijk, dat wij hier een soortgelijk verschil vinden, als wij bij de isotrope stoffen gevonden hebben. Terwijl daar het hoofdverschil was het al of niet aannemen eener constante dichtheid van den ether in verschillende middelstoffen, is het hier het al of niet aannemen van een constanten gemiddelden afstand der ethermoleculen voor de verschillende richtingen in een kristal.

Dat met Cauchy's opvatting omtrent den ether in kristallijne stoffen Fresnel's trillingsrichting beter voldoet dan die van Neumann, heeft dezelfde oorzaak; want ook Cau-

¹⁾ Essais etc., Préface, p. X, en Compt. rend. (1861, I) t. 52, p. 393.

²⁾ Zie Lamé, l. c. p. 330.

chy neemt een ongelijken gemiddelden afstand der ethermoleculen aan voor de verschillende richtingen in het kristal. Dit toch vloeit van zelf voort uit zijn veronderstelling, dat de ethermoleculen in zulk een kristal ook kristallijn gerangschikt zijn.

Men zou hiertegen kunnen aanvoeren, dat toch Fresnel de elasticiteit van den ether in de verschillende richtingen verschillend aanneemt, en dat hij niettegenstaande deze veronderstelling tot de loodrechte trillingsrichting gekomen is. Men moet echter niet vergeten, dat hij dit zijn besluit omtrent de trillingsrichting slechts afleidt uit zijn vooropgestelde hypothese, dat de voortplantingssnelheid slechts van de trillingsrichting afhangt. Hij onderzoekt echter geenszins of deze hypothese zich wel laat rijmen met die verschillende elasticiteit van den ether. Uit Fresnel's arbeid kunnen wij dus ook het verband tusschen de trillingsrichting en de constitutie van den ether niet afleiden.

Jamin, vroeger een aanhanger van Neumann's theorie, schijnt, zooals wij in het vorige hoofdstuk reeds hebben opgemerkt, tegenwoordig Fresnel's theorie te zijn toegedaan. ¹⁾ Zijn gronden daartoe schijnen dezelfde te zijn als die, waardoor Fresnel tot zijn besluit gekomen is. ²⁾ Jamin neemt daarbij de dichtheid van den ether constant, de elasticiteit veranderlijk aan. Doch deze zijne veronderstelling heeft evenmin als bij Fresnel invloed op zijn besluit omtrent de trillingsrichting; het is ook bij hem, evenals bij Fresnel, slechts de veronderstelling, dat de voortplantingssnelheid alleen afhangt van de trillingsrichting, die hem tot zijn besluit voert. Al moge hij deze veronderstel-

¹⁾ Zie zijn Cours de Physique t. III, p. 581.

²⁾ l. c. p. 591.

ling ook niet zoo duidelijk voorop stellen, als Fresnel dit gedaan heeft, wezenlijk verschilt zijn redeneering niet van die van Fresnel.

Wat Fresnel en Jamin noemen de werking van een verschillende elasticiteit van den ether in verschillende richtingen, is dit eigenlijk niet, want Neumann en Lamé hebben aangetoond, dat een verschillende elasticiteit niet leidt tot Fresnel's en Jamin's hypothese omtrent het verband tusschen voortplantingssnelheid en trillingsrichting, maar tot de andere genoemde hypothese. Wat bij hen dus wordt toegeschreven aan een verschillende elasticiteit, is de verschillende werking, welke voortspruit uit den verschillende afstand der ethermoleculen in de verschillende richtingen. Zooals Jamin en Fresnel hier van een verschillende elasticiteit spreken, zou men het ook kunnen doen voor isotrope middelstoffen. Daar schrijven zij de verschillende werkingen in verschillende middelstoffen echter alleen toe aan een verschillende dichtheid van den ether of, wat hetzelfde zegt, aan een verschillende afstand der ethermoleculen, en niet aan een verschillende elasticiteit. Ditzelfde hadden zij ook moeten doen voor dubbelbrekende stoffen. Ik meen hiermede genoegzaam gerechtvaardigd te hebben mijn besluit wat betreft het verband tusschen de beide theoriën omtrent de trillingsrichting en de constitutie van den ether in kristallijne stoffen.

Het voorgaande ontnemt verder alle waarde aan een betoog, hetwelk Beer gegeven heeft, om zijn besluit te rechtvaardigen, dat hij Fresnel's hypothese voor de waarschijnlijke houdt. ¹⁾ Hij gaat hierin namelijk uit van de

¹⁾ Dit betoog komt voor in een brief aan Haidinger, Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. (1855, 1) t. XV, p. 11.

hypothese, dat men, bij een eerste benadering, de ethermoleculen, in een middelstof met drie loodrechte assen bevat, tessularisch geordend kan beschouwen. Door middel van deze hypothese leidt hij dan de wetten der voortplanting van het licht af voor de verschillende richtingen, die straal en trillingen kunnen hebben. Hij komt daardoor tot het resultaat, dat men Fresnel's theorie zoo niet als zeker, dan toch als zeer waarschijnlijk moet beschouwen. Daar echter de hypothese, waarvan hij uitgaat, in strijd is met de beginselen, die uit Neumann's theorie voortvloeien, kon het wel niet anders, dan dat hij door zijn redeneering tot de tegenovergestelde theorie kwam. Door zijn vooropgestelde hypothese had hij, ofschoon wellicht onbewust, Fresnel's hypothese reeds vooruit aangenomen. Zijn betoog mist daarom alle waarde.

Aan de voorgaande beschouwingen, die ontleend zijn aan de wetten omtrent de voortplantingssnelheid van het licht in dubbelbrekende kristallen, sluit zich ten nauwste aan het bewijs, dat W. Haidinger meent gevonden te hebben voor Fresnel's hypothese, uit de absorptie-verschijnselen in di- en trichromatische kristallen. ¹⁾ Het zal ons zelfs blijken, dat Haidinger's beschouwingen wezenlijk niet van de voorgaande verschillen.

Hebben wij een dichromatisch éénassig kristal, dat verlicht wordt door gewoon wit licht, en beschouwen wij dit kristal door een dichroskopische lens of door een dubbel-

¹⁾ Haidinger heeft dit zijn bewijs in verschillende verhandelingen geleverd en verder toegelicht; zie Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. (1852, I) t. VIII, p. 52 en Pogg. Ann. t. 86, p. 131; Sitz. Ber., etc. (1854, I) t. XII, p. 685 en Pogg. Ann. t. 96, p. 287. Sitz. Ber., etc. t. XV, p. 86.

brekend prisma in een richting loodrecht op de as van het kristal, dan neemt men, in welk azimuth men ook zie, twee lichtbeelden waar, die in twee loodrecht op elkander staande vlakken gepolariseerd zijn, waarvan het eene vlak evenwijdig is aan, het andere loodrecht op de kristal-as. De trillingen van het eene beeld zijn dus loodrecht op, die van het andere evenwijdig aan de as. Deze beelden zijn verschillend van kleur. Het evenwijdig aan de as gepolariseerde beeld hebbe bijv. de doorzichtigheidskleur A, het andere de kleur B. Deze kleuren zijn dezelfde, in welk azimuth om de as men ook zien moge, zoo de richting van waarneming slechts immer loodrecht op de as is. Ziet men in een andere richting, dan zal het eene beeld, dat immer evenwijdig aan de as gepolariseerd is, het gewone beeld, altijd de kleur A behouden. Het andere of buitengewone, wiens polarisatievlak niet meer loodrecht op de as is, zal echter niet de kleur B bezitten, maar een tusschennuance tusschen A en B. In deze nuance zal de verhouding tusschen de daarin bevatte hoeveelheid der kleur A en die der kleur B gelijk zijn aan de cotangens van den hoek, dien de richting waarin men ziet, maakt met de as. Ziet men dus in een richting loodrecht op de as, d. i. is die hoek 90° , dan zal het buitengewone beeld slechts de kleur B bezitten, hetgeen overeenkomt met hetgeen wij voor die richting gezegd hebben. Zien wij daarentegen in de richting der as, dan zal de hoek gelijk nul zijn; de kleur van het buitengewone beeld zal dan geheel gelijk worden aan de kleur A van het gewone beeld. In dit geval zullen dus beide beelden volkomen gelijke kleur hebben, en dit is ook natuurlijk, want beide beelden zijn dan immer evenwijdig aan de as gepolariseerd.

Bij sommige tweeassige kristallen doen zich soortgelijke verschijnselen voor. Slechts heeft men hier niet met twee maar met drie hoofdkleuren te doen, waarom men deze kristallen trichromatisch genoemd heeft. Ziet men namelijk in een richting loodrecht op een der assen, dus in het vlak der beide andere assen, dan heeft het loodrecht op die eerste as gepolariseerde beeld voor alle azimuths om die as dezelfde kleur. De kleur van het andere beeld zal echter voor verschillende azimuths verschillend zijn. Voor dat beeld bestaan echter twee hoofdkleuren, die namelijk dan worden waargenomen, wanneer men ziet in de richting van een der beide in het vlak gelegen assen, wanneer dat beeld dus gepolariseerd is loodrecht op de andere in dat vlak gelegen as. Voor andere richtingen in het vlak der beide assen zal dat beeld een nuance hebben, die samengesteld is uit de beide hoofdkleuren in dat vlak. De verhouding tusschen de hoeveelheden dier beide hoofdkleuren in de nuance bevat zal hier weder, even als bij de dichromatische kristallen, gelijk zijn aan de cotangens van den hoek, welken de richting, waarin men ziet, maakt met die as in het vlak, waarlangs men de eerste der beide hoofdkleuren ziet. Voor andere richtingen, die niet gelegen zijn in een der vlakken, die door twee der assen gaan, zal de nuance samengesteld zijn uit voor elke richting bepaalde hoeveelheden der drie hoofdkleuren.

Na dit kort overzicht gegeven te hebben van de verschijnselen van het di- en trichroismus, gaan wij over tot de beschouwing en beoordeeling van de wijze, waarop Haidinger hieruit de waarheid van Fresnel's hypothese heeft willen bewijzen. Bepalen wij ons bij die beschouwing tot de dichromatische verschijnselen, daar zij eenvoudiger

zijn, en de daaruit getrokken besluiten gemakkelijk tot de trichromatische kunnen worden uitgebreid.

Bij de dichromatische kristallen heeft men, zoo als gezegd, voor elke waarneming loodrecht op de kristal-as een trillingsrichting evenwijdig aan de as, en een trillingsrichting loodrecht op de as. Zien wij in de richting der as, dan zijn beide trillingsrichtingen loodrecht op de as. Zien wij in eenige andere richting, dan hebben wij een trillingsrichting loodrecht op de as, en een trillingsrichting, die met de as een zekeren, met de richting van beschouwing veranderenden hoek maakt. De kleur A zien wij altijd. Deze moet, zoo redeneert Haidinger, dus behooren tot de trillingsrichting loodrecht op de as, omdat die trillingsrichting ook altijd voorkomt. Doch het polarisatievlak van het beeld met de kleur A is altijd evenwijdig aan de as. Dus hebben de trillingen plaats loodrecht op het polarisatievlak.

Terecht voeren Ångström ¹⁾ en Stokes ²⁾ hiertegen aan, dat in Haidinger's veronderstelling, dat de absorptie van het licht uitsluitend afhankelijk is van de trillingsrichting een *petitio principii* ligt. Haidinger toch ziet slechts op het verband tusschen absorptie en trillingsrichting. Stilzwijgend stelt hij voorop, dat de absorptie alleen afhangt van de trillingsrichting, evenals anderen met de voortplantingssnelheid gedaan hebben. Door dit te doen, begint hij echter met Fresnel's theorie als de ware voorop te stellen, om daaruit de waarheid van Fresnel's theorie te bewijzen. Het schijnt, dat hij moeilijk te overtuigen is geweest, dat zijn bewijs niet geldig is. Ten minste in verschillende ver-

¹⁾ Pogg. Ann. t. 90, p. 583

²⁾ Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. (1854, I) t. XII, p. 685 en Pogg. Ann. t. 96, p. 287.

handelingen komt hij er op terug, zoowel om zijn tegenstanders te weerleggen, als om zijn bewijs nog overtuigender te maken. De gronden, waarvan hij daarbij uitgaat, zijn echter immer dezelfde, zoodat deze zijn beschouwingen weinig nieuws opleveren. Onder andere vormt hij een reeks van besluiten, die uit de verschijnselen van het dichroïsmus voortvloeien, zoowel wanneer men ze volgens Fresnel's als wanneer men ze volgens Neumann's hypothese verklaart. Die, welke uit Fresnel's theorie voortvloeien, zijn dan altijd veel eenvoudiger en minder ingewikkeld; ja in een zijner verhandelingen meent hij op die wijze zelfs aan te toonen, door de absorptieverschijnselen in den tourmalijn, dat de waarschijnlijkheid van Fresnel's tot die van Neumann's theorie staat als oneindig tot een. ¹⁾ Zooals gezegd, handelt hij echter in al die beschouwingen slechts over het verband tusschen de absorptie en de trillingsrichting. Was hij echter uitgegaan van het verband tusschen de absorptie en de richting van het trillingsvlak, al zijn besluiten zouden dan juist evenveel voor Neumann's theorie gepleit hebben, als zij het bij hem voor Fresnel's theorie doen.

Als voorbeelden hiervan, en tevens om te doen zien, welke veranderingen in de besluiten veroorzaakt worden door een verandering in de hypothesen, waarvan men uitgaat, voeren wij uit de reeks door Haidinger gegeven besluiten ²⁾ slechts de volgende aan. Wij geven ze eerst, zoodanig als zij bij Haidinger voorkomen, d. i. wanneer men slechts op de richting der trillingen, niet op de richting van den straal let. Zij zijn dan als volgt:

¹⁾ Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. t. XV, p. 86.

²⁾ Zie Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. t. XII, p. 693, en Pogg. Ann. t. 96, p. 296.

1°. volgens Fresnel's theorie.

Dezelfde trillingsrichting is met dezelfde kleur, dezelfde golflengte, verbonden.

Trillingen, loodrecht op de as, hebben slechts voor de kleur A plaats.

Trillingen, in de richting der as, hebben slechts voor de kleur B plaats. Zij is in de richting der as daarom onzichtbaar.

Deze drie voorbeelden uit de reeks van Haidinger's besluiten zullen voldoende zijn om aan te toonen, dat zij niets voor of tegen een der theoriën bewijzen. Voeren wij in hen namelijk het trillingsvlak in plaats van de trillingsrichting in, dan luiden zij als volgt:

1°. volgens Fresnel's theorie.

Hetzelfde trillingsvlak is slechts loodrecht op de as en in de richting der as met dezelfde kleur verbonden. In alle andere richtingen is zij met alle mogelijke kleurnuances verbonden.

Trillingsvlakken, evenwijdig aan de as, behooren tot A, tot B en tot alle tusschenkleuren.

2°. volgens Neumann's theorie.

Dezelfde trillingsrichting is slechts loodrecht op de as en in de richting der as met dezelfde kleur verbonden; in alle andere richtingen is zij met alle mogelijke kleurnuances verbonden ¹⁾.

Trillingen, loodrecht op de as, hebben plaats voor A, voor B en voor alle tusschenkleuren.

Trillingen, loodrecht op de as, hebben voor de kleur B plaats. Zij is niettegenstaande in de richting der as onzichtbaar. Dezelfde trillingen hebben echter ook voor de kleur A plaats, en deze is in de richting der as zichtbaar.

2°. volgens Neumann's theorie.

Hetzelfde trillingsvlak is met dezelfde kleur, met dezelfde golflengte, verbonden.

Trillingsvlakken, evenwijdig aan de as, behooren slechts tot de kleur A.

¹⁾ Dit besluit van Haidinger is niet volkomen juist uitgedrukt. Men zal echter gemakkelijk begrijpen, wat er mede bedoeld wordt. Het ware, naar ik meen, beter geweest, zoo hij de woorden *en in de richting der as* had weggelaten. Hetzelfde geldt natuurlijk van het eerste mijner veranderde besluiten.

<p>Trillingsvlakken, evenwijdig aan de as, behooren tot de kleur B. Zij is niettegenstaande in de richting der as onzichtbaar. Hetzelfde trillingsvlak behoort echter ook tot de kleur A, en deze is in de richting der as zichtbaar.</p>	<p>Trillingsvlakken, loodrecht op de as, behooren slechts tot de kleur B. Zij is in de richting der as daarom onzichtbaar.</p>
---	--

Deze veranderde besluiten hebben mijns inziens, evenveel meer eenvoudigheid in Neumann's theorie dan in die van Fresnel, als de eerst aangehaalde van Haidinger eenvoudiger zijn in Fresnel's theorie dan in die van Neumann. Ik heb deze besluiten van Haidinger niet zoozeer aangehaald om Neumann's theorie te verdedigen tegenover die van Fresnel, dan wel om te doen zien, dat men, en Haidinger wel in het bijzonder, op een verkeerden weg is, als men meent op deze wijze het pleit te kunnen beslissen.

Haidinger's bewijs kunnen wij dan ook volstrekt niet als een bewijs aanzien. Het dichroïsmus geeft zelfs geen meerdere waarschijnlijkheid aan de eene theorie dan aan de andere. Het geeft verder ook niets nieuws, want daar Haidinger de absorptie, evenals de voortplantingssnelheid, slechts van de trillingsrichting af hankelijk veronderstelt, zou men al zijn beschouwingen omtrent de absorptie ook kunnen toepassen op de voortplantingssnelheid. ¹⁾ Zooals wij echter vroeger hebben aangetoond, de wetten der voortplantingssnelheid geven geen beslissing tusschen de beide theoriën. De wetten der absorptie zullen dit evenmin kunnen doen, daar zij, zoo ten minste de wijze, waarop die wetten worden aangenomen, de ware is, dezelfde zijn als die voor de voortplantingssnelheid. Evenals voor deze laatste de hypothese, dat zij afhangt van de richting van het tril-

¹⁾ Zie ook Beer, Sitz. Ber. d. Wien. Akad., Math. Naturw. Cl. t. XV, p. 6.

lingsvlak, evenveel recht van bestaan en, op zich zelf genomen, evenveel waarschijnlijkheid heeft, als die waarbij zij slechts van de trillingsrichting afhankelijk wordt aangenomen, eveneens is het bij de absorptie het geval. Ook hier wettigt niets het besluit om de hypothese, dat de absorptie slechts afhangt van de trillingsrichting, de voorkeur te geven boven die, waarbij zij afhankelijk verondersteld wordt van de richting van het trillingsvlak.

In het voorgaande hebben wij gezien, dat zoowel de verschijnselen der voortplantingssnelheid als die der absorptie van het licht in dubbelbrekende kristallen zich uit beide theoriën even goed laten verklaren. Wij zullen hier nu nog moeten aantonen, dat de beide theoriën wezenlijk tot verschillende besluiten leiden omtrent eenige zeer belangrijke in de theorie der dubbele straalbreking voorkomende bijzonderheden. Vestigen wij het eerst onze aandacht op de richting der trillingen, die volgens een bepaalde richting in het kristal kunnen worden voortgeplant. Terwijl men door Neumann's hypothese vindt, dat de transversale trillingen plaats hebben langs de spherische krommen van het golfoppervlak, vindt daarentegen Fresnel, dat zij langs de ellipsoïdale krommen van dat golfoppervlak geschieden; ¹⁾ d. i. met andere woorden, volgens Neumann hebben de transversale trillingen plaats in het golfvlak en wel altijd lood-

¹⁾ Onder de spherische en ellipsoïdale krommen van het golfoppervlak versta ik hetzelfde als Lamé. Het zijn de doorsneden van het golfoppervlak met een bol en met een ellipsoïde, doch het zijn daarom nog geen cirkels of ellipsen; dit zijn zij slechts in zeer bijzondere gevallen. Over deze spherische en ellipsoïdale krommen, en over haar verband met de trillingsrichting, zie men Lamé, *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*, 2e édition, n° 103, p. 261, n° 127, p. 323 en n° 132, p. 329.

recht op de richting van den straal, volgens Fresnel hebben zij ook wel plaats in het golfvlak, doch niet altijd loodrecht op den straal; in de buitengewone stralen der één-assige kristallen, en in beide stralen der tweeassige kristallen zijn de trillingen bij Fresnel in het algemeen niet meer loodrecht op de richting van den straal, doch vormen zij daarmede een anderen, hoewel gewoonlijk weinig van 90° verschillende hoek.

Door Cauchy's en Briot's hypothesen omtrent de constitutie van den ether in kristallijne middelstoffen, vindt men verder weder niet volkomen hetzelfde als Fresnel. Zij vinden namelijk, dat de trillingen der buitengewone stralen niet juist langs de ellipsoidale krommen van het golfoppervlak plaats hebben, zoodat zij altijd een kleinen hoek maken met het golfvlak. Die hoek is bij hen voor verschillende kristallen en voor verschillende richtingen in eenzelfde kristal verschillend in grootte.

Wat verder de longitudinale trillingen betreft, die in het kristal tegelijk met de transversale kunnen worden voortgeplant, Neumann en Lamé hebben deze soort van trillingen niet in hun berekening opgenomen. Ook Fresnel spreekt er, naar ik meen, niet van. Cauchy en Briot doen dit wel. Daar bij hen de transversale trillingen echter niet volkomen in het golfvlak plaats hebben, zal deze derde soort van trillingen bij hen ook niet volkomen longitudinaal kunnen zijn, daar zij ook bij hen plaats hebben in een richting loodrecht op de beide andere trillingen, en dus niet volkomen loodrecht zijn op het golfvlak. Briot noemt ze daarom quasi-longitudinale trillingen, evenals hij de beide andere quasi-transversale trillingen noemt. Bij Fresnel daarentegen zouden deze trillingen volkomen longitudinaal zijn. Of men met Neumann's hypothese ook de longitudinale tril-

lingen in de beschouwing kan opnemen, is mij onbekend. Ik twijfel daaraan eenigszins, omdat deze trillingen bij de verschijnselen, welke isotrope stoffen opleveren, in deze theorie zoo moeilijk een plaats schijnen te kunnen vinden. Als men ze op kan nemen, zullen zij bij Neumann ook volkomen longitudinale trillingen moeten zijn.

Wij zien dus, de richting der transversale trillingen in een dubbelbrekend kristal ten opzichte van de voortplantingsrichting dier trillingen, of den zoogenaamden lichtstraal, is niet met alle hypothesen dezelfde. In den vrijen ether, alsmede in den ether in isotrope stoffen bevat, neemt men immer aan, dat de transversale of lichttrillingen plaats hebben in het golfvlak, loodrecht op de richting van den straal. In overeenstemming hiermede vinden Neumann en Lamé hetzelfde in dubbelbrekende middelstoffen. Bij hen zijn de lichttrillingen immer in het golfvlak gelegen en tevens loodrecht op den straal. Bij Fresnel daarentegen zijn die trillingen wel in het golfvlak gelegen, doch in het algemeen niet meer loodrecht op den straal. De bepaling van licht zal in Fresnel's theorie dus niet kunnen wezen, dat licht wordt opgewekt door die trillingen, welke loodrecht zijn op de richting van den straal of, wat hetzelfde is, op de richting, waarlangs de trillingen zich voortplanten; want hiermede zouden de buitengewone stralen in dubbelbrekende kristallen in tegenspraak zijn. Wilde men deze definitie behouden, dan zou men moeten aannemen, dat van de trillingen van den buitengewonen straal van Fresnel, die in het golfvlak plaats hebben, slechts die componenten in staat is licht op te wekken, die loodrecht is op de richting van voortplanting der trillingen. Dit is echter, naar ik meen, een ongebruikelijke opvatting. Doet men dit dus niet, dan zal men in Fresnel's theorie moeten

zeggen: licht wordt opgewekt door die soort van trillingen, welke plaats hebben in het golfvlak; terwijl men dan aan die soort van trillingen den naam van transversale zal moeten geven, en niet meer, zooals dit gewoonlijk gedaan wordt, aan diegene, welke slechts loodrecht op den straal zijn. Deze bepaling der lichttrillingen geldt echter natuurlijk ook in Neumann's theorie. In deze hebben de lichttrillingen toch ook altijd in het golfvlak plaats.

Wat de longitudinale trillingen betreft, van deze moet men in Fresnel's theorie dan ook de bepaling geven, dat zij plaats hebben loodrecht op het golfvlak; niet meer kunnen wij zeggen, dat zij plaats hebben in de richting van den straal, zooals deze anders gewoonlijk bepaald worden.

Daar verder in Cauchy's en Briot's theoriën in het algemeen geen der trillingen echte transversale trillingen zijn, zooals wij ze boven omschreven hebben, en dus ook de longitudinale trillingen hierin niet plaats hebben loodrecht op het golfvlak, zoodat zij slechts quasi-transversale en quasi-longitudinale trillingen zijn, zal men, óf moeten aannemen, dat de boven gegeven bepaling der lichttrillingen en der longitudinale trillingen niet de ware is, óf dat Cauchy's en Briot's quasi-transversale trillingen geen echte lichttrillingen, en hun quasi-longitudinale trillingen geen echte longitudinale trillingen zijn. Dit laatste komt mij wel het beste voor. Dit doet dan ook Briot. Deze meent toch, dat deze quasi-longitudinale straal door zijn transversale componenten een zwak lichtverschijnsel opwekt, en dat het niet onmogelijk is, dat men dit lichtverschijnsel in gunstige omstandigheden kan waarnemen. ¹⁾ Eveneens zal men dan

¹⁾ Briot, *Essais, etc.*, Préface, p. XII.

ook moeten aannemen, dat de buitengewone stralen niet geheel en al tot het opwekken van licht medewerken, doch slechts door die componente, welke in het golfvlak gelegen is. Op de verschijnselen zal dit in het algemeen geen merkbaaren invloed kunnen hebben, daar de longitudinale componente dier stralen slechts zeer gering en de verzwakking der lichtintensiteit van dien straal dus ook zeer klein zal zijn.

Aan deze beschouwingen over de richting der trillingen volgens de verschillende theoriën, willen wij hier nu nog eenige opmerkingen toevoegen over de beteekenis van het polarisatievlak in beide theoriën.

Het polarisatievlak neemt in de dubbele straalbreking en het daaraan zeer verwante di- en trichroïsmus een zeer belangrijke plaats in. Het is toch door de proeven aangetoond, dat de eigenschappen van een lichtstraal, zoowel zijn voortplantingssnelheid, als de grootte der absorptie welke hij ondergaat, in een nauw verband staan met de richting van het polarisatievlak van dien straal ten opzichte der kristalassen. Deze eigenschappen zijn namelijk in eenzelfde kristal voor eenzelfde richting van het polarisatievlak ten opzichte der assen altijd dezelfde; met de richting van dat vlak veranderen echter tevens deze eigenschappen. Is dit waar, dan zal volgens Neumann dit vlak moeten samenvallen met het trillingsvlak, volgens Fresnel loodrecht moeten zijn op de trillingsrichting. Bij Neumann is het toch de richting van het trillingsvlak, bij Fresnel de trillingsrichting, die de eigenschappen van den lichtstraal bepaalt. In Neumann's theorie gaat het polarisatievlak dus door den straal en de trillingsrichting, is echter in het algemeen niet loodrecht op het golfvlak; bij Fresnel staat het loodrecht op de trillingsrichting, is dus altijd loodrecht op het

golfvlak, gaat echter in het algemeen niet door de richting van den straal. Evenals bij Fresnel zal men in Cauchy's en Briot's theoriën moeten aannemen, dat het polarisatievlak loodrecht is op de trillingsrichting; het zal hier echter in het algemeen niet volkomen loodrecht zijn op het golfvlak, doch daarbij tevens niet gaan door de richting van den straal. De proef zou dus misschien kunnen uitmaken, welk dezer vlakken het wezenlijke polarisatievlak is, want deze vlakken zullen in de verschillende theoriën noodwendig eenigszins andere richtingen moeten hebben. Naar ik meen zal de waarneming dit echter niet kunnen beslissen, voorcerst omdat die verschillen in de richting van het polarisatievlak altijd slechts zeer klein zijn, maar vooral omdat het verschil, of het polarisatievlak al of niet door de richting van den straal gaat, slechts voor het inwendige van het kristal bestaat, en het wel niet mogelijk is in die middelstof waarnemingen te doen. Zoodra de straal weder uit het kristal getreden is, zal dit verschil niet meer kunnen bestaan. Om soortgelijke reden meen ik, dat men ook Briot's meening, dat de quasi-longitudinale trillingen ook eenig licht kunnen opwekken, niet zal kunnen bevestigen, daar ook deze proef in het inwendige van het kristal zou moeten geschieden.

Uit al het voorgaande volgt dus, dat de verschijnselen bij dubbelbrekende kristallen niet in staat zijn het geschil omtrent de richting der trillingen op te lossen. In den loop onzer redencering zijn wij echter tot belangrijke verschillen gekomen omtrent de opvatting der trillingen, waardoor licht kan worden opgewekt. Uit alles is gebleken, dat in Fresnel's theorie de voortplantingsrichting van het licht geen belangrijke rol speelt, dat daarin slechts het golfvlak en de trillingsrichting de eenige belangrijke elemen-

ten zijn. In Neumann's theorie daarentegen voegt zich bij golfvlak en trillingsrichting nog de richting van den straal als een element, hetgeen in de beschouwingen niet mag verwaarloosd worden. Dat dit verschil zich niet reeds geopenbaard heeft bij de beschouwing der verschijnselen in isotrope stoffen, is wel hieraan toe te schrijven, dat in die stoffen de straal en de normaal op het golfvlak samen- vallen, zoodat daar door het golfvlak ook de straal, en omgekeerd door den straal ook het golfvlak bekend is.

HOOFDSTUK III.

WELKE UITKOMSTEN GEVEN ONS DE BUIGINGS- VERSCHIJSSELEN?

Het was Stokes, die in 1849 zich meer bepaald met de buigingsverschijnselen bezig hield in verband met de trillingsrichting in het gepolariseerde licht. Reeds vóór hem hadden Fresnel en anderen de buigingsverschijnselen theoretisch trachten te verklaren. Dat men deze verschijnselen zou aanwenden om de trillingsrichting te bepalen, was niet bij hen opgekomen, en wegens den aanvangstoestand, waarin ten tijde van Fresnel de lichttheorie nog verkeerde, was het wel niet te verwonderen, dat deze groote natuurkundige dat verband nog niet vond. Stokes' arbeid ¹⁾ over de buigingsverschijnselen is dan ook de eerste, die uit die verschijnselen de trillingsrichting trachtte af te leiden. De wijze, waarop hij theoretisch tot die buigingsverschijnselen trachtte te komen, was een zeer algemeene. Hij begint met de uit de elasticiteitsleer verkregen vergelijkingen voor de kleine bewegingen der deeltjes van vaste lichamen, toe te passen op het algemeene geval, dat er lichttrillingen zijn opgewekt in eenigerhande middelstof, en gaat hiervan over

¹⁾ Transactions of the Cambridge Philosophical Society, t. 9, p. 1.

tot de bewegingswetten in een secundaire lichtgolf. Hij beschouwt dan namelijk de beweging in eenig punt opgewekt door een klein gedeelte van zulk een secundaire vlakke lichtgolf. Dit is toch het geval, dat in de buigingsverschijnselen moet worden beschouwd. Zijn analyse voert hem dan tot de volgende besluiten. Is het invallende licht gepolariseerd, dan is dit ook het geval met het gebogen licht. Verder, het trillingsvlak in den gebogen lichtstraal is altijd evenwijdig aan de richting der trillingen van den invallenden straal. Noemen wij dus den buigingshoek θ , d. i. den hoek tusschen de invallende en gebogen stralen; het vlak door die beide lichtstralen gelegd heete het buigingsvlak. Stellen verder α_i en α_d de hoeken voor, welke de trillingsvlakken der invallende en gebogen stralen maken met vlakken, die door deze stralen gebracht zijn loodrecht op het buigingsvlak; dan volgt, uit de bovengenoemde door Stokes gevonden uitkomst, de volgende betrekking tusschen de hoeken α_i en α_d :

$$\operatorname{tg} \alpha_d = \cos. \theta \operatorname{tg} \alpha_i.$$

Uit deze formule vloeien de volgende gevolgen voort. Laten wij het trillingsvlak van den invallenden straal om dien straal draaien, en beschouwt men den gebogen straal altijd onder denzelfden buigingshoek, dan zal ook het trillingsvlak van den gebogen straal om een zekeren hoek om dezen straal gedraaid zijn. Beschouwt men nu achtereenvolgens zulke invallende stralen, waarvan de trillingsvlakken telkens om een zoodanigen hoek gedraaid zijn, dat al die trillingsvlakken eenparig verdeeld zijn over de geheele ruimte van 360° , dan zullen de corresponderende trillingsvlakken van den gebogen straal volgens bovenstaande formule niet eenparig over de ruimte van 360° verdeeld

kunnen zijn. Want, daar $tg \alpha_i$ altijd grooter zijn zal dan $tg \alpha_d$, zullen de trillingsvlakken van den gebogen straal altijd een kleineren hoek moeten maken met het vlak loodrecht op het buigingsvlak, dan de trillingsvlakken van den invallenden straal. Er zal dus als het ware een ophooping zijn van de trillingsvlakken van den gebogen straal naar de zijde van het vlak loodrecht op het buigingsvlak.

Is dit zoo, dan zou de proef dit moeten bevestigen, als men het trillingsvlak slechts kon waarnemen. Daar echter het trillingsvlak als zoodanig niet zichtbaar gemaakt kan worden, kunnen wij door de proef de waarheid der voorgaande formule ook niet bevestigen, zoolang wij niet de betrekking kennen tusschen trillingsvlak en polarisatievlak. Nemen wij echter Stokes' formule als waar aan, dan zullen de proeven ons het verband tusschen trillingsvlak en polarisatievlak kunnen leeren kennen.

Volgens Fresnel's zienswijze zullen toch, bij een eenparige verdeling der polarisatievlakken van den invallenden straal over de ruimte van 360° , de polarisatievlakken van den gebogen straal zich moeten ophoopen naar de zijde van het buigingsvlak, daar zij hier loodrecht zijn op de trillingsvlakken. Volgens Neumann's zienswijze daarentegen zullen zij zich juist naar de zijde van het vlak loodrecht op het buigingsvlak moeten ophoopen, daar zij hier samenvallen met de trillingsvlakken. Noemen wij namelijk α en $\tilde{\omega}$ de hoeken tusschen de polarisatievlakken en de vlakken loodrecht op het buigingsvlak voor invallende en gebogen stralen, dan hebben wij volgens Fresnel:

$$tg \alpha = \cos. \theta \, tg \tilde{\omega},$$

of $tg \tilde{\omega}$ grooter dan $tg \alpha$; volgens Neumann:

$$tg \alpha = \sec. \theta \, tg \tilde{\omega},$$

of $tg \tilde{\omega}$ kleiner dan $tg \alpha$. Neemt men dus het buigingsvlak

als horizontaal aan, dan zal het meer of minder steil zijn van het polarisatievlak van den gebogen straal, dan van dat van den invallenden straal, voor Neumann's of voor Fresnel's hypothese pleiten, altijd, en dit is wel in het oog te houden, wanneer Stokes' formule als waar mag beschouwd worden.

Door zijn proeven, waarop wij later nog zullen terugkomen, kwam Stokes tot Fresnel's zienswijze omtrent de trillingsrichting.

Als tweede poging om door middel van de buigingsverschijnselen tot de gezochte richting der trillingen te geraken, moeten wij de proeven van Holtzmann vermelden. ¹⁾ De formule, die deze aan zijn onderzoekingen ten grondslag legt, is dezelfde als die van Stokes. Hij komt tot die formule echter op een andere en zeker veel eenvoudiger wijze. Hij redeneert namelijk als volgt. Laat men op een stelsel verticale groeven een horizontalen rechthoekig gepolariseerden lichtstraal vallen, is dus het buigingsvlak horizontaal, dan heeft het volgende plaats. Ontbindt men den invallenden straal in een met verticale en in een met horizontale trillingen, dan zal de eerste der componenten bij de buiging geen verandering in intensiteit ondergaan. Anders is het met den straal met horizontale trillingen gesteld. Deze trillingen moet men ontbinden in dezulke, die langs, en in zoodanige, die loodrecht op den gebogen straal plaats hebben. Slechts de laatste zullen tot het lichtverschijnsel medewerken. De intensiteit der tweede invallende component is dus door de buiging verminderd, die der eerste is dezelfde gebleven. De trillingsrichting in den gebogen straal zal dus steiler moeten zijn dan die in den invallenden.

¹⁾ Pogg. Ann. t. 99, p. 466.

Is nu de invallende straal loodrecht op het vlak der groeven, s de amplitude van dien straal, en hebben α_i , α_d en θ dezelfde beteekenis als bij Stokes, dan is in den gebogen straal de verticale componente $s \cos. \alpha_i$, de horizontale $s \sin \alpha_i \cos. \theta$, dus:

$$\operatorname{tg} \alpha_d = \frac{s \sin. \alpha_i \cos. \theta}{s \cos. \alpha_i} = \operatorname{tg} \alpha_i \cos. \theta,$$

even als Stokes gevonden heeft.

Behalve Stokes' wijze van handelen, d. i. de onderzoe-king van den stand van het polarisatievlak in den gebogen straal, beproefde Holtzmann tevens nog de volgende methode om door middel van deze formule de trillingsrichting te bepalen. Laat men het gebogen licht door een dubbelbrekend prisma gaan, dat zoo geplaatst is, dat de beide daardoor geziene beelden in een verticale lijn gelegen zijn, dan zal het eene beeld door de horizontale, het andere door de verticale trillingen gevormd worden. De intensiteiten dier beide beelden zullen volgens het vorige tot elkander staan als

$$(\operatorname{tg} \alpha_i \cos. \beta)^2 : 1,$$

of als wij α_i of het azimuth van polarisatie van den inval- lenden lichtstraal gelijk 45° genomen hebben, als

$$\cos.^2 \beta : 1.$$

Het zwakste der beide beelden is natuurlijk afkomstig van de horizontale trillingen. Laat men nu het gebogen licht, voordat het in het prisma treedt, door een nicol gaan met verticale hoofddoorsnede, dan zal op het prisma slechts horizontaal gepolariseerd licht invallen. Er zal dan dus slechts een der beide beelden gezien worden, het andere is vernietigd. Wij kunnen nu, daar bij een eenigszins grooten buigingshoek de beide beelden een merkbaar verschil-

lende intensiteit bezitten, door de proef bepalen, welk dier beide beelden verdwenen is, dat met horizontale of dat met verticale trillingen. Is het zwakste beeld verdwenen, d. i. datgene dat door horizontale trillingen is voortgebracht, dan is, omdat het verticaal gepolariseerde licht moet verdwijnen, de trillingsrichting loodrecht op het polarisatievlak, dus Fresnel's zienwijze de ware. Ware daarentegen het sterkste beeld verdwenen, dan zou Neumann's zienwijze bewezen zijn met de waarheid overeen te komen. In beide gevallen moet men echter wel bedenken, dat dit bewijs slechts zoolang geldt, als Holtzmann's formule blijft gelden. Drukt zijn formule de verschijnselen niet goed uit, dan vervallen ook de uit haar getrokken beschuiten. En juist betwijfelen sommigen, of die formule van Stokes en Holtzmann de verschijnselen, die er bij de door hen genomen proeven plaats hebben, wel juist verklaart. Eisenlohr namelijk, een voorstander van Fresnel's zienwijze, kon zich niet vereenigen met de uitkomsten, welke Holtzmann door zijn proeven verkregen had. ¹⁾ Deze kwamen namelijk, in tegenstelling met de proeven van Stokes, met Neumann's theorie overeen. De juistheid van Holtzmann's proeven schijnt Eisenlohr niet te hebben kunnen betwijfelen, en dit kon hij ook niet, daar hij anders, óf Fresnel's hypothese moest opgeven, óf zijn buigingstheorie, die op Cauchy's beginselen gegrond is. De proeven van Stokes zegt hij niet anders dan hij name te kennen, waarom hij daarover geen oordeel kan vellen.

Bij de proeven van Holtzmann, zoowel als bij die van Stokes, wendt men, om de buiging voort te brengen, groeven aan, die op glas zijn aangebracht. In hun analyse

¹⁾ Zie Eisenlohr, Pogg. Ann. t. 104, p. 337—342 en p. 361—368.

nemen zij echter deze tweede middelstof, het glas, niet in aanmerking. Het is bij hen, alsof alles slechts in een middelstof, de lucht, plaats had, en dit is in hun proeven ten minste niet het geval. Let men echter op de werking der middelstof, waarop de groeven zijn aangebracht, dan zal men, wegens de terugkaatsing en breking aan die middelstof, veranderingen moeten aanbrengen, in de formules, die de intensiteit en het azimuth van polarisatie van den gebogen straal aangeven. Eisenlohr brengt deze breking en terugkaatsing aldus in rekening. Hij gaat uit van Cauchy's beginselen omtrent de beweging in het grensvlak van twee middelstoffen. Slechts vervangt hij den ellipticiteitscoëfficiënt in de formules van Cauchy door een eenigszins anderen, doch immer ook zeer kleinen coëfficiënt, waardoor Cauchy's formules echter geen wezenlijke verandering ondergaan. Hij neemt nu aan het grensvlak van glas en lucht de volgende stralen aan, aan de eene zijde de gebogen en teruggekaatste stralen, aan de andere zijde den gebroken straal, welke de waargenomen gebogen straal der proeven is. Hoe stelt hij zich dus voor, dat de proeven plaats hebben? Hij neemt aan, dat een horizontale gepolariseerde lichtstraal onder rechte hoeken invalt op een verticale glasplaat, die aan de tegenovergestelde zijde met verticale groeven voorzien is. Bij het intreden van het licht in de glasplaat, heeft dan geen afwijking plaats van het licht van zijn voortplantingsrichting, evenmin als een verandering in den stand van het polarisatievlak van dien straal. Aan het tweede grensvlak der glasplaat zal nu volgens hem, dit moet men ten minste uit zijn wijze van handelen opmaken, nog voor het uittreden van den lichtstraal uit de glasplaat de buiging plaats hebben, waarna de dan gebogen straal de gewone wetten der straalbreking volgt. Volgens Eisenlohr

zal dus de waargenomen buigingshoek niet de ware buigingshoek zijn; deze zal kleiner moeten zijn dan de waargenomen hoek, daar hij bij de breking uit glas in lucht grooter geworden is.

Zijn dus α_i en α_d de hoeken tusschen de trillingsvlakken en de verticale vlakken, loodrecht op het buigingsvlak door de stralen gelegd, voor de invallende en waargenomen gebogen stralen, verder θ' de ware buigingshoek in het inwendige van het glas, θ de waargenomen buigingshoek, zoodat, als n de brekingsexponent van glas en lucht voorstelt $n \sin \theta = \sin \theta'$ is; zijn verder nog λ de golflengte van de gewone lichtstralen in glas, λ_a en λ'' de golflengten der longitudinale stralen in glas en lucht, $l_a \sqrt{-1} = \lambda_a$ en $l'' \sqrt{-1} = \lambda''$, zoodat $\frac{\lambda}{l_a}$ en $\frac{\lambda}{l''}$ de absorptiecoëfficiënten voorstellen in glas en lucht, d. i. de verhoudingen, volgens welke de longitudinale trillingen bij de voortplanting langs een weg $\frac{\lambda}{2\pi}$ afnemen, dan vindt hij de volgende betrekking tusschen α_i en α_d :

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha_d \frac{\cos (\theta - \theta')}{1 - 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \cdot \frac{l'' l_a}{\lambda^2}}.$$

Zet men hierin voor n en voor $\frac{l_a l''}{\lambda^2}$ de voor gewoon glas geldende waarden, dan vindt Eisenlohr, dat zijn formule nog iets beter overeenstemt met Holtzmann's proeven, dan diens eigen formule. Volgens Eisenlohr zouden Holtzmann's proeven dus juist voor Fresnel's hypothese getuigen.

Wij moeten echter opmerken, dat Eisenlohr's hypothese, dat de buiging zou plaats hebben, voordat de straal uit het glas uittreedt, een zeer willekeurige is. Men zou even goed kunnen aannemen, dat zij eerst plaats heeft, nadat

de straal uit het glas in de lucht is overgegaan; dan zou er echter geen verandering van den straal door breking plaats hebben, daar de straal het glasplaatje dan in een richting loodrecht op beide grensvlakken doorgaat. Bij roetgroeven, zooals zij door Holtzmann gebruikt zijn, zijn de groeven geheel buiten op het glas aangebracht. Voor dit geval komt mij daarom de tweede hypothese zelfs waarschijnlijker voor dan die van Eisenlohr. Ook Stokes bespreekt reeds deze zaak, waar toch de buiging plaats heeft. Voor hem is het het waarschijnlijkst, dat de buiging plaats heeft in de middelstof, die geplaatst is voor de groeven. Stokes gebruikte als buigingsmiddel sijn gegroefde glasplaten. In sommige zijner proeven waren deze naar den invallenden straal gekeerd, in andere daarvan afgekeerd. Daar hier de groeven niet zoo zeer op het glas zijn aangebracht als bij de roetgroeven, maar meer in het glas, kan het wel zijn, dat de buiging hier ook op een andere plaats geschiedt, als bij de roetgroeven. Hier heeft zij misschien wel in het glas zelf plaats. Dan zal er echter een verschil zijn, of men de groeven naar den invallenden lichtstraal toe-, of ze daarvan afkeert. In het eerste geval zou de buiging dan plaats hebben na den overgang van de lucht in het glas, in het tweede geval voor den overgang van het glas in de lucht. Ware dit zoo, dan zouden de buigingsverschijnselen bij Stokes in beide gevallen eveneens plaats hebben, als in Eisenlohr's formule vereischt wordt. Dan zouden Stokes' proeven echter tegen Fresnel's en voor Neumann's zienswijze pleiten. Doch het is, naar mijne meening, voor als nog onmogelijk te bepalen, waar de buiging plaats heeft, in de middelstof voor of in die na de groeven, en eveneens of dit voor alle buigingsgroeven op dezelfde plaats geschiedt. Deze beschouwingen omtrent de plaats, waar de buiging

geschiedt, dienden niet om over dit punt een beslissend oordeel uit te spreken; daartoe meen ik, dat men bij de tegenwoordige kennis der buigingsverschijnselen nog niet in staat is; zij dienden slechts om aan te toonen, dat de hypothese, die voor Eisenlohr's formule daaromtrent vereischt wordt, een volkomen willekeurige is, zoodat ook Eisenlohr's besluiten, uit Holtzmann's proeven getrokken, alle geldigheid missen. Had hij aangenomen, dat de buiging eerst in de lucht achter de groeven plaats had, dan zou de straal geen verandering door breking hebben ondergaan; Holtzmann's formule zou dus de verschijnselen goed weêrgeven, en diens proeven zouden voor Neumann's hypothese pleiten.

Na de vermelde proeven moeten wij nog die van Lorenz beschouwen. ¹⁾ Lorenz begint zijn verhandeling met de onvolledigheid van Stokes' analyse aan te toonen, daar deze bij de secundaire lichtopwekking den teruggekaatste straal niet in zijn beschouwing opneemt. Door Cauchy's beginselen toe te passen op de beweging in het buigingsvlak, komt hij echter tot juist dezelfde formule als Stokes en Holtzmann. De veranderingen in den gebogen lichtstraal door de tusschenliggende middelstof, de glasplaat, te weeg gebracht, behandelt hij echter niet, zoodat ook zijn arbeid weder niet volkomen volledig is. De inrichting zijner proeven stemt geheel met die van Holtzmann overeen. Zij geven hem echter juist tegenovergestelde uitkomsten, zoowel die waarbij hij de lichtsterkte der beide horizontaal en verticaal gepolariseerde componenten van den gebogen straal met elkander vergelijkt, als die waarbij hij de draaiing van het polarisatievlak bij de buiging onderzoekt. Hij maakt evenals Holtzmann gebruik van roetgroeven. De eerste soort van

¹⁾ Pogg Ann. t. 111, p. 315.

proeven schijnen door hem wel eenigszins nauwkeuriger te zijn uitgevoerd dan door Holtzmann; zijn tegen Holtzmann's proeven ingebrachte bezwaren schijnen mij echter niet belangrijk genoeg, om daardoor Lorenz' uitkomsten boven die van Holtzmann als de ware aan te nemen, vooral daar die bezwaren niet zijn aan te voeren tegen de tweede soort van proeven, die door Holtzmann gedaan zijn, die omtrent de draaiing van het polarisatievlak bij de buiging.

In den laatsten tijd zijn er nog proeven omtrent dit punt genomen door Mascart. ¹⁾ Hij gebruikte glasgroeven, die, naar hij zegt, van een buitengewone volmaaktheid waren. Als lichtbron gebruikte hij een spleet door Drummond's licht verlicht. Door middel van twee stukken van een zelfde tourmalijn, waarvan de assen gekruist waren, of van een Yslandsch kristal, verkreeg hij twee stralenbundels die in loodrecht op elkander staande vlakken gepolariseerd waren. Deze beide lichtstralen liet hij loodrecht vallen op de glasgroeven, waarbij de groeven van de invallende stralen waren afgekeerd, en die verder zoodanig geplaatst waren, dat het polarisatievlak van den eenen stralenbundel evenwijdig was aan de richting der groeven, zoodat het polarisatievlak van den tweeden stralenbundel dus loodrecht op de richting der groeven was. Hij beschouwde nu de buigingsbeelden met een astronomischen kijker, en zag dan twee elkander gedeeltelijk bedekkende spectra, die van de beide stralenbundels afkomstig waren. Bij eenigszins groote buigingshoeken (grooter dan 30°) kon hij een duidelijk verschil in intensiteit der beide spectra opmerken, terwijl dat van den stralenbundel, die evenwijdig aan de groeven

¹⁾ Comptes rendus t. 63, N^o. 24 (10 Décembre 1866) p. 1005 en daaruit overgenomen L'Institut, 12 et 19 Décembre 1866.

gepolariseerd was, dan altijd het zwakste was. Tot hetzelfde resultaat kwam hij door de buigingsspectra te beschouwen, die bij terugkaatsing ontstonden, wanneer de groeven natuurlijk naar de invallende stralen waren toegekeerd. Uit deze proeven meende hij tot Fresnel's zienswijze omtrent de trillingsrichting te mogen besluiten, daar hij Stokes' formule als de ware aannam. Verder heeft hij nog de verhoudingen tusschen de intensiteiten der beide spectra voor verschillende buigingshoeken trachten te bepalen, en deze verhoudingen daarna met de uit Stokes' formule voor die buigingshoeken berekende waarden vergeleken. De overeenstemming tusschen de berekende en waargenomen waarden is hier vrij juist, doch niet zoo volkomen, dat zij als beslissende bewijzen voor Fresnel's zienswijze zouden kunnen gelden. Doch ook al was de overeenstemming volkomener geweest, ook dan nog zouden deze proeven, zooals wij gezien hebben, nog verschillend kunnen worden uitgelegd. Ik meen deze proeven van Mascart, wat hare waarde betreft, op dezelfde lijn met die van Stokes te mogen stellen, daar beiden zich van dezelfde soort van groeven bediend hebben.

In de zitting van 28 Januari 1867 van de Académie des Sciences te Parijs, is er verder nog een mémoire ingekomen van Ph. Gilbert, waarvan wij hier nog willen melding maken. ¹⁾ Hij wil, naar het schijnt, het geschil omtrent de trillingsrichting ook door buigingsproeven laten beslissen, wil echter geen groeven aanwenden, maar eenvoudig het door een kleine opening gebogen licht onderzoeken. Het verschil in intensiteit van het gebogen licht,

¹⁾ Comptes rendus t. 64, N^o. 4, 28 Janvier 1867, p. 161, en daaruit overgenomen L'Institut, 30 Janvier 1867.

naargelang het afkomstig is van invallend licht, dat gepolariseerd is in, of van licht, dat gepolariseerd is loodrecht op het buigingsvlak, zou dan volgens hem de trillingsrichting aangeven. Dat licht, hetwelk het minst heldere buigingsbeeld gaf, zou in het buigingsvlak moeten trillen, daar dat licht, wegens de longitudinale componenten der trilling langs de richting van den gebogen straal, door de buiging het meest zou moeten verzwakt worden. Men ziet Gilbert's redeneering is eigenlijk dezelfde, als die van Holtzmann, ¹⁾ slechts wil hij de proeven eenigszins anders inrichten. Gilbert zelf schijnt echter niet volkomen op deze door hem voorgeslagen proef te vertrouwen, wegens de storende invloeden, die haar zouden kunnen bederven. Hij schijnt haar dan ook niet te hebben uitgevoerd. ²⁾

¹⁾ Zie bl. 79.

²⁾ Zijn overige redeneeringen en zijn mathematische analyse schijnen mij minder juist toe. De intensiteitsvermindering of degradatie van het licht, zooals hij het noemt, dat door een kleine rechthoekige opening wordt waargenomen in een richting, die met het vlak van die opening een scheeven hoek maakt, zou volgens hem slechts daaraan zijn toe te schrijven, dat een gedeelte der trillingen daarbij voor de lichtverschijnselen verloren gaat, wegens hare longitudinale componenten volgens de richting van den gebogen straal, terwijl daartoe in geenen deele zou medewerken de interferentie der verschillende door het rechthoekje uitgezonden stralen. Tot dit laatste besluit hij uit de uitkomsten zijner analyse. Dus zou volgens hem het licht met trillingen loodrecht op het buigingsvlak in het geheel niet verzwakt worden door de buiging, en zou voor zulk licht, het gebogen licht dezelfde intensiteit bezitten, onverschillig hoe groot de buigingshoek is, zoo de afstanden van de tegenoverstaande zijden van het rechthoekje tot het punt van waarneming slechts om een oneven aantal halve golflengten van elkander verschillen. Voor zulk licht zouden dus, altijd volgens Gilbert, de door de buiging voortgebrachte franjes in hare geheele uitgestrektheid dezelfde intensiteit moeten bezitten, slechts de afstand tusschen de verschillende franjes zou voor de verschillende buigingshoeken verschillend zijn. Ik meen, dat

Wij hebben dus gezien, dat de proeven van Holtzmann niet met die van Stokes, Lorenz en Mascart overeenstemmen. Die van Stokes en Mascart schijnen mij toe het minst volkomen te zijn, daar de door hen gebruikte gegroefde glasplaten vele storingen hebben moeten veroorzaken door de ongelijkheden, welke bij zulke groeven wegens de wijze van vervaardiging niet te vermijden zijn. Die van Lorenz en Holtzmann staan echter dan nog altijd tegenstrijdig tegen elkander over, en het is moeilijk een dezer beide proeven als verkeerd te beschouwen. Ik meen dus, dat de verschillende uitkomsten moeten worden toegeschreven aan toevallige verschillen in de groeven, die zij gebruikt hebben, en dat dus geen dier proeven als beslissend kan worden aangemerkt. Het verschil in de lichtintensiteit der beide componenten van den gebogen straal, en dus ook de draaiing van het polarisatievlak bij de buiging is

dit niet met de proeven in overeenstemming is. Deze uitkomst van Gilbert schrijf ik dan ook alleen daaraan toe, dat zijn analyse verkeerd is. Zijn vergelijking:

$$\Sigma d\omega = a d\zeta \cdot \mu a \sin \zeta = \mu a^2 \sin \zeta d\zeta$$

moet toch naar mijne meening aldus luiden:

$$\Sigma d\omega = a d\zeta \cdot \mu \cdot 2 a \sin \frac{1}{2} \zeta = 2 \mu a^2 \sin \frac{1}{2} \zeta d\zeta,$$

en daar ζ bij hem niet zeer klein, maar alle, zelfs groote waarden kan bezitten, mag men hier niet voor $2 \sin \frac{1}{2} \zeta$ schrijven $\sin \zeta$. Hierdoor zullen dus natuurlijk zijn uitkomsten veranderingen ondergaan, en de zoo vreemde door hem verkregen uitkomsten zullen verdwijnen.

Niettegenstaande dus beide soorten van licht een vermindering in hun intensiteit ondergaan met het grooter worden van den buigingshoek, meen ik toch, dat het gedeelte zijner redeneering, waarop zijn proeven berusten, juist is, immer als men niet op storende invloeden let, daar het licht met trillingen in het buigingsvlak toch een grootere verzwakking zal moeten ondergaan, dan dat met trillingen loodrecht op het buigingsvlak, wegens het ontbreken van een longitudinale componenten volgens de richting van den gebogen straal bij het laatstgenoemde licht.

namelijk altijd klein, daar men wegens den aard der proeven niet bij zeer groote buigingshoeken kan waarnemen. Storingen der proeven door onregelmatigheden in de groeven zullen dus reeds groote veranderingen in de uitkomsten kunnen te weeg brengen. Verder is het niet onmogelijk, dat ook de aard der buigende lichamen invloed heeft op de polarisatie van den gebogen straal, zooals Stokes meent te moeten veronderstellen wegens het niet overeenstemmen van zijn uitkomsten met die door Holtzmann verkregen. ¹⁾ Voor grootere buigingshoeken vindt Stokes dit zelfs niet onwaarschijnlijk, al heeft ook volgens Fresnel's proeven de aard van het buigende lichaam geen invloed op de buigingsverschijnselen bij kleinere buigingshoeken. Stokes toont, om dit zijn gevoelen te staven, namelijk aan, dat de verschijnselen in den gebogen straal slechts veroorzaakt worden door die bewegingen, welke zeer nabij de kanten der groeven plaats hebben, dat die in het midden der groeven daartoe niet medewerken. Hoe grooter de buigingshoek wordt, des te kleiner zal dit medewerkende gedeelte aan de kanten worden. De invloed dier kanten wordt dus al grooter, en zal misschien bij zulke grootere buigingshoeken niet verwaarloosd mogen worden. Al is deze redeneering van Stokes nu, ten minste wat mij aangaat, niet volkomen overtuigend, zoo toont zij toch wel aan, dat men voor het tegenwoordige niet kan zeggen, of de aard van het buigende lichaam al of niet invloed uitoefent op de verschijnselen.

Dat de voorgaande proeven niet als beslissend mogen aangemerkt worden, daartoe zouden wij zelfs dan moeten besluiten, al stemden zij ook alle met elkander overeen.

¹⁾ Phil. Magaz. (1857) t. 13, p. 159.

De merkwaardige proeven van Fizeau ¹⁾ omtrent de polarisatieverschijnselen bij de buiging hebben namelijk geleerd, dat deze verschijnselen wegens uiterst fijne en moeilijk juist te bepalen verschillen in de buigende lichamen zeer verschillend kunnen zijn. Er schijnen dan namelijk, behalve de gewone interferentie, die bij de buiging wordt aangenomen, nog andere interferentieververschijnselen in het spel te komen, die voornamelijk afhangen van den vorm en de breedte der groeven of der spleet, die men als buigingsmiddelen gebruikt, van de invallingshoeken en van de buigingshoeken der stralen. Uit die proeven van Fizeau blijkt dus, dat er hier zoo vele zaken in aanmerking genomen moeten worden, wier nauwkeurige waarneming uiterst moeilijk is, dat het niet te verwonderen is, dat men door verschillende groeven te gebruiken verschillende uitkomsten verkregen heeft. Het tegendeel, dat allen juist hetzelfde zouden gevonden hebben, zou mij meer verwonderd hebben.

Maar ook al ware het mogelijk geweest de draaiing van het polarisatievlak bij de buiging juist te bepalen, met inachtneming van al de invloeden, die storend op die verschijnselen zouden kunnen werken, ook dan nog zouden de proeven geen beslissing omtrent de trillingsrichting hebben kunnen geven, zoo men daarbij niet tevens gelet had op de veranderingen in die verschijnselen, voortgebracht door de mogelijk plaats hebbende breking en terugkaatsing aan de grensvlakken van de middelstof, waarop de groeven zijn aangebracht. Om echter de daardoor veroorzaakte veranderingen in rekening te kunnen brengen, moet men, zooals uit de beschouwingen over Eisenlohr's formule ge-

¹⁾ Compt. rend. (1861) t. 52, p. 267 en p. 1221, of Ann. de Ch. et de Ph. (3) t. 63, p. 385.

bleken is, weten, waar of de buiging plaats heeft, in de middelstof voor, of in die achter de groeven. Dit is voornog echter niet te bepalen, zoodat ook dit een der redenen is, waarom men geen beslissing van de buigingsverschijnselen verwachten kan.

Daar het nu uit het voorgaande gebleken is, dat de vele oorzaken, die tot het voortbrengen van een buigingsverschijnsel schijnen te kunnen medewerken, voor een groot gedeelte nog zeer in het duister liggen, meen ik, dat dit mijn besluit wel gerechtvaardigd is, dat de buigingsverschijnselen tegenwoordig onmogelijk een beslissing kunnen geven in den strijd over de trillingsrichting van den ether in het rechthoekig gepolariseerde licht.

HOOFDSTUK IV.

VERSCHILLENDE PROEVEN, WAARDOOR MEN DE TRILLINGS- RICHTING HEEFT WILLEN BEPALEN.

In dit hoofdstuk neem ik mij voor van nog eenige proeven melding te maken, die zich ten nauwste aansluiten aan reeds vermelde proeven, doch die tevens weder genoeg van deze verschillen om ze afzonderlijk te behandelen. Zoo behooren de te vermelden proeven van Quincke en Dale zeker tot die over de brekingsverschijnselen; die van Ångström konden ook wel in het hoofdstuk over de dubbele straalbreking behandeld zijn; terwijl andere proeven van dezen, alsmede de beschouwingen van Babinet, zich zeker aansluiten aan onze beschouwingen in het hoofdstuk over de buigingsverschijnselen. Doch daar wij tot de juiste beoordeeling der hier bedoelde proeven zullen moeten gebruik maken van al hetgeen wij tot nu toe omtrent het verband tusschen de trillingsrichting en de verschillende eigenschappen van licht en ether hebben leeren kennen, meen ik, dat een afzonderlijke overweging dezer onderzoekingen wel gerechtvaardigd is.

Wij beginnen met de onderzoekingen van Quincke over de terugkaatsing en breking van het licht door metalen,

in zoo verre als zij op het door mij behandelde onderwerp betrekking hebben.

Het is bekend, dat de terugkaatsing van gewoon of rechthoekig gepolariseerd licht door metalen een sterke elliptische polarisatie te voorschijn brengt, veel sterker ten minste dan bij niet metalen, zooals bijv. bij glas, onder overigens dezelfde omstandigheden verkregen wordt. Op dit verschijnsel berust de volgende redencering van G. Quincke. ¹⁾ Het licht wordt bij terugkaatsing door glas zoowel als door metalen elliptisch gepolariseerd, doordat de stralen met trillingen loodrecht op en die met trillingen evenwijdig aan het invallingsvlak een phaseverandering ondergaan, die voor beide verschillend is; terwijl verder het verschil tusschen de phaseveranderingen der beide componenten met den invallingshoek verandert. Volgens hem zou nu de loodrecht op het invallingsvlak trillende straal voor alle invallingshoeken dezelfde phaseverandering ondergaan, terwijl dan de andere component een phaseverandering ondergaat, die afhankelijk is van de grootte van den invallingshoek van den straal. Ware ook al het eerste niet volkomen waar, Quincke meent toch te mogen aannemen, dat dat verschil in phase voor de tweede component ten minste aan veel grootere veranderingen onderworpen is, dan dat voor de eerste component. Laat men nu licht door metalen terugkaatsen, dan is voor kleine invallingshoeken de phaseverandering reeds zeer merkbaar, als zij het in door glas teruggekaatste stralen nog niet is. Hierop berust zijn proef. Hij laat stralen interfereeren, die door een vlak teruggekaatst zijn, dat half uit glas half uit

¹⁾ Pogg. Ann. t. 118, p. 445 of Monatsberichte der Berl. Akad. December 1862.

metaal bestaat. Waren die stralen zoodanig, dat hun trillingen plaats hadden loodrecht op het invallingsvlak, dan zouden de interferentiestrepen, voortgebracht door de interferentie van stralen, die beide door glas, en door die van stralen, waarvan de eene door glas, de andere door metaal was teruggekaatst, voor alle invallingshoeken moeten samenvallen, terwijl die strepen daarentegen voor stralen met trillingen evenwijdig aan het invallingsvlak, altijd volgens Quincke's veronderstelling, ten opzichte van elkander verschoven zouden moeten zijn.

Hij richtte zijn proef nu aldus in. Een bundel van evenwijdige lichtstralen, van de zon afkomstig, liet hij vallen op een verticale glasplaat met volkomen evenwijdige vlakken. Door deze teruggekaatst vielen de stralen vervolgens op een tweede verticale glasplaat, die in alle opzichten met de eerste overeenkwam, doch onder een zeer kleinen hoek tegen deze helde. Daardoor kon er een interferentie plaats hebben tusschen de stralen, die door het voorvlak van de eerste plaat en daarna door het achtervlak van de tweede waren teruggekaatst, met die, welke door het achtervlak van de eerste en vervolgens door het voorvlak van de tweede plaat waren teruggekaatst. De stralen, die door de beide voor- of de beide achtervlakken der platen waren teruggekaatst, werden door schermen teruggehouden. Door de teruggekaatste stralen door een sterk brekend prisma te laten doorgaan, verkreeg men een spectrum, waarin men zoowel de interferentiestrepen als die van Fraunhofer goed kon waarnemen, welke beide soorten van strepen men, door de helling der beide glasplaten te veranderen, evenwijdig aan elkander kon maken. De onderste helft van den achterkant der tweede glasplaat was nu met een metaalspiegel bedekt. Men verkreeg daardoor een spectrum,

waarvan het bovenste deel afkomstig was van stralen, die slechts aan de grensvlakken van glas en lucht waren teruggekaatst, terwijl zich in het onderste deel van het spectrum naast die stralen, welke alleen aan de grensvlakken van glas en lucht waren teruggekaatst, ook zoodanige bevonden, die eens aan een grensvlak van glas en lucht en eens aan een grensvlak van glas en metaal waren teruggekaatst.

Dit spectrum werd nu door een nicol beschouwd. Wanneer de hoofddoorsnede van het nicol evenwijdig was gesteld aan het terugkaatsingsvlak, wanneer hij dus slechts loodrecht op dat vlak gepolariseerde stralen beschouwde, vond hij, dat de interferentiestrepen van het onderste gedeelte van het spectrum tegen die van het bovenste gedeelte niet verschoven waren. Daarentegen waren zij wel ten opzichte van elkander verschoven, als hij het nicol om een rechten hoek omdraaide, dus de in het invallingsvlak gepolariseerde stralen beschouwde. Daar deze laatste soort van stralen na de terugkaatsing een grootere intensiteit bezitten dan de eerste, nam men ook zonder nicol waar, dat de strepen in de beide deelen van het spectrum verschoven waren.

Deze uitkomsten zouden dus bewijzen, dat de evenwijdig aan het terugkaatsingsvlak gepolariseerde stralen een grootere verandering in phase ondergaan, dan die, welke loodrecht op dat vlak gepolariseerd zijn. Vergelijken wij deze uitkomst met de door Quincke vooropgestelde theoretische veronderstellingen, dan zou men moeten besluiten tot Neumann's hypothese omtrent de richting der trillingen.

Tot hetzelfde besluit komt Quincke door zijn proeven omtrent het licht, dat door dunne metaalplaten wordt

doorgelaten. ¹⁾ Daaruit vindt hij namelijk ²⁾, dat de componente, die loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerd is, door de breking een geringere phaseverandering ondergaat dan de andere componente, en dat de verandering in phase dezer laatste componente toeneemt met het grooter worden van den invallingshoek. Daar nu volgens Quincke de stralen met trillingen loodrecht op het invallingsvlak een constante phaseverandering moeten ondergaan, zoowel bij de breking als bij de terugkaatsing, brengen hem ook deze proeven over het doorgelaten of gebroken licht tot het aannemen van Neumann's hypothese omtrent de trillingsrichting.

Als wij nu nagaan, of dit bewijs van Quincke als geldig is te beschouwen, zal het wel voorcerst noodig zijn de door Quincke vooropgestelde hypothese omtrent het verband tusschen de phaseverandering en de trillingsrichting nader te onderzoeken. Dat hij aanneemt, dat de phaseverandering voor trillingen loodrecht op het invallingsvlak constant is voor de verschillende invallingshoeken, berust, zooals hij zelf zegt, hierop, dat de weg, door de etherdeeltjes doorloopen, bij deze soort van trillingen geen verandering in richting ondergaat ten opzichte van het brekende vlak, al verandert ook de invallingshoek; terwijl er een verandering in richting van dien weg plaats heeft voor trillingen, die evenwijdig zijn aan het invallingsvlak. Ik had deze redeneering eerder verwacht van een voorstander van Fresnel's hypothese, dan van iemand, die met Neumann's zienswijze instemt, zooals toch Quincke schijnt te doen. Zooals ik namelijk in

¹⁾ Zie zijn verhandeling „Ueber die optischen Eigenschaften der Metalle,” Pogg. Ann. t. 119, p. 363 of Monatsberichte d. Berl. Akad. März 1863.

²⁾ l. c. p. 387.

het hoofdstuk over de dubbele straalbreking heb trachten aan te toonen, in Neumann's theorie is het niet zoo zeer de richting der trillingen, waarop men te letten heeft, dan wel de richting van het trillingsvlak. Nu blijft het trillingsvlak juist voor die componente een zelfde richting behouden ten opzichte van het terugkaatsende of brekende vlak, waarvan de trillingen plaats hebben in het invallingsvlak, terwijl het trillingsvlak van de andere componente met den invallingshoek ook zijn stand verandert ten opzichte van het brekende vlak. Quincke's proeven zouden dus eerder tegen dan voor Neumann's hypothese pleiten. Zij doen het echter eveneens tegen Fresnel's theorie. In deze namelijk moet men juist de door Quincke vooropgestelde hypothese als waar aannemen, doch dan leiden de proeven juist tot het tegenovergestelde van Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting. En inderdaad konden ons Quincke's proeven in den strijd tusschen Neumann's en Fresnel's hypothesen van geen dienst zijn. Want ook al waren zij niet zoo zeer in strijd met beide uitgevallen, ook dan nog zou men ze op beide wijzen even goed kunnen verklaren. Beide theoriën zouden eischen, dat de componente, die in het invallingsvlak gepolariseerd is, een constante phaseverandering verkrijgt bij verschillende invallingshoeken, altijd indien men aanneemt, dat de phaseverandering niet verandert, als in Fresnel's theorie de richting der trillingen, en als in Neumann's theorie de richting van het trillingsvlak geen verandering ondergaat ten opzichte van het brekende vlak. Dit nu vereischen juist de gewone terugkaatsingsformules in beide theoriën, en dit zal daarom waarschijnlijk wel met de waarheid overeenkomen. Deze proeven van Quincke zijn dus met beide theoriën in strijd. Ik meen daarom, dat er nog andere mij onbekende oorzaken ge-

werkt hebben, die in de uitkomsten groote veranderingen hebben gebracht. Welke echter deze oorzaken zijn, ik zal mij niet wagen daaromtrent zelfs een veronderstelling te doen. De inrichting der gebruikte instrumenten, en meerdere bijkomende omstandigheden kunnen zoo licht bij zulke fijne proeven als deze kleine wijzigingen te weeg brengen.

Nog zij slechts opgemerkt, dat Quincke in zijn proeven over de terugkaatsing eigenlijk niet door metaal teruggekaatst licht met door glas teruggekaatst licht vergelijkt, maar door metaal teruggekaatst met door lucht teruggekaatst licht. De verschillende stralen in de beide deelen van het spectrum verschillen toch slechts daarin, dat die van het bovenste gedeelte van het spectrum aan den achterkant van de tweede plaat in glas door lucht zijn teruggekaatst, die in het onderste gedeelte daarentegen op dezelfde plaats in glas door metaal zijn teruggekaatst. Dit kan echter geen verandering brengen in de proeven en de uit haar getrokken besluiten; daar ook de door lucht teruggekaatste straal een veel geringere elliptische polarisatie vertoont, dan die welke door metaal is teruggekaatst.

Ik meen hiermede genoegzaam te hebben aangetoond, dat Quincke's proeven niets bijdragen tot de oplossing van den strijd over de trillingsrichting, en dat zij dit ook niet konden doen.

In een verhandeling »On elliptic polarisation»¹⁾ geeft Dale een andere methode aan om de trillingsrichting te

¹⁾ Report of the sixteenth meeting of the British Association, 1846, Notices and Abstracts p. 7. Men vindt dit ook aangehaald in Moigno, Répertoire d'Optique moderne t. IV, p. 1387; en in een verhandeling van Haidinger, Sitz. Ber. d. Wien. Akad. t. VIII, p. 55 en Pogg. Ann. t. 86, p. 141.

bepalen. Neemt men een glasplaat en laat men daardoor evenwijdig aan de breedte der plaat twee voor interferentie vatbare lichtstralen gaan, die hetzelfde polarisatievlak hebben, namelijk een vlak loodrecht op de lengte der glasplaat. Door de interferentie der beide stralen verkrijgt men dan de bekende franjes. Plaatst men nu de glasplaat in een houten raam, en perst men haar door middel van een schroef in haar midden samen, dan zal men die samenpersing zoo kunnen laten plaats hebben, dat de plaat in de richting harer lengte gebogen wordt. Daardoor zal echter de elasticiteit (of de dichtheid) van den ether aan de bolle en holle zijden der plaat verschillend zijn, daar de deeltjes aan de eene zijde zich evenwijdig aan de lengte der plaat van elkander zullen verwijderd hebben, aan de andere zijde daarentegen tot elkander zullen genaderd zijn. In het vlak loodrecht op de lengte der plaat zullen zich de deeltjes echter bijna niet ten opzichte van elkander verplaatst hebben; in dat vlak zal de elasticiteit (of de dichtheid) van den ether dus ook niet of bijna niet veranderd zijn. Daar de polarisatievlakken der stralen loodrecht zijn op de lengte der plaat, zullen dus, zoo redeneert Dale, zoo de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak en dus evenwijdig aan de lengte der plaat, de beide stralen met verschillende snelheden worden voortgeplant, terwijl, zoo de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak, en dus loodrecht op de lengte, zij met gelijke snelheden zullen worden voortgeplant. In het eerste geval zullen de franjes zich dus verplaatst hebben, in het tweede geval niet, of ten minste bijna niet.

Deze aangegeven proef van Dale is, naar ik meen, noch door hem zelven, noch door eenig ander uitgevoerd. Naar mijn oordeel zou het ook moeite kosten om haar

goed en nauwkeurig uit te voeren. Om namelijk een glasplaatje zoo gelijkmatig te buigen als hiertoe toch noodig zou zijn, dit zou niet gemakkelijk zijn. Doch gesteld het ware mogelijk, ook dan nog zou de proef niet baten. Immers in het hoofdstuk over de dubbele straalbreking hebben wij gezien, dat een straal met trillingen, die een zekere richting hebben, in Fresnel's theorie dezelfde voortplantingssnelheid heeft, als in Neumann's theorie een straal, wiens trillingsvlak loodrecht is op die richting der trillingen in Fresnel's theorie. Dit moet ook in Dale's proef het geval zijn; dus moet ook in die proef een zelfde straal met een zelfde polarisatievlak dezelfde voortplantings-snelheid hebben, om het even of de trillingen plaats hebben loodrecht op of evenwijdig aan dat polarisatievlak. Dale's redeneering gaat dus aan hetzelfde euvel mank, waarin zoovele anderen voor en na hem gedwaald hebben, wanneer hij ook in Neumann's theorie slechts op de trillingsrichting let, en slechts daarvan de voortplantings-snelheid afhankelijk stelt. Deze door Dale voorgeslagen proef kan dus, ook al ware zij niet zoo zeer moeilijk uit te voeren, nooit eenig resultaat opleveren, dat in den strijd over de trillingsrichting beslissend kan zijn.

Een voorstander van de trillingsrichting loodrecht op het polarisatievlak, A. J. Ångström, heeft op verschillende wijzen getracht voor deze zijne zienswijze een bewijs te geven. ¹⁾ Het eerste dier bewijzen is het volgende; ²⁾ hij vindt het in den samenhang, die er volgens hem bestaat tusschen absorptie en geleidingsvermogen. Het schijnt, zegt hij, dat een lichaam de warmte des te beter geleidt,

¹⁾ Pogg. Ann. t. 90, p. 582.

²⁾ l. c. p. 584.

naarmate het meer athermaan is. Uit de proeven van Knoblauch omtrent de verhouding tusschen de intensiteiten der gewone en die der buitengewone stralen in éénassige kristallen weet men nu, dat, zoo men de intensiteit der gewone stralen gelijk 100 aanneemt, die der buitengewone stralen in de volgende kristallen de volgende waarden hebben:

in bruin bergkristal	73
in beryll	21
in tourmalijn	219

Vergelijkt men deze uitkomsten met die door Sénarmont verkregen omtrent het geleidingsvermogen dier kristallen in de verschillende richtingen, dan vindt men, dat bij deze kristallen een straal, die loodrecht op de as er door heen gaat, in een grootere of kleinere verhouding wordt geabsorbeerd, naargelang zijn polarisatievlak evenwijdig is aan de as van het kleinste of aan die van het grootste geleidingsvermogen. Sénarmont vond namelijk, dat bij bergkristal en beryll de kristalas de as van het grootste, bij tourmalijn daarentegen de as van het kleinste geleidingsvermogen is.

Neemt men nu aan, zoo redeneert Ångström verder, dat een grootere absorptie samengaat met een beter geleidingsvermogen, hetgeen men voor een zelfde kristal, d. i. onder overigens gelijke omstandigheden, wel kan aannemen, ofschoon het, naar ik meen, nog geenszins een onomstootelijke waarheid is, dan volgt uit het voorgaande, dat de trillingen in een richting loodrecht op het polarisatievlak plaats hebben.

Hoe komt hij tot dit besluit? Door aan te nemen, dat de absorptie het grootst is, als de trillingen plaats hebben evenwijdig aan de lijn, waarlangs het geleidingsvermogen het grootst is. Dan moeten in bergkristal en beryll

de trillingen van den meest geabsorbeerden straal langs de kristalas, in tourmalijn daarentegen loodrecht op de kristalas plaats hebben. Daar nu bij de beide eerste kristallen het polarisatievlak van die meest geabsorbeerde stralen loodrecht op de kristalas is, bij tourmalijn daarentegen evenwijdig aan de kristalas, zoo komt men hieruit tot de trillingsrichting loodrecht op het polarisatievlak.

Alweder dezelfde fout; die fout, welke Haidinger begaan heeft omtrent het absorptievermogen, en zoo vele anderen omtrent de voortplantingssnelheid, dat deze beide slechts afhankelijk zouden zijn van de trillingsrichting. Te minder mochten wij deze fout in de redeneering van Ångström verwachten, daar deze in het begin zijner verhandeling ¹⁾ juist op Haidinger's arbeid de aanmerking maakt, dat in diens veronderstelling omtrent het verband tusschen absorptie en trillingsrichting een *petitio principii* ligt. Het schijnt wel zeer moeilijk te zijn, dit struikelblok te ontgaan.

Dit geheele bewijs steunt overigens ook op nog niet volkomen vaste gronden. Of staat het verband tusschen geleidings- en absorptie-vermogen reeds zoo vast, als hij dit aangeeft? Ik geloof het niet. Mij schijnt het ten minste toe, dat het gewaagd is het als een hypothese voor op te stellen, en dat het veeleer als een resultaat uit zijn beschouwingen voortvloeit. Doch genoeg hierover. Gaan wij tot zijn tweede bewijs over. ²⁾

In de theorie der dubbele straalbreking vinden zoowel Fresnel als Neumann, dat bij een tweeassig kristal de grootste en kleinste elasticiteitsassen in het vlak der optische assen gelegen zijn. Echter vindt de een de kleinste

¹⁾ l. c. p. 583.

²⁾ l. c. p. 588.

elasticiteitsas, waar de andere de grootste vindt, en omgekeerd. Dit is echter, naar ik meen, niet juist. Beiden vinden dezelfde elasticiteitsassen voor de grootste en kleinste. De grond, waarop zijn bewijs rust, is dus ten eenen male valsch. Wij kunnen dus het verdere beloop zijner redeneering achterwege laten. Echter zij nog opgemerkt, dat de door hem geuite veronderstelling, dat het kristal zich bij verwarming het meest uitzet in de richting der grootste elasticiteitsas, mij op zijn minst zeer gewaagd, zoo niet onwaarschijnlijk voorkomt, en dat verder zijn proeven al zeer slecht met zijn veronderstellingen overeenkomen. Deze toch toonen aan, dat de richting die met de middelste elasticiteitsas overeenkomt voor aragoniet de minste uitzetting verkrijgt, dus zelfs minder dan de richting der kleinste elasticiteitsas; bij gyps daarentegen de grootste uitzetting, dus zelfs meer dan de richting der grootste elasticiteitsas, terwijl toch volgens Ångström's veronderstelling die uitzetting juist het midden moest houden tusschen de uitzettingen volgens de beide andere assen.

Ook uit de draaiing van het polarisatievlak door het magnetismus in sommige stoffen meent hij tot het niet constant zijn van de dichtheid des ethers en dus tot de loodrechte trillingsrichting te kunnen besluiten ¹⁾. Hij meent namelijk, dat deze verschijnselen zich niet zoo goed laten verklaren door een werking van het magnetismus op de ponderabele moleculen dan door eene op de ethermoleculen. Is echter dit laatste waar, dan moet wel de dichtheid van den ether in de stoffen niet constant zijn, daar anders een ongelijke werking in verschillende richting niet te verklaren zou zijn. Dus zou dan volgens Ångström in een homogene stof, als

¹⁾ l. c. p. 592.

glas bijvoorbeeld, waarbij de draaiing zeer goed is waar te nemen, de ether ook geen constante dichtheid bezitten in de verschillende richtingen. Doch dit is wel niet aan te nemen, zelfs al neemt men de zienswijze van Fresnel aan. Zijn redeneering is dan ook verre van overtuigend. De meesten verklaren tegenwoordig deze verschijnselen door een werking op de ponderabele moleculen, waardoor dan natuurlijk ook de toestand van den ether veranderingen ondergaat, mogen deze nu veranderingen zijn in zijn dichtheid of in zijn elasticiteit. Ik zie voorsnog geen reden om van die zienswijze af te wijken.

Voor een vierde en laatste bewijs, hetgeen hij in deze verhandeling geeft ¹⁾, vindt hij de gronden in zijn proeven omtrent den stand van het polarisatievlak in door matte lichamen diffuus teruggekaatst licht. Hij laat licht terugkaatsten door een mat glas, dat aan de achterzijde zwart gemaakt is. Daarmede neemt hij de volgende proeven, waaruit hij tot de trillingsrichting meent te kunnen besluiten. Laat men gepolariseerd licht langs de matte glasplaat heenstrijken, dan vindt hij het volgende. Is dit licht in het invallingsvlak gepolariseerd, zoo verandert het azimuth van polarisatie van het diffuse licht om 90° , als de hoek φ' , dien het diffusievlak (d. i. het vlak gelegd door den diffusen straal en den normaal op de glasplaat) maakt met het terugkaatsingsvlak, van 0° tot 90° toeneemt. Is het licht daarentegen loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerd, dan blijft het polarisatievlak van het diffuse licht onveranderd bij de aangroeiing van φ' van 0° tot 90° . In dit geval maakt het polarisatievlak van het diffuse licht altijd een hoek van 90° met het diffusievlak. Is het inval-

¹⁾ l. c. p. 596.

lende licht gepolariseerd in een willekeurig azimuth en is $\varphi' = 90^\circ$, dan blijft het polarisatievlak altijd onveranderd, als de hock, dien de diffuse straal maakt met den normaal op de glasplaat, verandert tusschen 0° en 90° . Deze verschijnselen laten zich, zooals hij zegt, verklaren, door aan te nemen, dat de trillingsrichting in den diffusen straal dezelfde is, als die in den invallenden straal. Neemt men deze verklaring als de ware aan, en zij verklaart de verschijnselen zeer goed, dan leidt men gemakkelijk uit de tweede aangehaalde proef voor loodrecht op het invalingsvlak gepolariseerd licht de trillingsrichting af. Daar blijft namelijk de stand van het polarisatievlak ten opzichte van het diffusievlak onveranderlijk, al laat men ook φ' veranderen, terwijl het licht, daar het langs de glasplaat heenstrijkt, in het vlak dier glasplaat gepolariseerd is. Die onveranderlijkheid van het polarisatievlak laat zich echter niet verklaren, dan door aan te nemen, dat de trillingen in den invallenden straal en dus ook in de diffuse stralen plaats hebben langs den normaal op de glasplaat, en dus loodrecht op het polarisatievlak. Dit zijn bewijs voor Fresnel's zienswijze is zeker het beste van Ångström's bewijzen. Gaan wij echter nauwkeurig na, of wij het als geldig kunnen aannemen.

Daartoe zal het noodig zijn te onderzoeken, of het geoorloofd is aan te nemen, dat de richting der trillingen bij de diffusie dezelfde blijft. Om hierover te kunnen oordeelen, zullen wij echter eerst moeten weten, wat eigenlijk diffusie is. Ångström zelf noemt het, aan het einde zijner verhandeling, een onregelmatig soort van buiging. Dit is zeer mogelijk. Vooral in zijn proeven, waar het licht langs de glasplaat heenstrijkt, kunnen de onevenheden dier plaat zeer wel buigingsverschijnselen voortbrengen, die

dan als diffusie-verschijnselen worden waargenomen. Is de diffusie hier echter niets dan buiging, dan zal men bij haar, ofschoon misschien minder regelmatig, dezelfde verschijnselen moeten zien plaats hebben als die, welke men gewoonlijk buigingsverschijnselen noemt. De verklaring dier verschijnselen zal dan ook dezelfde moeten zijn als die der buigingsverschijnselen. Nu hebben wij echter in het hoofdstuk over de buiging gezien, dat de theorie dier verschijnselen vordert, dat niet de trillingsrichting, maar het trillingsvlak van den gebogen straal evenwijdig is aan de trillingen van den invallenden straal. Ångström's verklaring zou dus niet geldig zijn voor het geval dat in zijn proeven de diffusie een soort van buiging was. Die proeven laten zich echter niet uit de buigingstheorie verklaren, d. i. door aan te nemen, dat het trillingsvlak in den gebogen straal evenwijdig is aan de trillingsrichting in den invallenden straal. Hierin behoeft men echter nog geen strijd te zien tusschen de verschijnselen en de theorie, noch behoeft men hierom de veronderstelling op te geven, dat deze verschijnselen buigingsverschijnselen zijn. In het hoofdstuk over de buiging heb ik, meen ik, genoegzaam aangetoond, dat de buigingsverschijnselen immer nog zeer onbekend zijn, daar men onmogelijk te voren bepalen kan, hoedanig zij zullen uitvallen; altijd wanneer men slechts op den stand van het polarisatievlak in den gebogen straal let; de andere verschijnselen zijn gemakkelijker vooruit te bepalen. Waren dus in Ångström's proeven buigingsverschijnselen waargenomen, dan heeft zijn bewijs geen waarde.

Men kan zich de diffusie echter ook nog anders voorstellen. Men kan haar beschouwen als een door de onevenheden van het diffundeerende vlak veroorzaakte terugkaatsing naar alle richtingen. Is dit de ware zienswijze, dan

zal men de door Ångström waargenomen verschijnselen moeten kunnen verklaren uit de theorie der terugkaatsing. Daarin past echter volstrekt niet Ångström's verklaring zijner proeven; want, dat de trillingsrichting bij de terugkaatsing voor alle azimuths van polarisatie dezelfde zou blijven, is in strijd met die theorie. En hier toch zal, al is het azimuth van polarisatie van den invallenden straal ten opzichte van het diffundeerende vlak ook immer hetzelfde, dit azimuth ten opzichte van het terugkaatsende vlak voor de verschillende diffusie-stralen telkens een ander moeten zijn. Ook door de diffusie als terugkaatsing te beschouwen, kan men dus Ångström's bewijs niet geldig maken. Zijn verklaring moge dan ook zeer goed passen voor zijn weinige proeven, voor andere proeven zou zij waarschijnlijk niet te gebruiken zijn. Ook het verschil, dat hij maakt tusschen deze door mij aangehaalde proeven en degene, die hij eerst vermeld heeft, en welke hij aan een spiegeling toeschrijft, berust, naar mij voorkomt, niet op zeer vaste gronden. De verhouding van het polarisatievlak bij de diffusieverschijnselen is evenals bij die der buiging nog te weinig vastgesteld, dan dat men uit zijn weinige proeven reeds tot een besluit omtrent de trillingsrichting gerechtigd zou zijn.

Wij moeten hier nog melding maken van een poging van Babinet, die uit twee proeven van Arago meende te mogen besluiten, dat de trillingen plaats hebben in het polarisatievlak ¹). Die beide proeven zijn de volgende:

» 1°. Een wit papier, loodrecht door de zon verlicht, dat zeer schuins beschouwd wordt onder een polariskoop,

¹) Compt. rend. t. 29 (1849), p. 514.

zendt bijna evenwijdig aan de oppervlakte van het papier licht uit, hetwelk een merkbare polarisatie bezit, waarvan het vlak dat van het blad papier is. Aan dit resultaat van Arago heb ik toegevoegd, dat de polarisatie dezelfde is, als men het licht beschouwt, dat in een soortgelijke richting van onder het blad papier uitstroomt.

» 2°. Een metalen plaat, verwarmd tot de witgloei-hitte, die zeer schuins beschouwd wordt, geeft ook dezelfde polarisatie. Men weet dat Arago uit zijn proef het middel gevonden heeft om het licht te onderscheiden, uitgezonden door vaste of vloeibare lichamen van dat, afkomstig van gloeiende gasvormige lichamen (de zon behoort tot deze laatste). Hier kan men geen tegenwerping meer maken met de verschijnselen der terugkaatsing, omdat het lichaam uit zich zelf lichtend is.”

Hierna belooft hij de redenen, die hem roepen uit deze proeven tot Neumann's zienswijze te besluiten, later aan de académie te zullen mededeelen.

Verder heb ik echter niets van hem gevonden. Moigno ¹⁾, bij wien men dit bewijs van Babinet ook vindt aangehaald, meent, dat Babinet hierop zijn bewijs grondt.

Den op het papier invallenden zonnestraal kan men ontbinden in een straal, met trillingen loodrecht op, en in een, met trillingen evenwijdig aan het diffusievlak. De tweede component zou een longitudinalen diffusiestraal geven, en dus geen licht in het oog van den beschouwer opwekken; slechts de eerste component met trillingen loodrecht op het diffusievlak zou dit kunnen doen. De diffusiestraal nu is in het vlak van het papier gepolariseerd, dus hebben de trillingen in het polarisatievlak plaats. Als dit de

¹⁾ Moigno, Répertoire d'Optique moderne t. IV, p. 1366.

ware door Babinet bedoelde of gegeven verklaring is, zal men voor het van de onderzijde van het papier en van de gloeiende plaat uitstroomende licht zeker dezelfde redeneering moeten houden; hier zal echter aan geen onregelmatige terugkaatsing of buiging, maar aan een breking moeten gedacht worden. Daar echter in het vorige bewijs de wijze, waarop men aanneemt, dat de terugkaatsing plaats heeft, naar mijne meening, volkomen verkeerd is, is dit bewijs voor mij ook zonder waarde. De straal met trillingen in het diffusievlak zal namelijk geen diffusen straal geven met longitudinale trillingen, maar een met transversale trillingen, die plaats hebben loodrecht op het vlak van het papier; ten minste als men dit verschijnsel onder die der terugkaatsing rangschikt. Deze straal zal toch in Neumann's theorie immer een teruggekaatsten transversaal trillenden straal geven; terwijl hij in Fresnel's theorie er slechts dan geen zal geven, als hij onder den polarisatiehoek van het papier invalt. Doch dit is hier niet het geval, daar de invallingshoek hier 45° is, en het niet waarschijnlijk is, dat deze hoek juist de polarisatiehoek van het papier zou zijn. Is dus dit verschijnsel onder die der terugkaatsing te rangschikken, dan is Babinet's redeneering zeker verkeerd, en zijn daaruit afgeleid besluit dus ook niet geldig. Is het dan wellicht een buigingsverschijnsel? Dit is mogelijk; dan zal volgens de theorie, daar de buigingshoek hier 90° is, het trillingsvlak van den diffusen straal loodrecht moeten zijn op het buigings- of diffusievlak, dus samenvallen met het vlak van het papier of het waargenomen polarisatievlak. Is dus dit verschijnsel een buigingsverschijnsel, dan pleit het voor Neumann's zienswijze. Zoo het echter een buigingsverschijnsel is, ook dan heeft, naar mij voor-

komt, Babinet's bewijs geenerlei waarde, juist omdat het een buigingsverschijnsel is, en deze verschijnselen voor als nog niet in staat zijn een beslissing in den strijd te geven. Ook de beide andere proeven, waarbij het licht van onder het papier en uit de gloeiende plaat uitstroomt, zullen zeker door een soortgelijke redeneering als bewijzen voor de trillingsrichting moeten worden aangevoerd. Doch ook van die proeven zie ik niet in, hoe zij in den strijd over de trillingsrichting tot een beslissend besluit recht zouden kunnen geven; want ziet men ze als brekingsverschijnselen aan, dan kan men onmogelijk rekening geven van de waargenomen polarisatie in den diffusen straal, en beschouwt men ze als buigingsverschijnselen, hetgeen men hier echter moeilijk kan doen, dan hebben zij juist daarom geene waarde.

Wij mochten echter niet vergeten, dat wij hier Babinet's bewijs beoordeeld hebben, zoo als het door Moigno is weêrgegeven, die een vurig voorstander van Fresnel's zienswijze is, zoodat het niet onmogelijk is, dat Moigno aan Babinet's bewijs niet alle recht laat wedervaren. Ten minste de wijze, waarop Moigno zich omtrent deze poging van Babinet uitlaat, pleit er niet voor, dat hij het op de beste wijze zou weêrgeven. Daar ik echter, zoo als gezegd, niets verder van dat bewijs van Babinet gevonden heb, en ik niet inzie, hoe deze het op andere wijze, als boven is aangegeven, uit zijn proeven kan afleiden, stap ik hiermede van Babinet's bewijs af, terwijl ik het allen invloed op mijn besluit omtrent de trillingsrichting moet ontzeggen.

Ik heb ook nog het gevoelen hooren uiten, dat het misschien mogelijk ware door middel der interferentieverschijn-

selen den strijd tot een beslissing te brengen. Naar ik meen, zou deze methode dan op het volgende berusten.

Bij de gewone proeven, waarin men door de interferentie van lichtstralen de bekende franjes voortbrengt, kan men aan het licht dier stralen een bepaalde polarisatie geven. Men kan maken, dat de interfereerende stralen óf loodrecht op, óf evenwijdig aan het vlak gepolariseerd zijn, dat door de interfereerende stralen gaat. De trillingsrichting van de interfereerende stralen zal dan, óf loodrecht op, óf evenwijdig aan dit bekende vlak zijn.

Gesteld nu, het licht trille in een richting loodrecht op dat vlak, dan zal, ofschoon de in eenig punt samenkomende interfereerende stralen niet volkomen aan elkander evenwijdig zijn, maar een zekeren zeer kleinen hoek met elkander maken, dit geen invloed hebben op de interferentie dier beide stralen, daar de trillingsrichting voor beide immer dezelfde is. De door die stralen, wier trillingen plaats hebben loodrecht op het vlak dat door de interfereerende stralen gaat, voortgebrachte franjes zullen dus op elken afstand dezelfde duidelijkheid moeten hebben. Trilt het licht daarentegen in het vlak der interfereerende stralen, dan zullen de trillingen dier stralen een zekeren kleinen hoek met elkander maken, welke hoek des te kleiner zal zijn, naarmate de hoek tusschen de interfereerende stralen kleiner wordt. Eerst als deze volkomen evenwijdig worden, zullen ook de trillingen dier beide stralen volkomen langs dezelfde richting plaats hebben, en eerst dan zal door de interferentie der beide stralen op sommige plaatsen de beide trillingen elkander volkomen kunnen vernietigen, op andere plaatsen zich volkomen bij elkander kunnen addeeren. Zoolang de trillingen nog eenigen hoek met elkander vormen, zal deze vernietiging en verdubbe-

ling der trillingsamplitude niet volkomen kunnen zijn, doch hoe kleiner die hoek wordt, hoe volkomener dit zal plaats hebben. Daar nu met het grooter worden van den afstand de hoek tusschen de interfereerende stralen kleiner zal worden, zullen de franjes des te duidelijker moeten zijn, hoe verder men zich verwijdert.

Wanneer men dus de interferentie beschouwt van stralen, die loodrecht op het vlak der stralen, of die evenwijdig aan dit vlak gepolariseerd zijn, zal in het eerste geval het al of niet toenemen der duidelijkheid der franjes met den afstand voor of tegen Neumann's hypothese pleiten, in het tweede geval daarentegen voor of tegen Fresnel's hypothese.

Het is echter de vraag, of het mogelijk is, dat de voorgeslagen proef goede uitkomsten geeft. Ik voor mij meen dit te moeten betwijfelen. Vooreerst loch zullen die verschillen in de duidelijkheid der franjes nooit zeer groot kunnen zijn bij verschillende afstanden. Doch voornamelijk zal de voorgeslagen proef weinig duidelijke uitkomsten geven, omdat met het veranderen van den afstand, waarop men waarneemt, tevens de afstand der verschillende franjes zal veranderen. Met een verandering van den afstand zal dus de duidelijkheid der franjes veranderen, onafhankelijk van de verandering in de richting der trillingen van de interfereerende stralen, en die verandering zal waarschijnlijk degene, welke men zoekt waar te nemen, verre overtreffen, en deze dus nog onduidelijker maken. Dat overigens de voorgeslagen methode, al moge zij ook onuitvoerbaar zijn, op goede beginselen berust, springt in het oog. Hier loch heeft men niet met zaken te doen, die op verschillende wijzen kunnen worden uitgelegd, omdat de verschillende theoriën dezelfde verschijnselen ver-

eischen. De interferentie van stralen kan toch slechts op ééne wijze verklaard worden, welke der beide hypothesen men ook ten grondslag legge. In de theorie der interferentie heeft men slechts met het addeeren van trillingen te doen; hier is het alleen de trillingsrichting, die de meerdere of mindere duidelijkheid van de op eenzelfde afstand door de interferentie voortgebrachte franjes bepaalt; andere elementen van den lichtstraal komen daarbij niet in aanmerking.

HOOFDSTUK V.

WAT LEEREN ONS DE ABERRATIEVERSCHIJSSELEN EN DE PROEVEN VAN FIZEAU?

In dit hoofdstuk moeten wij ons onderwerp beschouwen in verband met die verschijnselen van het licht, waaraan men gewoon is den naam van aberratie-verschijnselen te geven.

Door de aberratie van het licht ziet men namelijk een of ander hemellichaam ten opzichte van eenig aardsch lichaam in een andere richting dan die, welke het wezenlijk bezit. Dit verschijnsel vindt zijne verklaring volkomen in de verplaatsing der aarde gedurende den tijd, dat het licht den weg doorloopt van het aardse voorwerp tot het oog van den waarnemer, d. i. in de meeste gevallen van het objectief tot het oculair van den kijker.

In de emissie-theorie bieden deze aberratie-verschijnselen geen moeilijkheden aan. In de undulatie-theorie daarentegen geven deze verschijnselen tot groote bezwaren aanleiding, die zelfs zoo moeilijk zijn op te lossen en tot zulke vreemde veronderstellingen omtrent den ether voeren, dat velen in deze verschijnselen nog een zwak punt der undulatie-theorie zien.

In deze theorie is men namelijk, zooals bekend is, genoodzaakt aan te nemen, dat een zekere stof, de zoogenaamde ether, het geheele heelal doordringt, ja zelfs dat

deze stof ook in de lichamen en voorwerpen op aarde voorhanden is. Nu beweegt zich de aarde door den haar omgevenden ether. Welke werking oefent de aarde nu bij deze beweging op den ether uit? Voert zij den in haar bevatten ether met zich mede, of laat zij dezen achter, zoodat de ether niet in de beweging deelt? De eerste hypothese, dat de aarde den in haar bevatten ether met zich medevoert, zou zeker op het eerste gezicht de waarschijnlijkste zijn, als men de werking van de aarde op den ether vergelijkt met die op andere stoffen. Deze hypothese is mijns inziens echter met de aberratieverschijnselen niet goed te rijmen. Deelt de ether, in de aarde en haar atmosfeer bevat, in de beweging der aarde, dan kan het verschijnsel der aberratie niet bestaan, ten minste niet die aberratie, welke haar verklaring vindt in de verschillende snelheden van licht en aarde. Het licht, dat op het objectief van een kijker aankomt, zal dan ook met den ether gedurende zijn gang naar het oculair een even groote verplaatsing ondergaan als het oog van den waarnemer in dienzelfden tijd aflegt. Wij zullen dan dus den kijker in dezelfde richting moeten stellen als die, waarin de ster wezenlijk staat, altijd wanneer men niet let op andere oorzaken, die aan het licht een afwijking van zijn weg kunnen geven. En deze oorzaken bestaan, als de ether met de aarde in beweging is. Die beweging van den ether zal zich toch slechts tot een zekeren afstand van de aarde uitstrekken, verder zal hij in rust moeten blijven. Tusschen die plaats, waar de ether volkomen in rust is, en de oppervlakte der aarde, waar hij de snelheid der aarde bezit, zal de snelheid van den ether voor de verschillende afstanden van de aarde verschillend moeten zijn. Komt nu een lichtgolf tot de aarde in een richting, die een scheeven

hock maakt met de richting, waarin de aarde zich beweegt, dan zullen zich niet alle gedeelten van eenzelfde golfvlak op denzelfden afstand van de aarde bevinden. Sommige deelen van dat vlak zullen zich in lagen bevinden, waar de snelheid van den ether grooter is, dan in de lagen, waarin zich een ander gedeelte van dat vlak bevindt. Daardoor zal dus de lichtgolf een andere richting kunnen verkrijgen, en dus ook een zekere afwijking of aberratie veroorzaakt worden. Deze aberratie is echter niet hetzelfde, wat men gewoonlijk aberratie noemt, en wat wij vroeger met haar bedoeld hebben. Ik meen dus de hypothese van het volkomen medevoeren van den ether door de aarde niet te kunnen aannemen ¹⁾).

Er blijft derhalve niets anders over, dan te veronderstellen, dat de ether niet in de beweging der aarde deelt, of ten minste, dat niet de geheele ether in die beweging deelneemt. De aarde zou bij de eerste veronderstelling de hoedanigheid van een poreus lichaam moeten bezitten tegenover den ether, en zich dus vrijelijk door dien ether bewegen, zonder aan dezen eenige beweging mede te deelen. Deze veronderstel-

¹⁾ Velen hebben getracht ook deze hypothese met de aberratieverschijnselen in overeenstemming te brengen; zie bijv. de verhandelingen van Stokes en Challis in *Phil. Magaz.* (3). t. 27, t. 28, t. 29, en t. 32; en die van Baden Powell *Phil. Mag.* t. 29 en t. 30. Stokes en Challis toonen daarin wel aan, dat de hypothese van het volkomen medevoeren van den ether door de bewegende lichamen in staat is een uitdrukking te verschaffen voor de afwijking van het licht, welke met de waargenomen afwijking overeenkomt; doch zij behoeven daartoe zeer willekeurige, zoo niet valsche hypothesen omtrent de wetten van evenwicht en beweging in den ether. Het is daarom dan ook, dat deze hunne analyse niet zeer overtuigend kan geacht worden voor de waarheid van hun hypothese omtrent het medevoeren van den ether. Ik zou het ook betwijfelen, of de door hen gevonden uitkomsten met alle aberratieverschijnselen goed overeenstemmen. In alle gevallen houd ik de later te vermelden hypothese van Fresnel voor veel aannemelijker.

ling is zeker in strijd met alle werkingen, die wij tusschen de stoffen op aarde kunnen waarnemen. Op alle andere stoffen als den ether zou men haar daarom niet mogen toepassen. Van den ether is ons echter tot nu toe nog zoo weinig bekend, dat deze veronderstelling op hem ten minste zonder bekende tegenstrijdigheden met andere eigenschappen van die stof kan worden toegepast. Het is echter slechts omdat de aberratieverschijnselen er ons bijna toe dwingen, dat wij deze veronderstelling als waar voorop stellen; bestonden die verschijnselen niet, zij zou mij zeer onwaarschijnlijk voorkomen.

Doch ook met deze hypothese, dat de ether in het geheel niet deelt in de beweging der aarde laten zich niet alle verschijnselen rijmen.

Proeven van Arago hebben namelijk aangetoond, dat de beweging der aarde geen merkbaaren invloed uitoefent op de breking van het licht der vaste sterren, dat deze breking namelijk geen verandering ondergaat, als de richting van het licht verandert ten opzichte van de richting der beweging van de aarde en dus ook van het brekende voorwerp. Wordt nu de ether niet medegevoerd met de aarde, dan zullen zoowel bij de breking als bij de terugkaatsing verschijnselen moeten voorkomen, die afwijken van de gewone brekings- en terugkaatsingsverschijnselen. Daar namelijk de betrekkelijke snelheid van het licht ten opzichte van het brekende of terugkaatsende voorwerp met die verandering in richting tevens verandering ondergaat, zal daardoor ook de breking en terugkaatsing van het licht voor die verschillende richtingen verschillen moeten vertoonen. Het zou mij te ver van mijn onderwerp afvoeren, zoo ik hier in een nauwkeurige beschrijving van deze afwijkingen wilde treden, Het zij hier genoeg, dat

Fresnel's genie ook weder in deze zaak een goede theoretische verklaring opperde, die, naar het mij toeschijnt, in alle opzichten van de waargenomen verschijnselen rekenschap geeft.

Fresnel's ¹⁾ hypothese omtrent het al of niet deelnemen van den ether in de beweging der aarde, houdt ongeveer het midden tusschen de beide genoemde hypothesen, die men ter verklaring der aberratieverschijnselen gemaakt heeft. Volgens hem wordt niet al de ether met de aarde medegevoerd, en niet door alle stoffen op aarde evenveel. Een gedeelte van den ether gaat vrijelijk door de voorwerpen op aarde, doch een ander gedeelte wordt door die voorwerpen medegevoerd. Dit medegevoerde gedeelte, hetgeen voor verschillende stoffen verschillend is in hoeveelheid, is dan dat gedeelte, dat de overmaat vormt van de dichtheid des ethers in die stof boven die van den vrijen ether, d. i. ether, welke niet in eenige stof besloten is. Op elk oogenblik is namelijk de geheele hoeveelheid ether in eenigerhande stof gelijk aan den ether, die er vrijelijk door heen gaat, en wiens hoeveelheid gelijk is aan die, welke bevat is in een evengroote ruimte, waarin geen ponderabele stof voorhanden is, vermeerderd met die hoeveelheid ether, welke de stof in haar beweging met zich medevoert. Zoo men nu aanneemt, dat de dichtheid van den ether evenredig is aan het vierkant van den brekingsexponent van het lichaam, d. i. met andere woorden omgekeerd evenredig aan het vierkant van de golflengte of de snelheid van het licht in dat lichaam, dan geeft de genoemde hypothese volkomen rekenschap van de verschijnselen.

¹⁾ Ann. de Ch. et de Ph. t. 9, p. 56.

Daartoe behoeft men slechts aan te nemen, dat het licht door den ether in zulk een bewegend lichaam, waarvan een gedeelte in rust is, een ander gedeelte wordt medegevoerd, zich voortplant, als of de geheele ether zich bewoog met de snelheid van het zwaartepunt van dien ether. Doet men dit, dan verklaart zich volkomen, waarom er bij de terugkaatsing en breking geen nieuwe aberratie zich vertoont.

Fresnel ¹⁾ en Eisenlohr ²⁾ geven daarvan een bewijs voor het geval, dat het licht loodrecht valt op een der grensvlakken van een prisma, dat zich juist in de richting van het licht beweegt. De eerste gaat uit van zijn veronderstelling omtrent de beweging van den ether, en komt daardoor tot de uitkomst, dat men, om den gebroken straal te zien, den kijker in dezelfde richting moet plaatsen, als wanneer het prisma in rust is. Eisenlohr leidt daarentegen uit het verschijnsel de beweging van den ether af. Eindelijk heeft Stokes ³⁾ daarvan nog een bewijs gegeven voor het algemeene geval, dat de beweging der aarde en die van het licht eenigerhande hoek met elkander maken. Hij komt daardoor tot de uitkomst, dat noch de terugkaatsing, noch de breking verandering ondergaat.

Verder is dit vraagstuk nog zeer volledig behandeld door M. Hoek ⁴⁾. Deze toont aan, dat Fresnel's hypothese omtrent het medevoeren van den ether volkomen met de waargenomen verschijnselen overeenstemt, en dat sommige dier verschijnselen, zoo als de proeven van Arago, en

¹⁾ Ann. de Ch. et de Ph. t. 9, p. 60.

²⁾ Pogg. Ann. t. 104, p. 342.

³⁾ Phil. Mag. (3) t. 28, p. 76.

⁴⁾ M. Hoek, Recherches astronomiques de l'observatoire d'Utrecht, 1^{re} livraison De l'influence des mouvements de la terre sur les phénomènes fondamentaux de l'optique, dont se sert l'astronomie.

de omstandigheid, dat men bij het gebruik van een gebroken kijker, waarin de straal door middel van een prisma een andere richting verkrijgt, geen andere afwijkingen van het licht waarneemt, dan bij een rechten kijker, deze hypothese van Fresnel zelfs vereischen ¹⁾. Arago's proeven vinden, volgens Hoek, met die hypothese haar verklaring. Daartoe moet men echter aannemen, óf dat het door Arago gebruikte prisma zoo gesteld was, als Fresnel dit heeft aangenomen, d. i. dat een der grensvlakken van het prisma loodrecht was op de invallende stralen, en de aarde zich tevens juist evenwijdig aan de richting dier stralen bewoog; óf dat het prisma zoo gesteld was, dat het de minste afwijking gaf. Dit laatste vindt Hoek het waarschijnlijkst. Bij andere standen van het prisma zou volgens hem het licht der vaste sterren, niet echter dat van meer nabij zijnde voorwerpen, wel een kleine afwijking ondergaan, zoodat dus Fresnel's bewijs wel voor het door dezen beschouwde geval geldt, doch niet algemeen op alle gevallen mag worden toegepast.

Voor korten tijd heeft Hoek ook nog door hem verrichte proeven bekend gemaakt, die in vele opzichten met Arago's proeven overeenstemmen, en waarvan de uitkomsten de waarheid van de hypothese van Fresnel weder meer bevestigen ²⁾. Hij liet namelijk twee stralenbundels, afkomstig van een door een gewonen lamp verlichte spleet, dezelfde wegen doorloopen doch in tegenovergestelden zin. Op dien weg bevond zich een met water gevulde buis, waarvan de as evenwijdig was aan

¹⁾ Altijd, als men de mogelijkheid van een volkomen medevoeren van den ether niet aannemt.

²⁾ Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde, 2e reeks, Deel II, bl. 189.

de richting van de beweging dier buis, zoodat de eene lichtbundel het water in de buis in de richting van de beweging van dat water doorging, de andere lichtbundel juist in tegenovergestelde richting. Nadat die lichtbundels den weg doorloopen hadden, vereenigden zij zich weder in een zelfde punt, en werden daar waargenomen door middel van een kijker, nadat zij eerst door een prisma in de kleuren van het spectrum ontbonden waren. Had den de beide lichtbundels den weg nu niet in denzelfden tijd afgelegd, dan zouden er zich donkere interferentiestrepen in het waargenomen spectrum vertoond hebben voor die soorten van licht, waarvan de halve golflengte een oneven aantal malen begrepen is in de hooggroothed van de vertraging van den eenen lichtbundel ten opzichte van den anderen. Hoe nauwkeurig hij ook zijn proeven inrichtte, van donkere strepen was niets te bespeuren. Hieruit vloeide dus voort, dat de beide lichtbundels den weg even snel hadden afgelegd.

Toen hij nu deze negatieve uitkomsten met de theorie vergeleek, vloeide daaruit voort, dat, zoo ϵ de snelheid is van de beweging der buis, φ de snelheid van de beweging, die de ether, in het water bevat, in dezelfde richting bezit, n de brekingsexponent van het water ten opzichte van lucht, men moet stellen

$$\varphi = \epsilon \left(1 - \frac{1}{n^2} \right),$$

d. i. juist de uitdrukking, die ook uit Fresnel's hypothese omtrent het medevoeren van den ether voortvloeit ¹⁾.

¹⁾ De lengte van de met water gevulde buis was in Hoek's proeven 100mm. Hij zal, zooals hij in deze verhandeling belooft, zijn proeven herhalen met een buis van 2 meters, waardoor hij een 20maal grootere nauwkeurigheid verkrijgen kan.

Ook deze proef bewijst dus, dat men een volkomen doorlaten van den ether onmogelijk kan aannemen, daar men dan wel een spectrum met zwarte strepen had moeten verkrijgen. Deze proef van Hoek bewijst echter evenmin als Arago's proeven iets tegen de hypothese, dat de ether volkomen in de beweging der ponderabele stoffen zou deelen; met deze hypothese zijn deze proeven zelfs veel eenvoudiger te verklaren, ja zij vloeien daaruit op het eerste gezicht van zelf voort. Daar nu verder de aberratieverschijnselen, ofschoon haar verklaring met Fresnel's hypothese, omtrent het medevoeren van den ether, veel eenvoudiger en natuurlijker is, toch, naar het schijnt, ook met de andere hypothese kunnen verklaard worden, zou het van zeer groot belang zijn, indien men door proeven kon bepalen, of de ether, in een lichaam op aarde bevat, wanneer dit lichaam in beweging is, volkomen in die beweging deelt, of slechts gedeeltelijk wordt medegevoerd. Zoodanige proeven zijn nu genomen, doch haar aantal is voor het tegenwoordige nog zeer gering.

Fizeau ¹⁾ liet licht gaan door buizen, die met water gevuld waren, en wel zoodanig, dat een gedeelte van het licht de buizen in de eene richting doorliep, het andere gedeelte juist in de tegenovergestelde richting. Beide lichtstralen vereenigden zich vervolgens na hun doorgang door de buizen, en vormden de bekende interferentiestrepen, die men kon waarnemen. Bracht men nu het water in beweging, en wel zoodanig, dat het eene deel van het licht zich met den stroom van het water, het andere deel daarentegen zich tegen dien stroom voortplantte, dan ver-

¹⁾ Compt. rend. t. 33, p. 349; Ann. de Ch. et de Ph. (3) t. 57, p. 385; Pogg. Ann. Ergänzungsband III, p. 457.

plaatsten zich de interferentiestrepen, en de richting dier verplaatsing toonde aan, dat het licht, hetgeen de richting van het stroomende water gevolgd had, zich sneller had voortgeplant, dan het licht, dat in tegengestelden zin door het water gegaan was. Hieruit moet men dus de gevolgtrekking maken, dat er ether is medegevoerd door het water. Het was nu nog maar de vraag, in welke mate de ether was medegevoerd. Ook hierop gaf de proef antwoord. Vergeleek men namelijk de hoegrootheid der verplaatsing van de interferentiestrepen met die, welke volgens de berekening zou hebben moeten plaats grijpen, wanneer al de ether was medegevoerd, dan bleek de waargenomen verplaatsing te klein te zijn. Die waargenomen verplaatsing kwam daarentegen zeer goed overeen met die, welke uit Fresnel's hypothese moest voortvloeien. Fizeau besloot hieruit, dat het water in zijn beweging een gedeelte slechts van den in hem bevatten ether medevoert, en wel zulk een gedeelte, als met Fresnel's hypothese overeenkomt.

Ook voor vaste lichamen, namelijk voor glas, heeft Fizeau getracht te bepalen, in welke mate de ether wordt medegevoerd. ¹⁾ Hij liet daartoe namelijk eerst een uit het oosten en daarna een uit het westen komende gepolariseerden lichtstraal op een bundel van glasplaatjes vallen, en bepaalde voor beide stralen de draaiing, die het polarisatievlak dier stralen door de breking onderging. Uit het verschil in de hoegrootheid dier draaiingen kon men dan opmaken het verschil in de brekingsexponenten van de glasplaatjes ten opzichte van de beide stralen. Dit verschil in brekingsexponent, of het daaruit opgemaakte verschil

¹⁾ Compt. rend. t. 49, p. 717; Pogg. Ann. t. 109, p. 160; Ann. de Ch. et de Ph. (3) t. 58, p. 129.

in voortplantingssnelheid van het licht in de glasplaatjes voor de beide in tegenovergestelde richting zich voortplantende stralen, kwam nu vrij goed overeen met het uit Fresnel's hypothese berekende verschil, echter niet volkomen. Faye ¹⁾ toonde namelijk aan, dat deze overeenkomst tusschen waarneming en theorie niet volkomen was, als men, behalve de beweging van de aarde om de zon, ook de beweging van de aarde in aanmerking nam, die voortspruit uit de beweging van het geheele zonnestelsel in de ruimte. Deze proef kan dus niet als afdoend beschouwd worden. Zij is echter veel fijner, en daarom ook veel moeilijker nauwkeurig uit te voeren, dan de vermelde proef met het door water voortgeplante licht. Ik meen daarom, dat zij de uitkomsten dier proef niet kan doen betwijfelen, ofschoon het natuurlijk zeer wenschelijk is, dat omtrent dit punt nog meer proeven geschieden. ²⁾

Ofschoon nu de proeven van Fizeau nog te weinig in aantal zijn, en de laatstvermelde niet juist genoeg met de

¹⁾ Compt. rend. t. 49, p. 870 en Pogg. Ann. t. 109, p. 170.

²⁾ Hoek meent, in zijn bovengenoemd werk (*Recherches astronomiques, etc.*, 1re livraison), dat de door Faye tegen Fizeau's proeven aangevoerde gronden slechts met omzichtigheid moeten worden aangenomen, omdat de door dezen ingevoerde beweging van het geheele zonnestelsel waarschijnlijk niet de geheele beweging maar slechts een der componenten dier beweging voorstelt (zie l. c. p. 26, noot). Hoek schijnt Fresnel's hypothese omtrent het medevoeren van den ether door de bewegende lichamen zoo zeker als waar te beschouwen, dat hij zelfs meent, dat men, door de proeven van Fizeau nauwkeurig gedurende een tamelijk langen tijd te herhalen, de geheele verplaatsing van het zonnestelsel zal kunnen bepalen (l. c. p. 63). De waarheid van Fresnel's hypothese, waarop de mogelijkheid dier bepaling berust, meent hij te mogen aannemen, wegens het vorige gedeelte van zijn arbeid. Daarin komt hij namelijk, zooals ik reeds boven bl. 121 gezegd heb, tot het besluit, dat Fresnel's hypothese de eenige is, die met de waargenomen verschijnselen overeenstemt (zie ook l. c. § 24, p. 55.)

theorie overeenkomen, om een volkomen beslissing te kunnen geven, omtrent het al of niet geheel medevoeren van den ether door een bewegend lichaam, zoo meen ik toch, dat zij, in vereeniging met de aberratieverschijnselen, voldoende zijn, om aan Fresnel's zienswijze een zeer groote waarschijnlijkheid bij te zetten.

Gaan wij nu na, wat deze verschijnselen ons leeren omtrent ons onderwerp, de trillingsrichting in het rechthoekig gepolariseerde licht. Gelijk in de vorige hoofdstukken gebleken is, is er een nauw verband tusschen de trillingsrichting en de constitutie van den ether in verschillende middelstoffen. Terwijl toch Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting de dichtheid van den ether verschillend vereischt in verschillende middelstoffen, vereischt daarentegen Neumann's hypothese voor alle middelstoffen een zelfde en dus constante dichtheid van den ether. Uit de voorgaande beschouwingen omtrent de aberratieverschijnselen en Fizeau's proeven hebben wij echter gezien, dat Fresnel's hypothese omtrent de mate van het medevoeren van den ether door een bewegend lichaam de meeste waarschijnlijkheid voor zich heeft. Deze hypothese nu vereischt, dat de dichtheid van den ether in de verschillende lichamen verschillend is, daar toch volgens haar in eenig lichaam, behalve die ether, welke in rust blijft, en die voor alle plaatsen der ruimte een zelfde dichtheid bezit, nog een andere hoeveelheid ether bevat is, die wel wordt medegevoerd. Die hypothese vereischt verder, dat de som van die hoeveelheden ether in eenig lichaam bevat, staat tot de hoeveelheid in rust blijvenden ether, als het vierkant van den brekingsexponent van dat lichaam tot de eenheid. Hieruit vloeit dus voort, dat de dichtheid van den

ether niet in alle lichamen dezelfde is, en dus dat Fresnel's theorie omtrent de trillingsrichting de ware is. ¹⁾

Zoo spoedig kunnen wij echter niet Neumann's theorie omtrent de trillingsrichting laten varen, Wij moeten namelijk nog zien, of de genoemde aberratieverschijnselen en de proeven van Fizeau ook niet op andere wijze kunnen verklaard worden. Wij hebben toch in de vorige hoofdstukken reeds zoo dikwijls gezien, dat verschijnselen zich volgens beide hypothesen lieten verklaren, dat wij ook hier alle moeite moeten aanwenden, om deze verschijnselen ook met Neumann's theorie in overeenstemming te brengen. Eerst als dit onmogelijk is bevonden, kunnen wij ons oordeel over beide hypothesen rechtvaardigen.

Met Neumann's hypothese omtrent de trillingsrichting of omtrent de constitutie van den ether in verschillende stoffen laat zich onmogelijk rijmen een gedeeltelijk medevoeren van den ether door een bewegend lichaam. Dit toch veronderstelt de dichtheid des ethers in de verschillende stoffen verschillend, hetgeen met Neumann's hypothese in strijd is. Daarentegen zou zich een volkomen medevoeren of een volkomen doorlaten van den ether met haar wel laten overeenbrengen.

Met het eerste, het volkomen medevoeren van den ether, kan men, naar het schijnt, een verklaring geven van de aberratieverschijnselen, al moet men die verklaring ook voor zeer onwaarschijnlijk houden. Arago's en Hoek's proeven zijn verder met die hypothese volkomen in overeenstemming. Er blijft dus nog slechts over te onderzoeken, of ook Fizeau's proeven zich door haar laten

¹⁾ Zie ook de reeds aangehaalde verhandeling van Eisenlohr, Pogg. Ann. t. 104.

verklaren. Gelijk wij zien zullen, is dit niet mogelijk.

De hypothese omtrent het volkōmen doorlaten van den ether geeft daarentegen de eenvoudigste verklaring van de aberratieverschijnselen; met Arago's en Hoek's proeven, alsmede met die van Fizeau is zij echter, zooals wij nog willen aantonen, niet te rijmen.

Wij zullen die beide hypothesen echter slechts in verband beschouwen met Neumann's hypothese, dat de dichtheid van den ether overal dezelfde is. Met een constante elasticiteit van den ether, zooals Fresnel aanneemt, kan men de genoemde proeven toch onmogelijk anders uitleggen dan boven geschied is.

Fresnel ging bij de verklaring van Arago's proeven uit van zijn hypothese, dat de voortplantingssnelheid van het licht in eenigerhande stof omgekeerd evenredig is aan den vierkantswortel uit de dichtheid van den daarin bevatten ether, niet echter afhankelijk is van de elasticiteit van dien ether, daar hij die constant beschouwde. Aan het einde van zijn verhandeling ¹⁾ geeft hij echter de meening te kennen, dat het zeer wel mogelijk is, dat die voortplantingssnelheid ook afhankelijk is van de elasticiteit van den ether, daar die toch volgens zijn theorie der dubbele straalbreking ook verschillend is voor verschillende richtingen in dubbelbrekende kristallen. Nemen wij dus de dichtheid van den ether constant aan, zijn elasticiteit echter verschillend, dan zou men moeten aannemen, dat de ether die door eenig lichaam op aarde heengaat, in dat lichaam een andere elasticiteit verkrijgt dan daarbuiten. Die elasticiteit zou zich echter eveneens moeten uiten, of een lichtstraal in de richting van de beweging

¹⁾ Ann de Ch. et de Ph. (1818) t. 9, p. 286.

der aarde of in tegenovergestelde richting de stof doorging, evenals dit ook omtrent de dichtheid moet worden aangenomen, wanneer men de dichtheid verschillend, de elasticiteit daarentegen constant aanneemt. Het is dus ook hier, evenals in Fresnel's verklaring, de versnelling of vertraging van de voortplanting van het licht, te weeg gebracht door de verplaatsing van den ether ten opzichte van het bewegende lichaam, welke de verwachte doch niet waargenomen afwijking van het licht in Arago's proeven moet compenseeren. Die compensatie kan echter niet zoowel door een gedeeltelijke medevoering van den ether, als door een volkomen doorlaten van den ether verklaard worden. Als dus de eerste dezer veronderstellingen haar verklaart, is het onmogelijk, dat de tweede veronderstelling dit ook doet. De eerste veronderstelling doet dit echter, dus kan de tweede veronderstelling onmogelijk de ware zijn. Dezelfde redeneering is van toepassing bij de proeven van Fizeau. Ook hier moet de opgewekte elasticiteit dezelfde zijn, zoowel wanneer de lichtstraal het water in de richting der strooming als in tegenovergestelde richting doorloopt. Wordt er hier dus een verschillende voortplantingssnelheid van het licht waargenomen voor die beide richtingen, dan is het onmogelijk, dat de ether volkomen door het water heengaat; een gedeelte van den ether moet ten minste worden medegevoerd. Doch ook een volkomen medevoeren van den ether laat zich niet met die proeven rijmen, daar de franjes in dit geval een grootere verplaatsing hadden moeten ondergaan, dan door Fizeau is waargenomen, en men ook hier het onderscheid tusschen theorie en waarneming onmogelijk kan toeschrijven aan een verschil in elasticiteit van den ether voor de beide juist

in tegenovergestelde richting zich voortplantende stralen.

Dat ook Hoek's proeven zich niet laten verklaren met een volkomen doorlaten van den ether, kan gemakkelijk eveneens worden ingezien.

Wij komen hier dus tot de volgende slotsom.

De aberratic-verschijnselen geven verre de grootste waarschijnlijkheid aan Fresnel's hypothese, dat de ether slechts voor een gedeelte in de beweging der ponderabele stof deelt.

Fizeau's proeven laten zich onmogelijk anders dan door die hypothese verklaren.

Dit, in verband beschouwd met ons onderwerp, voert dan tot het volgende besluit.

De aberratieverschijnselen geven verre de grootste waarschijnlijkheid aan Fresnel's hypothese, dat de trillingen plaats hebben loodrecht op het polarisatievlak.

Fizeau's proeven vereischen bepaaldelijk die hypothese, en zijn met Neumann's hypothese in strijd.

HOOFDSTUK VI.

BESLUIT.

In de voorgaande hoofdstukken hebben wij nagegaan, op welke verschillende wijzen men getracht heeft de trillingsrichting te bepalen in het rechtlijnig gepolariseerde licht. Wij zullen thans nog eens kortelijk moeten herhalen, tot welke uitkomsten die onderzoekingen geleid hebben, om dan zoo mogelijk daaruit de trillingsrichting te kunnen afleiden, of ten minste tot de meerdere of mindere waarschijnlijkheid van de eene of de andere richting te kunnen besluiten.

De verschijnselen der gewone terugkaatsing en breking bij isotrope middelstoffen, welke ons in de eerste plaats hebben bezig gehouden, laten zich door beide trillingsrichtingen of door beide hypothesen omtrent de constitutie van den ether in die stoffen verklaren. De beginselen, waarvan men daarbij moet uitgaan, zijn echter niet in beide gevallen dezelfde. Het beginsel van het equivalent zijn der trillingen in de beide middelstoffen wordt wel door de aanhangers van beide hypothesen aangenomen, doch dat der continuïteit van de beweging in den ether,

hetgeen Cauchy met zulke goede uitkomsten heeft gebruikt, kan men slechts aanwenden als men Fresnel's theorie omhelst. Met Neumann's theorie moet men daarentegen het beginsel van het gelijk zijn der sommen van de componenten der verschuivingen aan weërszijden van het scheidingsvlak en het beginsel der gelijke drukkingen aanwenden, of, zooals Jamin heeft aangetoond, men kan de eerste afgeleiden van de componenten der verschuivingen volgens de assen, en dus ook de drukkingen geheel buiten rekening laten, zoo men de longitudinale trillingen slechts niet in acht neemt, of de door deze veroorzaakte verschuivingen ten minste tegenover die der transversale trillingen verwaarloost. Het beginsel der continuïteit van Cauchy staat, naar mijn meening, echter verre boven de beide beginselen, die Neumann's hypothese vereischt, vooral boven dat der gelijke drukkingen, daar dit laatste beginsel, zooals Cauchy heeft aangetoond, berust op het verwaarloozen van grootere drukkingen tegenover zeer kleine.

Verder voeren de beide hypothesen tot een verschillend teeken voor de amplitude van den teruggekaatste straal, die in het invallingsvlak gepolariseerd is. Dit, in verband gebracht met Brewster's empirische formule, wijst op de meerdere waarschijnlijkheid van Fresnel's zienswijze.

Deze verschijnselen der terugkaatsing en breking geven dus voor het minst een grootere waarschijnlijkheid aan de hypothese van Fresnel, zoowel omdat deze hypothese betere beginselen gedooft omtrent den overgang van de etherbeweging uit de eene middelstof in een andere, als omdat Neumann's hypothese tot uitkomsten leidt, die ofschoon zij op het eerste gezicht beter met de proeven schijnen overeen te komen, dan die van Fresnel, waar-

schijnlijk toch met die proeven in strijd zijn. Ook Cauchy's bewijs voor de waarheid van Fresnel's hypothese, hetgeen hij afleidt uit het niet kunnen verdwijnen van den teruggekaatste straal met trillingen loodrecht op het invallingsvlak, zet aan Fresnel's zienswijze nog meer waarschijnlijkheid bij. Want al staat dit zijn bewijs ook in het nauwste verband met zijn beginselen, en al bewijzen de formules uit Neumann's hypothese afgeleid ook, dat men door van andere beginselen uit te gaan, wel tot het verdwijnen van dien straal kan komen, toch valt het niet te loochenen, dat dit verschijnsel, namelijk het kunnen verdwijnen van den loodrecht op het invallingsvlak gepolariseerden teruggekaatste straal, door Fresnel's hypothese zich veel natuurlijker laat verklaren dan door die van Neumann.

Meer dan waarschijnlijkheid geven de verschijnselen der terugkaatsing en breking echter niet, daar Cauchy's formules wel zeer goed met de verschijnselen overeenstemmen, doch die overeenstemming, vooral bij invallingshoeken veel verschillende van den polarisatiehoek, niet zoo volkomen schijnt te zijn, dat men haar anders dan als zeer goede benaderingsformules kan beschouwen.

De verschijnselen der dubbele straalbreking hebben ons niets geleerd omtrent de trillingsrichting. Al deze verschijnselen laten zich door beide hypothesen verklaren. Al de verschillende bewijzen, die men uit die verschijnselen voor Fresnel's zienswijze heeft willen afleiden, berusten op valsche begrippen. Alle gaan uit van de beginselen, welke slechts in Fresnel's hypothese passen, en met die van Neumann in strijd zijn. Het was daarom niet meer dan natuurlijk, dat zij tot de zienswijze van

den eersten voerden. Die bewijzen hebben daarom geenerlei waarde.

Ook de verschijnselen der terugkaatsing bij dubbelbrekende kristallen zullen naar alle waarschijnlijkheid door beide hypothesen verklaard kunnen worden. Tot nog toe zijn deze verschijnselen theoretisch, naar ik meen, slechts door aanhangers van Neumann's theorie uitvoerig behandeld, namelijk door Neumann ¹⁾ en door Mac Cullagh ²⁾. Hun theoretische uitkomsten schijnen goed met de verschijnselen overeen te stemmen. Waarschijnlijk zullen deze echter even goed uit Fresnel's theorie kunnen worden verklaard. Hier zij slechts opgemerkt, dat Neumann en Mac Cullagh ook hier weder het beginsel der gelijke drukkingen moeten aanwenden om hun uitkomsten te verkrijgen; dit beginsel zal met Fresnel's hypothese hier waarschijnlijk evenmin gebruikt behoeven te worden als bij de terugkaatsing door isotrope stoffen. In zijn groote verhandeling »On the Laws of Cristalline Reflexion and Refraction" ³⁾ maakt Mac Cullagh, bij de afleiding zijner terugkaatsingsformules voor kristallijne stoffen, wel geen gebruik van het beginsel der gelijke drukkingen, doch men kan dit weglaten van dit beginsel op een lijn stellen met hetgeen Jamin gedaan heeft in zijn arbeid over de gewone terugkaatsingsformules. ⁴⁾ Mac Cullagh toch spreekt hier ook niet van longitudinale trillingen, en maakt, evenals Jamin dit deed, gebruik van het beginsel der aequivalentie der trillingen, en van dat der levende krachten. Deze beide beginselen zijn in het zoo

1) Pogg. Ann. t. 40, p. 497.

2) Phil. Mag. Febr. 1836; Royal Irish Academy t. 18, p. 31.

3) Royal Irish Acad. 1. c.

4) zie boven bl. 37.

veel meer ingewikkelde vraagstuk van Mac Cullagh echter nog niet voldoende; hij voegt daar nog bij zijn beide hypothesen omtrent de dichtheid van den ether in de verschillende stoffen en omtrent de richting der trillingen ten opzichte van het polarisatievlak. Van het beginsel der continuïteit van Cauchy vindt men ook hier niets. Het is opmerkelijk, dat ook Mac Cullagh dit beginsel, zoowel als het bestaan der longitudinale trillingen, weder niet kon aannemen, waaruit dus op nieuw blijkt, dat deze zaken met Neumann's theorie niet te rijmen zijn.

Naar alle waarschijnlijkheid zullen dus deze verschijnselen, als zij eens op theoretische wijze beschouwd zullen zijn volgens Fresnel's en Cauchy's beginselen, op dezelfde wijze als de gewone terugkaatsingsverschijnselen dit gedaan hebben, aan Fresnel's zienswijze een grootere waarschijnlijkheid toekennen, dan aan die van Neumann.

Wat nu de verschijnselen der buiging betreft, wij hebben gezien, dat deze nog zeer in het duister liggen. De verschillende uitkomsten der proeven, en vooral de uitkomsten der proeven van Fizeau hebben dit ten duidelijkste aangetoond. Ook deze verschijnselen kunnen ons, ten minste bij hetgeen wij tegenwoordig daarvan weten, niets leeren omtrent de trillingsrichting. Hetzelfde moeten wij zeggen van de diffusieverschijnselen, waarvan in het vierde hoofdstuk sprake is. Ook deze zijn nog te onbekend. Men kan nog niet eens zeker bepalen, of men in eenig geval met een verschijnsel der terugkaatsing of der buiging te doen heeft. Waarschijnlijk is dit niet in alle gevallen hetzelfde. ¹⁾ Zoo-

¹⁾ Sommigen meenen de diffusieverschijnselen niet onder die der terugkaatsing of der buiging te mogen rangschikken, maar maken daarvan een geheel afzonderlijke klasse van verschijnselen, die dan echter nog slechts zeer onvolledig bekend is, en van wier theorie men eigenlijk nog niets weet.

lang wij nu echter dit niet weten, is het wel onmogelijk deze verschijnselen met de theorie in verband te brengen. Zoolang wij die verschijnselen echter niet met de uitkomsten der theorie kunnen vergelijken, is het wel onmogelijk van hen een beslissing omtrent de trillingsrichting te verkrijgen.

Ook de andere in het vierde hoofdstuk vermelde methoden om ons vraagstuk op te lossen, konden tot niets leiden. De meeste berusten op valsche begrippen, in andere werd de proef door storende werkingen onmogelijk gemaakt.

Uit al de tot nog toe beschouwde verschijnselen zijn het dus slechts die der terugkaatsing aan isotrope middelstoffen, welke de schaal ten minste eenigszins hebben doen overslaan naar de zijde van Fresnel's theorie. In het laatste hoofdstuk hebben wij echter verschijnselen behandeld, die wel uit zich zelve niet in staat zijn de trillingsrichting te bepalen, maar die, in verband beschouwd met de verschillende hypothesen, welke men moet aannemen omtrent de constitutie van den ether in de lichamen, naar gelang men de eene of de andere richting voor de ware trillingsrichting houdt, in staat zijn om ons vraagstuk op te lossen.

De aberratieverschijnselen laten zich namelijk zeer goed verklaren, door aan te nemen, dat een lichaam in beweging slechts een gedeelte van den geheelen daarin bevatten ether met zich medevoert; en wel zulk een gedeelte, dat de dichtheid van den ether in dat lichaam juist omgekeerd evenredig is aan het kwadraat der voortplantingsnelheid van het licht in dat lichaam. Ook Fizeau's proeven omtrent de snelheid van het licht in stroomend water, wijzen op diezelfde hypothese. Zooals gezegd, mij

schijnt het onmogelijk toe deze verschijnselen te verklaren door de in Neumann's theorie gevorderde veronderstelling, dat de dichtheid in alle lichamen constant is. Wij zijn er dus toe teruggebracht, om óf Fizeau's proeven als onjuist te verwerpen, óf Neumann's theorie op te geven. Daar wij nu geen reden hebben, om de proeven van een zoo goed experimentator als Fizeau als verkeerd te beschouwen, en ook de aberratieverschijnselen zich het best door de hypothese van Fresnel omtrent het medevoeren van den ether door de bewegende lichamen laten verklaren, en deze hypothese met Neumann's hypothese omtrent de trillingsrichting bepaaldelijk in strijd is, meen ik hierin genoegzame gronden te hebben, om Neumann's hypothese omtrent de richting der trillingen te verwerpen, en die van Fresnel als de ware aan te nemen. Dit doe ik des te eerder, omdat ook de verschijnselen der terugkaatsing voor Fresnel's hypothese spreken. Al konden wij de daaruit afgeleide bewijzen voor Fresnel's hypothese nog niet als voldoende beschouwen om een beslissend oordeel over de beide hypothesen uit te spreken, met de bewijzen, uit de aberratieverschijnselen en uit de proeven van Arago en Hoek, maar vooral uit die van Fizeau voortvloeiende, geven zij aan Fresnel's theorie zulk een groote waarschijnlijkheid, dat ik haar als de ware moet beschouwen.

Ten slotte nog eenige opmerkingen over den ether, waarmede wij ons in de vorige bladzijden zoo dikwijls hebben moeten bezig houden. Deze stof blijft immer nog evenzeer in het duister gehuld, en juist doordat er nog zoo weinig van haar bekend is, is zij een werktuig in de handen der optici, dat zeer vatbaar is voor misbruik, en waarvan door hen dan ook reeds veel misbruik gemaakt is. Zoodra

eenig lichtverschijnsel zich niet goed laat verklaren, de ether moet te hulp komen. Allerlei eigenschappen kent men hem toe, die niet alle even goed te verdedigen zijn. Dat men omtrent zijn dichtheid of omtrent zijn elasticiteit verschillende hypothesen gemaakt heeft, daartegen is niets te zeggen, daarmede moest men zelfs beginnen. Dat men echter aan den ether eigenschappen toekent, die men gewoon is aan de vaste stoffen op aarde toe te kennen, in onderscheiding van de vloeibare en gasvormige, komt mij gewaagder voor. Zoo stelt men ¹⁾, als men de verschijnselen der dubbele straalbreking en andere afleidt uit de elasticiteitsleer, de ethertrillingen gelijk aan de kleinere trillingen van een vast lichaam. Om de aberratieverschijnselen uit een volledig medevoeren van den ether te verklaren, heeft men weder tot een andere hypothese omtrent den ether zijn toevlucht moeten nemen. Men noemt hem daar aan als een vloeibaar lichaam ²⁾. Doch deze beide hypothesen, dat de ether voor de kleine bewegingen een vast lichaam gelijkt, voor de beweging in massa daarentegen een vloeibaar lichaam, schijnt mij zeer willekeurig toe. Het valt niet te ontkennen, dat de ether, met welken bekenden aggregatietoestand hij moge overeenkomen, zeker het verst verwijderd is van dien der vaste lichamen. De veronderstelling dus, dat de ether in sommige eigenschappen meer overeenkomst heeft met vaste lichamen, dan met vloeibare of gasvormige, is dus wel als zeer gewaagd te beschouwen.

Doch er zijn nog meer zulke verschillende, zoo niet tegenstrijdige eigenschappen, welke men aan den ether toe-

¹⁾ Bijv. Lamé en anderen.

²⁾ Zie Stokes, Phil. Mag. (3) t. 29, p. 6 en t. 32, p. 343; Challis, Phil. Mag. (3) t. 32, p. 168.

schrijft. Zoo is men genoodzaakt aan te nemen, dat een gedeelte van den ether vrijelijk door de lichamen in beweging heengaat, een ander gedeelte wordt medegevoerd. Het eene gedeelte van den ether wordt dus door de ponderabele stof aangetrokken, daar het wordt medegevoerd, op een ander gedeelte van den ether oefent de ponderabele stof daarentegen geenerlei kracht uit, want het gaat er vrijelijk doorheen. Men zou daarom misschien beter doen, die voorstelling van Fresnel eenigszins te wijzigen. Men zou toch kunnen aannemen, zooals reeds Stokes heeft aangegeven ¹⁾, dat de ether, die door de bewegende lichamen gaat, een zekere snelheid aanneemt, doch niet de geheele snelheid van de bewegende lichamen, en ook niet in alle stoffen een even groote snelheid. Denkt men zich namelijk de lichamen in rust en den ether in beweging, dan zal de ether, volgens deze voorstellingswijze even goed de lichamen doorstromen, als hij door een ledige ruimte stroomt. De snelheid van den ether zal echter niet voor beide ruimten dezelfde zijn; de beweging van den ether zal in de lichamen vertraagd worden, waardoor hij daarin natuurlijk een grootere dichtheid verkrijgt. Deze voorstelling, dat de geheele ether in de lichamen bevat in hun beweging deelt, slechts met een geringere snelheid dan deze, komt mij voor veel natuurlijker te zijn en minder in strijd met de gewone wetten van aantrekking. Ik heb echter zelf tegen deze voorstelling één bedenking. Als de aardsche stoffen door den ether zich bewegen, deelen zij aan een gedeelte van dien ether een zekere snelheid mede. Deze snelheid kan niet op eens uit zich zelve verloren gaan. De ether zal haar nog moeten bezitten, als het

¹⁾ Phil. Mag. (3) t. 28, p. 76.

lichaam door dezen is doorgegaan. Van een aangenomen snelheid van den ether aan die zijde van de aarde, welke van de richting harer beweging is afgekeerd, ziet men echter niets. Bestond zij, de lichtverschijnselen zouden haar moeten aantoonen. Wij moeten dus aannemen, dat de ether, zoodra het lichaam door hem is heengegaan, weder terstond in den toestand van rust overgaat. Men zou dit daaraan kunnen toeschrijven, dat de ether, zoodra het bewegende lichaam hem verlaat, uit den verdichten toestand, waarin hij zich in dat lichaam bevond, weder in zijn gewonen ijeren toestand overgaat, en dat daardoor de verkregen beweging weder wordt opgeheven. Deze verklaring komt mij voor de natuurlijkste te zijn.

Over de krachten, die de ethermoleculen onderling en ether- en stofmoleculen op elkander uitoefenen, is ook nog weinig bekend. Bij de meesten vindt men dit onderwerp niet aangeroerd. Anderen echter spreken er van. Zoo meent Briot uit zijn onderzoekingen te kunnen opmaken, dat de ethermoleculen elkander afstooten in omgekeerde reden van de zesde macht van den afstand, de ether- en stofmoleculen elkander daarentegen aantrekken in omgekeerde reden van de tweede macht van den afstand. ¹⁾ Dit laatste laat zich zeer goed rijmen met onze veronderstelling omtrent het deelnemen van den ether in de beweging van de stoffelijke lichamen. Ook de met Fresnel's hypothese overeenkomende veronderstelling, dat de ether een grootere dichtheid bezit in de stoffen op aarde, dan in de ledige ruimte, is met Briot's uitkomst in overeenstemming. Beide deze verschijnselen

¹⁾ Ch. Briot, Essais sur la théorie mathématique de la lumière, Préface p. XV.

wijzen op een aantrekking van de ethermoleculen door de stofmoleculen. Bestond er geen aantrekking tusschen de stofmoleculen en den ether, er zou geen reden zijn, waarom de lichamen aan den in hen bevatten ether iets van hun snelheid zouden mededeelen, evenmin als er reden zou zijn, waarom de stofmoleculen den ether om zich heen zouden verdichten. Of die aantrekking nu juist de wet van Newton voor de algemeene aantrekkingskracht volgt, zooals Briot uit de dispersieverschijnselen meent te moeten aannemen, dit is zeker nog niet als volkomen zeker te beschouwen. Slechts dit, dat de ponderabele stof en de ether elkander aantrekken, moet wegens de bovengenoemde verschijnselen wel worden aangenomen. Waarom nu echter de eene stof den ether meer verdicht dan een andere dit doet, dit is voor het oogenblik vrij duister. Niet toch de meest dichte stoffen bevatten altijd den ether in den meest verdichten toestand; en dit zou men hebben verwacht, als men de meerdere of mindere dichtheid van den ether in verschillende middelstoffen alleen toeschrijft aan een aantrekking der ethermoleculen door de moleculen der middelstof. Hier schijnen dus nog andere oorzaken in het spel te zijn.

Zeer goed verklaart deze aantrekking van middelstof en ether de veranderingen, die in de dichtheid van den ether in éézelfde middelstof plaats hebben, als deze middelstof ijler of dichter wordt. Zoo hebben toch de proeven van Arago en Biot en die van Dulong over den brekingsexponent der gassen in minder of meer dichten toestand, die van Jamin over den brekingsexponent van water bij verschillende mate van samendrukking, die van Brewster, Dale en Gladstone over den brekingsexponent van vloeistoffen bij verschillende temperaturen en dus bij verschillende dichtheden, aange-

toond, dat voor éézelfde lichaam de brekingsexponent des te grooter is, naarmate dat lichaam dichter is. De dichtheid van den ether in éézelfde stof neemt dus met de dichtheid van die stof toe en af. ¹⁾ Dit geldt echter weder slechts, zoolang de toestand der stof niet te nabij komt aan dien toestand, waarbij zij haar aggregatietoestand verandert. Zoo neemt bijv. bij water de brekingsexponent, volgens de proeven van Arago, Jamin, Dale en Gladstone, voortdurend af, als de temperatuur van onder het vriespunt tot boven 5° stijgt, niettegenstaande het water bij die temperatuurverandering den toestand van zijn grootste dichtheid overschrijdt, waar men dus een maximum van den brekingsexponent verwacht zou hebben. Deze onregelmatigheid is echter naar mijne meening slechts daaraan toe te schrijven, dat het water binnen die temperatuurgrenzen op het punt is in een anderen aggregatietoestand, en dus ten opzichte van den in haar bevatten ether in een geheel andere stof over te gaan. Soortgelijke verschillen vindt men toch ook in de eigenschappen der gassen, als zij nabij het punt zijn, waarop zij van aggregatietoestand veranderen.

Het zij mij vergund hier nog op een tegenstrijdigheid

¹⁾ Hiermede schijnen echter in strijd te zijn de proeven van van der Willigen op glas bij verschillende temperaturen. In een der laatste vergaderingen van de koninklijke akademie van wetenschappen heeft hij toch aangekondigd, dat door hem gedane proeven hem bewezen hebben, dat de brekingsexponent bij glas niet af- maar toeneemt met de verhooging van temperatuur. Daar ik omtrent die proeven echter nog niets naders gelezen heb, kan ik ook niet beoordeelen, of de door mij genoemde hypothese door de uitkomsten dezer proeven wordt tegengesproken, dan wel of die uitkomsten ook misschien aan andere oorzaken moeten worden toegeschreven. Het verband tusschen stof en ether is ook nog te weinig bekend, dan dat men daaromtrent reeds iets zekers zou kunnen uitspreken.

opmerkzaam te maken in de eigenschappen, welke de aanhangers van Neumann's hypothese genoodzaakt zijn aan den ether toe te kennen. Deze veronderstellen, dat de ether overal een gelijke dichtheid bezit, zoowel wanneer hij in een overigens ledige ruimte als wanneer hij in andere stoffen bevat is. Hieruit vloeit noodzakelijk voort, dat er tusschen de ponderabele stof en den haar doordringenden ether geen merkbare aantrekking plaats heeft; anders toch zou de dichtheid van den ether, die de ponderabele stoffen doordringt, grooter moeten zijn dan die van den ether, welke een overigens ledige ruimte vult. Om nu de aberratieverschijnselen te verklaren uit Neumann's theorie moet men wel aannemen, dat de ether volkomen met de bewegende lichamen wordt medegevoerd, of dat hij in het geheel niet in de beweging dier lichamen deelt. Fresnel's hypothese van het gedeeltelijk medevoeren van den ether vereischt een ongelijke dichtheid van den ether, en vindt dus in Neumann's theorie geen plaats. De tweede der genoemde hypothesen laat zich echter niet met Arago's proeven vereenigen. De eerste hypothese is dus de eenig mogelijke, gesteld dat Stokes' verklaring der aberratieverschijnselen juist zij, en als men niet let op Fizeau's proeven. Doch deze hypothese zou bepaaldelijk vereischen, dat de ponderabele stof en de ether elkander aantrokken; want waardoor zou de ether anders door de ponderabele stof worden medegevoerd? Dit is echter in strijd met de in Neumann's theorie gevorderde constante dichtheid van den ether. De verklaring der aberratieverschijnselen voert dus, al letten wij ook niet op Fizeau's proeven, tot tegenstrijdigheden in Neumann's theorie, terwijl van deze tegenstrijdigheid in Fresnel's theorie volstrekt geen sprake is.

De hypothese, dat de richting der ethertrillingen in den rechthoekig gepolariseerden lichtstraal loodrecht is op het polarisatievlak, de hypothese, dat de ether in de verschillende middelstoffen een verschillende dichtheid bezit, die altijd grooter is, dan die van den ether in de ledige ruimte, de hypothese, dat een bewegend lichaam slechts een gedeelte van zijn snelheid mededeelt aan den ether, door welken hij zich beweegt; al deze hypothesen schijnen van de lichtverschijnselen een goede verklaring, en waarschijnlijk van eenige dier verschijnselen de eenig mogelijke verklaring te geven. Dat deze hypothesen verder met de door Briot uit de dispersieverschijnselen afgeleide uitkomst omtrent de werking tusschen stof en ether goed overeenkomen, ja, de door hem gevonden aantrekking tusschen stof en ether zelfs vereischen, ook dit pleit zeer voor hare juistheid. Ik herhaal hier dus nog eens, dat Fresnel's hypothese omtrent de trillingsrichting mij voorkomt de eenig mogelijke te zijn; vooreerst omdat die van Neumann met eenige verschijnselen bepaald in strijd schijnt te zijn, maar tevens omdat Fresnel's theorie de lichtverschijnselen niet slechts alle verklaart, maar ze ook op een natuurlijke wijze verklaart, en weinig gewaagde veronderstellingen omtrent den ether behoeft, hetgeen men niet kan zeggen van de theorie van Neumann.

A A N H A N G S E L.

Boven ¹⁾ hebben wij, bij de beschouwing van Bartlett's analyse, trachten aan te toonen, dat deze verkeerd is, en dat hij daardoor de vreemde veronderstelling moet maken:

$$\Delta : \Delta_1 = \sin^2 2r : \sin^2 2i.$$

Dat deze veronderstelling niet slechts vreemd is, omdat zij afwijkt van de veronderstellingen, door de andere onderzoekers aangenomen, maar dat zij bepaaldelijk verkeerd en onmogelijk is, wil ik hier nog trachten aan te toonen.

Zoo toch V en V_1 de voortplantingssnelheden voorstellen van het licht, e en e_1 de elasticiteiten van den ether, in de eerste en de tweede middelstof, dan heeft men, gelijk bekend is:

$$V^2 : V_1^2 = \sin^2 i : \sin^2 r = \frac{e}{\Delta} : \frac{e_1}{\Delta_1}$$

Nu heeft men in Fresnel's theorie:

$$e = e_1 \quad \text{en dus: } \Delta : \Delta_1 = \sin^2 r : \sin^2 i,$$

in Neumann's theorie:

$$\Delta = \Delta_1 \quad \text{en dus: } e : e_1 = \sin^2 i : \sin^2 r.$$

In beide theoriën vindt men dus voor de verhoudingen der dichtheden en der elasticiteiten van den ether in de beide middelstoffen constante waarden, die onafhankelijk zijn van de grootte van den invallingshoek, omdat $\frac{\sin i}{\sin r}$, gelijk bekend is, de brekingsexponent der beide middelstoffen voorstelt.

¹⁾ bl. 43—45.

In Bartlett's analyse hebben wij:

$$\Delta : \Delta_1 = \sin^2 2r : \sin^2 2i.$$

en dus:

$$e : e_1 = \cos.^2 r : \cos.^2 i.$$

Hier vinden wij dus, zoowel voor de verhouding der dichtheden als voor die der elasticiteiten van den ether waarden, die met den invallingshoek wel veranderen.

Dit is echter een bepaalde onmogelijkheid. Hoe men ook over de constitutie van den ether in de isotrope stoffen moge denken, dit staat toch vast, dat de verhouding tusschen de dichtheden en die tusschen de elasticiteiten van den ether in twee verschillende isotrope middelstoffen constante waarden moeten hebben.

Dat dit bij Bartlett niet zoo is, is een bewijs te meer, dat zijn analyse, die bovengenoemde veronderstelling vereischt, verkeerd moet zijn, en daar nu het beginsel der levende krachten zeer waarschijnlijk is, en ook vrij algemeen als waar wordt aangenomen, meen ik, dat men het verkeerde in Bartlett's analyse alleen daaruit kan verklaren, dat het beginsel verkeerd is, hetgeen hij omtrent de hoeveelheden van beweging heeft vooropgesteld.

STELLINGEN.

I.

De transversale ethertrillingen hebben plaats loodrecht op het polarisatievlak.

II.

De ether bezit overal een constante elasticiteit.

III.

De ponderabele stof en de ether trekken elkander aan.

IV.

Zeer juist vergelijkt Tyndall het absorptievermogen der stoffen voor warmte en licht met het kunnen medetrillen van lichamen bij de voortbrenging van sommige toonen.

V.

De meening van Magnus, dat de waterdamp geen groot absorptievermogen bezit voor de warmte, komt mij het waarschijnlijkst voor.

VI.

Zeer waarschijnlijk is de stelling van Clausius »dass die Wärme nicht von selbst aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen kann.»

VII.

Waarschijnlijk hebben de atomen der enkelvoudige stoffen alle eenzelfde ware warmte-capaciteit.

VIII.

De moleculen der enkelvoudige stoffen bevatten niet voor al die stoffen hetzelfde aantal atomen.

IX.

De voornaamste oorzaak van het regelatie-vermogen van het ijs bij de gletscherbeweging is de verlaging van het vriespunt door druk.

X.

Terecht zegt A. de la Rive, »que, d'une manière générale, dans tous les corps conducteurs, qu'ils soient

compactes ou en poudre, solides, liquides ou gazeux, la propagation de l'électricité s'y fait par des décharges moléculaires, analogues à de petits arcs voltaïques tantôt lumineux, tantôt obscurs, suivant l'intensité de l'électricité, la masse du corps et son degré plus ou moins grand d'agrégation."

XI.

De meening, dat de natuurlijke silicaten plutonische gesteenten zijn, is zoowel met de scheikunde als met de natuurkunde in strijd.

XII.

De tegenwoordige vorm der aarde vereischt niet, dat zij eenmaal vurig vlocibaar geweest is.

XIII.

De planten, die tot de vorming der steenkolen hebben medegewerkt, zijn in het algemeen niet daar gegroeid, waar men de steenkolen vindt.

XIV.

Waarschijnlijk is de meening van Mohr, dat de steenkolen grootendeels uit zeeplanten ontstaan zijn.

XV.

De hypothese, die aanneemt, dat de thans bestaande plant- en diervormen ontstaan zijn door langzame veran-

dering van uitgestorven vormen, is voor het tegenwoordige de meest waarschijnlijke hypothese.

XVI.

Het streven van velen, om het aantal verschillende soorten van dieren en planten, wegens slechts zeer geringe verschillen, sterk te vermeerderen, verdient afkeuring.

XVII.

De hypothese, die aan de zon een donkere kern toekent, en een photosfeer, die licht en warmte uitstraalt, is zeer onwaarschijnlijk.

XVIII.

De zonnevlekken zijn nog niet op een voldoende wijze verklaard door hen, die de zon als een gloeiende bol beschouwen.

XIX.

Niets is in volkomene noch in betrekkelijke rust, zelfs niet het kleinste deeltje.
