VI. *Electromagnetische Drehung natürlichen Lichts; von L. Sohncke.*

1. Auseinandersetzung der Aufgabe. Andeutung ihrer Lösung.

Seit Faraday's grosser Entdeckung der Drehung der Polarisationssebene durch electromagnetische Kräfte ist diese Erscheinung nach mancherlei Richtungen hin weiter verfolgt worden; und gerade die neueste Zeit hat wieder wesentliche Fortschritte auf diesem Gebiete gebracht. Indessen ist, soviel mir bekannt, bei allen einschlägigen Untersuchungen immer nur die Wirkung der electromagnetischen Kräfte auf polarisirtes Licht untersucht worden, während die Frage nicht gestellt oder wenigstens nicht beantwortet zu sein scheint, ob jene Kräfte auch auf unpolarisirtes, natürliches Licht eine nachweisbare Wirkung üben.¹⁾ Die Beantwortung dieser Frage bildet den Inhalt des Folgenden.

Der Gedankengang, welcher für die Anordnung der betreffenden Versuche massgebend war, ist dieser. Bekanntlich interferiren zwei aus derselben Quelle stammende geradlinig polarisirte Lichtstrahlen, welche unter hinreichend spitzem Winkel zusammentreffen, auf's Vollkommenste, wenn sie parallel polarisirt sind, — denn in diesem Falle ertheilen beide dem ergriffenen Theilchen Bewegungsantriebe, die beinahe oder gänzlich in eine und dieselbe Gerade gerichtet sind —; sie interferiren dagegen gar nicht, wenn sie senkrecht aufeinander polarisirt sind.

Natürliche, aus ein und derselben Quelle stammende Lichtstrahlen verhalten sich bezüglich der Interferenz vollständig wie parallel polarisirte. Daraus scheint zu folgen, dass auch hier die beiden zusammentreffenden Strahlen das ergriffene Theilchen in jedem Moment beinahe oder gänzlich längs einer und derselben Geraden antreiben. In der That: fasst man natürliches Licht als solches auf,

1) Nur in der ganz kürzlich erschienenen Arbeit von de W. B. Brace, Wied. Ann. 26. p. 576. 1885 ist die Frage gelegentlich berührt, aber nicht erledigt.

dessen Polarisationssebene in sehr kurzer Zeit alle möglichen Stellungen durchläuft, so sind die zusammentreffenden Strahlen, die ja bei den Interferenzversuchen nie sehr grosse Wegunterschiede besitzen, in jedem Moment als parallel polarisirte ansehbar. Aber auch bei der allgemeineren Vorstellung, derzufolge das natürliche Licht elliptisch polarisirtes mit stets wechselnder Lage der grossen Ellipsenaxe sei, kommt man für jede der beiden geradlinigen, senkrecht aufeinander schwingenden Componenten, durch welche man die elliptische Schwingung ersetzen kann, zu demselben Ergebniss.

Es ist nun einleuchtend, dass zwei natürliche Lichtstrahlen ihre Interferenzfähigkeit verlieren müssen, wenn es gelingt, durch electromagnetische Kräfte die Schwingungsrichtung (resp. die grosse Ellipsenaxe) des einen um 90° gegen die des anderen zu drehen, denn in diesem Falle verhalten sich die beiden Strahlen so wie zwei senkrecht aufeinander polarisirte. Auf diesem Wege lässt sich also Entscheidung darüber herbeiführen, ob natürliches Licht in analoger Weise wie polarisirtes, durch electromagnetische Kräfte beeinflusst wird.

Entsprechend dem Verfahren, durch welches Fresnel und Arago bei ihren grundlegenden Versuchen die Bedingungen der Interferenz polarisirten Lichtes studirt haben, lasse man natürliches Licht durch einen schmalen Spalt auf einen nicht zu nah aufgestellten Schirm mit zwei sehr nahen, dem ersteren Spalt parallelen Spalten fallen. Hinter diesem Schirme sind zwei congruent gestaltete Körper aus ein und derselben geeigneten Substanz aufgestellt (etwa zwei gleiche Röhren voll Schwefelkohlenstoff oder zwei gleiche langgestreckte Parallelepipeda Faraday'schen Glases), sodass das durch den einen Spalt gedrungene Strahlenbündel den einen Körper durchsetzt, das durch den anderen Spalt gedrungene Bündel den anderen. Um aber in jedem der beiden Körper für sich electromagnetische Drehung hervorrufen zu können, stelle man sie nicht unmittelbar nebeneinander, sondern ziehe — aus der anfänglich genau symmetrischen Stellung — den einen um mehr als seine eigene Länge parallel mit sich zurück, so jedoch, dass die beiden vorher in Berührung ge-

wesenen Flächen auch nachher in einer und derselben verticalen Ebene liegen, welche mitten zwischen den zwei Parallelspalten hindurchgeht und den als Lichtquelle dienenden Spalt in sich fasst (s. Fig. 1). Bei sorgfältiger Aufstellung

Fig. 1.

müssen auch jetzt noch deutliche Interferenzstreifen in der Nähe jener Verticalebene zu sehen sein; sie werden mit einer Lupe beobachtet. Wenn man nun jeden der beiden Körper mit einer Drahtrolle umgibt und einen Strom von hinreichender Stärke so durch die Rollen schickt, dass bei Anwendung geradlinig polarisirten Lichtes die Polarisationssebene in dem einen Körper um 45° nach links, in dem anderen ebensoviel nach rechts gedreht würde, so müssen auch bei Anwendung natürlichen Lichtes die Interferenzstreifen vollständig verschwinden, falls das natürliche Licht in entsprechender Weise wie das polarisirte durch electromagnetische Kräfte beeinflusst wird.

Andere Vorrichtungen, z. B. der sonst so vortreffliche Interferenzrefractor von Jamin, dürfen im vorliegenden Falle nicht zur Erzeugung der Interferenzen benutzt werden, weil durch die dabei erforderlichen Reflexionen das Licht aufhören würde, vollständig unpolarisirtes zu sein.

Als ich vorstehenden Gedankengang gelegentlich Hrn. Prof. Abbe mittheilte, erfuhr ich von ihm, dass er schon vor einer längeren Reihe von Jahren bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Abbildung nicht leuchtender Körper im Mikroskop ganz entsprechende Ueberlegungen angestellt hat, die sich allerdings nicht auf die electromagnetische, sondern lediglich auf die natürliche Drehung (des Quarz u. s. f.) bezogen. Damals hat Hr. Abbe beobachtet, dass, wenn man in den Gang des einen von zwei interferirenden Strahlenbündeln einen Rechtsquarz, in den Gang des anderen Bündels einen gleich dicken Linksquarz, und zwar von 1,88 mm Dicke (wodurch die Polarisationssebene des mittleren Spectralgelb um etwa 45° nach rechts, resp. links gedreht wird) einschaltet.

die Interferenzstreifen verschwinden, und zwar nicht nur bei Anwendung polarisirten Lichtes, sondern ebensogut bei Anwendung natürlichen Lichtes. Zur Controle hat Hr. Abbe jene beiden Quarzplatten sodann durch andere von etwa doppelter Dicke ersetzt, welche also um 90° nach rechts und links drehen, und hat sich davon überzeugt, dass jetzt wieder Interferenzstreifen vorhanden waren.

Diese bisher unveröffentlichten Beobachtungen des Hrn. Abbe sind für die Vereinfachung der für meinen Zweck dienenden Versuche sehr wesentlich; denn augenscheinlich kann man jetzt einen Theil der Drehung des natürlichen Lichtes durch Quarzplatten hervorbringen, braucht also nicht so lange Stücke jener Substanzen anzuwenden, in denen das Licht der electromagnetischen Einwirkung unterliegen soll. Auch braucht der Strom jetzt weniger stark zu sein. Das schliesslich von mir gewählte Versuchsverfahren war aber doch noch ein wenig anders. Zum Verständniss desselben ist es nöthig, zunächst noch einige Folgerungen aus dem Abbe'schen Ergebniss zu ziehen.

2. Ein neuer Interferenzversuch mit natürlichem Licht.

Wenn von einer spaltförmigen Lichtquelle ausgegangenes Licht durch zwei einander nahe parallele Spalte eines undurchsichtigen Schirmes geht, so besteht die hinter dem Schirm mit einer Lupe direct aufzufangende Interferenzerscheinung aus einer Reihe heller und dunkler Parallelstreifen. Es ist wichtig, zu bemerken, dass die Mitte der Erscheinung von einem hellen Streifen gebildet wird. Denn die in der Mitte zusammenkommenden Strahlen haben gleich lange Wege durch dasselbe Medium hindurch zurückgelegt, haben also keinen Phasenunterschied und verstärken sich demnach auf's Vollständigste.

Setzt man nun vor einen der zwei parallelen Spalte des Schirmes eine rechtsdrehende Quarzplatte von solcher Dicke, dass sie die Polarisationssebene geradlinig polarisirten gelben Lichtes um 90° nach rechts drehen würde; vor den anderen Spalt eine ebenso dicke linksdrehende Quarzplatte, so findet, wie erwähnt, nach Hr. Abbe's Bemerkung auch bei natür-

lichem Lichte Interferenz statt. Die jetzige Interferenzerscheinung muss aber, wie eine einfache Ueberlegung lehrt, von der vorher beobachteten verschieden sein. Die in der Mitte zusammentreffenden Strahlen haben zwar wieder gleich lange Wege zurückgelegt, sie sind aber infolge der entgegengesetzten Drehwirkung beider Quarzplatten in genau entgegengesetzter Phase, müssen sich also vernichten. Die Mitte der Erscheinung muss also von einem schwarzen Streifen eingenommen werden.

Diese Folgerung bestätigte sich durch die Beobachtungen auf's Vollständigste. Dieselben wurden unter sorgfältiger Abhaltung alles störenden Nebenlichtes abends oder im verdunkelten Zimmer bei Tage angestellt. Als Lichtquelle diente ein $\frac{1}{3}$ mm breiter Spalt, beleuchtet durch eine dicht hinter ihm stehende Gasflamme. Der Schirm mit den zwei Parallelspalten war 2,5 m davon entfernt. Diese beiden Spalten, von je $\frac{1}{4}$ mm Breite, waren durch einen undurchsichtigen Zwischenraum von 1 mm getrennt. Als Beobachtungslupe eignet sich eine von 15- bis 20facher Vergrößerung; sie muss mit einem Ocularmikrometer versehen sein. Bei verschiedenen Versuchen wurde sie in $\frac{3}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ m Entfernung hinter dem Schirme aufgestellt. Als Quarzplatten benutzt man am einfachsten den Doppelquarz eines Soleil'schen Saccharimeters, dessen eine Hälfte ja rechts, dessen andere Hälfte links dreht; seine Dicke von $3\frac{3}{4}$ mm ist so abgemessen, dass das mittlere Spectralgelb um 90° nach rechts oder links gedreht wird. Mir stand ein etwas dickerer Doppelquarz (von 4,13 mm Dicke) zur Verfügung, der nicht für das mittlere Gelb, sondern für die *D*-Linie die verlangte Drehung bewirkt (sie beträgt genauer $89,6^\circ$).

Auf der der Lichtquelle zugewandten Seite des Schirmes stellte ich den Doppelquarz mit verticaler Grenzfläche beider Hälften dicht vor den beiden Spalten auf, zunächst jedoch so, dass nur die eine Quarzhälfte vor beiden Spalten steht; dann ist die Interferenzerscheinung identisch mit derjenigen bei ganz fehlendem Quarz; nur ihre absolute Lage im Raum ist eine etwas andere, was von der nicht vollkommenen Parallelität beider Grenzflächen und vielleicht auch von ein

wenig schiefer Aufstellung herrührt. Verschiebt man den Quarz nun so, dass seine andere Hälfte vor beiden Spalten steht, so ändert sich weder die Interferenzerscheinung, noch ihre Lage im Raum. Die Erscheinung war folgende: Zu jeder Seite des mittleren weissen Streifens befindet sich ein intensiv schwarzer, dann folgt ein heller, dann ein dunkler mit schwach farbigen Rändern; die weiterhin folgenden Streifen sind schon sehr farbig und verschwommen. Bei einem Versuch deckte der helle Mittelstreif die Scalentheile 49 bis 51 des Ocularmikrometers, mochte nun nur der Rechtsquarz oder nur der Linksquarz vor beiden Spalten stehen. Das Ocularmikrometer wurde dabei durch ein passend vorgehaltenes Licht vorübergehend und nur eben hinreichend beleuchtet.

Sobald jetzt der Doppelquarz so verschoben wurde, dass seine Grenzlinie vor den undurchsichtigen Trennungstreifen der beiden Spalten zu stehen kam, änderte sich die Erscheinung mit einem plötzlichen Ruck. Die Scalentheile 49 bis 51 wurden jetzt durch einen dunkeln Streifen gedeckt, welcher jetzt die Mitte der Erscheinung bildete. Zu jeder Seite schloss sich ein heller, darauf ein schwarzer Streif an; erst die weiter folgenden erschienen farbiger und matter. Uebrigens ist diese ganze Erscheinung nicht völlig so deutlich wie die vorige; die hellen Streifen sind nicht ganz so hell, die dunkeln nicht ganz so dunkel, wie bei fehlendem Doppelquarz. Dies erklärt sich aus der grossen Verschiedenheit der Drehung des Quarz für die verschiedenen Farben.

War also vorher das Interferenzbild durch nur zwei absolut schwarze Streifen und einen hellen Mittelstreifen charakterisirt, so zeichnete es sich jetzt durch drei fast absolut schwarze aus, deren mittelster zugleich die Mitte der ganzen Erscheinung bildete.

Derartige Versuche habe ich viele und immer mit demselben Erfolge angestellt. Unter anderem wurden auch einmal die Lagen der aufeinander folgenden Streifen abgelesen. Als der Linksquarz vor beiden Spalten stand, lagen die Mitten dunkler Streifen bei den Scalenstrichen 45, 50, 55, 60. Genau an denselben Stellen lagen sie, als der Rechtsquarz

vor beiden Spalten stand. Als aber der Rechtsquarz vor den einen Spalt, der Linksquarz vor den anderen gestellt wurde, fanden sich genau bei den obigen Strichen die Mitten heller Streifen. Durch solche Beobachtungen ist die theoretisch zu erwartende Verschiebung der Streifen um einen halben Streifenabstand unzweifelhaft festgestellt.

Auch mit einem Doppelquarz von 1,88 mm Dicke, welcher also die Polarisationssebene des mittleren Gelb um 45° nach rechts, resp. links dreht, machte ich analoge Versuche. Solange die eine Hälfte desselben vor beiden Spalten stand, zeigte sich die Erscheinung wie bei fehlendem Quarz, wenn auch an einer ein wenig anderen Stelle im Raume. Sobald aber die Grenzlinie beider Quarzhälften vor den Trennungstreifen beider Spalte gerückt wurde, verschwanden die Interferenzstreifen (Abbe'sche Erscheinung) und machten einer fast gleichförmigen Helligkeit Platz, in der nur sehr schwache Andeutungen von Farbstreifen zu bemerken waren.

Diese Versuche lassen sich auch leicht objectiv machen, sodass sie, wenn auch nicht von einer grossen Zuhörerschaft, so doch immerhin von mehreren Personen gleichzeitig gesehen werden können. Allerdings bringt es die Anwendung des Heliostatenspiegels mit sich, dass das angewandte Licht nun nicht mehr vollständig unpolarisirt ist. Etwa $2\frac{1}{2}$ m entfernt von dem vermitteltst des Heliostaten beleuchteten Spalt (von $\frac{3}{4}$ mm Weite) stellte ich den Schirm mit zwei Parallelspalten auf. Letztere waren jetzt nur $\frac{1}{8}$ mm weit und standen $\frac{3}{4}$ mm voneinander ab. Auf der 4 m dahinter aufgestellten weissen Auffangfläche zeigte sich, wenn nur eine Quarzhälfte beide Spalten bedeckte, die gewöhnliche Erscheinung, wenn aber je eine Quarzhälfte vor einem Spalt stand, die geänderte Erscheinung, wobei die drei dunkeln Streifen einen etwas bläulichen Farbton hatten; und es liess sich beim Auffangen auf einer Scala auf's genaueste erkennen, dass in beiden Versuchen die hellen und dunkeln Streifen ihre Lage gerade vertauscht hatten. Auch das Verschwinden der Interferenz bei Anwendung des Doppelquarz von 1,88 mm Dicke zeigt sich objectiv sehr schön. Wie man erkennt, bieten diese Versuche, welche ja so äusserst wenig

Apparat erfordern, eines der einfachsten Hilfsmittel zum Nachweise der Grundlehren der Interferenz.

Würde man einen Doppelquarz von merklich geringerer Dicke als 1,88 mm anwenden, dessen Drehungen für Gelb also weniger als $\pm 45^\circ$ betrügen, so würden die Interferenzstreifen noch nicht verschwinden; ihre Lage würde mit derjenigen bei fehlendem Quarz übereinstimmen. Denkt man sich einen anfänglich sehr dünnen Doppelquarz an Dicke zunehmen, so müssen die Interferenzstreifen immer undeutlicher werden, bei der Dicke 1,88 mm ganz verschwinden, bei Ueberschreitung dieser Dicke wieder auftreten, zunächst zwar noch undeutlich, aber schon um den halben Abstand zweier dunklen Nachbarstreifen gegen ihre vorige Lage verschoben. Die Richtigkeit dieser Behauptungen, welche freilich wohl auch unmittelbar einleuchtet, ergibt sich strenger auf dem Wege der Rechnung.

Zu dem Zwecke denken wir zunächst geradlinig polarisiertes Licht angewandt. Die durch die beiden entgegengesetzt drehenden Quarzplatten gegangenen Strahlen treffen im Punkte

Fig. 2.

P unter sehr spitzem Winkel zusammen. Der Einfachheit halber wird angenommen, dieser Winkel sei nicht merklich von Null verschieden, dann können beide Strahlen in *P* senkrecht auf der Zeichnungsebene stehend gedacht werden. War

X die ursprüngliche Schwingungsrichtung, so sind die in *P* vorhandenen Schwingungsrichtungen unter $\pm \alpha^\circ$ gegen *X* geneigt, wenn $\pm \alpha$ die durch beide Quarzplatten oder auf andere Weise hervorgerufenen, entgegengesetzt gleichen Drehungen der Polarisationssebene bezeichnet. Bedeutet nun δ den Wegunterschied beider Strahlen, gerechnet vom Schirme bis zum Punkte des Zusammentreffens (*P*), ist ferner *T* die Oscillationsdauer, λ die Wellenlänge des angewandten Lichtes (mittleres Spectralgelb), so lassen sich die Gleichungen der beiden Strahlen im Punkte *P* schreiben:

$$v_1 = \cos 2\pi \frac{t}{T}; \quad v_2 = \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda} \right).$$

Hier bedeutet v die von dem einzelnen Strahl hervor-gebrachte augenblickliche Entfernung des schwingenden Theilchens aus der Ruhelage P . Die Amplitude ist der Einfachheit halber = 1 gesetzt. Durch Zerlegung eines jeden dieser beiden Strahlen in zwei Componenten, die bezüglich parallel und senkrecht zur ursprünglichen Schwingungsrichtung X schwingen, erhält man die vier Strahlen:

$$\begin{aligned} x_1 &= \cos \alpha \cdot \cos 2\pi \frac{t}{T}; & y_1 &= -\sin \alpha \cdot \cos 2\pi \frac{t}{T}; \\ x_2 &= \cos \alpha \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda} \right); & y_2 &= \sin \alpha \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda} \right). \end{aligned}$$

Diese vier Theilstrahlen setzen sich paarweise zusammen. Man erhält als längs X schwingenden Strahl:

$$x_1 + x_2 = \cos \alpha \cdot \left\{ \cos 2\pi \frac{t}{T} + \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda} \right) \right\},$$

und als senkrecht dazu schwingenden Strahl:

$$y_1 + y_2 = \sin \alpha \cdot \left\{ -\cos 2\pi \frac{t}{T} + \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{\lambda} \right) \right\};$$

oder nach leichter Umformung:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= X = 2 \cos \alpha \cdot \cos \frac{\delta\pi}{\lambda} \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{2\lambda} \right), \\ y_1 + y_2 &= Y = 2 \sin \alpha \cdot \sin \frac{\delta\pi}{\lambda} \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\delta}{2\lambda} \right). \end{aligned}$$

Nun ist bekanntlich die durch das Zusammenwirken zweier senkrecht aufeinander schwingenden Strahlen erzeugte Intensität:

$$J = \frac{2\pi^2}{T^2} (a^2 + b^2),$$

wenn a und b die beiden Amplituden bedeuten. Folglich ist die im Punkte P vorhandene Intensität:

$$(1) \quad J = \frac{8\pi^2}{T^2} \cdot \left\{ \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \frac{\delta\pi}{\lambda} + \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \frac{\delta\pi}{\lambda} \right\}.$$

Dieser Ausdruck soll zur Ermittlung der Intensität zweier Stellen der Interferenzerscheinung angewendet werden,

nämlich erstens der Mitte der ganzen Erscheinung, und zweitens der um einen halben Streifenabstand davon entfernten Stelle. Für ersteren Ort ist $\delta = 0$, für letzteren $\delta = \lambda/2$. Nennt man die Intensität der Mitte J_m , die der seitlichen Stelle J_s , so wird also:

$$(2) \quad J_m = \frac{8\pi^2}{T^2} \cos^2 \alpha; \quad J_s = \frac{8\pi^2}{T^2} \sin^2 \alpha.$$

Diese Formeln sollen auf drei Fälle angewandt werden.

1. Es sei $\alpha = 45^\circ$, d. h. ausser dem Doppelquarz von 1,88 mm Dicke, der eine Drehung von $\pm 45^\circ$ erzeugt, sei keine weitere drehende Ursache vorhanden. Dann wird:

$$J_m = J_s = \frac{4\pi^2}{T^2},$$

d. h. die Mitte und der erste seitliche Streifen sind gleich hell; die Helligkeit des ganzen Feldes ist jetzt gleichmässig, wie Gl. (1) unmittelbar lehrt.

2. Es sei $\alpha < 45^\circ$. Jetzt hat also entweder der Doppelquarz geringere Dicke als 1,88 mm, oder ausser ihm ist noch eine andere Ursache vorhanden, welche beiden Strahlen eine Drehung von $45 - \alpha^\circ$ in entgegengesetztem Sinne wie der Quarz erteilt. Jetzt ist $J_m > J_s$, d. h., die Mitte ist heller als der erste Seitenstreif; die Erscheinung nähert sich derjenigen bei fehlendem Doppelquarz an. Für letzteren Fall, also für die freien Parallelspalten, ist $\alpha = 0$, also $J_m = 8\pi^2/T^2$; $J_s = 0$; die Mitte ist so hell als möglich, der erste Seitenstreif absolut schwarz.

3. Es sei $\alpha > 45^\circ$, aber $< 135^\circ$. Jetzt hat also entweder der Doppelquarz grössere Dicke als 1,88 mm, oder ausser ihm ist noch eine andere Ursache vorhanden, welche in demselben Sinne wie er um weitere $\alpha - 45^\circ$ dreht. Jetzt ist $J_m < J_s$, d. h. die Mitte ist dunkler als die seitliche Stelle; die Erscheinung nähert sich derjenigen an, welche bei Anwendung eines Doppelquarz von $3\frac{3}{4}$ mm auftritt. Für letzteren Fall ist $\alpha = 90^\circ$, also $J_m = 0$; $J_s = 8\pi^2/T^2$; d. h. die Mitte wird von einem schwarzen Streifen eingenommen, der erste Seitenstreif ist so hell als möglich.

Diese unter Voraussetzung der Anwendung geradlinig polarisirten Lichtes abgeleiteten Ergebnisse bleiben nach dem, was eingangs über das natürliche Licht in Erinnerung gebracht wurde, auch bei Anwendung natürlichen Lichtes in Geltung. — Weil im weissen Licht die übrigen Farben gegen das mittlere Gelb sehr an Intensität zurücktreten, so bestätigen sich die obigen Ergebnisse sehr nahe auch mit weissem Licht.

3. Nachweis der electromagnetischen Drehung natürlichen Lichtes.

Mit Benutzung der im vorigen Abschnitt besprochenen Erscheinung bietet sich nun als geeignetste Versuchsanordnung zum Nachweis der electromagnetischen Drehung natürlichen Lichtes folgende dar. Man lässt die beiden zur Interferenz bestimmten Strahlenbündel natürlichen Lichtes erst durch einen Doppelquarz von 1,88 mm Dicke gehen, wodurch die Interferenzstreifen zum Verschwinden gebracht werden. Sobald man jetzt durch die Drahtrollen, welche die beiden im Wege der zwei Strahlenbündel liegenden Stäbe Faraday'schen Glases umgeben, einen electrischen Strom in der Weise schickt, dass die Drehwirkungen beider Rollen einander entgegengesetzt sind, so müssen die Interferenzstreifen wieder erscheinen, falls wirklich eine electromagnetische Drehung natürlichen Lichtes existirt. Die Lage der auftauchenden Streifen muss aber verschieden sein, je nachdem die electromagnetische Drehung in demselben oder in entgegengesetztem Sinne, wie die durch die betreffende Quarzhälfte hervorgerufene Drehung stattfindet. Die Verschiebung der Streifen beim Uebergang von einer Stromrichtung zur anderen muss einen halben Streifenabstand betragen.

Um diesen Versuch erfolgreich anstellen zu können, braucht man vor allem zwei in allen Beziehungen möglichst gleiche Körper, in denen die electromagnetische Drehung der Strahlen erfolgen soll. Ich wählte dazu zwei parallel-epipedische Glasstücke, die in vorzüglicher Beschaffenheit von der optischen Werkstätte des Dr. Zeiss in Jena geliefert wurden. Jeder dieser Stäbe ist 142,5 mm lang, 7,25 mm

breit, 15,0 mm hoch. Die zwei Endflächen eines jeden sind vorzüglich planparallel und fein polirt, die vier langen Seitenflächen sind matt. Beide Stäbe sind aus derselben Glasplatte geschnitten; sie tragen Zeichen, welche erkennen lassen, in welcher Lage beide in der Glasplatte ursprünglich nebeneinander gelegen haben. Im Polarisationsapparat erwiesen sie sich als gänzlich frei von Doppelbrechung. Die benutzte Glassorte geht zwar unter dem Namen „Faraday'sches Glas“, sie ist aber ein reines Bleisilicat (ohne Bor); der Brechungsquotient für Natriumgelb ist 1,72. Jede der beiden Drahtrollen, in welche diese Stäbe gesteckt werden sollten, trägt in sieben Lagen zusammen etwa 400 Windungen eines 2 mm dicken, asphaltirten Kupferdrahtes; die bewickelte Länge der Rolle beträgt ungefähr 150 mm. Der cylindrische Hohlraum jeder Rolle hat 30 mm Durchmesser.

Wenn ein electrischer Strom von etwa 20 Ampères (geliefert von einer Schuckert'schen Compound-Dynamomaschine, welche für gewöhnlich eine Bogenlampe speist) durch eine Rolle ging, so erlitt die Polarisationsebene eines geradlinig polarisirten Strahles beim Durchgange durch einen der in der Rolle steckenden Glasstäbe eine Drehung von etwa $9,2^\circ$. Der Strom durfte aber nur kurze Zeit geschlossen sein, wenn nicht starke Erwärmung der Rolle und folglich auch des in ihr steckenden Glasstabes eintreten sollte, wodurch letzterer bald starke, aber natürlich nur vorübergehende Doppelbrechung erlangte.

Um über jeden der beiden Glasstäbe eine Rolle überschieben zu können, ohne dabei eine Störung in der gegenseitigen Stellung der Stäbe herbeizuführen, wählte ich als Träger der Glasstäbe ein 330 mm langes, 21 mm breites Lineal von 6 mm starkem Messing. Dasselbe ist nur in der Mitte unterstützt durch eine ganz kurze starke Messingsäule, die in geeigneter Weise auf einem massiven Grundbrett befestigt ist. So liegt das Messinglineal horizontal und in der richtigen Höhe, um — wenn die Glasparallelepipeda auf ihm stehen — von jedem seiner beiden Enden her das Uberschieben einer Drahtrolle zu gestatten; letztere wird auf

dem Grundbrett längs einer Führungsleiste hin geschoben, bis sie nahe an die mittlere Tragsäule heranreicht. Die obere Fläche des Messinglineals muss eine möglichst vollkommene Ebene sein. Wenige Millimeter von dem einen Ende dieses Lineals entfernt ist auf ihm ein verticales Messingplättchen mit den beiden parallelen Spalten befestigt. Jeder Spalt ist $\frac{1}{4}$ mm weit, der Zwischenraum zwischen beiden beträgt 1 mm.

Die Ausführung eines Versuches gestaltet sich nun folgendermassen. Unmittelbar hinter das Schirmchen mit den parallelen Spalten setzt man beide Glasstäbe auf das Messinglineal, sodass sie sich so genau als möglich berühren, und zwar mit jenen zwei langen Flächen, mit denen sie ursprünglich in der Glasplatte (aus der sie herausgeschnitten sind) nebeneinander lagen. Darauf befestigt man das eine Glasparallelepiped dadurch, dass man Klebwachs in den Winkelraum zwischen seiner äusseren Langseite und dem Messinglineal bringt. Der als Lichtquelle dienende, 2 m oder mehr entfernte Spalt (beleuchtet durch eine Gasflamme) wird den zwei Spalten des Schirmchens parallel gerichtet und so gestellt, dass er in der Erweiterung der Berührungsebene beider Glasstücke liegt. Ob völlige Symmetrie der Aufstellung erreicht ist, controlirt man durch Besichtigung der Interferenzerscheinung mit der Lupe. Der Doppelquarz von 1,88 mm Dicke ist auf der Messingschiene dicht vor dem Schirmchen mit den Spalten aufgestellt, aber zunächst so, dass eine und dieselbe Quarzhälfte vor beiden Spalten steht. Nun zieht man das beweglich gebliebene Glasparallelepiped an dem anderen entlang, bis es etwa mit seiner halben Länge hervorsteht, legt alsdann ein genau berechtigtes schmales Holzlineälchen an seine frei gewordene vorige Berührungsfläche und schiebt das Glasparallelepiped vollends an diesem Holzlineal entlang bis gegen das Ende der Messingschiene hin. Darauf prüft man mit der Lupe, ob die Interferenzstreifen noch deutlich sind. Dies ist meistens nicht der Fall; vielmehr pflegen sie entweder ganz verschwunden oder doch höchst undeutlich und schief geworden zu sein. Wenn man aber jetzt durch vorsichtiges Hin- und Herdrehen des

Grundbrettes bewirkt, dass der Lichtspalt und die gewesene Berührungsebene der Glasstäbe wieder möglichst in einer und derselben Verticalebene liegen, so treten die Interferenzstreifen wieder auf. Man kann sie oft dadurch schärfer machen, dass man den Lichtspalt ein wenig aus seiner verticalen Stellung nach rechts oder links dreht.

Nun werden die Rollen vorsichtig übergeschoben und die Stromverbindungen — bis auf eine Unterbrechungsstelle — hergestellt. Nachdem am Ocularmikrometer die Stellen der deutlichsten schwarzen Streifen abgelesen sind, (sie sind in der folgenden Tabelle unter der Ueberschrift „Ursprüngliche Orte“ aufgeführt), gibt man dem Doppelquarz die richtige Stellung, sodass der Rechtsquarz vor dem einen Spalt, der Linksquarz vor dem anderen steht, und überzeugt sich, dass die Streifen wirklich verschwunden sind. Endlich schliesst man den Strom und beobachtet, ob und wo schwarze Interferenzstreifen wieder auftreten. Der von der Dynamomaschine gelieferte Strom wurde durch Ausschaltung alles unnützen Widerstandes immer so stark als möglich gemacht. Der zur electricischen Beleuchtungseinrichtung mitgelieferte Stromstärkemesser nach Uppenborn gestattet nur Stärken bis 20 Ampères abzulesen. Bei den Versuchen schlug nun der Zeiger immer heftig gegen den Grenzstift, sodass die Stromstärke sicher 20 Ampères weit überstieg. Ich habe es aber für entbehrlich gehalten, eine wirkliche Messung der angewandten Stromstärke auszuführen.

So oft ich den Versuch in der beschriebenen Weise ausführte, sah ich im Momente des Stromschlusses stets deutliche Interferenzstreifen auftreten. Hiermit ist die electromagnetische Drehung des natürlichen Lichtes bewiesen.

Wenn die Rollen dabei in entgegengesetztem Sinne umflossen wurden, als in welchem die Schwingungsrichtung des Strahles bei der vorhergegangenen Durchsetzung der Quarzhälfte schon gedreht war (Stromrichtung *a* der folgenden Tabelle), so erschienen die Streifen am ursprünglichen Ort. War die Stromrichtung aber die umgekehrte (Stromrichtung *b*), so erschienen die Streifen um den halben Streifenabstand verschoben.

Hieraus folgt, nach den Entwicklungen am Schluss des vorigen Abschnittes, dass im ersteren Falle die electromagnetische Drehung entgegengesetzt der natürlichen Drehung im Quarz war, im zweiten Falle aber ihr gleich gerichtet. Die electromagnetische Drehung der Schwingungsrichtung im natürlichen Lichtstrahl erfolgt also in demselben Sinne, in welchem der Strom das durchstrahlte Glasstück umfließt, ganz so, wie es bei Anwendung geradlinig polarisirten Lichtes bekannt ist. Die electromagnetische Drehung natürlichen Lichtes erweist sich also als nicht specifisch verschieden von derjenigen des polarisirten.

Es wird nicht überflüssig sein, die bei einigen Versuchen am Ocularmikrometer abgelesenen Orte benachbarter dunkler Streifen hier mitzutheilen. Bei jedem neuen Versuch war immer dieser oder jener Theil der ganzen Vorrichtung neu eingestellt worden.

Nr. des Versuchs	Ursprüngliche Orte	Orte bei Strom <i>a</i>	Orte bei Strom <i>b</i>
1.	44 und 48,5	—	46,5 und 51
2.	44 „ 48	44 und 48 (?)	42 „ 46
3.	50,5 „ 55	50 „ 54,5	52,5 „ 56
4.	50 „ 54	50 „ 54	52 „ 56
5.	50 „ 55	50 „ 55	52 „ 57

Die Streifen sind nicht ganz so deutlich, als wie sie ohne Quarz und ohne Strom auftreten; daher darf die Beleuchtung des Ocularmikrometers auch nur sehr schwach sein, um die Erscheinung nicht zu verdecken. Weil ausserdem die Beobachtungen sehr schnell gemacht werden mussten, wie sogleich begründet werden wird, so darf die Uebereinstimmung der Zahlen dieser Tabelle mit dem zu erwartenden Ergebniss als sehr befriedigend gelten. Uebrigens konnte man sich auch ohne Ablesung der Scalentheile bei schnellem Stromwenden ohne weiteres von der Verschiebung der Streifen überzeugen.

Die Erscheinung wird immer sehr schnell undeutlich, sodass nur wenige Ablesungen nacheinander ausführbar sind; augenscheinlich eine Folge der durch die starke Erwärmung

hervorgerufenen Doppelbrechung der Glasparallelepipede. Bei etwaiger Wiederholung solcher Versuche müsste man also wesentlich dickeren Draht für die Rollen wählen, um die hohe Erwärmung zu vermeiden.

Die Erscheinung lässt sich auch ohne Schwierigkeit objectiv machen, indem man als Lichtquelle den vom Helio-
staten her beleuchteten Spalt im dunkeln Zimmer anwendet und die Beobachtungslupe durch einen mit Scala versehenen weissen Auffangschirm ersetzt. So erhielt ich Ergebnisse, die mit den vorigen durchaus übereinstimmen.

Einen Versuch führte ich auch ohne Anwendung des Doppelquarzes aus. Die von vornherein vorhandenen Streifen hätten bei Stromschluss verblassen und bei hinreichender Stromstärke verschwinden müssen; aber der Strom war hierzu nicht stark genug: ich konnte kaum eine nennenswerthe Schwächung der Streifenschärfe beobachten. Diese Methode empfiehlt sich übrigens auch deswegen nicht, weil eine Verwischung der Streifen auch unabhängig von der Drehwirkung lediglich infolge der durch Erhitzung eintretenden Doppelbrechung der Gläser stattfindet.

Wollte man den absoluten Betrag der electromagnetischen Drehung natürlichen Lichtes messen, so könnte man sich mit Vorthail eines Doppelquarzes von veränderbarer Dicke (aus zwei keilförmigen Doppelquarzen gebildet) bedienen. Freilich würde man immer nur den Ueberschuss der im Glase auftretenden Drehung über diejenige in der Luft ermitteln, weil innerhalb jeder Rolle der eine Strahl durch Glas, der andere durch Luft geht. Aber die Drehung in Luft darf ja als unerheblich vernachlässigt werden. Gross dürfte übrigens die so zu erreichende Genauigkeit nicht sein. Und da es ausserdem nach den im vorigen gewonnenen Ergebnissen kaum einem Zweifel unterliegt, dass der Drehbetrag mit demjenigen für polarisirtes Licht übereinstimmt, so bin ich dieser Aufgabe überhaupt nicht näher getreten.

Die Ergebnisse der Arbeit sind folgende:

1. Es ist nachgewiesen, dass electromagnetische Kräfte auf natürliches Licht in entsprechender Weise wie auf polarisirtes drehend einwirken.

2. Es ist eine neue einfache Interferenzerscheinung beschrieben.

3. Die bisherige Ansicht vom Wesen des natürlichen Lichtes im Vergleich zum polarisirten hat sich durch die Versuche über Drehung der natürlichen Lichtstrahlen sowohl ohne als mit Hülfe electromagnetischer Kräfte als durchaus zutreffend erwiesen.

Jena, im December 1885.

VII. *Ueber die Bestimmung der Capillarconstanten von Flüssigkeiten; von G. Quincke.*

1. Mehrere in den letzten Jahren veröffentlichte Aufsätze über Capillarität haben einzelne Methoden und Resultate meiner Untersuchungen auf demselben Gebiete als ungenau bezeichnet.

Da mein Stillschweigen als Zustimmung gedeutet werden könnte, so sehe ich mich veranlasst, Folgendes zu erwidern.

Meine sämtlichen seit dem Jahre 1858 in Poggendorff's und Wiedemann's Annalen der Physik erschienenen Arbeiten über Capillaritätserscheinungen stehen in enger Beziehung zu einander und müssen als zusammengehörig beurtheilt werden. Die Angriffe richten sich aber meist gegen einzelne Theile derselben und finden ihre Widerlegung an anderen Stellen, die meine Gegner nicht zu kennen scheinen.

Zur Entscheidung einer Frage auf dem schwierigen Gebiet der Capillarität habe ich niemals eine einzige Methode, sondern stets mehrere Methoden benutzt, die im allgemeinen zu denselben Resultaten führten.

Ich habe aus dem verticalen Abstand von Kuppe und Bauch flacher Flüssigkeitstropfen in Luft oder flacher Luftblasen in einer Flüssigkeit die Capillarconstanten der freien Flüssigkeitsoberfläche abgeleitet und zum Theil grössere Zahlenwerthe als andere Beobachter gefunden.