

IV. *Ueber die Erscheinungen bei Newton's Ringen, wenn sie zwischen Substanzen von ungleicher Brechkraft gebildet werden;*

von G. B. Airy.

(*Phil. Magaz.* 3 Ser. Vol. II p. 20. Eine vorläufige Nachricht von dieser interessanten Untersuchung wurde bereits im vorigen Bande der *Annalen*, S. 554, mitgetheilt.)

In einem dieser Gesellschaft (der physikalischen zu Cambridge) vor etwa vier Monaten überreichten Aufsatz *) sprach ich, auf Fresnel's Theorie mich stützend, die Vermuthung aus, daß wenn eine Linse aus schwach brechender Substanz auf eine Platte aus stark brechender Substanz gelegt, und auf dieselbe ein senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirtes Licht geleitet werde, Newton'sche Ringe mit schwarzem Mittelpunkt sichtbar seyn würden, so lange der Einfallswinkel kleiner als der Polarisationwinkel der schwach brechenden Substanz, oder größer als der der stark brechenden Substanz sey, daß dagegen Newton'sche Ringe mit weißem Mittelpunkt erscheinen müßten, sobald der Einfallswinkel größer als der erste, und kleiner als der zweite Polarisationwinkel sey. Jetzt kann ich die Bestätigung dieser Vermuthung mittheilen.

Bevor ich jedoch die Methode beschreibe, nach welcher mir die Untersuchung dieser Erscheinungen gelungen ist, halte ich es für zweckmäßig, eine theoretische Berechnung der Lichtstärke in den Ringen zu entwickeln, da ohne sie die Nothwendigkeit einiger Vorsichtsmaßregeln nicht einleuchtend genug seyn dürfte.

Man denke sich zwei beinahe parallele Platten von verschiedener Substanz, getrennt durch eine Luftschicht

*) *Annalen*, Bd. XXVI S. 133.

von der Dicke T . Innerhalb des ersten Mittels sey für den einfallenden Lichtbündel die Vibration in der Reflexionsebene ausgedrückt durch $a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$, wo x der Weg ist, der in der Luft dem wirklichen Abstand eines Partikels von irgend einem festen Punkt entsprechen würde; das Licht als polarisirt in einer gegen die Reflexionsebene senkrechten Ebene vorausgesetzt. Es sey ι der Einfallswinkel an der Unterfläche des ersten Mittels, ι' der Brechungswinkel, oder, was gleich ist, der Einfallswinkel an der Oberfläche des zweiten Mittels, und ι'' der Brechungswinkel in dem zweiten Mittel. Ein Theil des Lichts wird an der Unterfläche des ersten Mittels reflectirt, ein anderer wird die obere Fläche des zweiten Mittels erreichen und daselbst getheilt werden; von letzterem wird eine Portion (in das zweite Mittel eindringen und eine andere) gegen die untere Oberfläche des ersten Mittels reflectirt und daselbst abermals getheilt werden; ein Theil dieser Portion wird (in das erste Mittel) eindringen, in derselben Richtung, in der die allererste reflectirt wurde. In diesem (wieder in das erste Mittel eingedrungenen) Theil wird die Undulationsphase, verglichen mit der des zuerst reflectirten Theils, zurück seyn um die dem Raume $2 T \cos \iota'$ entsprechende Gröfse. Nimmt man also noch $\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ als Maafs der Undulationsphase des zuerst reflectirten Strahls, so wird $\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - \frac{4\pi}{\lambda} T \cos \iota'$ das Maafs der Phase für den Strahl seyn, der an der oberen Fläche des zweiten Mittels reflectirt wurde und darauf wieder in das erste eindrang. Die Gröfse $\frac{4\pi}{\lambda} T \cos \iota'$ heifse der Kürze halber V . Von dem Licht, welches von unten die Unterfläche des ersten Mittels erreicht, wird ein Theil auf die obere Fläche des zweiten Mittels zurückgeworfen, daselbst theil-

weis wieder reflectirt und abermals in das erste Mittel eindringen. Die Phase dieses letzteren Theils wird seyn:

$$\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - 2V, \text{ und so fort bei den folgenden Reflexionen.}$$

Nun nehme man an, es sey für die Unterfläche des ersten Mittels der Coëfficient der einfallenden Schwingung 1, der der zurückgeworfenen Schwingung e , und der der gebrochenen f ; für die obere Fläche des zweiten Mittels sey der Coëfficient der zurückgeworfenen Schwingung g ; und für Licht, welches aus Luft auf die Unterfläche des ersten Mittels fällt, seyen die Coëfficienten der zurückgeworfenen und gebrochenen Schwingungen h und k . Heißt, dann der Coëfficient für das einfallende Licht a , so ist der für das:

zuerst zurückgeworfene Licht ae
 gebrochene Licht af
 am zweiten Mittel zurückgeworfene Licht . afg
 in das erste Mittel tretende gebrochene Licht $afgh$
 vom ersten Mittel zurückgeworfene Licht . $afgh$
 vom zweiten Mittel zurückgeworfene Licht afg^2h
 in das erste Mittel tretende gebrochene Licht afg^2hk
 und so fort; die auf die ersten folgenden Coëfficienten bilden eine geometrische Progression, deren Verhältniß gh ist.

So erhellt, daß die gesammte Vibration seyn wird:

$$ae \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) \\ + afgk \left[\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - V \right) + gh \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - 2V \right) + \dots \right]$$

oder;

$$ae \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) \\ + afgk \frac{\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - V \right) - gh \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) \right)}{1 - 2gh \cos V + g^2 h^2}$$

Nun ist nach Fresnel's Ausdrücken:

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} & f &= \frac{\cos \iota}{\cos \iota'} \left(1 - \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} \right) \\
 g &= \frac{\tan(\iota' - \iota'')}{\tan(\iota' + \iota'')} & h &= \frac{\tan(\iota' - \iota)}{\tan(\iota' + \iota)} \\
 k &= \frac{\cos \iota'}{\cos \iota} \left(1 - \frac{\tan(\iota' - \iota)}{\tan(\iota' + \iota)} \right),
 \end{aligned}$$

woraus $fk = 1 - e^2$ und $gh = -ge$, folglich wird der Ausdruck:

$$\begin{aligned}
 & ae \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) \\
 & + ag(1 - e^2) \frac{\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) - V \right) + ge \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) \right)}{1 + 2ge \cos V + g^2 e^2}
 \end{aligned}$$

Bringt man diesen unter die Form:

$$P \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) + Q \cos \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x),$$

so wird die Intensität oder $P^2 + Q^2$:

$$a^2 \frac{g^2 + e^2 + 2ge \cos V}{1 + 2ge \cos V + g^2 e^2}.$$

Die Maxima und Minima entsprechen den Maximis und Minimis, oder umgekehrt den Minimis und Maximis von $\cos V$.

Wenn $V = 0$, oder $= 2\pi$ u. s. w., d. h. wenn $T = 0$, oder $= \frac{\lambda}{2 \cos \iota'}$, oder $= \frac{2\lambda}{2 \cos \iota'}$ u. s. w., so ist die Intensität des reflectirten Lichts:

$$a^2 \left(\frac{g + e}{1 + ge} \right)^2$$

und wenn $T = \frac{\lambda}{4 \cos \iota}$ oder $= \frac{3\lambda}{4 \cos \iota}$ u. s. w., so ist die Intensität:

$$a^2 \left(\frac{g - e}{1 - ge} \right)^2.$$

Der Ueberschuß der letzteren über die erste ist:

$$- a^2 \cdot \frac{4eg(1 - e^2)(1 - g^2)}{(1 - e^2 g^2)^2}.$$

Diefs ist die Intensitätsdifferenz zwischen den hellsten und dunkelsten Theilen der Ringe, und, wenn sie positiv ist, wird der Mittelpunkt der Ringe schwarz seyn.

Nun ist $\tan^2(\iota + \iota')$ immer größer als $\tan^2(\iota - \iota')$, und $\tan^2(\iota' + \iota'')$ stets größer als $\tan^2(\iota' - \iota'')$, folglich ist $(1 - e^2)(1 - g^2)$ immer positiv. Mithin ist der centrale Fleck schwarz, wenn e und g verschiedene Zeichen haben, und hell, wenn sie gleiches haben. Da nun $\tan(\iota - \iota')$ immer negativ, und $\tan(\iota' - \iota'')$ immer positiv ist, so ist der centrale Fleck schwarz, wenn $\tan(\iota + \iota')$ und $\tan(\iota' + \iota'')$ dasselbe Zeichen haben, und hell, wenn sie ungleiches Zeichen haben, d. h. er ist dunkel, wenn $\iota + \iota'$ und $\iota' + \iota''$ beide kleiner oder beide größer als 90° sind, und hell, wenn $\iota + \iota'$ kleiner als 90° und $\iota' + \iota''$ größer als 90° , oder umgekehrt $\iota + \iota' > 90^\circ$ und $\iota' + \iota'' < 90^\circ$. Aus diesem folgt, dafs, so lange der Einfallswinkel kleiner als der Polarisationswinkel des ersten Mittels bleibt, der centrale Fleck schwarz ist; bei diesem Polarisationswinkel verschwinden die Ringe, da $e = 0$; von diesem Winkel ab bis zum Polarisationswinkel des zweiten Mittels ist der centrale Fleck hell; bei dem Polarisationswinkel des zweiten Mittels verschwinden die Ringe abermals, da $g = 0$; und über diesen Winkel hinaus ist der centrale Fleck wiederum schwarz.

Bestimmen wir jetzt die Lichtstärke des centralen Flecks, wenn der erste Ring schwarz ist, der Einfallswinkel möge dabei zwischen den beiden Polarisationswinkeln liegen. Ist der erste Ring schwarz, haben wir $\frac{g - e}{1 - ge} = 0$, also $g = e$, und die Intensität des centralen Flecks wird dann $a^2 \left(\frac{2e}{1 + e^2} \right)^2$. Die Bedingung $g = e$ giebt:

$$\frac{\tan(\iota' - \iota'')}{\tan(\iota' + \iota'')} = \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')},$$

woraus $\sin^2 2\iota' = \sin 2\iota : \sin 2\iota''$, oder:

$$\cos^2 \iota' = \frac{1}{m m'} \cos \iota \cdot \cos \iota'',$$

wo m und m' die Brechungsverhältnisse der beiden Mittel sind.

Ohne zu versuchen, diese Gleichung allgemein zu lösen, setze man $m=1,53$ und $m'=2,45$, was nahe die Brechungsverhältnisse für Tafelglas und Diamant sind. Die Werthe von ι' bei den Polarisationswinkeln sind $56^\circ 49' 54''$ und $67^\circ 47' 48''$; und der Werth von ι' , welcher den ersten Ring schwarz macht, ist $63^\circ 19' 14''$; die diesem entsprechenden Werthe von ι und ι'' sind $35^\circ 43' 57''$ und $21^\circ 23' 21''$, woraus $e=g=0,083215$, und die Lichtstärke des centralen Flecks $=a^2 \cdot 0,02732$.

Um eine practische Idee von der Wichtigkeit dieses Ausdrucks zu bekommen, müssen wir denselben vergleichen mit der Lichtstärke in den Ringen für irgend eine andere Lage. Wenn die Incidenz senkrecht ist, werden die obigen Ausdrücke für den Helligkeitsunterschied zwischen dem dunkeln Fleck und den hellen Ringen, $=a^2 \cdot 0,28159$. Folglich ist die Lichtstärke der Ringe, die zwischen den beiden Polarisationswinkeln gesehen werden, kleiner als ein Zehntel von der Lichtstärke der bei fast senkrechter Incidenz sichtbaren Ringe. Da die letztere keinesweges lebhaft ist, so muß die erstere also gar schwach seyn.

Die Lichtstärke der Ringe, welche bei demselben Einfallswinkel von einem in der Reflexionsebene polarisirten Lichte gebildet werden würden, ergibt sich auf dieselbe Weise

$$\left(e' = \frac{\sin(\iota - \iota')}{\sin(\iota + \iota')} \text{ und } g' = \frac{\sin(\iota' - \iota'')}{\sin(\iota' + \iota'')} \text{ gesetzt} \right)$$

gleich: $a^2 \cdot 0,66487$, ist also 24 Mal größser als die Helligkeit der in Rede stehenden Ringe.

Dies zeigt, daß viele Sorgfalt nöthig ist, wenn man die Ringe sichtbar machen will. Gesetzt z. B., daß das einfallende Licht durch eine Turmalinplatte polarisirt sey,
oder,

oder, was auf dasselbe hinausläuft, dafs das reflectirte Licht mittelst eines Turmalins, dessen Axe senkrecht gegen die Reflexionsebene stehe, untersucht werde. Wenige Turmaline sind so vollkommen, dafs sie nicht mehr als ein Vierundzwanzigstel des senkrecht gegen ihre Axe polarisirten Lichtes durchlassen sollten. Untersucht man daher die Ringe mit einem solchen Turmalin, so werden die in Rede stehenden, nämlich die mit weifser Mitte versehenen Ringe, gemengt seyn mit anderen, von in der Reflexionsebene polarisirtem Licht gebildeten Ringen, welche eine schwarze Mitte haben, und wenigstens eben so hell sind, so dafs erstere dadurch ihren Charakter gänzlich einbüfsen. Gebraucht man aber statt des Turmalins ein doppelbrechendes Prisma, welches beide Ringsysteme getrennt von einander zeigen würde, so ist keine Störung der Ringe mehr zu fürchten, aber (von den in der Reflexionsebene polarisirten Strahlen) ist ein helles Licht über die schwachen Ringe ausgebreitet, welches diese, welche wir suchen, wirklich unsichtbar macht.

Das Verfahren, welches ich mit Erfolg anwandte, besteht in der Combination eines Turmalins mit einem doppelbrechenden Prisma. Mittelst des Turmalins, dessen Axe senkrecht gegen die Reflexionsebene ist, wird die Helligkeit desjenigen Lichts, welches sonst die zu untersuchenden Ringe verdecken würde, so weit geschwächt, dafs es keinen erheblichen Schaden thut. Zugleich ist die andere Reihe von Ringen sichtbar, und dient sehr gut als ein Gegenstand des Vergleichs.

Wichtig ist, dafs man die Reflexion an der oberen Fläche der aufgelegten Linse zerstöre. Ich habe eine planconvexe Linse von 5,8 Zoll Brennweite angewandt, und legte auf ihre ebene Seite ein stumpfwinkliges Prisma, so dafs sich der stumpfe Winkel über der Mitte der Linse befand. Zwischen beide wurde ein Tropfen Wasser gebracht. Wiewohl das Brechverhältnifs des Wassers beträchtlich von dem des Glases abweicht, so wird doch

die Reflexion an der gemeinschaftlichen Fläche der Linse und des Prisma's fast gänzlich zerstört, und zwar aus folgendem Grunde. Die obere Fläche der Linse ist, wie ich vermuthe, sehr schwach convex, und wenn der Wassertropfen dazwischen gebracht wird, man auch die Luftblasen durch Reiben herausgeschafft hat, kommen sehr große, doch etwas unregelmäßige Newton'sche Ringe mit schwarzem Fleck in der Mitte zum Vorschein. Die in Rede stehende Ringe werden durch diesen schwarzen Fleck gesehen, und leiden daher nichts durch die Wirkungen einer Reflexion. Das Wasser hat, wie es scheint, das Vermögen, die Linse und Prisma in innigere Berührung zu bringen, als es sonst möglich wäre *), denn ich bin überzeugt, dieselben könnten, ohne Verletzung, durch keine Kraft einander so genähert werden, daß der schwarze Fleck sichtbar würde.

Als dichter Mittel habe ich einen in einen Ring gefassten Diamant mit einer Fläche von etwa einer Linie im Durchmesser angewandt, den ich der Güte des Hrn. Broderip, Vicepräsidenten der geologischen Gesellschaft, verdanke. Wenn Linse und Prisma auf diesen Diamant gelegt wurden, zeigte sich vollkommen deutlich ein gut gebildetes Ringsystem, dessen fünfter Ring noch nicht die Hälfte des Durchmessers der Fläche übertraf.

*) Ich muß hier eines sonderbaren Umstandes gedenken, der mir bei dem Gebrauche dieser Combination begegnete. Als ich das Prisma mit der an seiner Unterfläche haftenden Linse einen oder zwei Tage lang stehen ließ, hatte sich das Wasser, vermuthlich indem ein Theil desselben durch Verdunstung fortgegangen war, auf einen etwa $\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmesser haltenden Fleck zusammengezogen, dessen Umriss sehr genau einem der Ringe, ich glaube dem dritten, folgte, selbst in dessen Abweichungen von der Symmetrie. In diesem Zustand war ich nicht vermögend die Linse von dem Prisma abzulösen, wiewohl ich parallel der Oberfläche des Prisma's eine Kraft anwandte, die stark genug war, große Splitter von der Linse abzustößen. Als ich beide in Wasser tauchte, fielen sie sogleich von einander.

Diese Ringe wurden mit der zuvor beschriebenen Combination vom Turmalin und doppeltbrechenden Prisma untersucht. War der Einfallswinkel klein, so erschienen die Ringe, welche vom senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirten Lichte gebildet wurden, mit hinreichender Lebhaftigkeit und schwarzem Fleck, begleitet von dem andern Ringsystem, das nur schwach war. Erreichte der Einfallswinkel den Polarisationswinkel des Glases, so verschwand das erste Ringsystem. Bei Vergrößerung des Winkels erschien dasselbe wiederum, und zwar mit weißer Mitte. Im günstigsten Fall war das erste Ringsystem zwar viel schwächer als das zweite, doch nicht so schwach, daß in Bezug auf sein Daseyn und die Weiße seiner Mitte der leiseste Zweifel hätte entstehen können, da ich es wiederholentlich bei jeder Veränderung des Apparats wahrnahm und immer mehrere Ringe erblickte. Der weiße Fleck erschien größer als der schwarze in dem andern Ringsystem, doch rührt dieß, wie ich glaube, nur von der verwaschenen Begränzung dieser Flecke und von dem Umstande her, daß das Auge eine helle Fläche immer für größer hält, als sie wirklich ist. In Bezug auf die Dimensionen der entsprechenden Theile konnte ich keinen Unterschied wahrnehmen. Bei Vergrößerung des Einfallswinkels verschwand das erste Ringsystem wiederum, und darauf erschien es abermals in großer Lebhaftigkeit, und zwar mit schwarzer Mitte.

Ich halte diese Versuche für wichtig, weil sie sich unmittelbar auf einen Theil der Fresnel'schen Theorie stützen, welcher immer als am einwurfsfähigsten erschien, nämlich auf die Formeln für die Größe der Schwingungen in den zurückgeworfenen und gebrochenen Strahlen. Ueber die Richtigkeit von Fresnel's allgemeiner Theorie, als einer bloß geometrischen Vorstellung, daß das Licht aus transversalen Schwingungen bestehe, und das polarisirte Licht ein solches Licht sey, in welchem alle Schwingungen senkrecht gegen die Polarisationsebene ge-

schehen, über diese werde ich nichts sagen, da ich der Meinung bin, daß Keiner, der mit den Versuchen bekannt ist, und sich von deren Uebereinstimmung mit der Berechnung überzeugt hat, dieselbe in Zweifel ziehen wird. Was indeß die Theoreme für die Intensität der reflectirten Strahlen etc. betrifft, so schliessen sie Punkte von so großer Dunkelheit ein, und werden nur durch so gezwungene Voraussetzungen unterstützt, daß jeder, wie ich glaube, sie mit Grund in Zweifel ziehen kann. Die hier und in einem früheren Aufsatz *) beschriebenen Erscheinungen, sind in der Theorie alleinig bedingt durch den Zeichenwechsel gewisser Größen, welche in Fresnel's Ausdrücke für diese Intensitäten eintreten. Hinsichtlich der absoluten Messung der Intensitäten kann ich weiter nichts sagen, als daß das allgemeine Ansehen der Helligkeit hinreichend mit dem Gesetze übereinstimmt. Aus dem Ganzen glaube ich jedoch, daß diese Versuche für die Richtigkeit der Formel, als allgemeines Gesetz betrachtet, große Wahrscheinlichkeit geben; und daß sie namentlich den Theil mit Gewißheit festsetzen, welcher den Satz einschließt, daß über einen gewissen Winkel hinaus die Richtung der Schwingung in dem reflectirten Strahl, in Bezug auf die in dem einfallenden Strahl, umgekehrt wird.

Nachschrift. Seitdem ich das Obige geschrieben, habe ich bei günstigem Wetter die Ringe mit weißer Mitte häufig, und mehrmals bloß mittelst eines doppeltbrechenden Prisma's, ohne Hülfe eines Turmalins, gesehen. Bei Untersuchung eines Theils der Erscheinungen finde ich eine Abweichung der sonderbarsten Art von dem, was ich strenge nach der Theorie erwartet hatte.

Wenn das Licht bei dem Polarisationswinkel des Glases einfällt, verschwinden die Ringe, so weit ich sehen

*) Ueber eine merkwürdige Abänderung der Newton'schen Ringe.
Annal. Bd. XXVI S. 123.

kann, gänzlich. Obgleich ich mehrmals mit der möglichsten Sorgfalt nach ihnen gesucht habe, bin ich doch nicht im Stande gewesen, die geringste Spur wahrzunehmen. Wird der Einfallswinkel allmählig vergrößert, so daß er den Polarisationswinkel übertrifft, so verschwinden die schwarzmittigen Ringe allmählig, ohne ihre Gröfse zu verändern (da noch eine beträchtliche Lichtmenge von dem Diamant reflectirt wird), und weifsmittige Ringe von derselben Gröfse erscheinen an deren Stelle, ohne eine andere Zwischenstufe, als eine gänzliche Abwesenheit der Ringe. Aus der Uebereinstimmung dieses Vorgangs mit der Theorie schlofse ich, daß die Polarisation des Lichts an der inneren Oberfläche des Glases, wenigstens für die Sinne, vollständig sey. Allein bei dem Polarisationswinkel des Diamants ist der Fall durchaus verschieden. Vergrößert man den Einfallswinkel, bis er diesen Winkel übertrifft, so verschwinden die weifsmittigen Ringe nicht, sondern der erste schwarze Ring zieht sich in dem Grade zusammen, daß er keinen weifsen Fleck mehr übrig läßt, und er selbst zum schwarzen Fleck wird. Hernach findet keine wesentliche Aenderung mehr statt; ich finde jedoch, daß der schwarze Fleck der Ringe, welche von senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirtem Licht erzeugt werden, immer (oberhalb des Polarisationswinkels des Diamants) merklich größer ist als der schwarze Fleck der Ringe, welche von dem in der Reflexionsebene polarisirten Licht gebildet werden.

Die Natur dieses Uebergangs von Ringen einer Art in Ringe entgegengesetzter Art scheint mir, theoretisch, ungemein sonderbar. Da die Ringe nicht verschwinden, so ist klar, daß wenn Licht, das senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirt ist, oder seine Schwingungen gänzlich in dieser Ebene macht, bei dem sogenannten Polarisationswinkel auf Diamant einfällt, doch noch ein Antheil von ihm reflectirt wird. Bei fernerer Vergrößerung des Einfallswinkels wird jedoch der Charakter der

Ringe abermals verändert, und zwar bei einem Winkel, bei dem, so weit wir zu schliessen berechtigt sind, nichts Besonderes mit der Reflexion vom Glase vorgeht; und wir sind deshalb genöthigt anzunehmen, dafs, wenn die einfallende Schwingung $a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ ist, und der Einfallswinkel vergrößert wird, bis er jenen Winkel übertrifft, die reflectirte Schwingung verändert wird von $+p \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ in $-q \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$. Eine ähnliche Veränderung findet bei dem Polarisationswinkel des Glases statt; allein hier geschieht, wie wir gesehen, der Uebergang von $+p$ in $-q$ mittelst des Durchgangs durch 0 oder mittelst gänzlicher Aufhörung der Reflexion bei Einem Einfallswinkel, was nicht der Fall ist beim Polarisationswinkel des Diamants. Wie ist nun der allmähliche Uebergang von $+p \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ in $-q \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ zu erklären? — Ich antworte: die Erscheinungen beweisen, er geschehe durch eine *allmähliche Aenderung der Phase*, bei welcher der Coëfficient nicht merklich geändert wird. In anderen Worten (wenn man die unbedeutende Veränderung des Coëfficienten vernachlässigt): die Gröfse $+p \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x)$ wird verändert in

$$-p \sin \frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x),$$

nicht durch das Verschwinden von p , sondern dadurch dafs der Ausdruck die Form $p \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - \vartheta \right)$ annimmt, worin ϑ von 0 bis π wächst. Diefs kann popular auf folgende Weise ausgedrückt werden. Die gewöhnlichen Newton'schen Ringe, wie sie zwischen zwei Glaslinsen gebildet werden, entstehen aus der Interferenz des von der Unterfläche der oberen Linse reflectirten Lichts mit dem von der oberen Fläche der unteren Linse

reflectirten. Wenn die obere Linse ein wenig gehoben, oder die untere ein wenig gesenkt wird, ziehen sich die Ringe zusammen. Da die unmittelbare Wirkung des Senkens der unteren Linse alleinig darin besteht, daß das von dieser Linse reflectirte Licht einen längeren Weg beschreiben oder seine Phasen verzögern muß, so erhellt, daß eine Zusammenziehung der Ringe als die Folge einer Verzögerung in der Phase des von der unteren Linse reflectirten Lichts angesehen werden kann. Die Zusammenziehung der Ringe beim Durchgange des Einfallswinkels durch den Polarisationswinkel des Diamants zwingt uns also zu der Annahme, daß die Phase des reflectirten Lichts (das einfallende Licht als senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirt angenommen) bei einer Vergrößerung um wenige Grade beinahe um 180° verzögert wird.

Die Verzögerung ist jedoch nicht ganz 180° . Denn wenn es der Fall wäre, würde der Charakter der Ringe genau verändert werden, so daß die Größe des centralen schwarzen Flecks sich zu der des ersten weißen Ringes genau eben so verhielte, wie (vor der Aenderung) die Größe des centralen weißen Flecks zu der des ersten schwarzen Rings. Da indess der centrale schwarze Fleck, welcher von den senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirten Strahlen gebildet wird, sichtlich größer ist, als der, welcher von den in der Reflexionsebene polarisirten Strahlen erzeugt wird, so scheint es, daß der schwarze Ring sich nicht vollständig zusammengezogen hat, oder daß die Phasen-Aenderung nicht ganz 180° ist. Dieser Schluss ist freilich nicht ganz zuverlässig, da dieselbe Erscheinung sich auch erklären ließe durch die Annahme einer kleinen Phasenänderung des in der Reflexionsebene polarisirten Lichts. Ich muß jedoch hiebei bemerken, daß bei den Newton'schen Ringen, die zwischen zwei Linsen von gleicher Glasart gebildet werden, der centrale schwarze Fleck, welcher von senkrecht ge-

gen die Reflexionsebene polarisirtem Licht gebildet wird, gröfser ist als der, welcher mit einem in der Reflexionsebene polarisirten Licht entsteht.

Wenn man, bei Untersuchung der weifsmittigen Ringe, den Turmalin und das doppeltbrechende Prisma dreht, so werden die Ringe schwach, sie verschwinden aber nicht, und verändern sich durch Zusammenziehung der Ringe in schwarzmittige Ringe. Diefs ist genau dem Vorgang bei Auflegung einer Linse auf eine Metallfläche ähnlich, und zeigt, dafs (wie in dem früheren Aufsatz) wenn der Einfallswinkel wenige Grade kleiner als der Polarisationswinkel des Diamantes ist, die Phase des senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirten Lichts mehr verzögert wird, als die Phase des in dieser Ebene polarisirten Lichts.

Ich habe in diesen Resultaten keine Veränderung gefunden, wenn ich die Lage der Reflexionsebene gegen die Diamantfläche änderte.

Die Resultate dieser Versuche und Schlüsse lassen sich so ausdrücken:

1) Ist der Einfallswinkel kleiner als der Polarisationswinkel des Diamants, so ist die Reflexion von ähnlicher Natur mit der von einer Metallfläche: die Phase der in der Reflexionsebene geschehenden Vibrationen wird mehr verzögert, als die der auf der Reflexionsebene senkrechten Vibrationen, jedoch vielleicht um eine kleinere Gröfse als bei der Reflexion von Metallen.

2) In der Nachbarschaft des Polarisationswinkels ist die Reflexion von anderer Beschaffenheit, als man sie bisher beschrieben hat. Die Vibrationen in der Reflexionsebene verschwinden nicht; allein, wenn man den Einfallswinkel um drei bis vier Grade vergrößert, wird ihre Phase allmähig um fast 180° verzögert. Bei der Reflexion des Lichts, dessen Vibrationen senkrecht gegen die Reflexionsebene sind, ist kein so auffallender

Unterschied zwischen der Wirkung des Glases und der des Diamants.

3) Bei Einfallswinkeln gröfser als der Polarisationswinkel, zeigt sich kein so merklicher Unterschied zwischen der Wirkung des Diamants und der des Glases.

Ich mufs bemerken, dafs die Gröfse der in der Reflexionsebene liegenden Vibrationen durch folgende, jedoch empirische und blofs zur Erläuterung aufgestellte Formel ausgedrückt werden kann. Ist die Vibration des

einfallenden Lichts $= a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x)$, so ist die des reflectirten Lichts:

$$\frac{\tan(\iota' - \iota'')}{\tan(\iota' + \iota'')} a \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) - b a \cos \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x),$$

wo b immer klein, aber nie $= 0$, und vielleicht constant ist.

Die Schlüsse, zu denen ich gelangt bin, sind im Widerspruch mit einem von Sir David Brewster (*Philosophical Transact.* 1815). Sir David steht als Experimentator mit Recht in solchem Ansehen, und meine Achtung für seine Genauigkeit (von der ich selbst mich bei Wiederholung vieler seiner Versuche überzeugt habe) ist so grofs, dafs ich es für nöthig halte, die Beschaffenheit dieses Widerspruchs deutlich zu bezeichnen.

Sir Brewster giebt an, dafs homogenes Licht unter dem geeigneten Winkel vollständig von dem Diamant polarisirt werde. Ich habe hier keine Versuche mit homogenem Licht gemacht, weifs aber, dafs man, wegen seiner immer grofsen Schwäche, wenig Vertrauen in die Resultate setzen kann, welche nur von dem Verschwinden des reflectirten Lichts abhängen. Allein die von mir beobachteten Erscheinungen sind ganz unverträglich mit dieser Annahme. Wird homogenes Licht angewendet, so müfsten, in dieser Annahme, die weifsmittigen Ringe verschwinden und ihnen schwarzmittige Ringe folgen, wie

beim Polarisationswinkel des Glases. Würde weißes Licht angewendet, so müßten die Ringe in der Nachbarschaft des Polarisationswinkels sich gänzlich färben, und bei Veränderung des Winkels müßte sich die Intensität der einzelnen Farben in jedem Ringe ändern; allein keine Art von Contraction stattfinden. So müßte bei einem gewissen Winkel der hellste Theil des Roth im Mittelpunkt des Flecks, und sein schwächster Theil im ersten Ringe liegen, während für das Blau die Stellen die umgekehrten wären; bei Vergrößerung des Winkels müßten die hellsten Theile beider Farben in dem ersten Ringe liegen.

Dagegen war bei meinen Versuchen keine entdeckbare Veränderung in den Farben der Ringe wahrzunehmen; ein helles rothes Centrum, umgeben von einem hellen blauen Ring, war niemals sichtbar; allein die Ringe zogen sich, ohne hinsichtlich der Farben ihren Charakter zu ändern, unaufhörlich zusammen, bis der centrale Fleck gleichsam ausgequetscht war. Ob der angewandte Diamant eine Eigenthümlichkeit besaß, die ihn von dem von Sir Brewster gebrauchten unterschied, kann ich nicht sagen. Mittlerweile muß ich bemerken, daß die Souderbarkeit bei der Reflexion von der Oberfläche des Diamants es nicht unwahrscheinlich macht, daß auch bei der Refraction einige Ungewöhnlichkeiten vorkommen. Eine ausführlichere Untersuchung über die Gesetze sowohl der Reflexion als der Refraction des Diamants ist daher höchst wünschenswerth.

