III. Ueber eine merkwürdige Abänderung der Newton'schen Ringe;

von G. B. Airy.

Professor der Astronomie und Physik in Cambridge.

(Aus dem von Seiten der *Cambridge Philosophical Society* übersandten 4. Volume ihrer gehaltvollen *Transactions*.) *)

Die folgende Abänderung der Beobachtung von Newton's Farbenringen wird, hoffe ich, so ziemlich als entscheidend für die Undulationstheorie angesehen werden können. Ich gerieth auf sie durch eine Betrachtung der Werthe, welche Fresnel's allgemeine Formel für die Intensität des reflectirten Lichts in gewissen Fällen annimmt. Die Erfahrung hat meine Muthmaßung vollständig bestätigt, und die Thatsache scheint nach jeder Emissionstheorie durchaus unerklärlich zu seyn.

Um mit einem allgemein bekannten Falle zu beginnen, sey angenommen, man habe eine convexe Linse von großer Brennweite gelegt, entweder auf eine andere convexe Linse, oder auf eine ebene Glasplatte, oder auf ein concaves Glas, dessen concave Seite einen größeren Radius besitzt, als die convexe Seite der aufgesetzten Linse; dann falle Licht auf diese Vorrichtung und gelange nach der Reflexion in's Auge. Es zeigt sich nun eine Reihe von Ringen mit einem merkwürdigen schwarzen Fleck in der Mitte, dessen Schwärze jedoch bisweilen erst nach einem beträchtlichen Druck deutlich hervortritt. Beim Neigen der einfallenden Strahlen breiten sich die Ringe mehr aus, doch bleibt die Mitte vollkommen schwarz, auch wenn jene Strahlen zuletzt der oberen Linsenfläche parallel gemacht werden.

*) Eine vorläufige Anzeige von dem Inhalt dieses und des folgenden Aufsatzes wurde bereits im Bd. XXII S. 611 dieser Annalen mitgetheilt.

Nun nehme man an, es falle statt des gemeinen polarisirten Licht ein. Im Allgemeinen wird nichts dadurch geändert. Ist die Polarisationsebene senkrecht auf der Reflexionsebene, so besteht die einzige Verschiedenheit darin, daß, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich wird, die Gesammtheit des reflectirten Lichts, und mit ihr das ganze Ringsystem verschwindet. Bei Vergrößerung des Einfallswinkels aber wird wiederum Licht reflectirt, und das Ringsystem mit seinem früheren schwarzen Fleck wieder hergestellt. Es ist dabei gleichgültig, ob man das Licht vor dem Einfallen polarisirt, oder zwischen den Linsen und dem Auge eine polarisierende Substanz, z. B. eine Turmalinplatte, angebracht hat.

Statt die Linse auf eine andere Linse oder eine Platte von Glas zu legen, werde sie nun auf eine polirte Metallplatte gebracht. Wendet man gemeines Licht dabei an, so sind, wie vorher, Ringe sichtbar (obgleich nicht so dunkle); allein der Fleck in der Mitte ist vielleicht nicht ganz so groß wie zuvor. Bei Vergrößerung des Einfallswinkels bis zu 90° breiten sich die Ringe wie vorhin aus; allein der Fleck in der Mitte wird, wie mir scheint, etwas kleiner (wenigstens im Vergleich mit dem, welcher bei Auflegung der Linse auf eine Glasplatte gebildet wird). In diesem Falle ist also der allgemeine Charakter der Erscheinungen fast genau eben so wie vorhin.

Läßt man dagegen, während die Linse auf einer polirten Metallfläche liegt, Licht auffallen, das entweder *vor* oder *nach* der Incidenz senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt worden ist *), so erleiden die Erschei-

*) Diesen Satz, nämlich: daß es gleichgültig sey, ob das Licht *vor* oder *nach* der Reflexion polarisirt worden ist, habe ich sorgfältig verificirt, weil ich glaube, daß er zu wichtigen theoretischen Schlüssen führt. Wäre die Polarisation eine *Modification* des Lichts (wie Dr. Brewster und Andere angenommen haben), so ließe sich denken, daß die Polarisation vor der Incidenz die

nungen eine merkwürdige Veränderung. Ist der Einfallswinkel klein, so erscheint der centrale Fleck dunkel, aber nicht schwarz. Er bleibt dunkel und ändert seine Gröfse nicht merklich, wenn der Einfallswinkel sich dem Polarisationswinkel des Glases nähert. Die Ringe werden schwach (wobei indess der centrale dunkle Fleck, so lange er sichtbar ist, dieselbe Gröfse behält) und verschwinden *), sobald der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich wird. Vergrößert man den Einfallswinkel weiter um eine sehr kleine Gröfse, so werden die Ringe wiederum und in ursprünglicher Gröfse sichtbar; allein der centrale Fleck ist nun *weiß*, ohne seine Gröfse merklich geändert zu haben. Die Intensität und die Farbe der Ringe scheint in jeder Hinsicht complementar zu ihrer früheren Beschaffenheit zu seyn. Dieser Zustand dauert, mit sehr geringer Gröfsenänderung des centralen weissen Flecks, bis der Einfallswinkel 90° geworden ist.

Ist das Licht vor oder nach der Incidenz *in* der Reflexionsebene polarisirt, so findet keine solche Farbenveränderung statt. Die Gröfse des centralen Flecks wird geändert; allein bei allen Werthen des Einfallswinkels

Fähigkeit desselben, Ringe unter einem gewissen Winkel zu erzeugen, zerstörte, oder auch die Farben veränderte; allein wenn eine Reflexion stattfindet und die Ringe mit ihrem schwarzen Mittelpunkt zum Vorschein kommen, so scheint es undenkbar, daß irgend eine *Modification* oder *physische Veränderung* des Lichts den Mittelpunkt weiß erscheinen machen könne. Die genügende Erklärung ist: daß die Polarisation eine *Zerlegung* der Schwingungen in zwei Reihen gegen einander rechtwinkliche Schwingungen sey, in solcher Weise vollzogen, daß jede Reihe sich im Allgemeinen getrennt von der andern zeigen kann, und daß in diesem Falle nur eine einzige zum Auge fortgepflanzt wird.

*) Diese einfache Thatsache (das Verschwinden der Ringe, während Licht in Fülle von dem Metalle reflectirt) ist, wenn es noch nöthig wäre, ein hinreichender Beweis, daß die Ringe nur durch Interferenz erzeugt werden.

bleibt der centrale Fleck dunkler als der Ring, der ihn unmittelbar umschließt.

Läßt man gemeines Licht unter einem größeren Winkel, als der Polarisationswinkel ist, einfallen, und hält eine Turmalinplatte zwischen dem Glase und dem Auge die Axe des Turmalins in der Reflexionsebene, so ist der centrale Fleck schwarz. Dreht man diese Axe rechts oder links, so vergrößert sich der dunkle Fleck, und in seiner Mitte erscheint ein weißer Fleck, dessen Durchmesser sein Maximum erreicht, sobald die Axe des Turmalins senkrecht gegen die Reflexionsebene zu stehen kommt. Dreht man weiter, so zieht sich der weiße Fleck zusammen und verschwindet, dabei wird der schwarze Fleck kleiner, bis die Turmalinaxe wiederum in der Reflexionsebene anlangt.

Die zu diesen Versuchen benutzte Metallplatte war ein teleskopischer Spiegel mit mäfsig glänzender Fläche. Zur Vermeidung aller Fehlerquellen, die aus einem unvollständigen Contact der Linse und des Metalls hätten entspringen können, wurde ein breiter, flacher Ring von dickem gewalzten Blei auf die Linse gelegt, und zuweilen noch mit einem, auf seinem Umfange vertheilten Gewicht von etwa sechs Pfund belastet. Die erwähnten Veränderungen hatten daher nichts gemein mit den aus einem unvollständigen Contact entspringenden Farbenveränderungen des centralen Flecks, und eben so wenig mit dem Uebergange aus Schwarz in Weiß, welchen Herschel bei einigen seiner Versuche (*Phil. Transact.* 1807 und 1809) hervorbrachte. Der letztere war nur eine, durch eine Art von Taschenspielerstreich bewirkte Vertauschung der Ringe des durchgelassenen Lichts gegen die vom reflectirten Licht.

Die Erklärung dieser Erscheinung findet sich in dem Ausdruck für die Intensität der durch Interferenz zweier reflectirten Lichtbündel erzeugten Ringe, mittelst der durch Fresnel's Formeln *) ausgedrückten Menge des reflectir-

*) Vergl. diese Annalen, Bd. XXII S. 98.

ten Lichts. Ist ι der Einfallswinkel innerhalb Glas und ι' der entsprechende Brechungswinkel, ist ferner das Licht senkrecht gegen die Reflexionsebenen polarisirt (d. h. geschehen die Schwingungen der Aethertheilchen gänzlich in der Reflexionsebene) und die Größe der Verschiebungen bei den Schwingungen vor der Incidenz durch

$$a \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x)$$

vorgestellt *), dann wird der Werth dieser Größe in den Schwingungen nach der Reflexion von der zweiten Fläche des Glases seyn:

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

Dieser Lichtbündel interferirt mit dem von dem Metallspiegel reflectirten, hinsichtlich dessen der Ausdruck für die Verschiebung ist:

$$a \cdot A \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x' - B).$$

In dieser Formel weicht x' von x durch den Unterschied im Gange beider Strahlen ab, oder vielmehr durch den diesem Unterschied entsprechenden Raum in der Luft, welcher, wenn T die Dicke der Luftschicht bezeichnet, ist $2T \cos \iota'$. So ist dann die Verschiebung bei der Reflexion von dem Metall:

$$a \cdot A \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x - 2T \cos \iota' - B),$$

wo A und B wahrscheinlich Functionen von ι' von noch unbekannter Form sind. Man kann indeß behaupten, daß, für kleine Werthe von ι' , A positiv und B nicht groß sey (denn sonst würde, wie aus den folgenden Ausdrücken ersichtlich ist, ein weißer Fleck in der Mitte vorhanden seyn), und die, ausgenommen beim Polarisationswinkel, allmälige Veränderung der Erscheinungen macht es wahrscheinlich, daß B immer klein sey. In jeder Hinsicht ist nicht der geringste Grund da zu glauben, daß A und B , die nur von den Eigenschaften

*) Vergl. diese Annalen, Bd. XXIII S. 216.

des Metalls abhängen, irgend eine plötzliche Veränderung gerade bei dem Polarisationswinkel des Gases erleiden.

Nun ist die eigenthümliche Erscheinung, welche den Hauptgegenstand dieses Aufsatzes ausmacht, dadurch erklärt. Der centrale Fleck, wo $T=0$ ist, wird hervorgebracht durch die Zusammensetzung der beiden Verschiebungen:

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

und ($B=0$ betrachtet):

$$a \cdot A \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x).$$

Da ι' größer ist als ι , so ist der erste dieser Ausdrücke für kleine Werthe von ι negativ, und der letztere ist positiv. Es zerstören sich also die Verschiebungen entweder theilweis oder gänzlich, und der Mittelpunkt ist dunkel. Da aber beim Polarisationswinkel, gemäß dem Brewster'schen Gesetze, $\iota + \iota' = 90^\circ$ und dann $\tan(\iota + \iota')$ unendlich ist, so verschwindet der erste Ausdruck, und es kommt nur das von dem Metall reflectirte Licht in's Auge, ohne Beimischung eines anderen Lichts. Jenseits des Polarisationswinkels ist $\iota + \iota' > 90^\circ$, also $\tan(\iota + \iota')$ negativ und $a \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')}$ positiv. Die beiden Verschiebungen haben gleiches Zeichen und addiren sich also, folglich ist der centrale Fleck hell.

Um deutlich zu zeigen, daß der Charakter der Ringe sich gleichzeitig mit dem des centralen Flecks verändern müsse, wird es am besten seyn, den allgemeinen Ausdruck zu nehmen. Wir haben zu addiren:

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

und:

$$a \cdot A \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x - 2T \cos \iota' - B).$$

Die

Die Summe ist:

$$a \left\{ \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} + A \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (2T \cos \iota' + B) \right] \right\} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x) \\ - a A \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda} (2T \cos \iota' + B) \right] \cos \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x)$$

Bringt man diese unter die Form:

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

so erhellt leicht, daß:

$$P^2 = a^2 \left\{ \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} + A \cos \frac{2\pi}{\lambda} (2T \cos \iota' + B) \right\}^2 \\ + a^2 A^2 \sin^2 \frac{2\pi}{\lambda} (2T \cos \iota' + B) \\ = a^2 \left\{ \frac{\tan^2(\iota - \iota')}{\tan^2(\iota + \iota')} \right. \\ \left. + A^2 + 2A \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (2T \cos \iota' + B) \right] \cdot \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} \right\}.$$

Nun stellt P^2 die Lichtintensität in der Mischung vor, folglich wird die letzte Formel diese Intensität oder die Intensität des in's Auge gelangenden Lichtes ausdrücken. Da $\iota < \iota'$, so ist leicht ersichtlich, daß wenn ι und ι' klein sind, diese Intensität ein *Minimum* wird, sobald

$$2T \cos \iota' + B = 0, \text{ oder } = 2\lambda \text{ u. s. w.}$$

und ein *Maximum*, sobald

$$2T \cos \iota' + B = \frac{\lambda}{2}, \text{ oder } = \frac{3\lambda}{2}, \text{ u. s. w.}$$

und daß dies so lange gilt, bis $\iota + \iota' = 90^\circ$. Sobald aber $\iota + \iota'$ größer als 90° wird, ist der Ausdruck ein *Maximum*, wenn:

$$2T \cos \iota' + B = 0, \text{ oder } = \lambda, \text{ oder } = 2\lambda \text{ u. s. w.}$$

und ein *Minimum*, wenn:

$$2T \cos \iota' + B = \frac{\lambda}{2}, \text{ oder } = \frac{3\lambda}{2} \text{ u. s. w.}$$

Wenn B klein ist, stellt der erste dieser Fälle ähnliche Ringe, wie die reflectirten Ringe Newton's vor, und der zweite ähnliche Ringe, wie dessen durchgelassene Ringe.

Ist das Licht parallel der Reflexionsebene polarisirt, so wird der Ausdruck für die Verschiebung in dem von der unteren Glasfläche reflectirten Licht $= a \cdot \frac{\sin(\iota - \iota')}{\sin(\iota + \iota')}$, welcher sein Zeichen nicht wie der frühere verändert; und eine ähnliche Schlufsfolge zeigt, dafs der Charakter der Ringe, welche das so polarisirte Licht erzeugt, nicht plötzlich verändert wird.

Ist das Licht nach einer Ebene polarisirt, die den Winkel α mit der Reflexionsebene macht, so müssen wir es ansehen, als bestehend aus zweierlei Schwingungen, einer senkrecht und einer parallel gegen jene Ebene, die in dem Verhältniſs $\cos \alpha : \sin \alpha$ stehen. Die ursprüngliche Schwingung senkrecht gegen diese Ebene wird nun:

$$a \cdot \cos \alpha \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x)$$

und die parallel mit dieser Ebene:

$$a \cdot \sin \alpha \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\nu t - x)$$

Die Intensitäten der reflectirten Lichtbündel finden sich dann für das in der Reflexionsebene polarisirte Licht:

$$a^2 \cos^2 \alpha \left\{ \frac{\sin^2(\iota - \iota')}{\sin^2(\iota + \iota')} \right. \\ \left. + A'^2 + 2 A' \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (2 T \cos \iota' + B') \right] \frac{\sin(\iota - \iota')}{\sin(\iota + \iota')} \right\}$$

(worin A' und B' ähnliche Größen wie A und B sind, und wahrscheinlich A' immer positiv und B' nicht sehr groß ist)

für das senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirte Licht:

$$a^2 \sin^2 \alpha \left\{ \frac{\tan^2(\iota - \iota')}{\tan^2(\iota + \iota')} \right. \\ \left. + A^2 + 2 A \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (2 T \cos \iota + B) \right] \frac{\tan(\iota - \iota')}{\tan(\iota + \iota')} \right\}.$$

Die Intensität des zusammengesetzten Lichtes, das in's Auge gelangt, ist durch die Summe dieser beiden

Größen gegeben. Der Werth von T , welcher der Mitte eines hellen oder dunkeln Ringes entspricht, wird dadurch bestimmt, daß man die Summe zu einem Maximum oder Minimum in Bezug auf die Variation von T macht. Diefes giebt:

$$\begin{aligned} \operatorname{tang} \frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right) \\ = \frac{A' \cos^2 \alpha \cdot \cos(i-i') - A \sin^2 \alpha \cdot \cos(i+i')}{A' \cos^2 \alpha \cdot \cos(i-i') + A \sin^2 \alpha \cdot \cos(i+i')} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{\lambda} (B-B') \end{aligned}$$

Ist $\operatorname{tang} \frac{\pi}{\lambda} (B-B')$ positiv, und $\cos(i-i')$ negativ, so wächst, wenn α von 0 bis 90 vergrößert wird, der Werth von $\operatorname{tang} \frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$ bis in's Unendliche, wird dann negativ und nimmt ab, d. h. es wächst $\frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$, und deshalb wächst auch der Durchmesser des Ringes. Vergrößert man α von 90° bis 180°, so findet die umgekehrte Veränderung statt. Hiedurch wird die beobachtete Thatsache genau vorgestellt, und mithin bewiesen, daß $B > B'$ ist *), eine Folgerung von einiger Wichtigkeit, indem sie zeigt, daß geradlinig polarisirtes Licht durch Reflexion von einer Metallfläche elliptisch polarisirt wird, und dadurch diese Erscheinungen mit denen einer ganz anderen Art, welche Dr. Brewster entdeckt hat, in Verbindung setzt. Es erhellt daraus, daß die in der Reflexionsebene liegenden Vibrationsphasen mehr verzögert werden, als die in darauf senkrechter Ebene.

Ist $\cos(i+i')$ positiv, d. h. ist der Einfallswinkel

*) Wäre $B < B'$, so würden die Ringe sich zusammenschieben, statt ausdehnen, und wäre $B = B'$, so würden die Ringe ihre Durchmesser nicht ändern, allein ihre Intensität würde bis 0 abnehmen, wenn $\operatorname{tang} \alpha = - \frac{A' \cos(i-i')}{A \cos(i+i')}$, und Ringe entgegengesetzter Art würden auftreten.

kleiner als der Polarisationswinkel, so sieht man, daß bei Vergrößerung von α die Durchmesser der Ringe abnehmen müssen. Allein es ist auch leicht ersichtlich, daß die Veränderung viel kleiner seyn muß als im vorhergehenden Fall. Denn wenn im vorhergehenden Fall ein Werth von $\frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$ ist $n\pi + \beta$, für den Werth $\alpha = 0$, so geht, wenn man α bis 90° vergrößert, $\frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$ durch $n\pi + 90^\circ$ in $n\pi + 180^\circ - \beta$ über, und die gesammte Veränderung ist daher $180 - 2\beta$. Im letzteren Falle aber geht $\frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$ von $n\pi + \beta$ durch $n\pi$ in $n\pi - \beta$ über, und die gesammte Veränderung ist demnach 2β , also genau supplementär zu der vorhergehenden Gesamtveränderung. Nun ist bei den zwischen zwei Linsen gebildeten Newton'schen Ringen $\beta = 0$. Aus der allgemeinen Aehnlichkeit der Ringe, welche, wenn $\alpha = 0$ ist, von einem Metallspiegel gebildet werden, geht mit Gewißheit hervor, daß β klein ist. Obgleich also in dem vorhergehenden Fall die Ausbreitung der Ringe, welche von dem Anwuchs von $\frac{2\pi}{\lambda} \left(2 T \cos i' + \frac{B+B'}{2} \right)$ um $180 - 2\beta$ abhängt, beträchtlich ist, so ist doch im letzteren Fall die Zusammenziehung, welche von der Abnahme 2β abhängt, klein. Ich habe diesen Satz dem Versuch unterworfen, bin aber nicht im Stande gewesen, irgend eine Veränderung in der Größe der Ringe mit Sicherheit aufzufinden.

Das Raisonement, wodurch der in diesem Aufsatz beschriebene Hauptversuch anticipirt wurde, läßt sich vermuthlich auf viele ähnliche Fälle anwenden. Der folgende bietet ein sehr merkwürdiges Beispiel dar. Wird eine Linse aus einer schwach brechenden Substanz auf eine Platte aus einer stark brechenden Substanz gelegt, oder umgekehrt, und dann ein senkrecht gegen die Ein-

fallsebene polarisirtes Licht auf beide geleitet, so vermuthete ich, daß der centrale Fleck dunkel seyn werde, so lange der Einfallswinkel kleiner ist als der Polarisationswinkel der schwach brechenden Substanz, daß ferner der centrale Fleck hell seyn werde, so lange der Einfallswinkel größer ist als der Polarisationswinkel jener Substanz, und kleiner als der der anderen, und daß endlich der centrale Fleck wiederum dunkel seyn werde, sobald der Einfallswinkel größer ist als der Polarisationswinkel der stark brechenden Substanz. Bis jetzt habe ich mir noch keine zur Bewahrheitung dieser Folgerung geeignete Substanzen verschafft.

Zusatz des Herausgebers. Wir dürfen wohl nicht besorgen, das Verdienst des eben geschlossenen Aufsatzes herabzusetzen, wenn wir hier bemerken, daß unserer Meinung nach ein Theil der vorhin aus einander gesetzten Erscheinung bereits von Hrn. Arago in seiner Abhandlung: *Sur les couleurs des Lames minces*. (*Mém. d'Arcueil*, T. III p. 323) beschrieben worden ist, obgleich der damalige Zustand der Wissenschaft noch keine einigermaßen erträgliche Erklärung aufzustellen erlaubte. Auch scheint uns, als enthalte die Arbeit des Hrn. Arago noch einige andere nicht unwichtige, verfolgenswerthe Thatfachen, und einzig aus dieser Ursache erlauben wir uns, den hierauf bezüglichen Theil ihres Inhalts hieher zu setzen.

Legt man eine Glaslinse auf einen Metallspiegel *) und betrachtet die Farbenringe, welche den Berührungs-

*) Die Anwendung eines Metallspiegels zur Hervorbringung der Newton'schen Ringe entlehnte Hr. Arago von Herschel dem Vater (*Philos. Transact. f.* 1807); sie soll übrigens schon in einer i. J. 1788 zu Paris erschienenen Sammlung optischer Abhandlungen zu finden seyn.

punkt umgeben, mittelst eines Kalkspath-Rhomboëders, so erblickt man von der senkrechten Incidenz bis zu einem Winkel von 35° mit der Fläche zwei Bilder, die, bis auf die Intensität, sich ganz ähnlich sind. Eins von ihnen verschwindet vollkommen unter dem Winkel 35° , sobald der Hauptschnitt des Krystalls parallel oder senkrecht gegen die Reflexionsebene steht, zeigt sich aber von Neuem bei kleineren Einfallswinkeln, jedoch mit der merkwürdigen Eigenthümlichkeit, daß die Farbe jedes seiner Ringe complementär ist zu der Farbe des entsprechenden Ringes in dem nicht verschwunden gewesenen Bilde. Berührt die Linse den Spiegel sehr innig, so ist der gemeinschaftliche Mittelpunkt der Ringe für das bloße Auge schwärzlich. Bedient man sich aber eines Krystalls, so theilt sich dieser Fleck zwischen beiden Bildern, so daß das ordentliche z. B. in der Mitte einen *schwarzen* Fleck umgeben von einem *weißen* Ring, besitzt, und das außerordentliche Bild dagegen in den analogen Theilen einen *weißen* Fleck mit einem *schwarzen* Ring umher darbietet.

Wenn für das bloße Auge und für eine weit geringere Annäherung der Linse an den Spiegel der centrale Fleck der Ringe roth ist, so wird er durch der Kalkspath in zwei Flecke zerlegt, einen rothen und einen grünen; und so für alle übrigen Theile der Ringe, welche Farbe sie auch ursprünglich haben mögen. Man sieht daraus, daß die Strahlen, welche die Ringe zwischen einer Glaslinse und einem Metallspiegel bilden, bei senkrechter Incidenz alle Kennzeichen des gemeinen Lichts besitzen, weil sie immer zwei Bilder von gleicher Stärke liefern; daß sie unter dem Winkel 35° polarisirt werden, wie wenn die untere Fläche von Glas wäre; und daß sie unter noch kleineren Einfallswinkeln eine eigenthümliche Abänderung erleiden, durch welche sie sich sowohl vom polarisirten als vom gemeinen Lichte unterscheiden, denn beim Durchgange durch ein Kalkspath-

Rhomboëder zerlegen sie sich in zwei unähnliche Bilder. Uebrigens ist es an sich klar, daß bei jeder Viertel-Umdrehung des Kalkspaths die Strahlen des ordentlichen Bündels in den außerordentlichen Bündel übergehen, und umgekehrt, so daß die Bilder einen vollständigen Austausch ihrer Farben erleiden.

Da die unähnlichen Bilder, welche das Rhomboëder in dem obigen Versuch liefert, aus Ringen mit complementären Farben bestehen, so war es natürlich nachzusehen, ob die Ringe gleichen Ranges in beiden Bildern auch gleiche Durchmesser besitzen. Ausgehend von der Bemerkung, welche ich so eben über den bei Drehung des Kalkspaths stattfindenden Lichtaustausch zwischen beiden Bildern machte, läßt sich indeß leicht erweisen, daß diese Gleichheit nicht vorhanden ist *). Da nämlich der

*) Mit bloßem Auge und ohne Hülfe irgend eines Krystalls ist es bei einiger Aufmerksamkeit leicht zu bemerken, daß wenn man einen gewissen Winkel, der sich nicht weit von 35° entfernen darf, überschritten hat, die zwischen der Glaslinse und dem Metallspiegel sich bildenden Ringe aus zwei verschiedenen Reihen von ungleichen Durchmessern bestehen. Gesetzt z. B. die Linse und der Spiegel seyen stark gegen einander geprefst, so daß, bei senkrechter Incidenz, der gemeinschaftliche Mittelpunkt schwarz erscheint; in dem Maasse nun, als man den Winkel des Gesichtsstrahls mit der Fläche verringert, wird der centrale Fleck allmählig größer, und um eine kleine Größe, so gut wie die ihn umgebenden Ringe. Gelangt man zum Winkel der vollständigen Polarisation, so vergrößern sich plötzlich die Dimensionen des Flecks, es treten mit einem Male neue Ringe zu den bis dahin sichtbaren hinzu, und greifen mehr oder weniger über sie. Bei dieser unvollkommenen Uebereinanderlage ihrer Bahnen ist es gemeinlich ziemlich schwierig, die Folgereihe ihrer Farben zu bestimmen, während man im Gegentheile sehr leicht bemerken kann, daß der zu dem centralen Fleck hinzugetretene Ring dunkler als dieser ist. Ueber einen gewissen Punkt hinaus erscheint der totale Fleck, wenn auch nicht ganz weiß in der Mitte, doch wenigstens sehr merklich heller, so daß in diesem Falle der Punkt, wo die dünne Luftschicht die kleinste Lichtmenge zu reflectiren scheint, bei weitem nicht an dem Orte ihrer geringsten

Uebergang der Strahlen eines Bündels in den andern bei der Drehung des Kalkspaths nur allmählig geschieht, so ist klar, daß ein Zeitpunkt eintreten müßte, wo das eine Bild durch die von dem complementären Bilde herübergekommene Lichtmenge vollkommen neutralisirt würde, wie auch beider ursprüngliche Intensität beschaffen seyn mochte; dagegen sieht man aber in Wirklichkeit beständig beide. Wenn eins dieser Ringsysteme mit dem verglichen werden kann, welches man durch Reflexion ringsum den Berührungspunkt zweier gehörig an einander gedrückten Glaslinsen sieht, so müßte das andere mit dem von diesen Linsen durchgelassenen Ringsystem vergleichbar seyn. Die Aehnlichkeit ist jedoch nur dann vollständig, wenn man im letzteren Fall eine etwas andere Annäherung zwischen den Linsen annimmt, als die ist, welche im ersten das reflectirte Ringsystem erzeugte.

Zu den obigen Versuchen wurden vollkommen polirte Spiegel, sowohl von Stahl als von Spiegelcomposition, angewandt; indess ist eine geringe Mattigkeit der Metallfläche kein Hinderniß für die Bildung der Ringe, vielmehr kann man dabei nach Belieben, und ohne die Neigung des Gesichtstrahls zu ändern, beide Reihen deutlich wahrnehmen. Die erstere wird durch das regelmäßig reflectirte Licht erzeugt, und ähnelt der, welche man bei vollkommener Politur des Spiegels erblickt; die andere, schwächere, wird nur sichtbar, wenn man mit einem Schirme das in der Reflexionsebene enthaltene Licht auffängt, denn die dieselbe bildenden Strahlen gelangen seitwärts zu dem unteren Spiegel, von dem sie, der Hypothese nach, durch die kleinen Facetten, mit denen er

Dicke liegt. Das Kalkspath-Rhomboëder trennt diese beiden verschiedenen Ringsysteme wegen ihrer sehr ungleichen Polarisation größtentheils von einander, und liefert dadurch ein Mittel, beide für sich zu beobachten und zu erkennen, daß die Zonen, aus denen sie bestehen, sowohl in Farbe als im Durchmesser, von einander abweichen.

bedeckt ist, in's Auge geworfen werden. Diese beiden Bilder haben übrigens complementare Farben, was hinreichend zeigt, daß sie nicht auf gleiche Weise gebildet wurden. Nun werden diese beiden neuen Ringsysteme, wie die vorhergehenden, unter dem Winkel $35''$ polarisirt, gerade wie wenn die beiden Seiten der dünnen Luftschicht von einem Glasspiegel berührt würde. Wollte man demnach in Strenge annehmen, daß die ersteren Ringe sich an der oberen Fläche der Schicht bilden, so bleibt doch zu erklären, weshalb die andern, welche von dem Metallspiegel auszugehen scheinen, unter demselben Winkel polarisirt werden, was nach dem Emissionssystem nicht leicht erklärbar ist. Unter kleinerem Winkel, als der Polarisationswinkel, zerlegt das Rhomboëder auch diese neuen Ringe in zwei unähnliche und *fast* complementare Bilder, ich sage *fast complementare*, weil, ungeachtet die Ringe gleichen Ranges in beiden Bildern für das bloße Auge einander zu entsprechen scheinen, doch durch die vorhin angewandte Methode leicht zu ersehen ist, daß ihre Durchmesser nicht ganz gleich sind, denn wenn es der Fall wäre, würde bei einer vollständigen Umdrehung des Kalkspaths jedes Bild zweimal verschwinden.

Man kann auch die erwähnten beiden Ringsysteme ohne Hülfe eines matten Spiegels bilden; es braucht dazu nur der untere Spiegel eine eigene Farbe zu haben. Die Silberstücke der französischen Münze erfüllen z. B. diesen Zweck vollkommen. Wie wenig sie auch polirt seyn mögen, so zeigen sie doch in allen Richtungen einen sehr merklichen graulichen Farbenton. Dieses secundäre Licht bewirkt bei seiner Zersetzung in der Luftschicht, welche zwischen einen solchen Metallspiegel und eine Glaslinse eingeschlossen ist, Ringe, die, wie man auch, das Auge stellt in Bezug auf den einfallenden Lichtbündel, gleich gut sichtbar sind, und mit Farben complementär zu denen, welche man auf dem vom regelmäfsig reflectirten Licht gebildeten Ringe sieht; diese Ringe werden ferner genau

unter demselben Winkel polarisirt, und zerfallen, bei sehr kleinen Einfallswinkeln, in einem zweckmäfsig gehaltenen Kalkspath-Rhomboëder in zwei unähnliche Bilder. Bis auf diesen Umstand zeigen die weit glänzenderen Ringe, welche sich unter denselben Umständen durch das einem Porcellanspiegel eigenthümliche Licht bilden, gleiche Erscheinungen.

Es blieb noch zu untersuchen, ob alleinig Metallspiegel im Stande seyn, den Lichtstrahlen der Ringe die Fähigkeit zu ertheilen, unter gewissen Umständen in zwei unähnliche Bilder zu zerfallen, und von welcher Eigenschaft der Metalle diefs merkwürdige Vermögen abhänge. Zu dem Ende nahm ich statt des unteren Spiegels im vorhergehenden Apparat Spiegel aus solchen Substanzen, die sich ihrer Undurchsichtigkeit wegen am meisten den Metallen zu nähern schienen, d. h. ich bildete dadurch Ringe, dafs ich eine Glaslinse auf polirte Platten von Steinkohle, Anthracit, Gagat u. s. w. setzte. In allen diesen Fällen und unter allen Neigungen, waren aber die vom Rhomboëder gelieferten Bilder, bis auf die Intensität, einander vollkommen ähnlich, in Farbe wie in Gröfse, oder wichen nur sehr wenig von einander ab. Da demnach die Undurchsichtigkeit des unteren Spiegels nicht die unmittelbare Ursache der Erscheinung war, so mußte man sich natürlich denken, dafs die grofse Brechkraft desselben daran Antheil habe. Um diese Vermuthung zu prüfen, versuchte ich mehrere polirte Bruchstücke von natürlichem Schwefel, Diamant u. s. w.; allein die von diesen Körpern gebildeten Ringe zeigten die Farbenumkehrung nicht, oder wenigstens nicht auf eine merkliche Weise, wie grofs auch die Neigung seyn mochte. Man muß indels zugeben, dafs diese Versuche nicht als entscheidend betrachtet werden können, da die lichtbrechende Kraft der Metalle weit gröfser als die des Schwefels und Diamants seyn muß. Auf Metalloxyden unterscheidet man kaum einige Spuren von Unähnlichkeit zwi-

schen den beiden Bildern, welche das Kalkspath-Rhomboëder von den Ringen giebt, selbst wenn der einfallende Strahl nur an der oberen Fläche der Linse vorüberstreicht.

Wiewohl die Gegenwart eines Metallspiegels für die besagte Erscheinung nöthig ist, sobald die Ringe sich an einer Luftschicht bilden, so ist es doch nicht der Fall, sobald der dünne Körper eine gröfsere Dichtigkeit besitzt und mit einer seiner Seiten an ein anderes ziemlich lichtbrechendes Mittel anstößt. So zeigt die Steinkohle auf ihren Brüchen, durch eine ungemein dünne Substanz erzeugt, oft sehr lebhaft Farben, welche sich, wenn man sie unter hinlänglich schiefen Neigungen mit einem Kalkspath-Rhomboëder untersucht, in zwei complementäre Bilder zersetzen *). Die Farben, welche sich nach Aufgießung von Alkohol oder Sassafrasöl auf Kohle oder eine ähnliche Substanz bei fortschreitender Verdampfung erzeugen, geben auch zwei unähnliche Bilder von entgegengesetzten Farben.

*) Bei Anwendung derselben Methoden auf die Beobachtung der Farben, welche an den Oberflächen einiger Krystalle, wie Eisenglanz, Kupferkies, Bleiglanz u. s. w. entstehen, erblickt man Farbenwandlung ohne vollständige Polarisation. [Ähnliche Beobachtungen, namentlich, dafs indigfarben angelaufener Stahl bei Betrachtung durch ein Kalkspathprisma, unter einem Einfallswinkel von 55° bis 60° , das weniger gebrochene Bild von rother, das stärker gebrochene aber, von der ursprünglichen blauen Farbe gebe, sind bekanntlich schon von Brewster in seinen *Treatise on new philos. Instruments* (1813), p. 344, beschrieben, und neuerlich von Nobili in etwas anderer Form wieder aufgefrischt worden (siehe diese Ann. Bd. XXII S. 614). Die Farben, welche Letzterer an den im Kreise der Volta'schen Säule angelaufenen Metallscheiben beobachtet hat, bieten sehr interessante Erscheinungen dar, die ein namhafter Physiker zum Gegenstande einer näheren Untersuchung erwählt hat, und, wie wir hoffen, in kurzer Zeit bekannt machen wird. P.]