III. *Beschreibung eines neuen Polariskops und Untersuchung über die schwachen Doppelbrechungen; von Hrn. A. Bravais.*

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XLIII. p. 129.*)

Alle Physiker wissen, daß zwei Lichtstrahlen, die parallel oder fast parallel sehr nahe bei einander fortgehen, in ihrer Bahn bisweilen verschiedene Einwirkungen erleiden, durch welche ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeiten abgeändert werden. Zwei Strahlen, die zur Zeit ihres Ausgangs im Betreff der Maxima oder Minima ihrer Vibrationen in Uebereinstimmung waren, können es dadurch im Moment ihrer Ankunft vielleicht nicht mehr seyn.

Der nämliche Effect kann auch bei zwei zugleich in einer und derselben Richtung fortgehenden Strahlen eintreten, wenn das durchlaufene Mittel die Art, wie sich die Querschwingungen des Aethers nach diesem oder jenem Azimut fortpflanzen, verschiedentlich afficirt. Alsdann bewirkt, nach einer gewissen Länge des gemeinschaftlichen Weges, der geringste Geschwindigkeitsunterschied einen Phasenunterschied zwischen den beiden Strahlen.

Operirt man mit plan-polarisirten Strahlen, so findet man den Durchgang durch gewisse Mittel abgeändert, je nachdem die Polarisationssebene diese oder jene Richtung hat. Die Maxima und Minima der Geschwindigkeit entsprechen zwei zu einander rechtwinklichen Hauptrichtungen, und für die dazwischen liegenden Richtungen sind die Vorgänge der Art, wie wenn die geradlinige Schwingung eines jeden Aethermoleculs gemäß den Regeln der Mechanik in zwei andere nach den beiden Hauptazimuten gerichteten Schwingungen zerlegt würde.

Die Fähigkeit, eine geradlinige Schwingung in zwei zu einander rechtwinkliche Schwingungen mit Maximum und Minimum der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu zerlegen, findet sich bei den doppeltbrechenden krystallisirten

Mitteln, so wie bei den starren, nicht krystallisirten Mitteln, bei welchen die Molecular-Spannung ringsum den Schwerpunkt eines jeden Moleculs nach verschiedenen Richtungen von diesem Centrum aus verschieden ist.

In allen bisher bekannten Fällen ändert sich die Geschwindigkeit mit dem Polarisationsazimut in der Weise, daß sie bei jeder halben Umdrehung, die man mit der Polarisationssebene vornimmt, dieselben Werthe durchläuft. Ist dieß aber immer der Fall? und könnte es nicht geschehen, daß die Drehungsperiode der Polarisationssebene, welche die Geschwindigkeiten auf denselben Werth zurückführt, ein Submultiplum von 180° wäre, z. B. 90° oder 60° ?

Ich betrachte einen cubischen Krystall. Statt ihn vom Licht in einer den Kanten parallelen Richtung durchlaufen zu lassen, kann man annehmen, dasselbe bewege sich parallel einer der großen Diagonalen des Würfels, also parallel einer der *ternären Symmetrieaxen* des Krystalls. Alsdann könnte offenbar die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in solcher Weise mit dem Azimut der Aetherschwingung variiren, daß sie allemal denselben Werth annähme, wenn die Ebene der Schwingung parallel wäre einer der vier Würfelkanten, d. h. bei jedem Sechstel eines Umgangs. Allein in den intermediären Lagen könnte die Fortpflanzung eine andere Geschwindigkeit haben.

Ausgezeichnete Beobachter haben die Krystalle des regulären Systems einem gründlichen Studium unterworfen, ohne die mindeste Spur von Doppelbrechung daran entdecken zu können. Wenn sie also ein doppeltbrechendes Vermögen besitzen, so könnte es nur in ungemein schwachem Grade seyn. Allein dieser Umstand darf nicht genügen, um im Voraus jede Untersuchung in dieser Beziehung zu verwerfen, weil wir sehen, daß im Quarz die rechts- und linksgewandten Aetherschwingungen sich längs der Axe mit Geschwindigkeiten fortpflanzen, die unter sich nur um ein Zwanzig-Tausendstel ihres absoluten Werthes verschieden sind; und daß die Zuckerlösungen noch kleinere Doppelbrechungs-Vermögen besitzen.

Ich habe geglaubt, daß man mit Hülfe hinreichend genauer Apparate vielleicht die Existenz von sehr kleinen Geschwindigkeits-Unterschieden werde nachweisen können, und daß, falls die Versuche zu negativen Resultaten führen würden, es doch einiges Interesse hätte, zu wissen, daß diese Unterschiede, wenn sie vorhanden, unterhalb einer wohl bestimmten Gränze liegen. Demgemäß beabsichtige ich die Lösung der Aufgabe: *Bei Strahlen von gleicher Richtung und unter einander rechtwinklichen Schwingungen einen Gang-Unterschied nachzuweisen, wenn der Unterschied der Geschwindigkeiten nicht kleiner als ein Zehnmilliontel dieser Geschwindigkeiten ist.*

Es leuchtet ein, daß ein Unterschied von einem Zehnmilliontel zu gering ist, um mittelst Prismen-Combinationen, wie sie Fresnel andererseits zum Erweise der allgemeinen Thatsachen der Doppelbrechung so glücklich erdacht hat, sichtbar machen zu können.

Ich nahm ein Glimmerblatt, etwa ein Neuntel-Millimeter dick, welches zwischen den ordentlichen und außerordentlichen gelben Strahlen, bei senkrechtem Durchgang, einen Gang-Unterschied von einer Wellenlänge gab. Gesehen durch einen Polarisator und einen Zerleger, bei gekreuzter Lage, war seine Farbe von der Art derjenigen, die Hr. Biot *sensible Farben* genannt hat. Es ist die, welche die erste Ordnung von Newton's Farbenringen bedingt, entsprechend etwa der Zahl 11 der Dicken seiner Farbenscale. Ich schnitt dieses Blatt in zwei, nach einer Geraden, die mit dem Hauptschnitt des Blattes, welcher die optischen Axen enthält, einen Winkel von 45° macht, kehrte die eine Hälfte um, so daß die obere Seite zur unteren wurde, und legte sie nach der Linie des künstlichen Schnitts wieder aneinander, so daß sie wieder ein einziges Blatt darstellten, bestehend aus zwei Hälften von unter einander rechtwinklichen Hauptschnitten. Zwei plan-parallele Glasplatten hielten das System in unverrückbarer Lage.

Gelegt auf den Objecttisch des Nörreberg'schen Apparats, dessen Polarisator und Zerleger bis zum Verschwinden

des Lichts gekreuzt sind, giebt ein solches Blatt eine Farbe von gleicher Art für beide Hälften, deren Intensität jedoch variiert, sowie man das Blatt in seiner Ebene dreht. Das Maximum tritt ein, wenn die Hauptschnitte der beiden Halb-Blätter 45° mit der Polarisationssebene des durchgehenden Lichtes machen. Die einzige Vorsicht dabei zu nehmen, besteht darin, das Doppel-Blatt winkelrecht gegen die Bahn des Lichtes zu legen, denn wenn das Blatt neigte, während man es um eine horizontale, zum Hauptschnitt der einen oder anderen Hälfte parallele oder winkelrechte Linie dreht, würde die Farbe der einen dieser Hälften in der Ordnung der Ringe steigen, und die Farbe der anderen um eine äquivalente Gröfse sinken.

Statt das Doppel-Blatt auf den Objecttisch zu legen, kann man es, jedoch immer im Azimut 45° , auf den oberen Spiegel des Nörremberg'schen Apparats bringen. Jede Hälfte wird dann zwei Mal von dem polarisirten Strahl durchlaufen, und somit spielt das Blatt die Rolle eines Blatts von doppelter Dicke; seine Farbe ist alsdann diejenige sensible Farbe, welche die zweite Ordnung der Farbenringe bedingt. Die Empfindlichkeit seiner Angaben ist in den beiden Fällen fast gleich.

Endlich kann man ein solches Blatt an dem einen Ende eines zwei Decimeter langen Rohres anbringen, das am anderen Ende verschlossen ist durch ein doppeltbrechendes Quarzprisma, dessen Hauptschnitt einen Winkel von 45° mit denen des Blattes macht. Dieser Apparat giebt beim Durchgang des polarisirten Lichts zwei complementär gefärbte Bilder, ein violettes und ein gelbliches, und diese Farben verändern sich, indem sie vom Violett durch Weiß von halber Intensität ins Gelbliche übergehen, wenn man den Apparat um seine Axe dreht. Es ist also ein wahres Polariskop.

Handelt es sich um die Erkennung des Daseyns der geradlinigen Polarisation, so erfüllt dieser Apparat den Zweck eines gewöhnlichen Polariskops, und seine Empfindlichkeit übersteigt nicht die der bisher bekannten Polaris-

kope. Allein wenn die Polarisirung elliptisch wird, wenn die von den Aethertheilchen beschriebene Curve sich in eine selbst sehr verlängerte Ellipse umwandelt, weist der Apparat auch diesen Zustand nach, dadurch dafs die Farbe der beiden Hälften des sensiblen Blattes sich ändert. Gesetzt, um die Ideen zu fixiren, der zerlegte Lichtstrahl gelange in horizontaler Richtung ins Auge und die Vibrationen des Aethers geschehen in einer Ellipse mit verticaler grofser Axe. Drehen wir nun das Polariskop um seine Axe, damit die Trennungslinie der beiden Halb-Blättchen auch vertical werde, so wird die elliptische Vibration zerfallen können in zwei geradlinige Vibrationen von $+45^\circ$ und -45° , die um einen kleinen Phasenunterschied von einander abweichen. In dem einen Halb-Blättchen addirt sich dieser Unterschied zu dem vom Durchgang durch den Glimmer erzeugten, in dem anderen subtrahirt er sich; die eine Farbe wird in der Reihe der Ringe sinken und ins Rothe stechen, die andere steigen und ins Bläuliche fallen.

Die geringste Veränderung dieser Art bewirkt einen sehr merkbaren Effect auf die sensible Farbe, und die Juxtaposition der beiden, die eine in plus, die andere in minus, veränderten Farben macht diesen Effect noch deutlicher, wie das bei der von Hrn. Soleil erdachten Quarzplatte mit zwei Drehungen gleichfalls geschieht.

Drehen wir nun das Polariskop um 45° um seine Axe, sey es im Sinne der Drehung der Aethertheilchen um das Centrum ihrer Vibrations-Ellipse, sey es im entgegengesetzten Sinne, so fährt die in minus veränderte Farbe zu sinken fort, und bleibt, wenn die Drehung 45° erreicht hat, bei einer Orangenfarbe stehen, die in den Ringen mit schwarzem Centrum einen Gang-Unterschied von drei Viertelwellen entspricht und mit einer desto gröfseren Menge weifsen Lichts vermischt ist als die Ellipse sich mehr der geraden Linie nähert. In dem benachbarten Blättchen dagegen steigt die Farbe auf die Ordnung $\frac{5}{4}$, d. h. auf ein mehr oder weniger mit Weifs vermisches Blau.

Sobald man die Lage 45° überschreitet und mit der

Drehung des Apparats in gleichem Sinne fortführt, nähert sich die Farbe erster Ordnung immer mehr dem Weiß erster Ordnung; und wenn die Drehung 90° erreicht, weicht die Farbe nur um einen Bruch vom Weiß ab, der genau gleich ist dem Unterschied zwischen der sensiblen Farbe und dieser selben, durch die Ellipticität der Vibrationen abgeänderten Farbe. Nach Ueberschreitung dieses Punkts kommt die Farbe allmählich auf die sensible Farbe zurück, und im Moment, wo der Apparat eine vollständige halbe Drehung um sich selbst gemacht hat, nimmt sie wieder ihren ursprünglichen Werth an. In dem zweiten Blättchen, worin die Farbe im Ueberschuß ist, sieht man während dieser selben Periode die Farbe sich dem Gelb zweiter Ordnung nähern und darauf, wenn der Drehungswinkel 90° überschritten hat, zurückgehen.

In dem besonderen Fall, wo die Polarisation circular wäre, nimmt das eine Blättchen die Orangenfarbe erster Ordnung und das andere die blaue Farbe zweiter Ordnung an, und diese Farben bleiben während der Drehung des Apparats um seine Axe permanent.

Was das zweite vom Quarzprisma gelieferte Bild betrifft, mit dem wir uns hier nicht beschäftigen, so ist es in seinen beiden Hälften stets complementär zu den Farben des ersten Bildes.

Nach dieser Auseinandersetzung sieht man, daß das Polariskop aus zwei Glimmerblättchen hauptsächlich zum Studium der elliptisch polarisirten Lichtstrahlen dient, vor Allem in dem besonderen Fall, wo die Vibrations-Ellipse sehr verlängert ist. In diesem Fall, der sich bei optischen Untersuchungen häufig darbietet, ist er in der That von sehr großer Empfindlichkeit.

Wäre das unserer Analyse unterworfenen Licht ein homogenes, so würde man es nicht mehr mit Farbenunterschieden, sondern nur mit Intensitätsveränderungen zu thun haben. Alsdann müßte man zu sensiblen Blättchen greifen, deren Dicke einem Unterschied gleich einem der Brüche $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ etc. Welle wäre, dabei die Welle geschätzt nach der

Wellenlänge der betrachteten Farbe. Unser sensibles Blättchen wäre also noch brauchbar, wenn man mit rothen oder violetten Strahlen arbeitete, aber nicht, wenn es sich um gelbe oder grüne Strahlen handelte; in diesem letzteren Fall wäre es das Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle, welches als sensible Farbe angewandt werden könnte.

Nachdem unser Polariskop an dem oberen Theil des Nörremberg'schen Apparats angebracht worden, lege man auf den Objecttisch ein Glimmerblatt von passender Dicke, um den gelben Strahlen einen Gangunterschied von $\frac{1}{4}$ Welle zu geben, d. h. eine Dicke von $\frac{1}{36}$ Millimeter. Dieß Blättchen wird die geradlinige Polarisation in eine elliptische verwandeln, die zufällig für die Azimute 0° , 90° und 180° geradlinig und für die Azimute 45° und 135° zufällig circular ist. Wenn das Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle im Azimut 0° befestigt ist, gewahrt man die sensible Farbe, und die beiden Hälften des Blättchens bieten dem Auge einerlei Farbe dar. Dreht man nun das Blättchen erst ins Azimut $+1^\circ$ und dann ins Azimut -1° , so giebt man der Polarisation des zum Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle austretenden Lichts eine Ellipticität, charakterisirt durch ein Verhältniß der kleinen zur großen Axe gleich der Tangente von einem Grad; und diese Ellipticität trübt sogleich die Gleichheit der Farben. Bei Anstellung dieses Versuchs ist es zweckmäfsig, das Polariskop um einen Winkel zu drehen, der gleich der Drehung der Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle ist, damit die Hauptschnitte des Doppelblättchens fortfahren Winkel von 45° mit denen des unteren Blättchens zu bilden; jedoch ist diese Vorsicht nicht mehr nöthig, wenn der Drehungswinkel klein ist.

Bezieht man die Schwingungen in einer Ellipse, deren Axen 1 und $\tan\alpha$ sind, auf die Halbirungslinien der Axen dieser Ellipse, so muß man annehmen, die Schwingungen auf diesen Halbirungslinien haben einen Gangunterschied repräsentirt in Wellenlänge durch den Bruch $\frac{\alpha}{\pi}$. Unser Apparat giebt also leicht einen Phasenunterschied von $\frac{1^\circ}{180^\circ}$

an, d. h. von $\frac{1}{180}$ Wellenlänge. Noch mehr! Wenn die Umstände günstig sind, d. h. wenn man mit intensivem Lichte operirt und das Auge in zweckmäßiger Dunkelheit hält, kann sich der Farbenunterschied bei einem Unterschied von $0^{\circ},7$ zeigen, und alsdann giebt der Apparat ohne Zweifelhafteit einen Phasenunterschied von $\frac{1}{250}$ Wellen an.

Fast denselben Grad von Empfindlichkeit erlangt man, wenn man zum empfindlichen Blättchen ein Blättchen von doppelter Dicke nimmt, welches die sensible Farbe zweiter Ordnung giebt, die der Zahl 21 unter den Dicken der Newton'schen Tafel entspricht; wenn das Licht etwas intensiv ist, ist eine solche Dicke sogar vorzuziehen.

Statt des Glimmerblättchens von $\frac{1}{4}$ Welle lege ich auf den Objecttisch des Apparats einen Glaswürfel von 16 Mllm. Seite, dergestalt, dafs die Diagonalen seiner Grundfläche in den Azimuten 0° und 90° des Apparats liegen. Wenn man dann den Würfel auf zwei seiner lothrechten Flächen zwischen den Fingern drückt, sieht man die Farben des sensiblen Blättchens sich von einander trennen; ein mäßiger Druck reicht hierzu aus. Die beiden Farben, die dann die sensible Farbe ersetzen, sind vollkommen gleichförmig in der ganzen Erstreckung jeder der beiden Hälften, und selbst längs denjenigen beiden Seitenkanten, die winkelrecht sind auf denen, auf welche die comprimirende Kraft wirkt.

Der eben beschriebene Apparat gestattet, die Umwandlung der geradlinigen Polarisation in elliptische oder circulare allemal, wo sie vorkommt, qualitativ nachzuweisen, aber sie liefert uns noch kein genaues Maafs. Allein es ist leicht, daraus ein wahres Polarimeter zu machen.

Zuvörderst ist die Bemerkung nöthig, dafs es zwei Arten von Polarimetern giebt. Die einen verstatten, die Menge des dem polarisirten Licht beigemischten natürlichen Lichts zu messen; zu dieser Bestimmung hat Hr. Arago sehr sinnreich die Glassäulen angewandt. Die anderen Polarimeter haben zum Zweck, die Ellipticität der Polarisation zu bestimmen oder, was auf dasselbe hinausläuft, den Phasenunterschied zweier nach den Halbirungslinien der Axen der

Ellipse gerichteter Schwingungen. Zu diesem Zweck benutzte Hr. Jamin den Compensator des Hrn. Babinet und verwandelte ihn sehr glücklich in einen zur Bestimmung dieser Unterschiede geeigneten Apparat. In England bediente man sich oft einer auf der Axe winkelrechten Kalkspathplatte, deren Ringe, gesehen in elliptischem Licht, Verschiebungen eigenthümlicher Art erleiden.

Allein sowie wir die Polarisation durch die Einerleiheit oder Verschiedenheit zweier gleichförmiger Farben bestimmen, sind offenbar diese Verfahrensarten nicht mehr anwendbar.

Hier zwei, welche diese Verschiedenheit zu messen erlauben. Die erstere stützt sich auf die schon angezeigte Anwendung des Glimmerblättchens von $\frac{1}{4}$ Welle. Die durchbohrte Scheibe, welche es trägt, liegt horizontal auf dem Objecttisch des Nörrenberg'schen Apparats; sie kann sich um die verticale Axe dieses Apparates drehen und eine Gradtheilung zeigt die Drehungen der Platte an. Das Mittel, welches die Phase der in den Azimuten $+45^\circ$ und -45° vibrirenden Strahlen abändert, kann gleichgültig zwischen dem polarisirenden Spiegel und dem Objecttisch oder, über dem letzteren, zwischen diesem und dem Polariskop angebracht werden; dieß kann z. B. ein Glaswürfel seyn, der auf den Seiten zusammengedrückt ist und mit zwei der verticalen Seiten in den Azimuten $+45^\circ$ und -45° liegt.

Wenn das Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle seinen Hauptschnitt auf 0° hat, gewahrt das Auge die beiden Farben, die in Bezug auf die sensible Farbe verändert sind, die eine in plus und die andere in minus, und der beobachtete Effect rührt alleinig von der doppeltbrechenden Wirkung des Glaswürfels her. Wenn man nun, alle übrigen Theile des Apparats unbewegt lassend, das Blättchen von $\frac{1}{4}$ Welle in seiner Ebene um eine gewisse Zahl von Graden entweder rechts oder links dreht, so wird man unfehlbar eine Lage finden, bei welcher die Gangunterschiede, welche von der Wirkung des compensirenden Blättchens und der des Glaswürfels herrühren, einander gleich und entgegengesetzt

sind, und dann kommen die beiden veränderten Farben wieder auf ihren ursprünglichen Werth und auf Identität zurück. Der Sinn der zu dieser Compensation nöthigen Drehung hängt ab von dem rechts- oder links gewandten Sinn der zu untersuchenden elliptischen Schwingungen und kann zur Bestimmung desselben dienen.

Man kann auch statt des Glimmerblättchens von $\frac{1}{4}$ Welle ein Fresnel'sches Parallelepipedum nehmen, da es, wie jenes, die geradlinige Polarisation in eine elliptische verwandelt, bei der das Verhältniß der Axen gleich ist der Tangente des Winkels, den der Hauptschnitt des Rhomboëders mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht. Der Nörremberg'sche Apparat gestattet leicht eine solche Vertauschung.

Man muß indess bemerken, daß das eben angezeigte Verfahren nur anwendbar ist in dem Fall, wo die zu compensirenden Gangunterschiede nicht eine Viertelwelle übersteigen. Obwohl dieser Fall einer der interessantesten ist, der sich bei den Untersuchungen darbieten kann, so ist er doch nicht allgemein genug, und ich mußte ein anderes Compensationsverfahren aufsuchen, welches in seiner Anwendung nicht dieser Beschränkung unterworfen war. Folgendes ist das, bei welchem ich stehen blieb.

Bekanntlich besteht der Compensator des Hrn. Babinet aus zwei, der Axe parallelen Quarzplatten, so auf einander gelegt, daß ihre Axen sich rechtwinklich kreuzen. Jede der beiden Platten bildet einen Keil von kleinem Winkel, z. B. von einem oder anderthalb Grad, und wenn die beiden Keile in entgegengesetzter Lage unverrückbar mit einander vereinigt sind, stellt das ganze System eine einzige Platte mit parallelen Flächen dar. Die Linie von gleicher Dicke beider Platten befindet sich gewöhnlich in der Mitte des Systems, und dort bildet sich eine centrale schwarze Franse, sobald der Compensator auf den Objecttisch des Nörremberg'schen Apparats gelegt wird und seine Hauptschnitte sich unter 45° mit den Hauptschnitten des Polarisators und Zerlegers kreuzen.

Nehmen wir einen solchen Compensator von rechteckiger Gestalt und schneiden ihn durch eine auf den Kanten der Keile rechtwinkliche Ebene in zwei gleiche Halb-Rechtecke, so haben wir zwei Compensatoren statt eines einzigen, und wenn wir sie auf einander legen, wirkt das neue System durch eine bloße parallele Verschiebung, ohne Drehung, indem man die beiden Halb-Rechtecke mit einander coïncidiren läßt, wie ein einziger Compensator. Man erhält noch Fransen parallel den Keilen; die centrale Franse nimmt noch denselben Platz wie zuvor ein; allein da die Gangunterschiede alle doppelten Werth haben, so werden die Fransen zwei Mal so zahlreich erscheinen als sie von jedem Compensator für sich gegeben seyn würden.

Wenn man nun, während der untere Compensator unbewegt bleibt, den oberen um eine durch seinen Schwerpunkt parallel der Kante des Keils gezogene Gerade um 180° dreht, und man ihn, nach dieser Drehung, wieder mit dem unteren Condensator in Contact setzt, so verschwinden die Fransen und es bildet sich eine gleichförmige Farbe, die von dem Unterschiede der durchlaufenen Dicken herrührt. Die Theorie der alsdann entstehenden Erscheinung bietet nicht die geringste Schwierigkeit dar und die Erscheinung selbst ist ganz analog der beim saccharimetrischen Compensator, welchen Hr. Soleil der Akademie in ihrer Sitzung vom 18. Aug. 1845 vorgelegt hat.

Die beiden aufeinander gelegten Compensatoren zeigen alsdann die Gestalt der hier folgenden Figur, welche einen Durchschnitt winkelrecht auf den Kanten der Keile vorstellt.

Die beiden schwach prismatischen Platten NN , $N'N'$ haben ihre krystallographischen Axen winkelrecht auf den Schneiden (*biseaux*) und folglich in der Ebene der Figur. Dagegen haben die Platten PP und $P'P'$ ihre krystallographischen Axen parallel den Schneiden und lothrecht auf der Ebene der Figur. Der Lichtstrahl, welcher das System der beiden Compensatoren winkelrecht durchdringt, zerfällt also in zwei Strahlen, von denen der eine parallel, und der andere winkelrecht zur Schneide des Keils polarisirt ist. Der erstere ist außerordentlicher Strahl in NN , dann ordentlicher in PP und $P'P'$ und wiederum außerordentlicher in $N'N'$; der zweite ist ordentlicher Strahl in NN , außerordentlicher in PP und $P'P'$ und wiederum ordentlicher in $N'N'$. Da die in diesen Eigenschaften durchlaufenden Dicken gleich sind für jeden der beiden Strahlen, so erfolgt daraus beim Austritt kein Gangunterschied, so daß das System, wenn es auf den Objecttisch des Nörremberg'schen Apparats gelegt wird, zwischen gekreuzten Polarisator und Zerleger, kein Licht wieder herstellt. Es wirkt alsdann genau, wie zwei gleich dicke, der Axe parallele Quarzplatten wirken würden, die man mit gekreuzten Axen auf einander legte.

Wenn man aber, sey es von der Rechten zur Linken oder umgekehrt, den Compensator $P'N'N'P'$ auf dem Compensator $PNNP$ verschiebt, so findet die Compensation der Dicken nicht mehr statt und es entsteht eine der Farben der Ringe mit schwarzem Mittelpunkt. — Die Strecke, um welche man den Compensator $P'N'N'P'$ zur Erlangung einer bestimmten Farbe verschieben muß, ist genau gleich dem Abstand, in Millimetern, welcher in dem einfachen Compensator ($PNNP$ oder $P'N'N'P'$) diese Farbe von der Mitte der centralen schwarzen Franse trennt. — Wenn z. B. einer der Compensatoren in dem Nörremberg'schen Apparate Fransen von drei Millimetern Breite giebt, so muß man $P'N'N'P'$ um drei Millimeter verschieben, um die schwarze Farbe, welche die Newton'schen Ringe anfängt, in die sensible Farbe am Ende der Ringe erster Ordnung überzu-

führen, und nochmals um drei Millimeter, um die sensible Farbe zweiter Ordnung zu erhalten, und so fort.

Der eben beschriebene Compensator mit gleichförmigen Farben kann nützlich seyn, um die Farben der Newton'schen Ringe auf grossen Flächen zu erhalten, eine schätzbare Sache für verschiedene optische Untersuchungen ¹⁾. Glimmer- oder Gypsblättchen, die man gegen den sie durchdringenden Strahl verschiedentlich neigt, erfüllen zwar denselben Zweck; aber sie erfüllen ihn weniger genau, weil die von einem Glimmerblatt schief durch ein Diaphragma hindurchgelassene Farbe immer eine kleine Abstufung von der vorangehenden zu der nachfolgenden Farbe zeigt, in normaler Richtung zu dem Bogen der isochromatischen Lemniscate, welche das Licht durchläuft.

Es ist nun leicht, unseren Compensator mit gleichförmiger Farbe anzuwenden auf die Messung von Phasendifferenzen zweier auf einander rechtwinklich polarisirter Strahlen, welche sich entlang der Axe des Nörremberg'schen Apparats bewegen. Man lege den Compensator auf den Objecttisch, mit den Kanten der Keile im Azimut 45° . Die beiden Hauptschnitte des Compensators sind alsdann in Coïncidenz mit den Hauptschnitten des Blättchens aus zwei Glimmern, welches die Röhre des zerlegenden Polariskops unten verschließt. Eine Mikrometerschraube erlaubt, den oberen Compensator $P'N'N'P'$, welcher ein Quadrat von 8 Mlm. Seite bildet, auf dem unbeweglichen Compensator $PNNP$ zu verschieben. Wenn der obere Condensator auf dem Nullpunkt der Theilung liegt, durchdringen ihn die $+45^\circ$ und -45° polarisirten Strahlen ohne Gangunterschied beim Austritt und das aus zwei Glimmern bestehende Blättchen zeigt in seiner ganzen Ausdehnung eine purpurne Nüance der sensiblen Farbe. Sowie man aber die Schraube des Mikrometers in dem einen oder anderen Sinne bewegt, wird die Gleichheit der Farben zerstört; die eine steigt in

1) Ein auf analogen Principien gegründeter, aber anders gestalteter Compensator wurde schon vor mehreren Jahren von Hrn. Soleil, dem Vater, construiert, jedoch nicht öffentlich beschrieben

der Farbenscale und die andere sinkt um eine äquivalente Gröfse.

Befindet sich also oberhalb oder unterhalb des Compensators ein doppeltbrechendes Mittel, z. B. ein comprimierter Glaswürfel, welcher zwischen beiden Strahlen einen Gangunterschied hervorruft, so wird man diesen Unterschied compensiren und also auf die sensible Farbe zurückkommen können, sowie man die Mikrometerschraube des Apparats in dem einen oder anderen Sinne bewegt. Ich nehme an, daß die Fransen bei jedem Compensator 3 Mllm. breit seyen; in dieser Annahme müßte, um einen Gangunterschied von einer ganzen Welle bei Strahlen aus der Mitte des Spectrums zu compensiren, die Schraube um 3 Mllm. verstellt werden. Nun giebt die Schraube, welche auf dem Rande ihres Knopfs in 100 Theile getheilt ist, mit Leichtigkeit den 200sten Theil eines Millimeters und folglich eine Phasendifferenz von $\frac{1}{200}$ Welle. Es wäre leicht, diesen Genauigkeitsgrad noch zu vergrößern; allein die Mühe würde überflüssig seyn, da die Empfindlichkeit des Zweiglimmer-Blättchens keine Schätzung über $\frac{1}{250}$ Welle hinaus erlaubt, wie ich schon angegeben habe.

Wenn man keine Quarzplatten von etwas beträchtlicher Länge zu seiner Verfügung hat, so kann man die Länge des unteren Compensators auf 10 bis 12 Mllm. verringern, eine Länge, deren Mitte die centrale schwarze Franse einnehmen muß. Der obere Compensator wird seine centrale schwarze Franse in 8 bis 10 Mllm. Abstand von einem seiner Enden haben, und deren Abstand von dem anderen Ende wird 20 bis 30 Mllm. seyn. Beträge dieser letztere Abstand z. B. 24 Mllm. und zieht man davon, wegen der halben Länge des unteren (*supérieur*) Compensators, 6 Mllm. ab, so würde man, von der schwarzen Farbe an, welche die Farbenreihe anfängt, 18 Mllm. Spielraum haben und folglich 2 Mllm. für jede Farbenordnung. Der nach solchen Bedingungen construirte Apparat könnte sich bis ans Ende der neunten Ordnung erstrecken, was für die Mehrzahl der Fälle auszureichen scheint.

Operirt man, um am Material des Krystalls zu sparen, mit einem Compensator, dessen Centrum also verschoben worden ist, so kann es geschehen, daß die Compensation eines Wegunterschieds eine Verschiebung des Apparats in der Richtung erfordert, in welcher er verkürzt worden ist. Um dann die Compensation möglich zu machen, braucht man ihn nur um 90° um die Axe des Nörremberg'schen Apparats zu drehen.

Unter den Versuchen, welche ich mit dem Polariskop zur Zerlegung elliptischer Vibrationen angestellt habe, will ich die anführen, welche sich auf das für möglich gehaltene Doppelbrechungsvermögen von Substanzen des regelmässigen Systemes beziehen.

Aus einer ziemlich beträchtlichen Masse Steinsalz, welche Hr. Babinet gütigst zu meiner Verfügung stellte, schnitt ich einen Würfel von 30 Mllm. Seite. Studirt mit meinem Apparat zeigte er Flecke (*plages*) von etwas verschiedener Farbe, allein der Ton der sensiblen Farbe war doch wenig verändert. Die Umrisse der Flecke hatten nichts recht Scharfes. Wahrscheinlich entsprangen diese Erscheinungen aus kleinen Krystallisationsmängeln, die in verschiedenen Richtungen ungleiche Spannungen der Materie erzeugten.

Ich schnitt zwei Flächen parallel denen des Octaëders an. Die im Lichte winkelrecht auf diesen Flächen untersuchte Platte hatte eine Dicke von 36 Mllm. Es zeigte sich noch stellenweise eine Veränderung der Farben. Als ich den Krystall um sich selbst drehte, kamen die veränderten Farben auf die sensible Farbe zurück und gingen in die entgegengesetzte Nüance über. Die Winkelperiode, welche den Farben ihren ursprünglichen Werth wieder gab, betrug $\frac{1}{2}$ Umgang und nicht $\frac{1}{6}$ Umgang; überdiß behielten einige Stellen des Krystalls die sensible Farbe während der Drehung. Die Dicke von 36 Mllm. repräsentirte hier bei gelben Strahlen eine Zahl von Undulationen gleich $\frac{36 \cdot 1,55}{0,00055}$ d. h. 10100 Vibrationen. Wenn die lothrecht auf den Flächen des Würfels polarisirten Strahlen von denen

winkelrecht zu ihnen polarisirten hinreichend an Geschwindigkeit verschieden gewesen wären, um beim Austritt einen Unterschied von $\frac{1}{100}$ Welle zu erzeugen, so würde ich es sicher mit meinem Apparat erkannt haben. Der Unterschied in den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, wenn er wirklich vorhanden ist, kann also nicht ein Zehnmilliontel des absoluten Werthes dieser Geschwindigkeiten übersteigen.

Denselben Versuch habe ich an einem schönen Alaunkrystall wiederholt, den Hr. Ruhmkorff mir gefälligst anvertraute. Dieser Krystall bildete einen Würfel von 19 Mllm. Seite und seine Durchsichtigkeit war fast vollkommen. Nachdem daran zwei Flächen parallel denen des Octaëders in 26 Mllm. Abstand von einander geschnitten worden, brachte ich ihn auf den Objecttisch des Apparats. Die sensible Farbe nahm ein etwas verschossenes Ansehen an; allein die Gleichheit der Farben erhielt sich bei allen Lagen der Platte ringsum die Verticale. Der Geschwindigkeitsunterschied stieg also nicht auf ein Siebenmilliontel.

Derselben Prüfung unterwarf ich eine Flussspathplatte von 9 Mllm. Dicke. Jede Hälfte der Platte erschien im Apparat wie eine Mosaik, gebildet aus kleinen Flecken, deren Farbe beträchtlich abwich von der sensiblen, zwischen den Extremen des lebhaften Roth und zarten Blau. Diese Farben veränderten sich bei der Drehung und wurden bei jedem halben Umgang wieder dieselben. Wenn man überdies den farbigen Fleck rasch von der rechten Hälfte des Gesichtsfeldes in die linke versetzte, wo sein Licht durch die zweite Hälfte des Zwei-Glimmer-Blättchens modificirt wurde, so sprang seine Farbe plötzlich über die sensible Farbe hinaus, wie dieß im Voraus zu erwarten war. Kurz der Krystall schien zusammengesetzt zu seyn aus verschiedenen Stücken, die an Intensität und Richtung verschiedenen und wenig regelmäßigen Compressionen unterworfen waren.

Beryllplatten, winkelrecht zur Axe geschnitten, zeigten in unserem Apparat ganz ähnliche Erscheinungen wie der Flussspath sie darbot. Deshalb ist beim Beryll das Cen-

trum des schwarzen Kreuzes immer mit Weißs vermischt, wie das Hr. Babinet vor langer Zeit beobachtet hat.

Untersucht man einen Krystall der oben besprochenen Art, welche diese Erscheinungen der unregelmäßigen Spannungen im Innern zeigt, so kann man ihn mit dem Glimmerblättchen in Contact und folglich in die Weite des deutlichen Sehens bringen. Er läßt sich dann Stelle für Stelle studiren und dießs Verfahren gab die obigen Resultate. Allein man kann den Krystall auch sehr dicht ans Auge bringen, dicht hinter das zerlegende Prisma, und alsdann beobachtet man nur den allgemeinen Effect der gemischten Textur der krystallinischen Masse. Die Einzelheiten der inneren Structur verschwinden und die sensible Farbe zeigt sich entweder in plus oder minus schwach verändert in dem einen oder anderen der beiden Blättchen. Alsdann erkennt das Auge nur den mittleren Effect der inneren Drucke des gesammten Krystalls durch die Verschiedenheit der beiden Farben des sensiblen Blättchens. Ihre periodische Rückkehr zu denselben Werthen, bei jeder halben Umdrehung des Blättchens in seiner eigenen Ebene, zeigt klar die Ursache ihrer Entstehung.

Beim Verfolge der in diesem Aufsatz entwickelten Ideen wollte ich wissen, ob die Strahlen, welche einen Quarzkrystall in lothrechtter Ebene auf seiner Krystallaxe durchdringen, identisch dieselbe Geschwindigkeit haben, welche eine Richtung sie auch in Bezug auf die Seiten des Sechsecks besitzen mögen, z. B. wenn sie zu den Seitenflächen parallel oder winkelrecht seyen. Apriori scheint die Sache nicht klar zu seyn und die Krystallographie erlaubt sogar Zweifel daran. Ich liefs also zwei Platten schneiden von gleicher Dicke und der krystallographischen Axe parallel, allein in verschiedenen Lagen gegen die Seitenflächen. Die Untersuchung der Gleichheit des Ganges ist fein und noch nicht vollständig beendet; allein bisjetzt hat sie mir erlaubt zu erkennen, daß der Unterschied der Geschwindigkeiten kleiner ist als ein Zehnmilliontel ihres absoluten Werths

und diese Gränze wird noch bedeutend sinken, sobald mein Apparat den vollen Genauigkeitsgrad erlangt haben wird, den ich glaube erreichen zu können.

Den eben beschriebenen Apparat habe ich angewandt, um das Doppelbrechungsvermögen einer dicken, von beiden Seiten her zusammengedrückten Glasplatte zu bestimmen. Bekanntlich verhält sich eine solche Platte, wenn sie auf beiden Grundflächen den zusätzlichen Druck z. B. einer Atmosphäre erleidet, wie ein einaxiger repulsiver Krystall, wobei die Compressionsaxe dieselbe Rolle spielt wie die krystallographische Axe bei einem einaxigen Krystall. Das Doppelbrechungsvermögen kann also gemessen werden durch den Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl, die zusammen, parallel dem Aequator des Systems, eine Dicke von 1 Mllm. der Substanz durchdringen. Beim Kalkspath z. B. weiß man, daß das Doppelbrechungsvermögen, bei mittlerem Licht des Spectrums und einem gemeinschaftlichen Wege von 1 Mllm., einen Gangunterschied von 311 Undulationen zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl hervorruft. Das Doppelbrechungsvermögen dieser Substanz kann also durch die Zahl 311 ausgedrückt werden.

Nach dieser Weise, die Doppelbrechungsvermögen numerisch auszudrücken, habe ich gefunden, daß das des comprimierten Glases durch $0,0005 n$ vorgestellt werden kann, wenn n die Zahl der Atmosphären bei der Zusammendrückung bezeichnet.

Das Licht einer Lampe ging horizontal durch eine geneigte Glassäule und zwar im Azimut 45° gegen die Verticalebene der Strahlen; es durchdrang alsdann unter rechtem Winkel einen Glaswürfel von 16 Mllm. Seite, der auf der oberen Fläche durch ein von 0 bis 29 Kilogramm steigendes Gewicht zusammengedrückt wurde. Weiterhin war das sensible Blättchen befestigt, von dessen Hauptschnitten der eine horizontal und der andere vertical war; in 3 Decimeter Abstand befand sich ferner ein Nicol'sches Prisma im Azimut 45° , welches das polarisirte Licht der Säule

auslöschte, wenn man das sensible Blättchen fortnahm; endlich war zwischen diesem und dem Prisma ein Glimmer von $\frac{1}{4}$ Welle, als Compensator dienend.

Das Gewicht, die schwere Bleinasse von 29 Kilogrammen, wurde durch eine lothrechte Schnur von veränderlicher Spannung getragen, und letztere jeden Augenblick gemessen durch ein Feder-Dynamometer, das sich zwischen dem Gewicht und dem unteren Ende der Schnur befand. Indem ich diese nach Belieben anspannte, erhielt ich alle intermediären Drucke, und bei jeder Beobachtung brauchte man nur die Augen auf die Nadel des Dynamometers zu werfen, um durch eine einfache Subtraction den auf den Glaswürfel ausgeübten Druck zu erfahren. Somit konnte ich den Druck von 0 bis 11 Atmosphären steigern, und ich fand, daß, innerhalb dieser Gränzen, die Farben des Würfels, gesehen durch beide Hälften des empfindlichen Blättchens, sehr nahe homogen waren, vorausgesetzt jedoch, daß ich auf die gleichmäßige Vertheilung des Drucks die nöthige Vorsicht verwandt hatte. Alsdann ließen sich die Farben durch die Drehung des compensirenden Viertelwelle-Blättchens auf Gleichheit zurückführen.

Ich füge indess hinzu, daß es mir schien, als nehme das Doppelbrechungsvermögen nicht so rasch zu als der Druck. Zwischen 0 und 2 Atmosphären würde sein mittlerer Werth ausgedrückt seyn durch 0,00060.*n*, zwischen 0 und 5 Atm. durch 0,00055.*n*, und zwischen 0 und 10 Atm. nur durch 0,00050.*n*. Fernere Versuche scheinen mir nöthig, um den Beweis von der Wirklichkeit einer so raschen Abnahme des optischen Effects der Drucke zu vervollständigen.

Bekanntlich hat Fresnel bewiesen, daß die absolute Geschwindigkeit des Lichts im Glase vermöge der Compression abnimmt, und daß die Geschwindigkeitsänderung bei dem ordentlichen Strahl doppelt so groß ist als beim außerordentlichen, winkelrecht auf der Axe. Man folgert daraus leicht, daß durch eine Compression von 1 Atmosphäre die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls um

ein Dreimilliontel ihres Werthes vor der Compression verlangsamt wird, die des außerordentlichen Strahls dagegen nur eine Verlangsamung von einem Sechsmilliontel erleidet.

Ein Parallelepiped von Steinsalz einem Druck von 7 Atmosphären unterworfen, gab mir für das dadurch entstehende Doppelbrechungsvermögen dieser Substanz die Zahl $0,00059 \cdot n$, die etwas größer als die des Glases zu seyn scheint.

Diese Verfahrungsarten sind auf alle durchsichtigen Substanzen anwendbar und die Messungen werden, hoffe ich, ungemein erleichtert werden durch den Gebrauch eines Zusammendrückers mit dynamometrischen Anzeigen, welchen ich gegenwärtig construiren lasse.

VI. Ueber den Leuchtenbergit und seine Begleiter, Hydrargillit, Granat, Perowskit, Magnetit, Talkapatit etc.; von G. H. Otto Volger in Zürich.

Der Güte meines hochverehrten Freundes des Hrn. David Friedrich Wiser hieselbst, verdanke ich die Gelegenheit zur Untersuchung einer interessanten Stufe mit der Handelsetikette von Hrn. A. Krantz in Berlin „*Leuchtenbergit* (Komonen) von *Slatoust am Ural*“.

Der Leuchtenbergit ist von verschiedenen Beobachtern bekanntlich seiner Krystallisation nach bald für *kreiselmäfsig* (hexagonal), bald für *rautenmäfsig* (rhombisch) und zwar theils für *gänzlingisch* (holoëdrisch orthorhombisch), theils für *hälblingisch* (rautenmäfsig (hemirhombisch, klinorhombisch) erklärt worden. Alle diese Beobachter haben ihn ganz richtig charakterisirt; es zeigt nämlich derselbe, wie alle Mineralien der Talkglimmer-Familie ¹⁾ alle

1) Vergl. meine: Entwicklungsgeschichte der Mineralien der Talkglimmer-Familie etc. Zürich 1854 (1855). — *Talkglimmer* nenne ich die Sub-