XIV. *Ueber eine neue physische Relation zwischen den Elementen der Naturkörper und den Einwirkungen der verschiedenen einfachen Strahlen auf sie; von Hrn. Biot.*

(*Compte rendu etc. de l'acad. des sciences* 1836, No. 23 p. 540.)

Beim Studium der Ablenkungen, welche die Polarisations-ebenen der Lichtstrahlen erleiden, wenn sie parallel mit der Axe der Doppelbrechung durch Bergkrystall gehen, habe ich früher gefunden, dafs, für gleiche Dicken, diese Ablenkungen, bei Strahlen von verschiedener Brechbarkeit, sich nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Längen ihrer Accesses, oder, nach der Undulationstheorie, ihrer Wellenlängen ¹). Als ich später entdeckte,

- 1) Fresnel hatte diese Relation in einer besonderen Abhandlung aufgestellt, welche leider verloren gegangen ist. Man kennt nur die Zahlen, welche er beim Terpenthinöl erhielt, und welche ich, nach ihm, am Ende meiner Abhandlung über diese neuen Phänomene im Tome II der Abhandlungen der Academie angeführt habe. Ich bin indefs gewifs, dafs diese Abhandlung ganz vollständig ausgearbeitet vorhanden gewesen ist; denn die Zahlen, welche ich veröffentliche, sind von zwei Blättern genommen, die Fresnel selbst geschrieben hat, und die ich noch verwahre. Das erste führt den Titel: »Notiz aus einer Abhandlung über die Farben, welche die Polarisation in homogenen Flüssigkeiten entwickelt,« und hernach heifst es: »Drehung der sieben Hauptstrahlen, abgeleitet aus der Compensation mittelst Gyps;« darauf folgen die Zahlen, welche ich bekannt machte. Das zweite Blatt war bestimmt, mir einen richtigen Begriff von der Idee zu geben, welche Fresnel von dem Daseyn dieser Phänomene in den freien Moleculargruppen einer Flüssigkeit gefafst hatte; und ich habe sie in der That nach diesem Document in meiner Abhandlung auseinandergesetzt. Da es jedoch natürlich von Interesse seyn mufs, zu sehen, wie er selbst sich ausdrückte, so habe ich dieses zweite Blatt von Fresnel hier in genauer Copie beige-

deckte, daß andere Körper, starre und nicht krystallisirte, flüssige und selbst gasige, ähnliche Ablenkungen bewirkten, schien mir auch bei ihnen, so weit sich aus unmittelbaren Versuchen schliessen liefs, die nämliche Re-

fügt, man wird es ohne Zweifel um so mehr schätzen, als es aus der Abhandlung selbst scheint genommen zu seyn, die heutiges Tages verloren ist.

Text von Fresnel. »Offenbar muß man in der individuellen Constitution dieser Theilchen die Ursache der Farbenerscheinungen suchen, zu denen sie Anlaß geben, weil sie unabhängig sind von ihrer Anordnung, und zugleich so von ihrer Form abhängen, daß sich das Licht, je nach der Natur des Fluidums, von der Rechten zur Linken oder von der Linken zur Rechten dreht, zufolge Hrn. Biot's Ausdruck, welcher die einfachste Beschreibung der Erscheinung ist.«

»Ich nehme an, diese Theilchen seyen so constituirt, daß sie den Durchgehenden Lichtwellen dieselben Abänderungen einprägen wie der besprochene Apparat, d. h. daß das Licht im Innern jedes Theilchens eine Doppelbrechung erleide, und daß es überdies bei seinem Ein- und Austritt so modificirt werde, wie es durch eine vollständige Doppelbrechung geschieht.«

»Im Verlauf der Abhandlung, welche ich die Ehre habe der Academie zu überreichen, zeige ich zunächst, daß die Strahlen, welche eine gewisse Brechung in einem so constituirten Theilchen erlitten haben, dieselbe Brechung in allen ähnlichen Theilchen, welche sie durchdringen, erleiden müssen, in welchen Azimuthen auch ihre Hauptschnitte liegen. Sonach kann die von mir angenommene Hypothese erklären (was auf dem ersten Blick schwer begreiflich schien), wie die Doppelbrechung so unregelmäßig liegender Theilchen nicht mehr als zwei Lichtwellensysteme in der Flüssigkeit hervorruft. Eben so giebt sie Rechenschaft von den andern Erscheinungen, welche ich beschreiben werde, und endlich führt sie zu einer ungemein einfachen Formel, aus welcher sich das von Hrn. Biot beobachtete Gesetz ergibt, nämlich, daß der Winkel, um welchen man das Kalkspathprisma drehen muß, um eine und dieselbe Strahlenart aus dem außerordentlichen Bilde verschwinden zu machen, proportional ist der Länge des in der Flüssigkeit zurückgelegten Weges.«

»Ich stelle desungeachtet diese Hypothese nur als einen theoretischen Gesichtspunkt auf, unter welchem man die Für-

Poggendorff's Annal. Bd. XXXVIII. 13

lation gültig zu seyn. Denn die Farben der in verschiedenen Azimuthen beobachteten Bilder schienen mir identisch mit denen beim Bergkrystall; in dem Grade, daß entgegengesetzte Wirkungen dieser Art sich zu compensi-

lung der homogenen Flüssigkeiten auffassen kann, um sie mit denen der krystallisirten Körper auf gleiche Grundsätze zurückzuführen.“

[In der Abhandlung über die Doppelbrechung des Bergkrystalls parallel seiner Krystallaxe hat Fresnel bekanntlich die Drehungen der Polarisationsebenen und die daraus erfolgenden Färbungen auf eine eben so einfache als sinnreiche Art durch die Annahme erklärt, daß der polarisirte Strahl beim Eintritt in den Bergkrystall (parallel der Axe) oder gewisse Flüssigkeiten in zwei circular-polarisirte Strahlen zerfalle, welche sich in der Substanz in gleicher Richtung, aber mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen und beim Austritt sich wieder zu einem einzigen Strahl vereinigen. Der Betrag der Drehung hängt ab von dem Geschwindigkeitsverhältniß der beiden Componenten und von der Länge des von ihnen in der Substanz zurückgelegten Weges, also von der Dicke der Substanz. (Man sehe *Annal.* Bd. XXI S. 276 und Bd. XXVIII S. 165.) Wovon wiederum das Geschwindigkeitsverhältniß der beiden Componenten abhängt, hat Fresnel (wenigstens in dem, was von ihm darüber veröffentlicht ist) nur ganz unbestimmt angedeutet, wohl deshalb, weil hievon als von einer mit der speciellen Natur einer jeden Substanz zusammenhängenden Erscheinung vorerst keine detaillirte Erklärung gegeben werden kann. Von diesem Umstande abgesehen, der aber kaum ein Mangel genannt werden kann, da man es sonst auch als einen Mangel der Lichttheorie ansehen müßte, daß sie nicht für jeden einfachen Strahl und für jede Substanz das Brechungsverhältniß a priori bestimmen kann, — von diesem Umstande abgesehen, giebt Fresnel's scharfsinnige Hypothese, so viel man bis jetzt weiß, eine vollkommen genügende Erklärung der Farbenscheinungen in Flüssigkeiten; und es bleibt zur letzten Bestätigung ihrer Richtigkeit nur noch übrig, daß man bei den Flüssigkeiten das Daseyn der beiden circular polarisirten Componenten nachweise, in ähnlicher Weise wie es von Fresnel für den Bergkrystall geschehen ist.

Diese Bemerkung ist vielleicht nicht ganz überflüssig, weil Hr. Biot, aus alter Anhänglichkeit zu der Emissionstheorie oder vielmehr zu seiner eignen Theorie von der beweglichen Polari-

ren schienen, wenn man sie successiv auf alle Elemente eines weissen polarisirten Strahls einwirken liefs, entweder dadurch dafs man Platten von entgegengesetzten Drehkräften und von umgekehrten Dicken wie diese Drehkräfte hinter einander aufstellte, oder indem man Flüssigkeiten von entgegengesetzten Drehkräften in umgekehrten Gewichtsverhältnissen ihrer isolirten Drehkräfte mit einander mischte. Fresnel hatte diese Relation mit seinen Ideen über das polarisirte Licht verknüpft; es war ihm gelungen sie durch innere Reflexion an klaren nicht krystallisirten Flächen nach gewissen Bedingungen der Succession nachzuahmen; und er hatte selbst eine gewisse Constitution der Moleculargruppen erdacht, welche sie bei flüssigen Körpern erzeugen mufs, so dafs die Ablenkungswerthe, welche er daraus, z. B. beim Terpenthinöl, für die verschiedenen einfachen Strahlen ableitete, sehr nahe mit den von mir durch Versuche gefundenen übereinstimmten. Bis dahin konnte und mufste man sogar diefs Drehungsgesetz als der Natur des Lichtes inhärirend betrachten, wodurch es denn allen mit dieser Wirkungsweise begabten Körpern gemein wurde.

Ich habe immer einige Zweifel an der völligen Strenge dieser Identität gehegt. Die Verschiedenheit der Ablenkungen einfacher Strahlen (ihrer Polarisations Ebenen P .) in jeder mit diesem Vermögen begabten Substanz schien

sation, die Ansicht von Fresnel mit Stillschweigen übergeht, und es darnach auf dem ersten Blick den Anschein haben könnte, als widersprüchen die von ihm neu beobachteten Thatsachen dieser genialen Ansicht, was sie jedoch in der That nicht vermögen. So z. B. ist der jetzt, seiner allgemeinen Gültigkeit nach, umgestofsene Satz, dafs bei gleicher Dicke einer Substanz die Drehungen der Polarisations Ebenen für die verschiedenen Strahlen sich umgekehrt wie die entsprechenden Wellenlängen verhalten, von Fresnel nur als eine Erfahrung von Biot aufgestellt, nicht aber als eine Folgerung aus seiner Theorie, nach welcher auch derselbe von jeher weder nothwendig noch wahrscheinlich gewesen ist. P .]

mir die größte Analogie mit der Verschiedenheit ihrer Brechungen zu besitzen, die, obwohl in allen bisher bekannten unkrystallisirten Substanzen im gleichen Sinn erfolgend, doch verschiedenen Dispersionsgesetzen unterliegen. Allein die aufmerksamste Beobachtung der Farben, die polarisirtes Licht in verschiedenen farblosen, mit dieser Drehkraft begabten Substanzen erzeugt, erlaubte mir nicht, darin so merkwürdige Unähnlichkeiten zu entdecken, daß ich hätte behaupten können, sie wären vorhanden.

Endlich gewahrte ich an den Lösungen der Weinsäure ganz andere Drehungsverhältnisse als an allen übrigen Substanzen: diese sonderbare Eigenthümlichkeit, welche darthut, ob der Körper, dem sie angehört, frei oder gebunden zugegen ist, bestärkte mich in meinem lang gehegten Zweifel.

Als ich kürzlich in meinen physikalischen Vorlesungen am Collége de France diese Drehungserscheinungen abzuhandeln hatte, nahm ich die Gelegenheit wahr, diese Aufgabe mit meinen jetzigen vollkommeneren Beobachtungsmitteln von Neuem zu untersuchen. Und in der That gelang es mir zu erweisen, daß das Drehungsgesetz der einzelnen einfachen Strahlen nicht ganz gleich ist in verschiedenen Substanzen; denn mittelst eines sehr einfachen Verfahrens, welches ich sogleich beschreiben will, entdeckte ich darin wahrnehmbare Unterschiede, selbst bei Substanzen, deren Gewichts-Zusammensetzung die größte Analogie, wenn nicht eine vollständige Identität besaß.

Das Verfahren ist demjenigen ähnlich, welches man anwendet, um die Verschiedenheit der gewöhnlichen Dispensionskräfte der Körper zu ermitteln. Hiebei beobachtet man zunächst die Brechkraft derselben für einen gewissen bestimmten Strahl des Spectrums; hierauf bildet man aus ihnen Prismen, deren brechende Winkel sich umgekehrt wie diese Kräfte verhalten, so daß wenn man sie folgeweis, aber in umgekehrter Stellung,

auf den gewählten Strahl einwirken läßt, die Ablenkungen desselben sich wechselseitig aufheben. Wenn man dann durch ein System von zwei solcher Prismen einen auf schwarzen Grund gelegten weissen Körper betrachtet, sieht man sogleich, daß die Compensation nicht auch für die übrigen Strahlen des Spectrums stattfindet, denn das gebrochene Bild des weissen Gegenstandes scheint farbig; und die Ordnung der Farben, die es darbietet, ist in der Regel sehr verschieden von der, welche durch eine einzige Brechung erzeugt ward.

Eben so braucht man bei den Drehungserscheinungen nur die absolute Ablenkung zu messen, die einem und demselben bestimmten Strahle durch zwei farblose Flüssigkeiten von entgegengesetzten Drehkräften eingeprägt wird. Wenn das Drehungsgesetz identisch ist für alle einfache Strahlen, so werden alle Elemente des durchgelassenen Strahls gleichzeitig auf ihre ursprüngliche Polarisationssebene zurückgeführt, wenigstens im Fall die Compensation genau ist, und wenn sie es nicht, wie man bei physikalischen Proben immer annehmen muß, so wird der durchgelassene Strahl immer genau dieselben Farben darbieten, welche er bei dem Dickenüberschuß derjenigen der beiden Substanzen, die vorwaltet, darbieten würde.

Auf diese Weise verfuhr ich mit rectificirtem Terpenthin- und Citronenöl, welche bei den Dicken, die ich anwandte, vollkommen farblos waren. Dann beobachtete ich sie erstlich einzeln in Röhren von bekannter Länge, an einem Tage, welcher nicht hell genug war, um rothes Glas anwenden zu können; ich leitete daraus als näherungsweise Gesetz ab, daß man, um die Wirkung auf den rothen Strahl zu compensiren, das Terpenthinöl von der Dicke 58 und das Citronenöl von der Dicke 30 nehmen müsse. Diefß ermittelte ich, sowohl indem ich den Strahl successiv durch Schichten beider Oele von 58 und 30 Dicke gehen liefs, als auch durch ein Gemisch von beiden Oelen in dem angegebenen Ver-

bältnifs in einem einzigen Rohr; denn da diese Wirkung molecular ist, so ist es, so lange die Atomen-Gruppen keine chemische, ihre Constitution störende Reaction, auf einander ausüben, einerlei für das Licht, ob sie zusammengemischt oder einzeln in verschiedenen Röhren enthalten sind. Diese beiden Verfährungsarten ergaben in der That eine sehr genäherté Compensation, doch keine vollständige, auch keine für alle Strahlen gültige. Sichtbar waltete das Citronenöl vor; allein der kleine Ueberschuß seiner Wirkung erzeugte bei verschiedenen Azimuthen des Krystallprismas schwache Farbenveränderungen, welche durch ihre relative Reihe und Intensitäten keine Beziehung hatten mit denen, die irgend eine kleine Dicke dieses Oels erzeugt haben würde. Um die Schwäche dieser Art von Dispersion deutlich zu erweisen, bildete ich ein anderes Gemeng, worin das Terpenthinöl vorwaltete, nämlich 71 Volumtheile statt 58 desselben auf 30 Citronenöl. Alsdann wurde der Ueberschuß der Wirkung auf Seite des Terpenthinöls so stark, daß die Verschiedenheit der Drehungsgesetze für das Auge merkbar wurden, so daß, wenigstens für die sorgfältigste Untersuchung, die resultirenden Farben natürlich so erschienen seyn würden, wie sie eine kleine Dicke Terpenthinöl durch ihre alleinige Wirkung erzeugt haben müßte.

Als am andern Morgen der Himmel sich aufgeklärt hatte, konnte ich die beiden Oele durch ein mit Kupferoxydul roth gefärbtes Glas betrachten. Ich bestimmte demnach genau das Verhältniß ihrer Compensation, und fand es wie 30 : 60,27 für den vom Probegläse durchgelassenen rothen Strahl, welcher Werth wenig verschieden ist von dem, den mein erster Versuch gegeben hatte, gegründet auf die Aufnahme einer sehr nahen Identität der Drehungsgesetze in beiden Oelen. Als ich dieß neue Verhältniß in Gegenwart mehrer geschickter Beobachter, die mich in meinen Vorlesungen unterstützen, prüfte, fanden wir in der That, daß die Compensation der Drehun-

gen, obwohl angenähert für alle Strahlen, doch weder vollständig noch allgemein war. Denn erstlich, wenn der Hauptschnitt des Krystallprismas mit der ursprünglichen Polarisationssebene zusammenfiel, erzeugte sich ein außerordentliches Bild von violettblauer, dunkler, von Roth ziemlich freier Farbe, und wenn man das Prisma aus dieser Stellung ein wenig nach der Rechten oder Linken drehte, veränderte sich die Farbe in Bezug auf die Brechbarkeit in entgegengesetzter Weise, Erscheinungen, wesentlich verschieden von denen, die eins der Oele für sich erzeugt haben würde. Diese Farbenveränderungen waren nur bei kleinen Drehungen des Prismas sichtbar, wie wenn sie einem System nach sehr wenig verschiedenen Richtungen polarisirter Strahlen angehörten. Wenn man etwas mehr drehte, besonders nach der Linken, verschwand die Färbung der Bilder gänzlich.

Ich gebe hier die Elemente der Beobachtungen, die ich vorläufig mit rothem Glase angestellt habe, um zu zeigen, wie ich daraus das Compensationsverhältniß der Volume herleitete; vorausgesetzt jedoch, daß die beiden gemengten Flüssigkeiten wenigstens während der kurzen Zeit, daß man ihr totales Volum in Einer getheilten Röhre maßt, keine merkliche Condensation oder Dilatation auf einander ausübten. Wenn dieß geschähe, müßte man wägen. Ich habe der Tafel das Azimuth der violett-blauen Farbe hinzugefügt, welches der Drehung des gelben Strahls im Bergkrystall, im Rohrzucker, und allgemein in alten Substanzen, welche sich genau nach dem umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Accession richten, entspricht. Bei diesen Substanzen verhält sich das besagte Azimuth zur Drehung des durch Kupferoxydul roth gefärbten Strahls wie 30 zu 23; dieß erlaubt dann, statt der Beobachtung des einfachen Roth, die weit leichtere jenes violetten Blau anzuwenden, und dieß Violett ist um so leichter und genauer zu bestimmen, als es unmittelbar zwischen einem blauen und einem rothen Bilde

liegt, welche in dem Zwischenraum von einigen Graden auf einander folgen. Nun ist hiebei das Verhältniß der entsprechenden Azimuthe nicht mehr $\frac{3}{2}$ in den beiden Oelen; allein es weicht von diesem Werthe bei dem einen in Plus, bei dem andern in Minus ab, was unstreitig ein günstiger Umstand ist, um die Ungleichheit der Dispersionen, welche sie durch ihre drehenden Wirkungen auf das polarisirte Licht hervorbringen, deutlicher zu machen.

Oelc.	Röhrenlänge.	Beob. Drehung der Polarisations-Ebene des rothen Strahls: α .	Beob. Azimuth. worin d. außerordentl. Bild violettblau ist: α .	Verhältniß $\frac{\alpha}{\alpha}$ in Dreifsigstel.
	mm.			
Terpenthin	341,6	$-90^{\circ},567 \curvearrowright$	$-119^{\circ} \curvearrowright$	$\frac{22,83}{30}$
Citronen	168,5	$+89^{\circ},750 \curvearrowleft$	$+115^{\circ} \curvearrowleft$	$\frac{23,41}{30}$

Um aus diesen Zahlen für den durchgelassenen Strahl des rothen Glases das Compensationsverhältniß zu finden, muß man zunächst die Drehungen berechnen, die dieser Strahl durch eine ein Millimeter dicke Schicht von beiden Oelen erleidet; diese sind für das Terpenthinöl $\frac{90^{\circ},567}{341,6}$, und für das Citronenöl $\frac{89^{\circ},750}{168,5}$. Da diese letztere Zahl größer ist als die erste, so wollen wir die anzuwendende Dicke des Citronenöls durch Eins bezeichnen, und die Dicke des Terpenthinöls, welche die so bei dem Normalstrahl bewirkte Drehung compensirt, durch x . Die Bedingung zu dieser Compensation wird dann seyn:

$$x \cdot \frac{90,567}{341,6} = \frac{89,750}{168,5}$$

woraus sich für das Dickenverhältniß ergibt:

$$x = \frac{341,6}{168,5} \cdot \frac{89,750}{90,567} = 2,009 = \frac{60,27}{30}$$

genau, wie ich's oben angab.

Vielleicht ist's nur zufällig, aber dennoch bemerkenswerth, dafs das Compensationsverhältnifs gerade das umgekehrte von dem der Atomenverdichtung in beiden Oelen ist. Bekanntlich bestehen beide aus Kohlenstoff und Wasserstoff genau in demselben Verhältnifs, aber diese Elemente sind im Terpenthinöl doppelt verdichtet, denn nach Hrn. Dumas's Analyse hat dießes Oel die chemische Formel $C_{20}H_{32}$, das Citronenöl dagegen die: $C_{10}H_{16}$. Bei einer noch vollständigeren Reinigung des Oels oder selbst noch sorgfältigerer optischen Beobachtung verschwindet vielleicht der kleine Bruch 0,009 in der Compensation.

Die Verschiedenheit der Drehungsgesetze für die einzelnen einfachen Strahlen in verschiedenen Substanzen ist also durch die obigen Versuche wohl festgestellt. Obwohl sie bei den beiden untersuchten Oelen nur klein ist, so ist doch das Vorhandenseyn derselben wichtig für die Theorie des Lichts. Denn alsdann kann man die Drehungsverhältnisse der einfachen Strahlen unter sich nicht mehr aus einer speciellen Eigenschaft des Lichtstoffs (*principe lumineux*) erfolgen lassen, wie man es bisher glauben durfte (? *P.*), sondern man muß noch eine verschiedenartige Abänderung der Drehung durch die eigne Wirkung der Moleculargruppen zu Hülfe nehmen. Es giebt hier also eine specielle Bedingung, die von den das Licht fortpflanzenden Mitteln abhängt und der Dispersion bei der gewöhnlichen Brechung analog ist. Eine Eigenthümlichkeit gleicher Art ist in der Wirkung dünner Krystallblättchen auf das polarisirte Licht vorhanden. Denn gleich bei der ersten Untersuchung dieser Erscheinungen fand man bei mehreren Substanzen periodische Abwechslungen, die den Längen der Newton'schen Accessen für die einfachen Strahlen beinahe proportional waren; und die Wellenlehre, welche diese Wechsel auf eine eben so innige als sinureiche Weise auf das Interferenzprincip bezog, hat sie allgemein als proportional

den entsprechenden Wellenlängen angenommen. Allein seit der Zeit hat man Krystalle entdeckt, welche sich von dieser Gleichförmigkeit der Relation ganz entfernen, so daß auch in diesem Falle die specielle Natur des Mittels hinzukommen muß, um die Wirkungen auf die verschiedenen Lichtstrahlen zu particularisiren. Es ist nützlich diese delicates Specialitäten zu signalisiren, wenn die Erfahrung sie wahrnehmen und mit Genauigkeit festsetzen läßt. Denn es sind eben so viele charakteristische Bedingungen, welche die vorausgesetzte Constitution des Lichtstoffs (*principe lumineux*) erfüllen muß, um eine physische Wahrheit zu werden; und so ist die Kenntniß derselben uns nothwendig, um unsere Begriffe über diesen schwierigen Gegenstand zum Range von Realitäten zu erheben.

XV. *Ueber die Polarisation der Wärmestrahlen durch progressive Drehung; von den HH. Biot und Melloni.*

(*Compte rendu etc. No. 8 p. 194.*)

Nachdem Hr. Melloni bestätigt, daß alle Wärmestrahlen irdischer Abkunft durch doppelte wie einfache Brechung gleich gut und vollständig polarisirbar sind, und Hr. Forbes neuerlich gefunden, daß ihre Polarisation, wie die des Lichts, durch eine zweimalige totale Reflexion verändert wird ¹⁾, glaubten wir, daß diese Wärmestrahlen auch für die Einwirkung derjenigen Substanzen empfindlich seyen, welche die Polarisationsebenen der verschiedenen Lichtstrahlen nach der Rechten oder nach der Linken des Beobachters drehen; und in der That ist dies auch der Fall.

1) S. *Annal. Bd. XXXVII S. 501.*