

Über die
Polarisation des Lichtes.

Von

A. v. Obermayer.

Vortrag, gehalten den 28. Februar 1894.

(Mit Projectionen.)

Mit 11 Abbildungen im Texte.

Die schöne Lichtquelle, welche uns der Projectionsapparat bietet, ladet dazu ein, einige Eigenschaften des Lichtes hier aufzuzeigen. Ich habe dazu eine Reihe von Versuchen erwählt, welche durch die prachtvollen Farbenerscheinungen zu den schönsten Vorlesungsversuchen gezählt werden und zu gleicher Zeit mit den folgenreichsten Entdeckungen der Optik in in-nigem Zusammenhange stehen. Allerdings knüpfen sich an die Erklärung dieser Versuche einige theoretische Auseinandersetzungen, die sich fast der populären Behandlung entziehen. Wenn ich es doch unternehme, Ihnen diese Versuche vorzuführen, so hat mich dazu die Überlegung veranlasst, dass die Kenntnis der bezüglichen Erscheinungen an sich schon einen gewissen Nutzen und eine gewisse Einsicht in das Wesen der Optik gewährt.

Der Apparat, dessen ich mich zu diesen Versuchen bediene, ist der Duboscq'sche Polarisationsapparat zur objectiven Darstellung, welcher durch Einfügen einer Reihe verschiedener Bestandtheile die Vorführung der meisten Versuche über Polarisation des Lichtes gestattet.

Ich will nur kurz in Erinnerung bringen, dass das Licht eine Wellenbewegung ist, und dass als Träger derselben eine hypothetische Substanz, der Lichtäther angenommen wird. Die Wellennatur des Lichtes folgt aus der allen Wellenbewegungen gemeinschaftlichen Eigenschaft, unter gewissen Bedingungen durch eine zweite gleichartige Wellenbewegung ausgelöscht zu werden (Interferenz).

Die verschiedenen Farben des Lichtes sind durch die verschiedenen Längen der Wellen unterschieden. Diese pflanzen sich in der Luft mit nahe der gleichen Geschwindigkeit von 300.000 *km* in der Secunde fort. Die Länge der Wellen liegen im äußersten Roth bei 0·65 Mikron¹⁾ = 0·00065 *mm*, im äußerst sichtbaren Violette bei 0·41 μ , an der Grenze des Ultravioletten bei 0·31 μ .

Jenseits des Roth offenbaren sich die Ätherschwingungen als strahlende Wärme, und diese erstreckt sich bis zu Wellenlängen von 28 μ = 0·028 *mm*.²⁾ Es sind das die Wellenlängen, welche das schmelzende Eis aussendet. Das Maximum der Wärmewirkung des Mondes liegt zwischen Wellenlängen von 10 bis 20 μ .

In einer Secunde laufen also zwischen der Grenze des Ultravioletts und jener der äußersten bekannten

¹⁾ 1 Mikron gleich 1 μ , gleich 10^{-3} *mm*.

²⁾ S. P. Langley, Das unsichtbare Sonnen- und Mond-spectrum. Phil. Mag. 26, p. 505—520, 1888. Beiblätter XIII, S. 310, 1889.

Wärmestrahlen 1000 Billionen bis 10 Billionen Wellen aus.

Größere Wellen als 2·8 Mikron sind zuerst von dem leider im Alter von 37 Jahren vor kurzem zu Bonn verstorbenen Physiker Hertz nachgewiesen worden. Es sind die Schwingungen der Elektrizität, sie liegen zwischen den 1000 Millionen und den 10.000 in der Secunde und es kommen denselben Wellenlängen von 30 *cm* bis zu 30 *km* zu.

Alle diese Schwingungen erfolgen senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung des Strahles, geadeso wie die Schwingungen, welche ich jetzt an dem etwa 10 *m* langen, am anderen Ende festgehaltenen Kautschukschlauch dadurch hinauslaufen lasse, dass ich mit der Hand das eine Ende rasch bewege. Eine solche Wellengruppe wird an den Enden des Schlauches reflectiert und läuft darauf hin und her, die Theilchen schwingen in einer durch den Schlauch gelegten Ebene, senkrecht zur Länge desselben nach geraden Linien.

Derartige Wellen heißen Transversalwellen, zum Unterschiede von den Longitudinalwellen, mit welchen sich z. B. der Schall in der Luft fortpflanzt, die aus Verschiebungen in der Fortpflanzungsrichtung bestehen, und die sich in der Luft als periodische Verdichtungen und Verdünnungen äußern.

Ein Lichtstrahl, in welchem die Theilchen alle in einer durch den Strahl gelegten Ebene nach geraden Linien schwingen, wird „geradlinig polarisiert“ genannt.

Der Kautschukschlauch kann aber noch in einer anderen Weise zum Schwingen gebracht werden. Sie sehen jetzt eine Welle auf demselben fortschreiten, welche eine Schraubenlinie darstellt. Dabei beschreiben die einzelnen Theilchen kreisförmige Bahnen, deren Ebenen senkrecht auf dem Strahle stehen und welche, von mir aus gesehen, im Sinne des Uhrzeigers durchlaufen werden. Auch dieser Wellenzug wird an den festgehaltenen Enden reflectiert und läuft auf dem Schlauche allmählich ersterbend hin und her.

Ein Lichtstrahl, in welchem die Äthertheilchen in dieser Weise schwingen, heißt circular polarisirt, und zwar rechts oder links circular polarisirt, je nach dem Sinne, in welchem die Bahnen vom Beobachter aus gesehen durchlaufen werden. Schwingen die Theilchen in Ellipsen, dann ist das rechts oder links elliptisch polarisiertes Licht.

Hiernach könnte man vermuthen, dass alles Licht polarisirt sei. Dies ist aber durchaus nicht der Fall. Das Sonnenlicht, das Licht künstlicher Lichtquellen zeigen nicht die später zu erörternden Eigenschaften des polarisierten Lichtes. Man nennt solches Licht natürliches Licht.

In demselben schwingen die Theilchen nacheinander in verschiedenen Ebenen, eine große Zahl von Wellen, viele Tausende in einer Ebene, dann plötzlich wieder in einer anderen Ebene, so dass alle möglichen Schwingungsrichtungen rund um den Strahl als Achse vorkommen.

Einen Lichtstrahl geradlinig polarisiren heißt daher alle diese Schwingungen so ordnen, dass sie in derselben Ebene erfolgen.

Die Eigenschaften des polarisirten Lichtes, und zwar speciell jene des geradlinig polarisirten Lichtes, haben zur Annahme transversaler Schwingungen der Äthertheilchen im Lichtstrahle genöthigt.

So wie das Licht, so kann auch die strahlende Wärme polarisirt werden, wie zuerst von De la Provostage und Dessain nachgewiesen wurde.

Auch die Hertz'schen Schwingungen sind polarisirt.

Die ersten Beobachtungen, in denen das polarisirte Licht eine Rolle spielt, datieren aus der Zeit der Entdeckung der Doppelbrechung des Kalkspates durch Erasmus Bartholinus, Professor der Geometrie in Kopenhagen, im Jahre 1669. Durch dänische Kaufleute, welche nach Island handelten, geriethen klare und schöne Stücke des Kalkspates, in dieser Reinheit bis dahin unbekannt, in die Hände jenes Gelehrten. Der Kalkspat ist kohlen-saurer Kalk und krystallisirt in stumpfen Rhomboëdern. Diese Rhomboëder zeigen

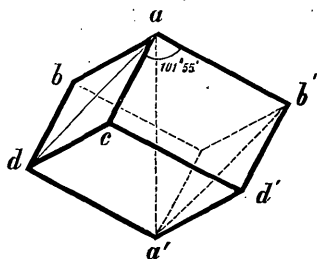


Fig. 1.

eine sehr vollkommene Spaltbarkeit und lassen sich leicht in kleinere Rhomboëder theilen. In der Nähe von Wien, in den Steinbrüchen von Deutsch-Altenburg, dürfte sich noch heute krystallisierter Kalkspat finden, der aber bezüglich der Reinheit gegen den isländischen weit zurücksteht und die eigenthümliche Erscheinung zeigt, dass die Krystallflächen eine kleine Krümmung

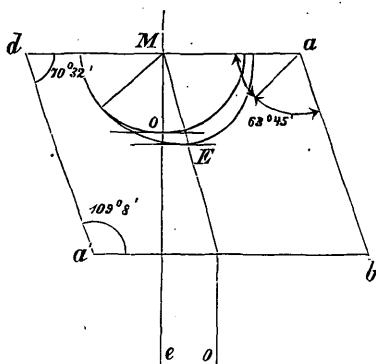


Fig. 2.

aufweisen. Die Spaltbarkeit tritt bei diesen Krystallen in großer Vollkommenheit auf.

Die stumpfen Ecken des Rhomboëders Fig. 1 sind von drei Flächen gebildet, deren Winkel $101^{\circ} 55'$ sind, und welche die Winkel von $45^{\circ} 23' 20''$ mit

der Symmetrieachse einschließen. Diese Symmetrielinie des regelmäßigen Rhomboëders heißt die krystallographische Achse, wohl auch die optische Achse des Krystalles. Aber auch jede zu derselben parallele Linie wird krystallographische oder optische Achse genannt; diese ist also eine bestimmte Richtung im Krystalle.

Hauptschnitt heißt jede Ebene, welche durch

die optische Achse hindurchgeht oder zu ihr parallel ist. Alle Hauptschnitte verhalten sich optisch gleich.

Wird das Rhomboëder auf die Fläche $a' d' b'$ gelegt, dann ist $a b' a' d$ der hierauf senkrechte Hauptschnitt. Dieser Hauptschnitt Fig. 2 ist ein Rhombus mit den Winkeln $109^{\circ} 8' 10''$ und $70^{\circ} 51' 50''$. Die optische Achse ist hierin $a a'$.

Wir könnten den Kalkspat auch nach einer Ebene parallel zu $a b c d$ spalten. Die beiden aneinander-

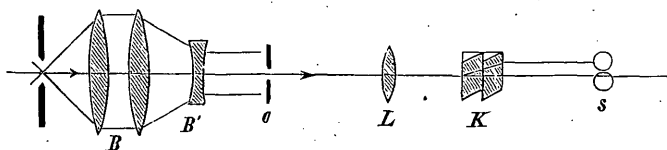


Fig. 3.

$B B'$ die Linsen des Projectionsapparates, o die Öffnung des Diaphragmas, L eine Linse, K die Kalkspate, s der Schirm.

gefügt Stücke werden sich dann wie ein Krystall verhalten, wenn die Hauptschnitte zusammenfallen.

Ich gebe jetzt dem Duboscq'schen Apparate die Anordnung Fig. 3. Der auf den Kalkspat fallende Strahl theilt sich in zwei Theile: der eine geht unabgelenkt durch, der andere wird im Hauptschnitte des Kalkspats abgelenkt. Der erste ist durch die Kalkspatplatte einfach hindurchgetreten, wie er es auch durch eine Glasplatte thun würde, er heißt der ordentliche Strahl; er folgt dem gewöhnlichen Brechungsgesetz. Der abgelenkte Strahl folgt diesem

Gesetze nicht, er heißt der außerordentliche Strahl.

Wenn ich die ganze Röhre, welche die Kalkspatplatte enthält, in ihrer Hülse um die Achse drehe, verdrehe ich den Hauptschnitt des Krystalles sammt der optischen Achse. Sie sehen dann den ordentlich gebrochenen Strahl feststehen und den außerordentlichen Strahl um denselben herumwandern.

Das ist die von Bartholinus beobachtete Erscheinung der Doppelbrechung.

Dieselbe wurde von dem berühmten holländischen Physiker Huygens einer weiteren Untersuchung unterzogen und dadurch erklärt, dass der ordentliche Strahl sich in Kugelwellen, der außerordentliche in Wellen fortpflanzt, welche die Gestalt eines abgeplatteten Ellipsoids haben, dessen kleine Achse gleich dem Kugelhalbmesser ist, und welches die gleichzeitig fortschreitenden Kugelwellen in der optischen Achse tangiert. Huygens hat, auf diese Erklärung gestützt, eine vollkommen richtige Construction zur Verzeichnung der Strahlen angegeben, welche unter dem Namen der Huygens'schen Construction noch heute angewendet wird.

Huygens hat aber auch den Versuch mit der Doppelbrechung des Kalkspates modificiert, und zwar in der Weise, dass er zwei gleiche Kalkspatplatten hintereinander schaltete und die eine Platte gegen die andere verdrehte.

Da ich bereits zwei Kalkspatplatten, wie solche sich von einem Krystall abspalten, eingeschaltet habe,

so brauche ich nur die vordere Platte zu drehen. Jeder Strahl zerlegt sich in zwei im allgemeinen ungleich helle Strahlen, deren Helligkeitsverhältnis von der gegenseitigen Lage der Krystalle abhängt, indessen gibt es zwei Stellungen, in denen eine nochmalige Doppelbrechung überhaupt nicht eintritt. Huygens schloss aus diesem Versuche, dass jeder der beiden durch den Doppelspat erhaltenen Strahlen wesentlich andere Eigenschaften besitzen müsse als das directe Sonnenlicht oder das Licht einer künstlichen Lichtquelle, welche bei der Brechung im Doppelspate stets in gleich intensive Strahlen zerfallen.

Huygens ist zwar der Begründer der sogenannten Undulationstheorie, d. h. der Wellentheorie des Lichtes, er selbst wusste aber nicht, dass die Lichtschwingungen Transversalschwingungen sind; er sah dieselben nach der Analogie mit dem Schalle für Longitudinalschwingungen an. Die Erkenntnis der Transversalschwingungen datiert aus späterer Zeit, sie rührt von Fresnel her.

Die seitherigen Untersuchungen haben ergeben, dass die Schwingungen des ordentlichen Strahles senkrecht zum Hauptschnitte des Krystalles, jene des außerordentlichen Strahles im Hauptschnitte gelegen sind.

Der Versuch mit den gekreuzten Kalkspaten von Huygens ist durch 130 Jahre ein optisches Curiosum gewesen und hat seine Erklärung erst gefunden, als der französische Ingenieur-Oberstlieutenant Malus, der als Examinator an der École polytechnique ange-

stellt war, die Polarisation des Lichtes auf einem wesentlich verschiedenen Wege entdeckte und den Zusammenhang mit der vorliegenden Erscheinung nachwies.

Infolge eines Preises, den die französische Akademie für eine Arbeit über den Doppelspat ausgeschrieben hatte, beschäftigte sich Malus mit den optischen Eigenschaften dieses Krystalles. Nach einer Erzählung Biots betrachtete er von den Fenstern seiner Wohnung in der Rue d'Enfer das von den Fenstern des Palais Luxembourg gespiegelte Sonnenlicht durch einen Doppelspat. Er nahm zu seinem Befremden wahr, dass während der Drehung des Krystalles sich das Sonnenbild abwechselnd aufhelle und verdunkle und bei einer gewissen Stellung verschwinde. Als er am nächsten Tage das Experiment zu einer andern Stunde wiederholen wollte gelang es nicht mehr, zufolge des geänderten Einfallswinkels. Malus wies nun nach, dass bei der Reflexion von einer Glas- oder Wasserfläche unter einem gewissen Winkel, dem Polarisationswinkel, die Lichtstrahlen jene Eigenschaften erhalten, welche beim Durchgange durch den Doppelspat beobachtet wurden.

Die Größe des Polarisationswinkels wurde von Malus für verschiedene Substanzen verschieden gefunden. Der Polarisationswinkel ist dabei vom Einfallslothe gezählt.

	p	90°—p
Flintglas	59° 50'	30° 2'
Crown glas	56° 19'	33° 41'
Eis	52° 39'	37° 21'
Wasser	53° 11'	36° 49'

Der Polarisationswinkel ist aber nicht nur von der reflectierenden Substanz, sondern auch von der Farbe des Lichtes abhängig, und nimmt von Roth gegen Violett, bei Glas um etwa $21'$ zu.

Malus konnte eine Beziehung zwischen dem Polarisationswinkel und der Natur der reflectierenden Substanz nicht feststellen. Dies gelang erst dem englischen Physiker Sir David Brewster in Edinburgh, 1815. Dieser wies nach, dass die Tangente des Polarisationswinkels p (Fig.4) gleich dem Brechungs-exponenten des Mittels sei, woraus der Satz folgt, dass der gebrochene Strahl OS'' auf dem reflectierten OS' senkrecht steht.

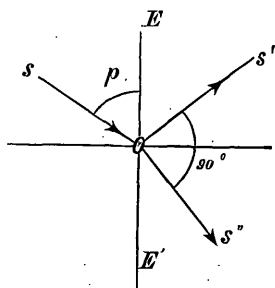


Fig. 4.

Das Licht durch Reflexion an einem Glasspiegel zu polarisieren, der gegen den Lichtstrahl um 33° geneigt ist, gelingt sehr leicht, ist aber bei der hier anwendbaren Versuchsanordnung nur schwer aufzuzeigen. Malus fand auch noch weiter, dass das polarisierte Licht von einem unter den Polarisationswinkel gestellten Spiegel in verschiedener Intensität reflectiert wird, je nach der gegenseitigen Stellung der Spiegel, dass also das Licht nicht nur durch Reflexion polarisiert werden kann, sondern dass ein solcher Spiegel auch zum Nachweise der Polarisation dienen kann.

Dieser letztere Versuch lässt sich hier ziemlich einfach anstellen. Ich setze jetzt einen Kalkspat in den Apparat vor das Diaphragma ein (Fig. 5). Durch die Öffnung desselben tritt polarisiertes Licht, und zwar nur der ordentliche Strahl; der außerordentliche wird so tief nach abwärts gelenkt, dass er nicht auf die Öffnung fällt. Der Hauptschnitt liegt horizontal, das polarisierte Licht schwingt daher vertical. Eine Linse gibt das Bild der Öffnung auf dem Schirme. Ich fange dasselbe mit einem Spiegel aus schwarzem Glase auf,

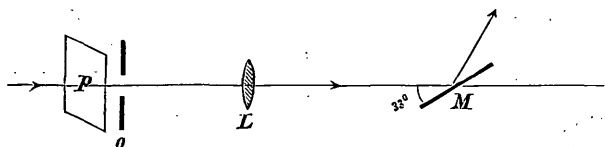


Fig. 5.

P Kalkspat; *o* Öffnung im Diaphragma, *L* Linse, *M* Spiegel.

der an einer Achse befestigt ist, welche mit der Ebene des Spiegels den Winkel von 33° einschließt. Bei verticaler Einfallsebene ist das vom Spiegel auf den Schirm reflectierte Bild sehr schwach. Wenn ich den Spiegel um seine Achse, die in die Richtung des einfallenden Strahles fällt, drehe, so nimmt die Intensität des Bildes zu und wird zu einem Maximum, wenn die Einfallsebene des Spiegels um 90° gedreht ist. Bei weiterer Drehung nimmt die Intensität wieder ab, erreicht ein Minimum bei 180° , ein Maximum bei 270° .

Das polarisierte Licht wird also in dem Falle, wo die Einfallsebene des Spiegels senkrecht auf der Schwingungsebene steht, nicht reflectiert.

Damit ist der Beweis hergestellt, dass der Lichtstrahl rund um denselben herum verschiedene Eigenschaften haben müsse.

Malus war zu sehr von den Newton'schen Anschauungen befangen, um die Polarisationserscheinungen durch die Schwingungsrichtung zu erklären. Er hielt an der Newton'schen Emanationstheorie fest, wonach das Licht durch Körperchen übertragen werde, welche von der Lichtquelle mit großer Geschwindigkeit ausgestoßen würden. Zur Erklärung der Polarisation musste diesen Körperchen die Eigenschaft gegeben werden, dass sie an den Enden der Achsen ihrer Gestalt, ähnlich wie Magnete polare Eigenschaften haben. Die Polarisation des Lichtes bestand hienach darin, dass diese Achsen während der Bewegung der Lichtkörperchen sämtlich gleichgerichtet wurden, eine sehr künstliche, schwer zu rechtfertigende Hypothese.

Der Ausdruck „Polarisation des Lichtes“ rührt auch von dieser Annahme der Emanationstheorie her. Die Einfallsebene des Spiegels wurde als die Polarisationsebene des Lichtstrahles bezeichnet. Der vorliegende Versuch lässt bloß erkennen, dass der Lichtstrahl bezüglich zweier Ebenen symmetrisch ist, und zwar bezüglich der Einfallsebene des Spiegels und bezüglich einer dazu senkrechten Ebene. Der Versuch zeigt bloß die Seitlichkeit des polarisierten Strahles. Bei

longitudinalen Schwingungen müsste der Lichtstrahl rund um seine Richtung herum die gleichen Eigenschaften zeigen.

Zum Nachweise der Schwingungsrichtung bedurfte es eigener Versuche. Man hält jetzt allgemein an dem Ergebnisse der Fresnel'schen Theorie fest, dass die Schwingungsrichtung auf der Polarisationsebene senkrecht stehe, dass also im vorliegenden Falle die Schwingungen des Lichtstrahles parallel zur Ebene des Spiegels oder senkrecht zur Einfallsebene erfolgen, und dass nur

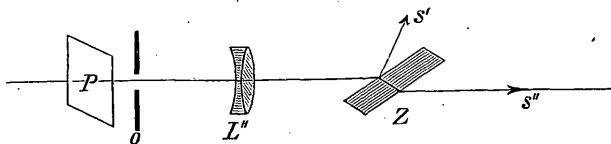


Fig. 6.

P Kalkspat, *o* Öffnung im Diaphragma, *L* Linse, *Z* Plattensatz.

solche Schwingungen vollständig vom Spiegel reflectiert werden können.

Malus hat aber auch die Polarisation durch Brechung entdeckt. Jener Antheil des Lichtstrahles, welcher in das Mittel eindringt, ist senkrecht zum reflectierten Strahl polarisiert, schwingt also nach unserer Annahme in der Einfallsebene. Das natürliche Licht, zerfällt bei der Reflexion und Brechung in zwei gleich intensive Theile, welche senkrecht zu einander schwingen (Gesetz von Arago).

Die Brechung des Lichtes, insbesondere in einer

größeren Anzahl dünner, aufeinander geschichteter Glasplatten (Plattensatz), die mit dem Lichtstrahle einen Winkel von 33° einschließen, eignet sich sehr gut zur Analyse des polarisierten Lichtes.

Ich setze jetzt (Fig. 6) einen Plattensatz mit der Einfallsebene vertical auf den Apparat auf. Auf den Plattensatz fällt das durch den Kalkspat polarisierte Licht. Der durchgelassene Lichtstrahl ist auf dem Schirme, der reflectierte Strahl an der Saaldecke wahrzunehmen, der erstere ist hell, der letztere lichtschwach. Beginne ich den Plattensatz um den Lichtstrahl als Achse zu drehen, so verdunkelt sich das Bild auf dem Schirme, dagegen hellt sich das auf der Wand befindliche reflectierte Bild auf. Ist die Einfallsebene des Plattensatzes horizontal, dann ist das reflectierte Bild an der Wand in der größten Intensität, das senkrecht zur Einfallsebene, parallel zum Spiegel schwingende Licht wird in voller Intensität reflectiert. Das vom gebrochenen Strahle herrührende Bild auf dem Schirme ist nahezu ausgelöscht, Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene können in den Plattensatz nicht eindringen. Die Intensitäten der beiden Strahlen sind an das Gesetz von Malus gebunden, wonach jene des reflectierten Strahles dem Sinusquadrate, jene des gebrochenen dem Cosinusquadrate des Winkels zwischen der Schwingungsrichtung des einfallenden Lichtes und der Einfallsebene des Spiegels proportional sind.

Ich entferne den Plattensatz und füge in den Gang der Lichtstrahlen eine Turmalinplatte ein,

welche parallel zur Achse des säulenförmigen Krystalles geschliffen ist.

Wegen der bräunlichen Färbung der Platte ist die Intensität des Lichtbildes im allgemeinen schwach. Wenn ich aber den Turmalin um den Lichtstrahl als Achse drehe, dann sehen Sie die schon von der An-

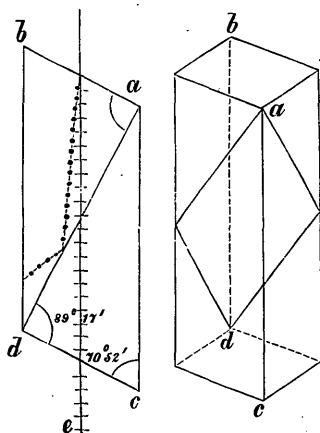


Fig. 7.

wendung des Spiegels her bekannte Änderung der Lichtintensität. Schwingungen parallel zur optischen Achse des Turmalins werden durchgelassen, Schwingungen senkrecht dazu werden vollständig ausgelöscht. In den Zwischenlagen zerlegen sich die Lichtschwingungen in zwei Theile: einen in die optische Achse, dieser geht durch, und einen zweiten senkrecht dazu, dieser wird ausgelöscht. Der Turmalin ist ein sehr einfaches Mittel Licht zu polarisieren oder polarisiertes Licht zu analysieren.

Weiter zeige ich eine andere Vorrichtung, um Licht zu polarisieren oder zu analysieren, d. i. das Nicol'sche Prisma.

Man benöthigt zur Herstellung dieses Apparates

eines verlängerten Kalkspatrhomboëders (Fig. 7) mit Parallelogrammen ab und cd als Endflächen. Die Seiten des Diagonal- und zugleich Hauptschnittes ab und ac verhalten sich wie nahe 2 : 9. Der Krystall wird senkrecht zum Hauptschnitte nach der Diagonale cd zerschnitten, und die beiden Stücke werden mit Canadabalsam wieder zusammengekittet. Der stärker gebrochene ordentliche Strahl wird dann an der gekitteten Fläche reflectiert und von der geschwärzten Wand aufgenommen. Der außerordentliche Strahl

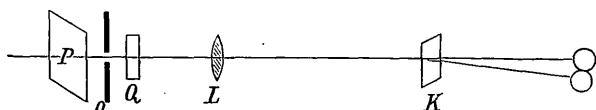


Fig. 8.

P Kalkspat, o Öffnung im Diaphragma, Q Quarzplatte, L Linse,
 K Kalkspatplatte als Analyser.

geht durch die Kittfläche hindurch und tritt aus dem Krystalle aus.

Das Licht, welches aus dem Nicol tritt, schwingt daher in dem Hauptschnitte, d. i. nach der Richtung der kurzen Diagonale der Endfläche. Licht, welches senkrecht zur kürzeren Diagonale schwingt, wird durch den Nicol'schen Apparat vollständig ausgelöscht. Ein solches Prisma ist also eines der vorzüglichsten Mittel, um polarisiertes Licht zu erzeugen oder die Polarisation des Lichtes nachzuweisen, insbesondere in Verbindung mit anderen Vorrichtungen, welche Färbung etc. des polarisierten Lichtes hervorbringen.

Ich nehme das Nicol'sche Prisma weg und setze (Fig. 8) unmittelbar an dem Diaphragma eine Bergkrystallplatte Q von 6.2 mm Dicke ein, welche senkrecht zur optischen Achse aus einem Bergkrystallprisma herausgeschnitten ist. Das Licht, welches durch diese Platte tritt, ist vollkommen weiß. Sobald ich das Licht von dem vorhin benutzten schwarzen Spiegel (Fig. 5) reflectieren lasse, sehen Sie auf dem Schirme in der höchsten Lage ein schwaches rothes Bild; dasselbe geht durch Orange und Gelb in Grün über, wenn der Spiegel im Sinne des Uhrzeigers allmählich um 90° gedreht wird; bei weiterer Drehung tritt Blau, Violett und schließlich bei der tiefsten Stellung Roth auf. Leider sind die Bilder weniger intensiv, als es unter günstigen Umständen möglich ist, dieselben herzustellen. Das aus dem Apparat tretende Licht divergiert nämlich etwas und nöthigt so zur Anwendung einer sehr kleinen Diaphragmaöffnung. Die geringe austretende Lichtmenge wird dann wegen der großen Entfernung zwischen Apparat und Schirm über die große Bildfläche vertheilt, und dadurch vermindert sich die Lebhaftigkeit der Farbe.

Die Ursache der Färbung des Bildes ist offenbar darin zu suchen, dass der Spiegel gewisse Farbengattungen aus dem auffallenden weißen Lichte nicht reflectiert, sondern auslöscht, und dass dann jene Mischfarbe übrig bleibt, welche den reflectirten Farben entspricht. Was früher bezüglich der ganzen auffallenden Lichtmenge wahrgenommen wurde, das geschieht jetzt

bezüglich einzelner Farben. Wäre ich im Stande, diesen Spiegel rasch um seine Achse zu drehen, so würden wir die Farben in der Reihenfolge des Spectrums in Sektoren hier auf dem Schirme ausgebreitet sehen.

Der senkrecht zur optischen Achse geschliffene Quarz hat also die Schwingungsebenen der verschiedenen Farben um verschiedene Winkel gedreht. Der durch den Quarz hindurchgegangene Lichtstrahl ist bezüglich jeder Farbe in einer anderen Ebene polarisiert. Solange die ganze Lichtmenge direct aufgefangen wird, erscheint dieselbe weiß, sobald aber ein Analyser angewendet wird, offenbart sich die verschiedene Schwingungsrichtung der Farben.

Man nennt diese Erscheinung die Rotationsdispersion; sie rührt von der Drehung der Schwingungsebene des Lichtes im Quarze her, welche also von der Farbe, d. i. von der Wellenlänge abhängig ist.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Quarz: solche, welche die Polarisationssebene rechts herumdrehen, und solche, welche sie links herumdrehen.

Der Quarz, den ich bisher benützte, war ein rechtsdrehender. Ein linksdrehender Quarz von gleicher Dicke statt desselben eingeschaltet, gibt das oberste Bild auch roth, wenn aber der Spiegel im Sinne des Uhrzeigers gedreht wird wie früher, dann folgen die Farben in entgegengesetzter Folge aufeinander wie im Spectrum, d. h. das Roth verwandelt sich in Violett, dann kommt Blau, bei 90° Grün, dann Gelb, Orange und bei 180° wieder Roth.

Die Ursache dieser Drehung ist nach der von Fresnel gegebenen Erklärung der Umstand, dass in der Achse des Quarzes das Licht circular polarisiert wird, und dass zwei circular polarisierte Lichtstrahlen mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Geht der rechts circular polarisierte Strahl schneller, dann wird die Schwingungsebene der Strahlen im Sinne des Zeigers einer Uhr gedreht; geht der links circular polarisierte Strahl schneller, dann dreht der Quarz die Schwingungsebene dem Sinne des Zeigers einer Uhr entgegen.

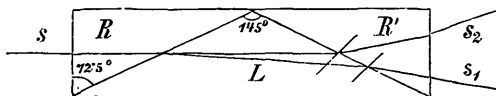


Fig. 9.

Durch eine sehr sinnreiche Vorrichtung hat Fresnel dies nachgewiesen. Der bezügliche Apparat heißt das Triprisma (Fig. 9). Er besteht aus zwei rechts drehenden Prismen $R R'$, welche an ein links drehendes Prisma L so angekittet sind, dass ein einziges Prisma mit ebenen Endflächen daraus entsteht, in welchem die Richtung der optischen Achse der Bestandtheile parallel zur Rückwand des Prismas ist. Im rechts drehenden Prisma R trennen sich die beiden circular polarisierten Strahlen und schreiten mit verschiedener Geschwindigkeit fort, der rechts circular polarisierte schneller, der links circular polarisierte langsamer. Bei A tritt Brechung in den links circular polarisierten

Quarz ein. Dort geht der rechts circular polarisierte Strahl s_1 langsamer, daher wird er zum Einfallslot gebrochen, der links circular polarisierte Strahl s_2 schneller, er wird vom Einfallslot gebrochen. Durch den Übertritt in das rechts circular polarisierende Prisma R' werden s_2 zum Einfallslot, s_1 vom Einfallslot gebrochen und treten mit Divergenz aus dem Prisma aus. Indem ich das Tripisma mit den Prismenkanten parallel zu einer mit natürlichem Lichte beleuchteten Spalte S' aufstelle und eine Linse L mit kurzer Brennweite vorschalte, erhalte ich auf einem Schirme die beiden, allerdings nur wenig von einander getrennten Bilder der sehr eng gewählten Spalte.

Die Erscheinung der Drehung der Schwingungsebene des Lichtes durch eine senkrecht zur optischen Achse geschliffene Platte wurde von Biot, Professor der Physik am Collège de France, entdeckt und zuerst genauer untersucht.

Die Größe des Winkels, um welchen der Quarz die Schwingungsebene einer bestimmten Farbe dreht, wurde von der Dicke der Quarzplatte abhängig, und zwar derselben direct proportional gefunden (Biot'sches Gesetz). Es dreht z. B. eine Quarzplatte von $\frac{1}{24} \text{ mm} = 0.0416 \text{ mm}$ Dicke die Schwingungsebene des intensiven Gelb um 1° , eine Quarzplatte von 3.75 mm Dicke dreht daher um 90° , eine solche von 7.5 mm um 180° . Das Gesichtsfeld erscheint dann, beziehungsweise bei parallel gestellten oder gekreuzten Nicols in der sogenannten Übergangstinte oder couleur sen-

sible, die zwischen Violett und Roth liegt. Bei dünneren Platten würden sich die farbigen Sektoren auf ein schmäleres Gebiet zusammenziehen, bei wesentlich dickeren Platten als 7 mm würden sich die Farben mehrfach überlagern und die Färbung weniger intensiv erscheinen.

Da wir nun diese Eigenschaft des Quarzes kennen, wollen wir von derselben eine Anwendung auf die Doppelbrechung des Lichtes durch den Kalkspat machen.

Ich schalte zunächst die eingangs benützte Kalkspatplatte an der Vorderseite des Apparates wieder ein. Wir erhalten jetzt zwei Bilder (Fig. 8); wenn ich die Öffnungen des Diaphragmas wechsele, so kann ich die Bilder zur theilweisen Überlagerung bringen; die Farben ergänzen sich an diesen Stellen genau zu Weiß.

Hieraus schließen wir, dass die beiden senkrecht zu einander polarisierten Strahlen, in welche der Kalkspat das auffallende Licht zerlegt, zu einander complementär gefärbt sind. Während z. B. das grüne Licht ordentlich gebrochen durch den Kalkspat geht, geht das rothe außerordentlich gebrochen durch. Die Schwingungsebene des grünen Lichtes ist durch den Quarz um 180° , jene des rothen Lichtes um 90° gedreht worden.

Indem ich den Kalkspat um den Lichtstrahl als Achse drehe, und zwar vom Schirme aus gesehen im Sinne des Uhrzeigers, sehen Sie eine Reihe der prächtigsten Farben in den beiden Bildern auftreten, die jedesmal zu einander complementär sind. Sie folgen

in der Reihenfolge aufeinander wie im Spectrum, also Roth—Grün, Orange—Blau, Gelb—Violett, Grün—Roth, Blau—Orange, Violett—Gelb u. s. w.

Diesen Versuch ändere ich in der Weise ab, dass ich statt des einfachen Quarzes einen solchen anwende, welcher aus zwei Quarzstücken zusammengesetzt ist, die entgegengesetzt drehen, aber beide 7.5 mm dick sind. Die Trennungslinie der beiden Quarze erscheint im Bilde vertical. Bei der Drehung des Kalkspates sehen Sie die beiden Hälften jedes Bildes die Farben im entgegengesetzten Sinne der Aufeinanderfolge im Spectrum durchlaufen. Während in der einen Hälfte auf Roth Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett und die *Couleur sensible* folgt, verläuft diese Erscheinung in der anderen Hälfte umgekehrt.

Durch passende Wahl der Diaphragmaöffnung kann ich die beiden Bilder so dimensionieren, dass sich deren Ränder gerade berühren. Sie sehen jetzt die *Couleur sensible* in dem einen Doppelbilde und ein lichtiges Gelb im andern Doppelbilde. Eine sehr geringfügige Drehung hat bereits eine Veränderung der Farbe im Gefolge. Diese *Couleur sensible* gestattet, sehr genau auf eine bestimmte Schwingungsrichtung einzustellen. Würde das auffallende Licht noch eine weitere Drehung erfahren, so würde die *Couleur sensible* sofort verschwinden. Der Winkel, um den ich dann den Kalkspat drehen müsste um den Farbenunterschied auszugleichen, gibt die Drehung der Polarisations ebene an.

Thatsächlich hat der jetzt zwischengeschaltete

Quarz von 3.75 cm Dicke eine erhebliche Drehung der Polarisationssebene und eine Änderung der Färbung der Bildhälften erzeugt.

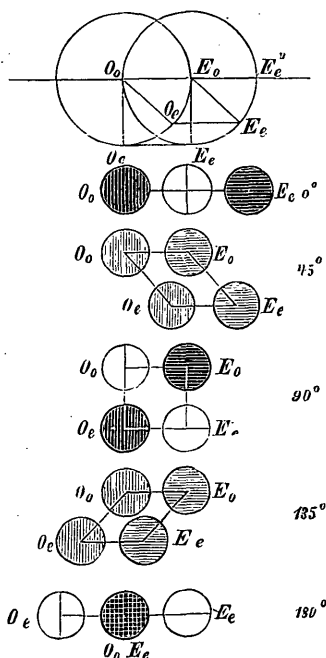


Fig. 10.

||| grün, ≡ roth.

Nach diesem Principe lässt sich die Drehung der Polarisationssebene bestimmen, welche durch eine passende zwischengeschaltete Flüssigkeitssäule, z. B. eine Zuckerlösung, erzeugt wird. Da der Drehungswinkel einer solchen Lösung von der Concentration abhängt, so dient die Drehung der Polarisationssebene durch diese Lösungen dazu, den Zuckergehalt derselben zu bestimmen. Es ist dies eine in den Zuckerfabriken gebräuchliche Methode.

Ich entferne nun den Doppelquarz wieder, gebe den einfachen Quarz in den Apparat und nehme den Versuch mit den gekreuzten Kalkspaten nach Huygens wieder auf, aber unter Anwendung des durch den Kalkspat polari-

sierten Lichts. Die resultierende Färbung der Bildhälften wird durch die Drehung der Polarisationssebene durch den Quarz bestimmt. Es ist dies eine in den Zuckerfabriken gebräuchliche Methode.

sierten Lichtes, dessen Schwingungen durch den Quarz für jede Farbe in eine andere Ebene gedreht werden.

Sie sehen jetzt vier Bilder in zwei Farben und einer von der Stellung des gedrehten, vorderen Kalkspates abhängigen Intensität. Die gefärbten Strahlen, die der erste Kalkspat geliefert hat, werden von dem zweiten weiter doppelt gebrochen, erfahren aber in der Färbung keine Veränderung. Will ich eine solche erzielen, dann drehe ich beide Kalkspate gleichzeitig um den Lichtstrahl als Achse. Wir bleiben bei Roth und Grün stehen, dabei ist der Hauptschnitt des ersten Kalkspates horizontal.

Mit der Drehung des vorderen Kalkspates bleiben die Bilder an den Ecken eines Rhombus (Fig. 10). Die Antheile des vom ersten Kalkspat gelieferten, ordentlichen Strahles sind grün, die Antheile des außerordentlichen Strahles roth. Sind die Hauptschnitte parallel, dann gehen der ordentliche und der außerordentliche Strahl als solche im beweglichen Kalkspat weiter. Man hat zwei Bilder Oo und Ee' . Die Verbindungslinie der Mittelpunkte ist horizontal. Wird der vordere Kalkspat gedreht, dann spalten sich beide Strahlen und geben Antheile von verschiedener Intensität. Oo und Ee sind intensiver, Oe und Eo sind schwächer. Ist der Hauptschnitt des zweiten Krystalles um 45° verdreht, dann sind alle vier Bilder von gleicher Intensität.

Bei weiterer Drehung werden Oo und Ee schwächer, Oe und Eo stärker, und bei einer Drehung um

90° sind bloß Oe und Eo vorhanden. Der ordentliche Strahl des ersten Kalkspates geht dann als außerordentlicher Strahl im zweiten Kalkspate im Hauptschnitte abgelenkt, der außerordentliche des ersten Kalkspates geht als ordentlicher im zweiten Kalkspate durch.

Eine Drehung um 135° gibt vier gleich intensive Bilder, eine solche um 180° nur ein einziges ungefärbtes Bild. Der ordentliche Strahl des ersten geht auch im zweiten Kalkspat als ordentlicher Strahl Oo weiter. Der außerordentliche Strahl des ersten wird im zweiten Kalkspate wegen der Lage der optischen Achse wieder auf jene Oo zurückgeführt, so dass das einzige Bild weiß erscheint. Die Zwischenschaltung des senkrecht zur Achse geschliffenen Quarzes hat im Falle des Huygens'schen Versuches als Mittel gedient, die aus jedem Strahle des ersten Kalkspates herstammenden Strahlen von einander zu unterscheiden.

Natürliches Licht würde keine Färbung durch den Quarz im Gefolge haben. Ist der Winkel zwischen den Hauptschnitten der beiden Kalkspate w , dann beträgt die Intensität der vier Strahlen nach dem Gesetze von Malus¹⁾ bei natürlichem Lichte:

$$\begin{array}{ll} Oo = \frac{1}{2} \cos^2 w & Eo = \frac{1}{2} \sin^2 w \\ Oe = \frac{1}{2} \sin^2 w & Ee = \frac{1}{2} \cos^2 w \end{array}$$

Schließt die Schwingungsebene des einfallenden geradlinig polarisierten Lichtes mit dem Hauptschnitte den Winkel u ein, dann ist:

¹⁾ Traité d'optique physique. M. F. Billet. I, p. 327.

$$\begin{aligned}
 Oo &= \sin^2 u \cos^2 w & Oe &= \sin^2 u \sin^2 w \\
 Eo &= \cos^2 u \sin^2 w & Ec &= \cos^2 u \cos^2 w
 \end{aligned}$$

Was hier bezüglich des Lichtes gesagt wurde, ist bezüglich der durch Kalkspat doppelt gebrochenen strahlenden Wärme von de la Provostaye und Desain nachgewiesen worden. Ebenso lässt sich die strahlende Wärme durch Reflexion und Brechung polarisieren und analysieren.

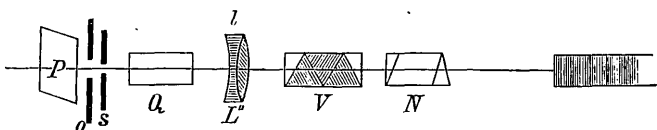


Fig. 11.

P Kalkspat, *o* Öffnung im Diaphragma, *s* Spalte, *Q* eine Quarzsäule von 37 mm Länge, *L''* eine Linse, *l* eine Zerstreuungslinse, *V* der Prismensatz à vision directe, *N* das Nicol.

Bei den elektrischen Schwingungen, die in den Laboratorien schon geradlinig polarisiert erhalten werden, werden als Analyser entweder eine reflectierende Metallwand oder eine Reihe parallel gespannter Drähte verwendet.

Die eigenthümlichen Färbungen, welche der Quarz im polarisierten Lichte, unter Anwendung eines Analysers erzeugt, lassen sich spectral sehr gut zerlegen. Dazu wird der Duboscq'sche Apparat in obiger Weise (Fig. 11) angeordnet. Der Prismensatz *V* besteht aus einem Flintglasprisma, dessen Ablenkung durch zwei

Crownglasprismen aufgehoben ist, dessen Farbenzerstreuung aber fortbesteht. Wird in den Gang der Lichtstrahlen ein Quarz Q von 6.2 mm Dicke eingeschaltet, dann gewahren Sie in dem Spectrum einen schwarzen Streifen; er entspricht jenen Farben des weißen Lichtes, die der Analyseur ausgelöscht hat.

Der Wechsel der Farbe bei der Drehung des Analyseurs offenbart sich darin, dass der schwarze Streifen im Spectrum fortwandert. Wenn ich im Sinne des Uhrzeigers drehe, wandert der Streifen von Roth gegen Violett, sobald ein rechts drehender Quarz eingeschaltet ist; bei einem links drehenden Quarze wandert dieser Streifen von Violett gegen Roth. Dieser Quarz ist nur 6.2 mm dick, daher erscheint der schwarze Streifen sehr mächtig. Die übrigbleibenden Farbengruppen setzen sich in dem farbigen Bilde zusammen, welches zu der ausgelöschten Farbengruppe complementär ist.

Ich schalte jetzt statt des einen Quarzes eine Quarzsäule von 37 mm Dicke ein, welche aus einem Bergkristalle geschliffen ist. Hier tritt für eine ganze Reihe von Farben der Umstand ein, dass die Schwingungsebene so gedreht ist, dass sie durch den Analyseur ausgelöscht werden. Die Drehungen betragen 90° , 3.90° , 5.90° , 7.90° etc., alle diese Farben sind ausgelöscht. Diese Quarzsäule würde keine merkliche Färbung des Gesichtsfeldes erzeugen, weil die übrigbleibenden Farbengruppen, über das ganze Spectrum vertheilt, sich nahe zu Weiß zusammensetzen. Auch hier wandern bei der Drehung des Analyseurs die Streifen im Spectrum weiter.

So hat uns die spectrale Zerlegung der Mischfarben Aufschluss gegeben, wie die Färbung der Bilder zustande kommt. Soll der Quarz weißes Licht durchlassen, dann sind mindestens neun solche Streifen im Spectrum erforderlich, wie von Stefan gezeigt wurde.

Nur eine Frage will ich noch beantworten, die durch diese Versuche angeregt worden sein mag. Ist polarisiertes Licht nur in dergleichen Versuchen zu erzielen oder kommt in der Natur auch polarisiertes Licht vor?

Das diffuse Licht, welches als Tageshelle den ganzen Raum auf eine Weise erfüllt, wie es von der Sonne nicht erhalten werden kann, besteht aus Strahlen, welche theils an verschiedenen dichten Luftschichten, theils an Dunstkörperchen, an Staubtheilchen reflectiert wurden. Dieses Licht zeigt Spuren von Polarisation.

Auch das Licht der Regenbogen und der Höfe ist durch die Reflexion an Wassertröpfchen und Eisnadeln polarisiert. Im Regenbogen schwingt das Licht senkrecht zum Halbmesser, welcher in der Ebene durch das Auge, den Gegenpunkt der Sonne (d. i. Mittelpunkt des Regenbogens) und die betrachtete Stelle des Bogens gezogen ist.

Das gewöhnliche Licht des reinen Himmels ist stets mehr oder weniger polarisiert. In einem Strahle in der Verticalebene durch die Sonne und den Beobachter schwingt das Licht horizontal. Die Stärke der Polarisation wächst bis 90° von der Sonne an und

nimmt dann gegen den Gegenpunkt wieder ab. Durch ein Nicol wird man leicht die Polarisation nachweisen können. Eine Quarzplatte vor das Nicol geschaltet, zeigt im Lichte des blauen Himmels an den Stellen der stärksten Polarisation sehr deutliche Farbenänderungen, wenn das Nicol'sche Prisma um seine Achse gedreht wird.

Betrachtet man mit dem Auge durch einen gewöhnlichen Nicol das polarisierte Himmelslicht, so sieht man eigenthümlich geformte, gelbe Büschel, welche ihren Ursprung im Auge haben und deren Lage von der Schwingungsrichtung des Lichtes abhängt, welches ins Auge gelangt. Es sind die Haidinger'schen Büschel, benannt nach dem Wiener Mineralogen Haidinger, mit dessen Wirken die Begründung naturwissenschaftlicher Studien in Österreich auf das innigste zusammenhängt.

Die Versuche, welche ich Ihnen vorführte, erschöpfen das Gebiet der Polarisation des Lichtes keineswegs; eine Reihe anderer Erscheinungen, bekannt unter dem Namen der chromatischen Polarisation, hoffe ich vielleicht im künftigen Jahre Gelegenheit zu haben, hier zur Anschauung zu bringen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Obermayer Albert von

Artikel/Article: [Über die Polarisation des Lichtes. 319-350](#)