lich zu schwächen; und wenn ich dies Mittel, weil es gewissermaassen die Durchsichtigkeit der Maschine beeinträchtigt und die Reinigung der Scheiben ein wenig erschwert, auch nicht allgemein empfehlen möchte, so dürfte es doch unter Umständen zweckentsprechend seyn. Der Versuch ist nebenbei so einfach, daß sich Jeder leicht von der Anwendbarkeit desselben überzeugen kann.

**X. Bemerkungen über die Aenderung der Lichtgeschwindigkeit im Quarz durch Druck;
von Prof. E. Mach und Stud. J. Merten.**

(Aus Bd. LXXII. der Berichte der Wien. Akad. von den HH. Verf. mitgetheilt.)

1.

Pfaff¹⁾ hat schon Versuche über die Aenderung der Doppelbrechung des Quarzes durch Druck angestellt. Seine Angaben bedürfen aber in mehrfacher Hinsicht der Erweiterung und Richtigstellung. Auch unsere Versuche können aus Gründen, die bei Beschreibung derselben hervortreten werden, nicht als quantitativ genau angesehen werden. Doch geben diese Versuche schon in ihrer gegenwärtigen Form eine wesentlich vollständigere und exactere Vorstellung von dem optischen Verhalten des Quarzes bei Druck als diejenige, welche sich aus den älteren Versuchen schöpfen liefs.

2.

Pfaff giebt richtig an, daß ein senkrecht auf die Axe gedrückter Quarz optisch zweiaxig wird. Man sieht in dem Axenbilde einer senkrecht zur Axe geschnittenen Quarzplatte den Mittelpunkt des Ringsystems sich in die

1) Diese Annal. Bd. 117 (1859), S. 333 und Bd. 118 (1859), S. 598.

beiden Pole des zweiaxigen Bildes trennen und nach der Richtung des Druckes auseinandertreten¹⁾. Die Angabe von Pfaff aber, daß die Pole bei Steigerung des Druckes ihre Farbe ändern, und zwar bei rechtsdrehendem Quarz entsprechend einer Linksdrehung des Ocularnicols, können wir nicht bestätigen. Wir finden vielmehr, daß die beiden Pole des zweiaxigen Ringsystems immer dieselbe Farbe haben wie der Mittelpunkt des einaxigen. Pfaff's Beobachtung würde auf eine vermehrte Drehung der Polarisationsebene nach der Richtung der optischen Axen bei Vergrößerung des Axenwinkels deuten. Wir finden die Drehung vom Axenwinkel unabhängig. Um die Unsicherheit der Farbenbeurtheilung durch das bloße Auge zu eliminiren, verfahren wir so: Der Quarz wird in der Presse auf den Tisch des Nörremberg-Steeg'schen Polarisationsapparates gelegt. Unter dem Tisch bringen wir einen Schirm mit einer schmalen Spalte an, welche der Druckrichtung parallel ist und welche für das Auge des Beobachters, dessen Stellung durch einen Schirm mit einer kleinen Oeffnung fixirt ist, durch den Mittelpunkt des Ringsystems hindurchgeht. Zwischen das Auge und das Ocularnicol bringen wir ein Prisma mit gerader Durchsicht mit zur Spalte senkrechter Dispersionsrichtung. Dadurch wird so zu sagen ein Radius des einaxigen oder die Verbindungslinie der Pole des zweiaxigen Bildes spectral aufgelöst (Fig. 1). Man erkennt an dem Vorrücken der

Fig. 1.

- 1) Man erhält die inneren Ringe weiß, wenn man die Dispersion derselben durch einen gleich dicken entgegengesetzt drehenden Quarz unter dem Ocularnicol aufhebt.

Spectralstreifen gegen das Roth den wachsenden Gangunterschied bei Entfernung vom Centrum und kann den Streifen m , welcher dem Mittelpunkt entspricht, bei Einfügen einer Didymglasplatte durch Drehung des Nicols auf einen Absorptionsstreifen aa stellen. Bei Anwendung von Druck theilt sich der mittlere Streifenhöcker in zwei nn , die sich trennen, aber immer auf dem Absorptionsstreifen bleiben. Dieselben entsprechen den Polen des zweiaxigen Bildes, welche demnach denselben Gangunterschied darbieten, wie zuvor der Mittelpunkt. Im früheren Mittelpunkte hat hingegen der Gangunterschied zugenommen.

Läßt man circulares Licht auf den Quarz fallen, so wird das einaxige Bild im Mittelpunkte weiß (weil dort nur ein circularer Strahl durchgeht und die Interferenz aufhört) und es entsteht die bekannte Spiralfigur. Dieselbe löst sich bei Druck in die Fig. 2 auf, die an den

Fig. 2.

Polen ebenfalls weiß ist. Der gedrückte Quarz verhält sich also nach den Richtungen der beiden optischen Axen analog wie der ungedrückte nach der Richtung der einen optischen Axe.

Pfaff hat eine Presse angewandt, in welcher er den Quarz nach zwei zu einander senkrechten Richtungen zugleich drücken konnte. Zog er die eine Schraube an, so wurde der Quarz zweiaxig.

Durch Anziehen der zweiten Schraube gelang es nun nicht, wie Pfaff erwartete, den Quarz wieder einaxig zu machen, sondern es drehte sich die Verbindungslinie der Pole bei dem angewandten rechten Quarz nach rechts. Es ist klar, daß diese Erscheinung nicht der Ausdruck eines Gesetzes seyn kann, sondern nur von zufälligen Versuchsumständen herrühren muß. Denken wir uns senkrecht zur Axe des rechten Quarzes ein Coordinaten-

system XY . Die Richtungen nach oben (X) und rechts (Y) bezeichnen wir positiv. Drücken wir zuerst nach X und dann nach Y , so müßte sich die Pollinie, falls ein Gesetz bestände, aus der X -Richtung in den Quadranten $+X$, $+Y$ hinüberdrehen. Drücken wir aber zuerst nach Y und dann nach X , so käme sie in den Quadranten $+Y$, $-X$ zu liegen. Also bei demselben zu Ende angewandten Druck wäre die Lage der Pollinie eine ganz verschiedene. Und wohin sollte sie zu liegen kommen, wenn nach X und Y gleichzeitig gedrückt wird?

Daß Pfaff nicht zum Ziele kam, läßt sich einfach erklären. Legt man einen Quarzwürfel in die Doppel-*press*e und verschiebt denselben nach Anwendung der *einen* Schraube auf dem Tisch des Polarisationsapparates ohne Drehung, so bemerkt man, daß die Verbindungslinie der Pole ihre Länge und Lage wechselt. Die Compression ist also keine homogene (im Neumann'schen Sinne). Bei Anwendung beider Schrauben werden also die beiden Druckrichtungen nur zufällig zu einander senkrecht und die Druckgrößen nur zufällig gleich werden. Nur in diesem Falle kann aber der eine Druck den andern compensiren. Dies erreicht man auch, wenn man eine Stelle aufsucht, an welcher die beiden Schrauben, nach einander angewandt, zu einander senkrechte Pollinien erzeugen. Dann kann der eine Druck durch den andern vollständig compensirt werden. Der Quarz wird wieder einaxig und zeigt keinen Unterschied gegen ungedrückten Quarz. Der Gangunterschied ist im Mittelpunkt unverändert. Ohne Vorsicht erreicht man dieses Resultat freilich nicht. Auch beobachtet man leicht, daß der Drehungssinn der Pollinie von der Ordnung abhängt, in welcher man die Schrauben anwendet, so daß bei demselben endlich angewandten Drucksystem die Lage der Pollinie auch die gleiche ist.

3.

Wir untersuchen nun etwas genauer die Veränderungen, welche an dem *senkrecht* durch die Quarzplatte hindurchgehenden Licht bei Anwendung von Druck eintreten. Zu dem Versuche verwenden wir eine 7^{mm} dicke, genau senkrecht zur Axe geschnittene Platte von linkem Quarz. Legen wir diese Platte in der Presse auf den Tisch des Nörremberg'schen Apparates und betrachten sie (ohne Anwendung von Linsen) in parallelem Licht. Sobald wir drücken, treten Farben auf, welche einer Rechtsdrehung des Ocularnicals entsprechen. Dies läßt sich eigentlich schon aus dem Anblicke des Axenbildes des gedrückten Quarzes folgern. Um die Farbenfolge nicht in der Erinnerung vergleichen zu müssen, haben wir einen von Mach angegebenen Apparat angewandt, der die ganze Erscheinung auf einmal zu überblicken erlaubt.

Wir denken uns einen Nicol N_1 , durch welchen Lampenlicht auf die gepresste Quarzplatte Q fällt. Dieselbe ist mit einem Schirm bedeckt, der durch ein kleines rundes Loch eine Stelle des Quarzes zu sehen erlaubt. Das Licht fällt dann auf einen Nicol N_2 , auf dem ein Stückchen P vom Rande eines Brillenglases so angebracht ist, daß die hindurch gesehenen Gegenstände in der Polarisationsebene von N_2 abgelenkt erscheinen. Die Dispersion von P ist unbedeutend, es wirkt als achromatisches Prisma. Die Stücke N_2 und P befinden sich in einer Hülse und können durch eine Rolle mit Schnurlauf in rasche Rotation versetzt werden. Dadurch wird das Bild des Quarzes, während das Polarisationsazimut des Ocularnicals wechselt, zugleich im Kreise herumgeführt. Es entsteht ein leuchtender Ring, in dem sich alle Farben des Quarzes in ihrer natürlichen Ordnung nebeneinander befinden, welche man bei der gewöhnlichen Beobachtungsmethode nacheinander wahrnimmt. Drückt man nun den linken Quarz, so dreht sich der ganze farbige Ring wie ein fester Körper, von der Seite des Beobachters aus gesehen, verkehrt wie der Uhrzeiger. Der Quarz wird also

durch den Druck noch mehr linksdrehend. Der linkscirculare Strahl eilt also dem rechtscircularen noch mehr voraus. Bei Anwendung stärkerer Druckkräfte kann man eine allmähige Veränderung der Farben des Ringes und schliesslich ein Verblassen desselben wahrnehmen. Am lebhaftesten bleiben die Farben, wenn die Druckrichtung 45° mit der Polarisationssebene von N_1 einschließt.

Senkrecht auf die Hauptaxe gedrückter Quarz zeigt also eine Vergrößerung seines Drehungsvermögens für das nach der Hauptaxe durchgehende Licht. Aber eine reine Drehung der Polarisationssebene findet hier nicht mehr statt. Der Farbenring des ungedrückten Quarzes wird in dem erwähnten Apparate weiss bei Anwendung von circularem Licht. Der Ring wird aber sofort wieder farbig, wenn man den Quarz drückt. Es findet also bei gedrücktem Quarz die Zerlegung des senkrecht durchgehenden Lichtes in zwei entgegengesetzt circulare Strahlen nicht mehr statt. Vielmehr gehen jetzt zwei entgegengesetzt elliptisch polarisirte Strahlen durch, wie bei einer schief gegen die Axe geschnittenen Platte. Hiervon kann man sich auf folgende Art überzeugen.

Man stellt zwischen den Nicol N_1 und die Platte Q eine Viertelundulationsplatte L so, daß die der grösseren Fortpflanzungsgeschwindigkeit entsprechende Polarisationssebene E derselben parallel der Druckrichtung ist. Dreht man (von der Seite des Beobachters gesehen) die Polarisationssebene von N_1 im Sinne des Uhrzeigers um 45° aus E heraus, so hat man rechts circulares, bei der symmetrischen Stellung von N_1 zu E links circulares Licht. Drückt man den linken Quarz parallel zu E etwa vertical, so muß man den Winkel von N_1 und E verkleinern, damit der Farbenring wieder farblos werde. Hiernach liegt (bei Annahme der Fresnel'schen Vorstellung) für den rechts-elliptischen Strahl die große Axe der Schwingungsbahn horizontal. Ebenso zeigt sich, daß die große Axe für den links elliptischen Strahl vertical ist.

Man könnte glauben, daß die Art der elliptischen Po-

larisation für das senkrecht durchtretende Licht dieselbe sey bei verticalem Drucke, wie bei Neigung der Quarzplatte um eine horizontale Axe. Allein man überzeugt sich theoretisch und durch das Experiment, daß sie in letzterem Falle gerade umgekehrt ist. In beiden Fällen sind jedoch beide Strahlen entgegengesetzt elliptisch polarisirt, d. h. ihre Schwingungsbahnen sind ähnlich; die entsprechenden Axen stehen aufeinander senkrecht und der Bewegungssinn ist entgegengesetzt. Bildet die Polarisationssebene des einfallenden Lichtes einen Winkel von 45° mit der Druckrichtung oder Neigungsaxe, so werden beide elliptische Componenten gleich intensiv und die Farbenerscheinungen am meisten lebhaft.

Wir setzen den Quarz sammt der Presse auf ein Wollaston'sches Goniometer, so daß wir ihn um die Goniometeraxe und um eine zweite zu ersterer senkrechte Axe drehen können. Dann können wir Folgendes bemerken: Der Farbenring des linken ungedrückten Quarzes dreht sich dem Uhrzeiger entgegen, sobald die Richtung der durchgehenden Strahlen von der senkrechten abweicht. Drücken wir den Quarz vertical (während die Goniometeraxe horizontal ist), so dreht sich der Farbenring ebenso. Er dreht sich aber im Sinne des Uhrzeigers, wenn wir jetzt den Quarz um die horizontale Axe neigen, und dieser Bewegungssinn kehrt sich plötzlich um, wenn nämlich die Strahlen nach der Richtung der durch Druck erzeugten optischen Axe durchgehen. Drehung des Quarzes um eine der Druckrichtung parallele Axe dreht den Farbenring dem Uhrzeiger entgegen.

Durch Anwendung der Viertelundulationsplatte bei den erwähnten Stellungen des Quarzes sind wir im Stande die Lage und Form der Schwingungsbahnen für verschiedene Strahlenrichtungen in leicht verständlicher Weise aufzusuchen, indem wir immer die Farblosigkeit des Farbenringes herstellen. Zu bemerken ist aber, daß dieses Mittel für quantitative Bestimmungen doch zu unempfindlich ist.

Da nun im Allgemeinen zwei entgegengesetzt elliptische Strahlen sich durch den Quarz fortpflanzen, so kann das Resultat ihrer Interferenz keine einfache Drehung der Polarisationssebene mehr seyn. Es entsteht im Allgemeinen elliptisches Licht, dessen große Bahnaxe sich im Sinne des Strahles von größerer Fortpflanzungsgeschwindigkeit dreht, während die kleine Bahnaxe zwischen 0 und einem Maximalwerth schwankt. Gleichzeitig wechselt auch der Drehungssinn, in welchem die resultirende Bahn durchlaufen wird. Dies Verhältniß ist einfach begreiflich, wenn man sich die beiden entgegengesetzt elliptischen Strahlen in zwei entgegengesetzt circulare und zwei zu einander senkrechte lineare zerlegt. Die beiden circularen geben Drehung der Polarisationssebene, die beiden linearen fügen aber eine Componente hinzu, welche abwechselnd linear, circular und elliptisch ist.

Wenn wir das Licht, welches durch einen zwischen zwei Nicols eingeschalteten gedrückten oder schief gestellten Quarz gegangen ist, spectral auflösen, so erhalten wir dunkle Streifen im Spectrum, die bei Veränderung des Druckes, der Neigung oder der Stellung des Ocular-nicols sich verschieben, dabei aber abwechselnd scharf und unscharf werden. Beim Zusammenwirken bloßer circularer Strahlen bleiben bekanntlich diese Streifen durchaus scharf. Der Unterschied beider Fälle wird hiedurch deutlich.

4.

Wir wollen hier bemerken, daß der von uns verwendete Apparat durch eine kleine Modification für die Objectivdemonstration vieler Polarisationserscheinungen brauchbar wird. Wir nehmen eine Röhre von 50 Ctm. Länge und 3 Ctm. Weite im Lichten. An beiden Enden befinden sich ringförmige Ränder, welche zwischen Frictionsrollen laufen und auf der Mitte eine Rolle mit einem Schnurlauf. In das eine Ende der Röhre kommt ein Nicol mit einer quadratischen oder spaltförmigen Blendung, in

das andere das Ablenkungsprisma (Crown Glas mit etwa 10° brechendem Winkel). Unmittelbar vor das Ablenkungsprisma stellen wir eine Linse von circa 37 Ctm. Brennweite, welche von der Blendung auf einen Schirm ein Bild entwirft. Fällt linear polarisiertes Licht auf den rotirenden Apparat, so giebt er einen hellen Ring, der an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen (der Schwingungsebene entsprechend) unterbrochen ist. Die Unterbrechung wird matt bei Umwandlung des Lichtes in elliptisches durch Einfügen einer Viertelundulationsplatte und sie verschwindet, der Kreis wird gleichmäßig hell bei Umwandlung des Lichtes in circulares. Gypsblättchen zwischen einem Nicol und dem Apparat geben complementär gefärbte, durch weiße Strecken getrennte Ringfelder. Fügt man vor das Ablenkungsprisma noch ein Prisma mit gerader Durchsicht ein, welches in der Polarisations-ebene des rotirenden Nicols zerstreut, so erhält man eine übersichtliche spectrale Auflösung der Polarisationserscheinungen. In diesem Falle wird die spaltförmige Blendung eingesetzt, die Spaltenrichtung senkrecht zur Dispersion. Man erhält dann einen breiten Ring, der z. B. innen spectral violett, aussen roth ist, und dazwischen alle Farben zeigt. Rechtsdrehender Quarz zeigt nun bei dieser Anordnung dunkle spiralige Streifen in dem Ringe, welche von aussen nach rechts innen laufen, wenn der Beobachter sich dem Lichte entgegenstellt, also auf einem durchscheinenden Schirm beobachtet. Eine dünne axenparallele Quarzplatte giebt in dem spectralen Ringfelde dunkle ringförmige Streifen, welche an zwei zu einander senkrechten Diametern verschwinden. Weitere Anwendungen lassen sich noch sehr viele machen. So z. B. läßt sich der Apparat zu v. Lang's Nachahmung des Kreuzes der Krystalllinse, zur Nachahmung der Axenbilder usw. anwenden¹⁾.

1) Dove hat bekanntlich einen rotirenden Nicol zur Nachahmung des natürlichen Lichtes durch polarisiertes Licht angewandt. Eine Nebeneinanderstellung der Farben senkrecht zur Axe geschnittener Quarze

5.

Nach den Untersuchungen von Airy, Jamin und v. Lang unterscheidet sich die Wellenfläche des Quarzes wesentlich von jener der nichtdrehenden einaxigen positiven Krystalle. Die Wellenfläche dieser Krystalle besteht aus einer Kugel und einem verlängerten der Kugel eingeschriebenen Rotationsellipsoid. Die Rotationsaxe stellt die optische Axe vor. Beim Quarz können sich nun diese beiden Blätter der Wellenfläche nicht berühren, weil selbst in der Richtung der optischen Axe zwei, wenn auch wenig verschiedene, Lichtgeschwindigkeiten der beiden circularen Strahlen bestehen. Außerdem sind beim Quarz die Schwingungen eigentlich nur für senkrecht zur Axe verlaufende Strahlen streng linear, sonst aber elliptisch und nach der Axenrichtung circular. Die Fig. 3 A giebt

Fig. 3.

hat Stefan versucht durch Anwendung eines Kegelspiegels, der also alle Polarisationsazimute des Zerlegers gleichzeitig darbietet. Derselbe Physiker hat auch das schwarze Kreuz im Axenbilde des Doppelspathes durch Einlegen eines Quarzes unter dem Ocularnicol in einen Farbenfächer aufgelöst.

Mach wendet außer dem hier angeführten bequemsten Mittel noch andere Methoden zur Demonstration der Drehung der Polarisationsebene an. Betrachtet man das Axenbild eines Doppelspathes und schiebt unter dem Ocularnicol einen Quarzkeil aus dem Soleil'schen Saccharimeter durch, so sieht man deutlich, wie sich das Axenkreuz nach links dreht, wenn man einen rechtsdrehenden Keil (mit der Schärfe voraus) einschiebt. — Betrachtet man den durch innere conische Refraction erzeugten Lichtring durch einen Quarz

ein schematisches Bild der Wellenfläche des Quarzes. Ist derselbe ein linksdrehender, so muß der links circulare Strahl durch den elliptischen in den linearen ordinären Strahl übergehen, während der rechts elliptische Strahl den extraordinären vorstellt, wie dies die Schwingungsfiguren andeuten, welche wir uns auf die uns zugekehrte Seite der Wellenfläche aufgetragen denken. Der Schnitt der Wellenfläche mit der Ebene des Papiers muß nun bei Druck in der Richtung des Pfeiles etwa in die Form Fig. 3B übergehen, bei welcher die beiden Blätter wieder nicht zusammenhängen können, indem nach den Richtungen der neuen optischen Axen Drehung der Polarisations-ebene eintritt, also zwei Lichtgeschwindigkeiten stattfinden').

Von den Polarisationsarten, welche verschiedenen Punkten des Axenbildes entsprechen, können wir uns mit Hilfe der sub 3 erwähnten Versuche eine Vorstellung machen. Bedeuten *oo* (Fig. 4) die Pole des Axenbildes des linksdrehenden Quarzes, so stellen die Tangenten des ausgezogenen Curvensystems die großen Axen des rechts elliptischen Strahles an der betreffenden Stelle, die Tangenten des punktierten das erstere senkrecht durchschneidenden Systems aber die großen Axen des links elliptischen Strahles vor. Die großen Axen der Schwingungsbahnen verhalten sich also hier analog, wie die Schwingungsrichtungen in einem nicht drehenden zwei-axigen Krystall. Wahrscheinlich wird Beer's²⁾ Darstellung auch quantitativ hier passen.

und einen Nicol, so erhält man eine Nebeneinanderstellung der Quarzfarben. Allein weil in diesem Ringe die Polarisations-ebene nur eine halbe Drehung macht, so erscheint jede Farbe des Quarzes nur einmal, nicht wie bei der mechanischen Darstellung zweimal. Ein Ocular mit conischer Refraction wird noch manche Anwendungen zulassen.

- 1) Die Beobachtung der conischen Refraction am Quarz, welche demnach ein besonderes Interesse hätte, ist mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Sie ist noch nicht gelungen.
- 2) Beer, höhere Optik. S. 401.

Fig 4.

6.

Durch Druck, welchen wir senkrecht auf die Quarzaxe wirken lassen, wird der Gangunterschied der beiden circularen, nach der Axè fortgehenden Strahlen vermehrt. Man kann die Vermehrung der Drehung mit Hülfe der Doppelplatte beobachten und mit dem Soleil'schen Quarzcompensator compensiren. Dem Druck von 1 Kilogramm senkrecht zur Axè auf 1 $\square$ Ctm. entspricht ein Zuwachs von 0,001 der Dicke des gedrückten Quarzes. Wir legen auf diese Zahl keinen Werth, weil wir den Versuch nur nebenher ausgeführt haben, und erst der Nachweis geliefert werden müßte, daß die Dispersionsverhältnisse durch den Druck unverändert bleiben.

Wir erfahren durch den erwähnten Versuch überhaupt nur die Veränderung des Gangunterschiedes der beiden Strahlen. Welche Veränderung jede der beiden Lichtgeschwindigkeiten für sich erfährt, muß durch einen beson-

deren Versuch ermittelt werden. Wir visiren mit einem Fernrohr F durch ein Prisma P auf eine erleuchtete Spalte S und bringen vor das Objectiv von F eine Beugungsspalte Σ an, deren rechte Hälfte durch einen rechtsdrehenden, deren linke durch einen linksdrehenden Quarz von gleicher Dicke gedeckt ist. Vor den Quarzen steht der Jamin'sche Compensator C , so daß jedes der Gläser einen der Quarze deckt und die Verzögerung auf der Seite der brechenden Kante von P , etwa links, eingeschaltet ist. Der rechte Quarz befindet sich in einer möglichst unbeweglich befestigten Presse. Vor S steht noch ein Nicol N_1 und die Viertelundulationsplatte L . Bei Anwendung von rechts circularem oder links circularem Licht erhalten wir nach passender Einstellung schöne Talbot'sche Streifen. Die Streifen verschieben sich in beiden Fällen bei Druck des rechten Quarzes nach dem violetten Ende. Druck des rechten Quarzes verzögert also sowohl den linkscircularen wie den rechtscircularen Strahl. Die Verzögerungen des linken und rechten Strahles verhalten sich etwa wie 3 : 2. Druck des linksdrehenden Quarzes verzögert umgekehrt den rechtscircularen Strahl mehr wie den linkscircularen (im Verhältniß 3 : 2).

Wir können dieses Resultat nur als ein qualitatives ansehen. Der gedrückte Quarz wird nämlich auch dicker und dadurch wird schon eine Verzögerung eingeführt. Dieser Theil der Verzögerung verschwindet großen Theils und läßt sich durch die Rechnung ganz eliminiren, wenn man einen zweiten Druckversuch ausführt, bei welchem die Quarze in Wasser eingetaucht sind. Allein schon bei geringem Druck und geringer Streifenverschiebung werden die Talbot'schen Streifen undeutlich, weil das circulare Licht im gedrückten Quarz in elliptische Componenten gespalten wird. Eine große Sicherheit in der Ablesung des Verschiebungsverhältnisses der Streifen konnte deshalb nicht erzielt werden. Wir haben jedoch bemerkt, daß Eintauchen in Wasser den Charakter der Erscheinung nicht ändert. Die Ablesung wurde so ausgeführt,

daß z. B. bei rechtscircularem Licht die Druckschraube angezogen und die Verschiebung beobachtet, dann das Licht in linkscirculares umgewandelt, die Schraube nachgelassen und der Rückgang der Streifen abgelesen wurde. Diese Versuche müssen also nach verbesserter Methode wiederholt werden.

Wir halten also fest, *daß im linksdrehenden Quarz der rechtscirculare Strahl durch Druck senkrecht auf die Axe mehr verzögert wird, wie der linkscirculare und daß dadurch die Vergrößerung des Gangunterschiedes zu Stande kommt.* Wie wir gesehen haben, wandelt sich der linkscirculare Strahl in einen linkselliptischen um, dessen große Axe der Schwingungsbahn der Druckrichtung parallel ist und geht schließlich bei gesteigertem Druck in einen linearen parallel der Druckrichtung schwingenden Strahl über. Er ist aber der weniger verzögerte. *Demnach wird zwar in der Druckrichtung die optische Elasticität verkleinert, aber in der zum Druck senkrechten Richtung ist dies in noch höherem Maasse der Fall.*

Aus dieser stärkeren Elasticitätsverkleinerung senkrecht zur Druckrichtung erklärt sich auch das Auseinandertreten der Pole des Axenbildes in der Druckrichtung. Die Elasticität des Quarzes ist nach der Axenrichtung die kleinste, senkrecht zur Axe die größte. Drückt man senkrecht zur Axe, so werden alle Elasticitäten verkleinert. Die Axenrichtung bleibt die Richtung der kleinsten Elasticität, weil der Druck die Verhältnisse nur unmerklich ändert; die zur Axe und zum Druck senkrechte Richtung erhält die mittlere Elasticität. Letztere Richtung steht aber auf der Ebene der optischen Axen senkrecht, welche also die Druckrichtung enthält¹⁾.

7.

Drückt man den Quarz nach einer beliebigen Richtung, so lassen sich die auftretenden Erscheinungen immer

1) Was also Pfaff hierüber sagt, trifft nicht ganz zu. Diese Annal. Bd. 117, S. 334.

erklären, indem man annimmt, daß die Elasticitäten senkrecht zur Druckrichtung mehr verkleinert werden als in der Druckrichtung. Wir nehmen einen Würfel aus Quarz, dessen eine Kante parallel der Axe ist und drücken denselben parallel der Axe, während wir senkrecht zur Axe hindurchsehen. Der Gangunterschied der senkrecht zur Axe durchgehenden Strahlen wird verkleinert, wie man sich mit Hülfe eines Quarzcompensators (aus axenparallelen Keilen) überzeugen kann. Daß beide Strahlencomponenten verzögert werden, lehrt ein Versuch, welcher dem bereits erwähnten mit den Talbot'schen Streifen analog ist. Da nun die senkrecht zur Axe schwingende Componente die größere Geschwindigkeit hat, so muß eben diese mehr verzögert werden, damit eine Verkleinerung des Gangunterschiedes zu Stande kommt. Die andere Componente schwingt aber in der Druckrichtung.

Wir drücken nun den Quarz senkrecht zur Axe, während wir senkrecht zur Druckrichtung und zur Axe durchsehen. Der Gangunterschied der Strahlen wird, wie der Quarzcompensator zeigt, vergrößert. Beide Componenten aber werden, wie die Talbot'schen Streifen lehren, wieder verzögert. Es muß also die langsamere der Axe parallel schwingende Componente mehr verzögert werden. Dieselbe schwingt aber senkrecht zur Druckrichtung.

Es steht hiernach nichts im Wege, sich den Quarz als einen an sich isotropen Stoff vorzustellen, welcher durch einen bei der Krystallisation entwickelten enormen Druck senkrecht zur Axe doppeltbrechend geworden ist. Es lassen sich dann die mechanisch zugefügten Druckkräfte als von einerlei Art mit dem schon vorhandenen molecularen Druck betrachten. Man könnte einen isotropen Stoff, welcher die beschriebene Eigenschaft des Quarz-*materiales* hat, optisch positiv nennen. In diesem Sinne könnte z. B. Glas als optisch positiv und müßte (syrupartige) Metaphosphorsäure als optisch negativ bezeichnet werden.

Nachtrag.

Die erste kurze Beschreibung des Polarisationsapparates mit rotirendem Ocular hat Mach im Anzeiger der Wiener Akademie 1875, Nr. 4, (Sitzung vom 4. Februar) gegeben¹⁾. Es muß hier erwähnt werden, daß einige Monate später Spottiswoode²⁾ im *Philosophical Magazine* (1875 Juni P. 472) einen ähnlichen Apparat beschrieben hat, wie wir aus dem während des Druckes dieser Abhandlung uns zugekommenen Heft ansehen. Der Mach'sche Apparat wird gegenwärtig vom Hrn. Mechanikus Wilh. Albert in Frankfurt a. M. (Neue Mainzerstrasse 34) angefertigt.

**XI. Eine Bunsen'sche Lampe ohne Rückschlag;
von Heinrich Morton, Ph. Dr.,**

Präsident der Stevens Institute of Technology, Hoboken, N. J.

In Folge des niedrigen Drucks des hiesigen Gases zur Tageszeit, erfahren unsere Untersuchungen schon seit lange häufige Störungen durch das Rückschlagen der Flamme in den gewöhnlichen Bunsen'schen Lampen.

Da dieser Mißstand häufig von Unannehmlichkeit und Verlust begleitet war, entschloß ich mich zu einer Reihe von Versuchen, um demselben womöglich durch eine Formveränderung der Lampe abzuhelpfen.

Nach verschiedenen Versuchen mit Röhren, deren Höhen und Durchmesser in verschiedenem Verhältniß standen, mit Gasflammen von verschiedener Größe u. s. w., kam ich auf folgende Betrachtungen.

1) Mach, optisch akustische Versuche. S. 25. Prag. Calve 1872.

2) Alsdann auch in den Annal. S. 169 dieses Bandes (P).