

zur Achse c) nur auf den Brechungsexponenten ε' in dieser Richtung an. Setzt man $n_e = \varepsilon$, so findet sich aus ω , ε und ν

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon \omega}{\sqrt{\omega^2 \sin^2 \nu + \varepsilon^2 \cos^2 \nu}}.$$

Vom Wechsel der Doppelbrechung überzeugt man sich beim Studium entsprechend orientierter Schiffe oder mit Hilfe eines Drehapparates, in welchem man Kristalle oder Platten nach verschiedener Richtung dreht. Statt die Platten zu drehen, kann man auch das Licht durch eine ruhende, in Polarisationsstellung befindliche Platte mehr oder minder schräg hindurchschicken. Zu dem Zwecke schlug Schneiderhöhn vor, mit eingeschobener Kondensorlinse über dem Polarisator zu arbeiten. Diese schiebt einen Lichtkegel in das Präparat. Durch eine dem Okular aufgesetzte verschiebbare Blende mit Loch (Blendenschieber) kann man Strahlen gewünschter Neigung heraussondern und die Veränderung der Polarisationsstöne studieren. Bei schwacher Doppelbrechung fügt man zur Verstärkung ein Gipsblättchen vom Rot 1. Ordnung zu.

31. Messung der Doppelbrechung.

1. Messung der Doppelbrechung aus Plattendicke und Höhe des Polarisationsstones.

Der Gangunterschied der beiden Lichtbewegungen in einer doppelbrechenden Platte hängt, wie erwähnt, ab: 1. von der dem Material in Richtung der Plattennormale eigenen Differenz der Lichtgeschwindigkeiten, die man in den (letzteren reziproken) Werten der Brechungsexponenten ausdrücken kann, also von $\gamma' - \alpha'$, und 2. von der Plattendicke d . Je stärker die Doppelbrechung $\gamma' - \alpha'$ und je größer die Plattendicke d , um so größer ist der Gangunterschied Δ . Es ist also $\Delta = (\gamma' - \alpha') d$, wo $\Delta =$ Wegdifferenz in Millimetern¹⁾.

Einen Anhalt für diese Wegdifferenz hat man in der Polarisationsfarbe der Platte. Ist die Farbe in ihrer Höhe festgestellt, so kann man in einer Tabelle (s. S. 158) die zugehörige Größe Δ aufsuchen und aus ihr und dem d -Wert $(\gamma' - \alpha') = \Delta/d$ berechnen oder einem Diagramm entnehmen. Die Dispersion von $\gamma' - \alpha'$ ist dabei vernachlässigt.

Eine Platte sei 0,015 mm dick befunden und zeige als Polarisationsfarbe Rot 1. Ordnung. Dann ist $\Delta = 0,000551 = 0,015 (\gamma' - \alpha')$. Man findet $(\gamma' - \alpha') = 0,037$.

¹⁾ Aus $\Delta = (\gamma' - \alpha') d$ läßt sich bei bekannten Δ und $(\gamma' - \alpha')$ leicht die Dicke einer Platte als $d = \frac{\Delta}{\gamma' - \alpha'}$ berechnen, z. B. die Dicke eines Dünnschliffes. Weiter kann man nun aus dem jetzt bekannten d und aus der Höhe des Polarisationsstones eines unbekanntes Minerals im Schliff seine Doppelbrechung in bezug auf die vorliegende Schliffrichtung erschließen.

Anmerkung. Tabelle der Wegdifferenzen und zugehöriger Polarisationsfarben.

Wegdifferenz Δ in Millimetern für Licht mit $\lambda = 0,000551$ mm	Polarisationsfarbe bei gekreuzten Nicols	Polarisationsfarbe bei parallelen Nicols
0,000000	(Schwarz	Hellweiß
40	Eisengrau	Weiß
97	Lavendelgrau	Gelblichweiß
158	Graublau	Braunlichweiß
218	Grau	Braungelb
234	Grünlichweiß	Braun
259	Fast reinweiß	Hellrot
267	Gelblichweiß	Karminrot
275	Blaß strohgelb	Dunkelrotbraun
281	Strohgelb	Tiefviolett
306	Hellgelb	Indigo
332	Lebhaft gelb	Blau
430	Braungelb	Graublau
505	Rotorange	Bläulichgrün
536	Rot	Blaßgrün
551	Tiefrot	Gelblichgrün
565	Purpur	Helles Grün
575	Violett	Grünlichgelb
589	Indigo	Goldgelb
664	Himmelblau	Orange
728	Grünlichblau	Braunlichorange
747	Grün	Hell karminrot
826	Heller grün	Purpurrot
843	Gelblichgrün	Violettpurpur
866	Grünlichgelb	Violett
910	Reingelb	Indigo
948	Orange	Dunkelblau
998	Lebhaft orangerot	Grünlichblau
1101	Dunkelviolettrot	Grün
1128	Hellbläulichviolett	Gelblichgrün
1151	Indigo	Unreingelb
1258	Grünlichblau	Fleischfarben
1334	Meergrün	Braunrot
1376	Glänzendgrün	Violett
1426	Grünlichgelb	Graublau
1495	Fleischfarben	Meergrün
1534	Karminrot	Grün
1621	Mattpurpur	Mattmeergrün
1652	Violettgrau	Gelblichgrün
1682	Graublau	Grünlichgelb
1711	Mattmeergrün	Gelblichgrau
1744	Bläulichgrün	Lila
1811	Hellgrün	Karmin
1927	Hellgrünlichgrau	Graurot
2007	Weißlichgrau	Blaugrau
2048	Fleischrot	Grün

Eine bloße Abschätzung der Höhe der Polarisationsfarbe ist oft ungenau. Man kontrolliere dabei auf Grund der Überlegung, daß zu einer Interferenzfarbe zwischen gekreuzten Nicols eine bestimmte zwischen parallelen Nicols gehört (Tabelle S. 158). Gelegentlich kann man die Ordnung der Farbe am keilförmigen Rande von Präparaten abzählen. Sonst benützt man einen kompensierenden Keil (S. 146). Ist die Doppelbrechung durch ihn auf Null zurückgeführt, so entfernt man das Präparat und vermerkt die Polarisationsfarbe des Keils; er ist gleich dem der Platte; die zugehörige Wegdifferenz findet man in der Tabelle oder auch gleich auf dem Keil in einer Skala angegeben.

Genauere Werte als bei Benützung von Tageslicht (wie oben vorausgesetzt) erhält man durch folgende Methoden, bei denen monochromatisches Licht verwandt wird.

2. Messung der Doppelbrechung mittels des Babinet-schen Kompensators.

Die Hauptteile des Kompensators, der als Okular gebaut ist, sind zwei Quarzkeile K und K' mit gleichem Winkel; sie werden durch umgekehrtes Übereinanderlegen zu einer Platte vereinigt. Obere und untere Fläche dieser Vereinigung sind parallel Achse c vom Quarz; doch liegt sie in den Keilen um 90° verwendet, also γ von K parallel α von K' und umgekehrt. Wo die Dicken der beiden übereinanderliegenden Keile gleich sind, tritt mithin Aufhebung der Doppelbrechung ein, was sich zwischen gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung durch einen schwarzen Streifen kennzeichnet. Zu beiden Seiten hat man im Tageslicht farbige Interferenzstreifen, in monochromatischem Lichte weitere dunkle Streifen.

Eine doppelbrechende Platte, deren Auslöschungsrichtungen man mit den gekreuzten Achsen c des Kompensators parallel stellt, verändert natürlich die Lage des Kompensationsstreifens. Es bedarf einer Verschiebung des unteren beweglichen Keils, um die frühere Lage des Streifens wiederherzustellen, und zwar eine um so größere, je stärker die Doppelbrechung und die Dicke der zu untersuchenden Platte ist. Als Marke der Verschiebung dient ein Kreuz auf dem oberen Keil. An einer seitlichen Trommel kann man die Größe der Bewegung ablesen. Für genaue Bestimmungen ist paralleles Licht erforderlich; zu diesem Zwecke wird der Kondensor gesenkt oder entfernt.

Man eicht den Kompensator, indem man ohne Präparat im Natriumlicht die Verschiebung T (in Teilstrichen der Trommelteilung) mißt, die nötig ist, um den zweiten Streifen an die Stelle des ersten zu bringen. Diese Verschiebung entspricht einer Wegdifferenz λ_{Na} , also von $0,000\,589\text{ mm}^1$.

¹⁾ Es ist zweckmäßig, auch die Verschiebungen auszumessen, welche für den 3., 4., 5. und weitere Streifen nötig sind, um sie in die Lage des ersten zu bringen. Die Daten werden in Kurvenform verwertet.

Damit hat man einen Anhalt für die Messung der Doppelbrechung einer zu untersuchenden Platte, deren Dicke d bekannt ist, gewonnen. Erfordert letztere eine Verschiebung von T , um den ersten Streifen an seine Anfangslage zu bringen, so ist die dadurch von der Platte verursachte Wegdifferenz = $\frac{T'\lambda}{T}$. Die Doppelbrechung der Platte, gegeben durch $(\gamma' - \alpha')$ in $\Delta = d(\gamma' - \alpha')$ findet sich aus $\frac{T'\lambda}{T} = d(\gamma' - \alpha')$ zu $(\gamma' - \alpha') = \frac{T'\lambda}{Td}$

Wo sich der erste schwarze Streifen befindet, ermittelt man im Tageslicht. Ohne wesentlichen Fehler läßt sich die für Na-Licht gewonnene Konstante auch für Tageslicht übertragen. Zur größeren Genauigkeit kann man, statt die einfache Verschiebung des ersten Streifens zu messen, die doppelte Verschiebung in Betracht ziehen, indem man die zu untersuchende Platte in die zwei um 90° verschiedenen Diagonalstellungen bringt. Der Kompensationsstreifen wird dann in entgegengesetzter Richtung verschoben.

3. Der Kompensator von M. Berek besteht aus einer meßbar zu drehenden Kalkspatplatte; jede Stellung entspricht einer für die Kompensation zu verwendenden tabellarisch festgelegten Doppelbrechung. Ein

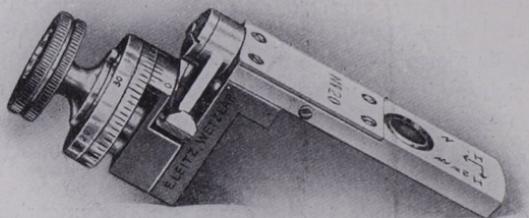


Fig. 457. Kompensator nach Berek.

besonderer Vorteil ist gegenüber dem Babinetschen Kompensator das hier vorgesehene Einschieben der Vorrichtung in den Schlitß über dem Objektiv.

4. Messung der Doppelbrechung mittels des Pulfrichschen Refraktometers.

Die S. 115 erwähnte Methode der Bestimmung der Brechungsquotienten mittels des Pulfrichschen Refraktometers liefert bei doppelbrechenden Kristallen selbst bei Anwendung nur einer Platte alle Brechungsexponenten, also $\omega = n_o$ und $\varepsilon = n_e$ bei optisch einachsigen und α , β und γ bei optisch zweiachsigen Kristallen.

Zur Ermittlung dieser Werte dreht man die der Halbkugel unter Benutzung einer stark brechenden Flüssigkeit aufgelegte Platte in ihrer Ebene vermittle der Rotationseinrichtung des Apparates und verfolgt dabei die zwei Totalreflexionsgrenzen. Man kann auf diese Weise Kurven aufstellen,

die Maxima und Minima erkennen lassen. Bei optisch einachsigen Kristallen beobachtet man im allgemeinen Fall zwei Grenzen, von denen die für ω konstanten Wert hat, die für ε zwei Extreme aufweist, von denen der im Verhältnis zu ω entfernteste Wert zu verwenden ist. Platten senkrecht Achse c liefern zwei Kreiskurven für ω und ε . Bei optisch zweiachsigen erhält man im allgemeinen zwei Kurven mit vier extremen Werten. Von ihnen sind der größte und kleinste Wert für α und γ zu verwenden, einer von den beiden mittleren für β . Welcher Wert für β zu entnehmen ist, ersieht man am einfachsten durch Benützung einer zweiten, anders orientierten Platte, die wieder α und γ und zwei mittlere Werte liefert, von denen einer mit einem mittleren der ersten Platte übereinstimmt; er ist für die Berechnung von β zu benutzen. Bei besonderen Lagen der Kristallplatte vereinfacht sich dies allgemein anwendbare Verfahren entsprechend.

5. Messung der Doppelbrechung mittels der Prismenmethode.

a) Optisch einachsige Kristalle.

Ein Prisma mit brechender Kante parallel Achse c liefert $\omega = n_o$ (Schwingung senkrecht c) und $\varepsilon = n_e$ (Schwingung parallel c), ein solches mit brechender Kante senkrecht Achse c und mit einem zur Achse c nach Art einer Pyramide symmetrisch gelegenen Flächenpaar liefert ebenfalls n_o und n_e .

b) Optisch zweiachsige Kristalle.

Man bedenke, daß die drei zu einer Farbe gehörenden Hauptschwingungsrichtungen α , β und γ senkrecht aufeinander stehen (Fig. 458). Im rhombischen

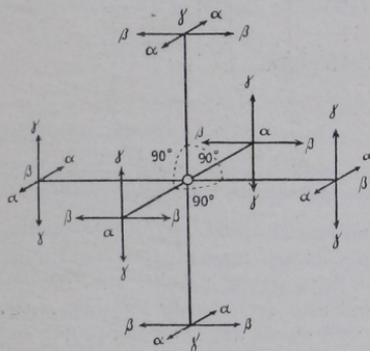


Fig. 458. Schwingungsrichtungen eines optisch zweiachsigen Kristalls.

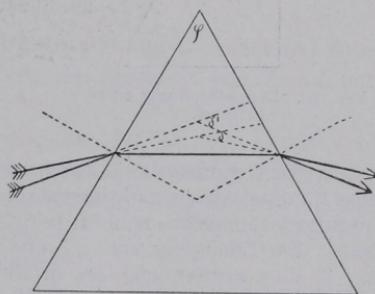


Fig. 459. Doppelbrechung eines Prismas.

System fallen sie für alle Lichtsorten mit den drei kristallographischen Achsen zusammen. Im monoklinen System liegt eine Hauptschwingungsrichtung in der Achse b ; die beiden anderen befinden sich im zweiten Pinakoid, auf dem man ihre Lage an den Auslöschungsrichtungen auf $\{010\}$ erkennt. Im triklinen System hat man keine allgemeine Beziehung der Lage von α , β und γ zum geometrischen Achsenkreuz. Man erkundet sie mit Hilfe von Umhüllungsapparaten als die Richtungen, zu denen sich beim Drehen des Kristalls keine Schiefe der Auslöschung zeigt.

Bei der Herstellung der Prismen legt man die brechende Kante des Prismas parallel einer der Richtungen α , β , γ und zudem meist das Flächenpaar des Prismas symmetrisch zu der auf der Prismenkante senkrechten Hauptschwingungsrichtung (Beispiel Fig. 459): die Prismenkante sei parallel γ , das Flächenpaar symmetrisch zur Achse α . Die durch das Prisma symmetrisch parallel β gegangenen Strahlen schwingen parallel α und γ (Betrachtung mit einem Nicol).

Ersichtlich erhält man mit zwei verschiedenen solcher Prismen vier Werte, also einen Brechungsexponenten doppelt.

Bemerkung. 1. Statt ein Prismenpaar symmetrisch zu einem Hauptschnitt (Schnitt durch zwei Hauptschwingungsrichtungen) zu benutzen, kann man auch eine Fläche des Prismas parallel diesem Hauptschnitt legen und das Licht auf ihn senkrecht einfallen lassen. Dann verlaufen die Licht-

bewegungen wie im ersten Fall. Die Formel $n = \frac{\sin \frac{\varphi + \delta}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$ (vgl. S. 115) vereinfacht sich dann zu $n = \frac{(\sin \frac{\varphi + \delta}{2})}{\sin \frac{\varphi}{2}}$ (Fig. 460).

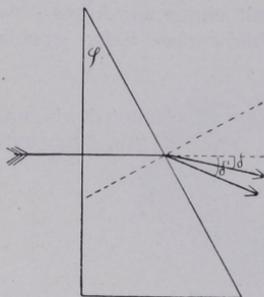


Fig. 460. Doppelbrechung eines Prismas.

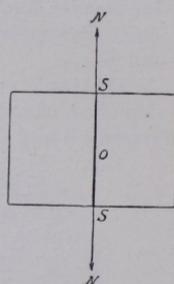
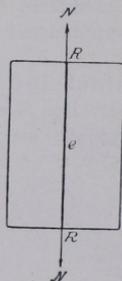


Fig. 461 a. Fig. 461 b.
Schwingungsrichtungen von e und o eines einachsigen Kristalls auf einem Prismenschnitt.

2. Mit Prismen, die lediglich so orientiert sind, daß ihre Kante parallel einer Hauptschwingungsrichtung eingeht, erzielt man nur je einen Hauptbrechungsexponenten, nämlich mittels der Schwingung parallel zur Prismenkante. Zur Erlangung von α , β und γ sind also drei solcher Prismen nötig.

3. Eine Bestimmung der Brechung und damit der Doppelbrechung bei erhöhter oder erniedrigter Temperatur läßt sich bei Benutzung von Erhitzungs- und Kälteapparaten für das Goniometer machen. (Vgl. S. 117).

6. Messung der Doppelbrechung vermittels der Einbettungsmethode.

Wie S. 110–115 geschildert ist, kann man Brechungsquotienten fester Körper durch deren Einbettung in Flüssigkeiten mit Hilfe der Beckeschen Linie oder der Methode nach Schroeder van der Kolk bestimmen. Bei doppelbrechenden Platten hat man es natürlich bei den betreffenden Untersuchungen mit je zwei Quotienten zu tun. Ihre Differenz ergibt die Doppelbrechung.

Um die Bestimmung für die beiden aus einer doppelbrechenden Platte austretenden Schwingungen zu machen, muß man sie durch ein Nicol isolieren. Liegt z. B. eine Platte Kalkspat nach $(10\bar{1}0)$ vor (Fig. 461 a), so würde bei der Benützung lediglich des Polarisators die Schwingung parallel RR (parallel Achse c , also die außerordentliche Lichtbewegung) untersucht werden. Es würde eine Flüssigkeit mit $n = 1,487$ für Na-Licht passen, entsprechend dem Brechungsindex n_e beim Kalkspat. Bei der Stellung Fig. 461 b fände man $n = 1,657$, entsprechend n_o des Kalkspats. Die Differenz $n_o - n_e$ ergibt die Doppelbrechung der Platte.

Bemerkung. Als mittleren Wert der Brechung bei optisch zweiachsigen Kristallen bezeichnet man die Größe $\frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$, bei optisch einachsigen den Wert $\frac{\varepsilon + 2\omega}{3}$.

Anhang. Dispersion der Doppelbrechung (vgl. S. 130).

Die Differenz der Brechungsquotienten, also die Doppelbrechung, ist mit der Lichtsorte veränderlich, wenn auch meist unbedeutend; im allgemeinen nimmt sie mit abnehmender Wellenlänge zu. Beispiel: Kalkspat.

	n_o	n_e	$n_o - n_e$
D-Licht	1,6584	1,4865	0,1719
H-Licht	1,6832	1,4977	0,1855

Der Quotient $v = \frac{(n_o - n_e) D}{(n_o - n_e) H}$ ist hier $= \frac{0,1719}{0,1855}$, also fast gleich 1. Abnorm groß ist er z. B. bei Strontiumdithionat, fast 1,7.

32. Pleochroismus.

Wie die Lichtgeschwindigkeit wechselt bei doppelbrechenden Substanzen auch die Lichtabsorption: 1. mit der Richtung und 2. mit der Schwingungsebene des Lichtes.

Zuweilen lassen sich beim Durchgang des Lichtes durch verschiedene Flächen eines Kristalls solche Absorptionsunterschiede sehr deutlich wahrnehmen. So mögen z. B. beim Durchsehen in der

Richtung der drei Achsen a , b , c , also in drei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen eines rhombischen Körpers, die Farben Blaugrün, Gelb und Blau erscheinen (Fig. 462).



Fig. 462.

Da aus jeder doppelbrechenden Fläche zwei Licht-

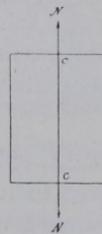


Fig. 463.

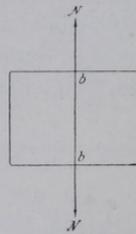


Fig. 464.

strahlen mit senkrecht aufeinanderstehenden Schwingungen kommen, so kann man die Flächenfarben noch weiter nach den beiden Schwingungen zerlegen und letztere gesondert untersuchen.