X. Axendispersionsarten und ihre Bestimmung.

Von

E. von Fedorow in Petrowskoje-Razumowskoje bei Moskau.

(Mit 6 Textfiguren.)

Bekanntlich giebt uns die Axendispersion ein sehr einfaches Mittel an die Hand, Syngoniearten des digonalen Systems zu unterscheiden. Der Grund davon liegt in der complexialen Symmetrie, welcher auch die Dispersion untergeordnet ist.

Ist eine complexiale Symmetrieebene vorhanden und liegen die optischen Axen in derselben, so ist dadurch eine besondere Dispersion bedingt, welche wir als eine gerade bezeichnen wollen; sonst kommt die schiefe Dispersion zu Stande.

Ausserdem sind unter optischen Axenpaaren gleiche und ungleiche zu unterscheiden.

In dieser Ausdrucksweise wären die Syngoniearten folgendermassen direct auf optischem Wege unterscheidbar:

rhombische Syngonie wird durch gerade Axendispersion und gleiche Axen,

monokline Syngonie durch schiefe Dispersion und gleiche Axen oder durch gerade Dispersion und ungleiche Axen,

trikline Syngonie durch schiefe Dispersion und ungleiche Axen bestimmt.

Wenden wir uns zur näheren experimentellen Untersuchung der Dispersionsarten unter der Annahme, dass dazu die Universalmethode angewandt wird.

Es sei ein sonst beliebiger Krystalschnitt gegeben, jedoch so beschaffen, dass mittelst des Universaltschens die Axe n_m mit der immobilten Axe I zur Deckung gebracht werden kann.

Bei der Umdrehung um diese Axe kommen die optischen Axen A_1 und A_2 durch die verticale Lage (d. h. ihre Pole durch den Schnittpunkt des Ocularkreuzes).

Zuerst stellen wir eine dieser Axen A_1 in diese Lage ein. Bei der

Drehung der Nicols wird sich auch die schwarze Hyperbel drehen, und es kann ein kleines centrales Stück derselben für eine gerade Strecke angenommen werden. Diese Strecke dreht sich zusammen mit den Nicols und scheinbar in demselben Sinne, aber mit zweimal grösserer Winkelgeschwindigkeit. Also bei

der Stellung der Nicols um	0°	45°	90°	135°	180°
nimmt die schwarze Strecke die Lage	0°	90°	0°	90°	0°
		resp. 180°		resp. 180°	an.

Aufmerksames Beobachten zeigt uns, dass die Erscheinung nicht so einfach ist und sich keineswegs auf ein blosses Drehen der schwarzen Strecke reducirt. Mit dem Drehen tritt bald ein Erscheinen, bald ein Verschwinden blauer und brauner Säume ein, welche von beiden Seiten an dieselbe sich anschliessen. In einigen Krystallen zeigt sich diese Erscheinung sehr stark, in anderen im Gegentheil sehr schwach bis zu kaum merkbaren Spuren. In allen Fällen sind aber die extremen Lagen der Strecke die zu einander senkrechten.

Die Erscheinung lässt sich sehr einfach theoretisch beleuchten.

Der allgemeinen Theorie zufolge besitzen wir im Krystalle für jede Strahlungsart ein Ellipsoid, und in jedem Ellipsoid im Allgemeinen zwei Kreisschnitte und die zu ihnen senkrechten optischen Axen. Da es aber eine unendliche Anzahl verschiedener Strahlungsarten giebt, so ist jedem Krystalle eine unendliche Anzahl von Ellipsoiden eigen, für jede Wellenlänge eine besondere, und dabei spielen die sichtbaren Lichtstrahlen eine fast verschwindende Rolle im Verhältniss zu den übrigen Arten von Strahlenenergie.

Speciell für Krystalle des digonalen Systems sind die Lagen der optischen Axen verschieden; also lässt sich die Lage jeder dieser Axen durch eine sphärische Curve repräsentiren. Die Strahlen des Lichtes werden in dieser Curve durch einen sehr kleinen Theil repräsentirt, und, wie ein kleiner Theil aller Curven überhaupt, kann derselbe als eine gerade Strecke aufgefasst werden (Gerade auf der Sphäre entspricht natürlich dem Bogen eines Grosskreises).

Fig. 4.

Es seien (Fig. 4) a und b die Pole einer bestimmten optischen Axe für rothe resp. violette Lichtstrahlen; dann ist die Strecke ab die Repräsentation der Axendisposition dieser Strahlen: a gehört dem einen und b dem anderen Ellipsoid an. Bei normaler Dispersion gehören den anderen Spectralstrahlen die innerhalb ab liegenden Punkte an.

Da jeder einfachen Strahlenart ein besonderes Ellipsoid mit schwarzen Hyperbeln und hellen Lemniscaten angehört, so erhalten wir für weisses Licht eine Gesamtheit dieser Bildungen, also z. B. eine Schaar schwarzer Hyperbeln von verschiedener Lage, und nun bezeugen die farbigen Säume, dass dieselben nicht der Hyperbel der betreffenden Lichtart zukommen,

sondern einer Hyperbel, welche schwarz für eine bestimmte einfache Farbe ist und von sämmtlichen anderen Lichtarten etwas beleuchtet wird.

Stellen wir für eine Farbe die Hyperbel in die Lage AB ein, so decken sich mit derselben auch sämmtliche anderen Hyperbeln, und es entsteht eine schwarze Strecke ohne farbige Säume. Stellen wir die Hyperbeln in dazu senkrechte Lage ein, so werden die farbigen Säume am schärfsten ausgesprochen sein. Natürlich nimmt der rothbraune Saum die Lage R und der blaue Saum die Lage V ein.

In vielen Fällen nimmt man diese Erscheinung mit solcher Schärfe wahr, dass darauf ein messendes Verfahren begründet werden kann, und zwar ist es sehr leicht, den Winkel zu bestimmen, welchen die Trace der Axenebene¹⁾ mit der Geraden AB bildet. Dadurch erhalten wir für den betreffenden Krystall eine neue optische Charakteristik, welche zahlenmässig zum Ausdrucke kommt.

Die Anschaulichkeit der Erscheinung wird durch die Anwendung paralleler Nicols noch gesteigert. Man beobachtet dann nämlich zwei bunte Flecken, welche sich bei der Drehung der Nicols um die optische Axe drehen. Nur in einer einzigen Lage wird dieses Fleckenpaar symmetrisch, und diese Lage ist gerade diejenige, bei welcher die schwarze (jetzt weisse) Strecke die Gerade AB ist. Sonst zeigen sich die Flecken sehr unregelmässig und völlig unsymmetrisch; z. B. ein Fleck erscheint dunkelgrau, während der andere sehr helle Farben in der Anordnung von weiss, gelb, orange, dunkelbraun, dunkelviolet u. s. f. aufweist. In den meisten Fällen ist aber dieses Verfahren dadurch erschwert, dass nicht die beiden Flecken zugleich sichtbar sind, und dann ist die Drehung des Universaltschchens nothwendig, um die Erscheinung vollständig zu übersehen. Ueberhaupt sind für diese Beobachtungen stärkere Schlitze nothwendig, was die Anwendung derselben einschränkt.

Die Ungleichheit der optischen Axen kommt ebenfalls sehr scharf zum Ausdrucke. In den meisten mir vorgekommenen Fällen constatirt man deutlichen Unterschied in Bezug auf die Dispersionsgrösse. Manchmal (z. B. bei Albit, Chalkanthit) ist dieser Unterschied sehr stark.

Es wäre wünschenswerth, auch die Grösse messend zu verfolgen. Die genaue Messung würde aber so schwierig sein, dass dieselbe nur ausnahmsweise ausgeführt werden könnte.

Doch habe ich einen kleinen Versuch am Chalkanthit und zwar an der Axe mit starker Dispersion angestellt.

Mein Ideengang war der folgende.

1) Es ist leicht begreiflich, dass auch die Axenebene keine constante für sämmtliche Strahlen ist; aber deren Dispersionswinkel ist eine Grösse von anderer Ordnung als der Winkel, von welchem die Rede ist.

Die zur optischen Axe nächsten isochromatischen Curven können annäherungsweise als Kreise angenommen werden. Dies ersieht man aus deren Formel

$$\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 = k,$$

wo α_1 und α_2 die von Punkten dieser Curven mit den Axenpolen gebildeten Winkel bedeuten. Ist einer dieser Winkel, z. B. α_1 , sehr klein, so kann α_2 als fast constant angenommen werden; dann wäre aber auch der Winkel α_1 als fast genau constant anzunehmen, was aber gerade den sphärischen Kreis bedeuten würde.

Dies wäre aber ausschliesslich für homogenes Licht annehmbar. Für weisses Licht entsteht aber die Axendispersion, und die isochromatischen kleinen Ringe deformiren sich, indem in der Richtung *AB* eine Verlängerung stattfindet. Wir erhalten also einen Begriff von der Dispersionsgrösse, wenn wir in dem ersten Ringe (bei parallelen Nicols) die beiden Durchmesser für die sensible Violettfarbe 2. Ordnung direct mittelst des Universaltischchens messen würden. Auf diese Weise erhielt ich für Chalkanthit: für die Längsrichtung $42\frac{1}{2}$ und für den kürzeren Durchmesser $40\frac{1}{2}$ Grad; die Differenz ist also ca. zwei Grad. Jedenfalls, wie gesagt, bezieht diese Messung sich auf eine sehr starke Dispersion.

Wenn auch die Messungen dieser Art nur problematisch sind, so ist die Messung des Dispersionswinkels ganz gut ausführbar, und die Beispiele solcher werden weiter unten angeführt. Diese Winkel sind in den Grenzen $\pm 90^\circ$ enthalten. Ist dieser Winkel gleich 0° , so haben wir gerade Dispersion vor uns; sonst ist dieselbe eine schiefe. Eine einzige Messung dieser Art ist hinreichend, die Annahme der rhombischen resp. der triklinen Syngonie auszuschliessen.

Zur Entscheidung zwischen dem rhombischen und monoklinen Krystalle einerseits, zwischen monoklinen und triklinen andererseits ist aber noch eine zweite Messung nöthig, und zwar muss bestimmt werden, ob die andere Axe eine gleiche oder ungleiche ist.

Man ersieht daraus, dass es für die Syngoniebestimmung nothwendig ist, die beiden optischen Axen zu beobachten; aber es ist keineswegs nothwendig, die beiden Axen in einem und demselben Präparate zur Beobachtung zu bringen (was bei weitem nicht in allen Fällen ausführbar ist).

Etwas schwerer ist es im Falle der geraden Dispersion zwischen rhombischer und monokliner Syngonie zu entscheiden, da es sich hier ausschliesslich um die Grösse der Dispersion handelt, und es kann vorkommen, dass diese Grösse nicht scharf genug für beide Axen differirt, um mit blossem Auge den Unterschied ausser Zweifel zu stellen. In dem Falle der schiefen Dispersion kommt noch der Dispersionswinkel zu Hülfe.

Die optische Charakteristik gewinnt besonders an Bedeutung in dem

Falle der Ungleichheit der beiden Axen, welche in diesem Falle individuell unterschieden werden können und z. B. als A_1, A_2 besonders zu bezeichnen sind. Es versteht sich von selbst, wie sehr diese individuelle Verschiedenheit die Bestimmung der Orientirung der Schliffebene erleichtert.

Aus allem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass die bis jetzt allein übliche optische Charakteristik der Krystalle durch die Formel $\varrho > \nu$ resp. $\varrho < \nu$ durchaus nicht genügend ist. Nun entsteht die Aufgabe, dieselbe durch eine zweckmässigere zu ersetzen.

Auf graphischem Wege lässt sich natürlich ganz leicht eine vollständige optische Charakteristik angeben. Dieselbe ist beispielsweise in Fig. 2 in einer von vornherein begreiflichen Weise angezeigt. Sie besteht in der Angabe der Axenebene $A_1 A_2$ mit zwei optischen Axen A und B für mittlere Farben; α_1 und α_2 sind die beobachteten Dispersionswinkel, γ der Axenwinkel für mittlere Farben; die Buchstaben ϱ und ν zeigen den Sinn der Dispersion.

Fig. 2.

Ich will aber zeigen, dass diese Charakteristik durch drei Ziffern angegeben werden kann, falls wir dem Dispersionswinkel nicht die Grenzen $\pm 90^\circ$, sondern die Grenzen $\pm 180^\circ$ zuertheilen.

Denken wir uns die dreischenkellige gebrochene Linie, welche von ϱ_1 ausgeht und durch ϱ_2 beschlossen wird. Dann brauchen wir nicht mehr die Bezeichnung ϱ und ν , und drei Winkel $\alpha_1, \gamma, \alpha_2$, deren Bedeutung an dem rechten Theile derselbe Figur angezeigt ist, bilden schon die gesuchte vollständige Charakteristik. Der Einfachheit halber empfiehlt es sich, den Winkel 180° durch ein kürzeres Zeichen zu ersetzen, z. B. durch π .

Für rhombische Krystalle würden wir dann folgende Specialfälle unterscheiden können: $0\gamma 0$ und $\pi\gamma\pi$. Der Anschaulichkeit wegen sind diese Fälle in der Fig. 3 bildlich dargestellt. Dabei wird γ auf übliche Weise $< 90^\circ$ vorausgesetzt. Man sieht, dass diese beiden Bezeichnungen genau dasselbe ausdrücken, wie die üblichen $\varrho > \nu$ und $\varrho < \nu$. Das entspricht aber ausschliesslich den rhombischen Krystallen und dient für sie als ein charakteristisches Merkmal.

Fig. 3.

Für monokline Krystalle haben wir entweder die Gleichheit der beiden Axen und zugleich den Dispersionswinkel, und dann erhält die Charakteristik die Form $\alpha\gamma\alpha$, oder die gerade Dispersion und ungleiche Axen, und dann empfiehlt es sich, von einer bestimmten Axe, z. B. von derjenigen der stärkeren Dispersion auszugehen; unter dieser Annahme können wir folgende Fälle unterscheiden: $> 0\gamma 0$; $> 0\gamma\pi$; $> \pi\gamma 0$ und $> \pi\gamma\pi$; dabei bedeutet $>$ die stärkere Dispersion und γ , wie gewöhnlich, Winkel unter 90° . Alle diese Fälle entsprechen der »dispersion inclinée« von Des Cloizeaux. Aber der Fall $\alpha\gamma\alpha$ schliesst in sich sowohl »dispersion

horizontale« als auch »dispersion croisée« desselben Verfs. Der Unterschied wird durch die Bezeichnungen $\alpha\gamma\bar{a}$ resp. $\alpha\gamma\alpha$ ausgedrückt.

Für trikliner Krystalle erhalten wie die allgemeinste Dispersionscharakteristik $> \alpha_1\gamma\alpha_2$, wo α_1 und α_2 verschieden sind, ebenso wie die Axen selbst.

Leider ist es nicht in allen Fällen möglich, die angedeutete vollständige Dispersionscharakteristik anzugeben, und zwar ist die Bestimmung des Dispersionswinkels unausführbar, wenn die Dispersionsgrösse sehr unbedeutend ist. Meiner Erfahrung gemäss ist aber stets möglich, diesen Winkel mit dem Genauigkeitsgrade von $22\frac{1}{2}^\circ$ resp. $\pi/8$ zu bestimmen, d. h. zu constatiren, in welcher Lage der Hyperbelast freier von jeden Spuren der Dispersion ist, in den senkrechten Hauptlagen oder in Diagonalstellungen.

Ich glaube jede Schwierigkeit dadurch zu beseitigen, dass die Angabe der Winkel einfach durch Pfeile ersetzt wird, welche horizontal resp. vertical resp. diagonal gestellt werden können. Die Angabe des Pfeiles wird alsdann auf zu schwache Dispersion resp. auf Unvollkommenheit von deren Bestimmung hinweisen.

Nun erlaube ich mir, die besprochenen Verhältnisse an einigen wenigen Beispielen zu demonstrieren.

4. Chalkanthit. Schliff nach $m \left\{ \begin{matrix} (110) \text{ alter} \\ (0110) \text{ neuer} \end{matrix} \right. \text{Aufstellung} \}$.

Bei solcher Orientirung des Schliffes constatirt man, dass n_m von der Schliffnormale um 50° , die Axe A_1 um 40° abweicht, und dabei noch 40° von dem Hauptbogen durch n_m und die Schliffnormale; die Axe A_2 ist etwa um $64\frac{1}{2}^\circ$ geneigt.

Man sieht sehr starken Unterschied zwischen beiden Axen; während die Dispersion von A_1 ungewöhnlich stark ist, ist dieselbe für A_2 sehr schwach.

Fig. 4.

Die Axen sind also ungleich und beide Dispersionen sind schief. Somit wird die trikliner Syngonie constatirt. Die Dispersionscharakteristik ist folgende:

— $444^\circ 58\frac{1}{2}' \searrow$. Um jedem Zweifel vorzubeugen, gebe ich dieselbe Charakteristik graphisch an (Fig. 4). Ich hoffe, dass diese Charakteristik anschaulich und genau genug die Dispersionsverhältnisse wiedergibt. Man sieht u. a., dass die Axenebene für verschiedene Farben eine Drehung erleidet; natürlich ist der Drehungswinkel sehr klein und lässt sich nicht direct bestimmen. Da die spitze Bisectrix n_p ist, so ist der Krystall optisch negativ.

2. Albit. Schliff nach $\{(100) \text{ alter Aufstellung}\}^1$.

Dieses ist das zweite ausgezeichnete Beispiel, welches starke Ungleich-

1) Axenebene zur Schliffebene 87° geneigt.

heit beider optischen Axen demonstriert. Diejenige, welche zur Schlißfläche ca. $46\frac{1}{2}^{\circ}$ geneigt ist, ist diejenige mit sehr starker Dispersion und wurde früher von mir als A_1 bezeichnet. Die ca. $54\frac{1}{2}^{\circ}$ geneigte Axe A_2 zeigt kaum merkliche Dispersion. Für dieselbe ist das messende Verfahren nicht mehr anwendbar und das schematische Zeichen zur Hülfe herbeigezogen worden. Dispersionscharakteristik ist $+80^{\circ}, 77^{\circ} \leftarrow$. Das optische Zeichen, wie bekannt, ist positiv.

Fig. 5.

3. Disthen. Schliff nach (100)¹⁾.
Die beiden Axen besitzen sehr schwache Dispersion, eine davon nur Spuren einer solchen (diese Axe A_2 ist ca. 44° geneigt), aber auch für die erste (Axe A_1 , welche ca. 39° geneigt ist) ist das messende Verfahren nicht mehr anwendbar. Dispersionscharakteristik $\rightarrow 83^{\circ} \searrow$. Das optische Zeichen ist bekannterweise negativ.

4. Mikroklin. Schliff nach (001)²⁾.

Auch in diesem Falle zeigen die beiden Axen sehr kleine Dispersion. Doch ist die Dispersion für die ca. 29° geneigte Axe etwas deutlicher, die andere Axe A_2 ist ca. 58° geneigt (Fig. 6). Dispersionscharakteristik ist $\rightarrow 81^{\circ} \nwarrow$. Das optische Zeichen ist bekanntlich negativ.

Fig. 6.

5. Sphen. Schliff nach (001).

Dispersion für beide Axen ist sehr gross, aber die beiden sehr verschieden; stärkere Dispersion für die Axe A_1 , welche um 1° geneigt ist, während die andere um 23° geneigt ist. Dispersionscharakteristik ist $+0^{\circ}, 24^{\circ}, 0^{\circ}$. Das optische Zeichen ist positiv.

6. Muscovit. Schliff nach (1000)³⁾.

Dispersion ziemlich stark und dabei etwas schief. Die beiden Axen sind gleich. Dispersionscharakteristik $-40^{\circ}, 42^{\circ}, 70^{\circ}$. Das optische Zeichen ist bekanntlich negativ.

7. Bronzit und Olivin. Da für beide der Axenwinkel der Grösse 90° sehr nahe steht, so sind dieselben fast genau als neutrale zu bezeichnen (weder positiv noch negativ). Dann bleibt als die einzige Charakteristik, dass die Dispersion sehr schwach ist.

Als Beispiele der Bestimmung der Dispersionscharakteristik mittelst zweier Schlitte erwähne ich folgende:

1) Axenebene zur Schlißebene 88° geneigt.

2) Axenebene zur Schlißebene um 74° geneigt. Der Vergleich mit dem Diagramm von M. Lévy (Ét. sur la déterm. des Feldspaths pl. XVII) zeigt, dass das Präparat unrichtig etikettiert sein muss. Die Schlißebene muss nach (100) orientiert sein. Die Axe mit stärkerer Dispersion muss die Axe A von M. Lévy sein. Gerade in der letzten Zeit bin ich an Mikroklinen vom weissen Meere zu Resultaten gelangt, welche mit denen von Des Cloizeaux fast genau übereinstimmen.

3) Optische Axenebene zur Schlißebene ca. $88\frac{1}{2}^{\circ}$ geneigt.

8. Anorthit. Zu meiner Verfügung standen Schiffe nach $p(110)$ und $M(1\bar{1}0)$ (resp. 001 und 010 älterer Aufstellung). Es erwies sich die merkwürdige Thatsache, dass für beide Axen die Dispersion stark und dabei fast gleich stark ist, und ebenso erwiesen sich die Dispersionswinkel als gleich. Nur in den Grenzen der Subjectivität kann die Axe A_1 (welche sich in der Symmetrieebene des Albitzwillings befindet) als von stärkerer Dispersion angenommen werden, und dann erhalten wir als die Charakteristik — $163^\circ, 76^\circ, 162^\circ$. Die Differenz 162° und 163° liegt aber in den Fehlergrenzen.

Dieses Beispiel dient zum Beweise, dass mittelst der Dispersion allein nicht immer die Sygonieart endgültig bestimmt werden kann. Wären nicht unfehlbare Gründe dagegen gewesen, so hätte ich nach den ausschliesslich optischen Messungen den Anorthit irrthümlich für ein monoklines Mineral angenommen.

Merkwürdigerweise gilt dasselbe für Oligoklas; d. h. auch für das letztere Mineral sind die optischen Axen gleich, ebenso wie deren Dispersionswinkel, welcher etwa 30° — 32° beträgt. Auf Grund dieser Eigenschaft würde auch dieses Mineral irrthümlich für monoklin angenommen werden können. Was aber die sonstigen Eigenschaften des Oligoklases anbetrifft, so steht derselbe den monoklinen Mineralien sehr nahe, was für Anorthit keineswegs der Fall ist.

Wenn man noch in Betracht zieht, dass auch für Labradorit die beiden Axen starke Dispersion zeigen und dabei fast genau gleich sind, so ist zu erwarten, dass sich überhaupt sämtliche Glieder der Plagioklasreihe durch die Gleichheit der beiden Axen auszeichnen und nur der Albit und die ihm nächststehenden Glieder durch starke Ungleichheit der Axen unterschieden sind.

Anmerkung: Zum Zwecke vollständiger Eindeutigkeit in der Bezeichnung beachte man folgende Regeln:

Der erste Dispersionswinkel wird stets positiv gedacht, der zweite positiv resp. negativ, je nachdem der Richtungssinn des Winkels in Bezug auf die Axenebene der gleiche oder der entgegengesetzte wird. Bei der Bezeichnung durch Pfeile giebt die Zeile die Richtung der Axenebene an, und zwar positiv im Uhrzeigersinne.

Man begreift leicht, dass die vollständige Bezeichnung dadurch verkürzt werden kann, dass in dem Falle der Ungleichheit der Axen stets die erste von grösserer Dispersion gedacht und im Falle der nothwendigen Gleichheit der Dispersionswinkel die zweite Zahl einfach weggelassen wird. Auf diese Weise erhält man für rhombische Krystalle das Schema $\alpha\gamma$, für monokline $O\gamma O$, $O\gamma\pi$. . . resp. $\alpha\gamma\alpha$, $\alpha\gamma\bar{\alpha}$, und für triklone $\alpha_1\gamma\alpha_2$.