Das Leitungsvermögen der Metalle nimmt mit steigender Temperatur ab; es müsste mithin auch die Lichtgeschwindigkeit in denselben bei steigender Temperatur abnehmen, also der Brechungsexponent wachsen. Es hat nun allerdings Sissingh eine Aenderung der Reflectionsconstanten des Eisens mit der Temperatur nicht nachweisen können¹⁾; die Versuche dürften indess nicht entscheidend sein; es wären direct die Brechungsexponenten durch prismatische Ablenkung bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen. Die experimentellen Schwierigkeiten einer solchen Untersuchung halte ich nicht für unüberwindlich. Es ist sodann bekannt, dass der galvanische Widerstand der Metalle in verschiedener Richtung sich ändert, wenn dieselben in ein magnetisches Feld gebracht werden. Es müssten sich demnach auch die Brechungsexponenten der Metalle durch Magnetisiren ändern. Sollte diese Aenderung zu gering sein, um gemessen werden zu können, so würde doch voraussichtlich unter geeigneten Bedingungen der Aeolotropismus, welchen die Metalle durch Magnetisiren in Bezug auf ihr Leitungsvermögen erfahren, auf optischem Wege durch auftretende Doppelbrechung des Lichtes nachweisbar sein.

V. *Beobachtungen über die Reflexion des Lichtes am Antimonglanz; von P. Drude.*

(Hierzu Taf. IV Fig. 1–7.)

Die Beobachtungen über die Reflexion des Lichtes an durchsichtigen sowohl wie undurchsichtigen Medien sind zur Prüfung einer Theorie deshalb meist schlecht zu verwenden, weil gewöhnlich das zur Herstellung der spiegelnden Fläche angewandte Polirmittel eine Oberflächenschicht erzeugt, die man einerseits schwer entfernen, andererseits aber auch nicht mit Sicherheit in der Theorie berücksichtigen kann. Die Kry-

1) Sissingh, Mesures de la polarisation elliptique de la lumière. Arch. Néerlandaises. tome XX.

stalle mit natürlichen guten Spaltungsrichtungen bieten die Möglichkeit, diese künstliche Oberflächenschicht zu vermeiden, wenn damit auch noch keine Garantie gegeben ist, dass überhaupt keine Oberflächenschicht mehr besteht, vielmehr zeigen die nachfolgenden Beobachtungen, dass sich trotzdem mehr oder weniger schnell eine solche bildet. Immerhin erscheint es als ein wesentlicher Vortheil, die Beobachtungen an natürlichen Spaltflächen anzustellen.

Durch die Freigebigkeit meines hochverehrten Lehrers, Hrn. Prof. Voigt, wurde mir ein sehr schönes Exemplar Antimonglanz zur Verfügung gestellt, welcher bekanntlich eine ausgezeichnete Spaltbarkeit besitzt und sich in jeder Beziehung sehr gut für die Beobachtung eignet, und ich möchte daher an dieser Stelle Hrn. Prof. Voigt für die mir gewährte Unterstützung und Anregung meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Beobachtungsmethode.

Der Apparat war ein Spectrometer, in dessen Collimatorrohr und Fernrohr drehbare Nicols eingesetzt waren; ein Nonius gestattete, die Drehung der Nicol'schen Prismen bis auf eine Minute abzulesen. Sie waren sehr gut planparallel geschliffen, da bei Drehung das Spaltbild sich kaum merklich verschob. Die Nicols waren, vom Beobachter aus gerechnet, hinter dem Objectiv des Fernrohres, resp. vor der Collimatorlinse angebracht. Hinter dem analysirenden Nicol befand sich ein Babinet'scher Compensator, welcher aus zwei optisch identischen keilförmigen Quarzplatten mit gegeneinander gerichteten Keilwinkeln und aus einer anders orientirten planparallelen Quarzplatte bestand, sodass bei Beobachtungen mit dem Fernrohr eine grosse Oeffnung des Babinet zu benutzen war. — Der Nonius des Theilkreises des Spectrometers gab 20" an. — Der Spalt wurde durch eine kreisrunde Oeffnung von etwa 1 mm Durchmesser ersetzt und mit einer Natronperle im Sauerstoffgebläse erleuchtet.¹⁾ — Das Tischchen des Spectrometers wurde durch ein Liebisch'sches Total-

1) cf. R. Hennig, Gött. Nachr. Nr. 13. p. 365. 1887.

reflectometer¹⁾ ersetzt, dessen totalreflectirendes Prisma abgenommen war. Der am Instrument angebrachte Kreis gestattete, den Spiegel um seine Normale zu drehen, die Drehung wurde an zwei Nonien bis auf 1' abgelesen. In der angegebenen²⁾ Weise wurde der Spiegel senkrecht zur Drehungsaxe jenes Kreises und dann letztere senkrecht zur Drehungsaxe des Spectrometers gestellt.

Die Auswerthung der Nicols geschah in der üblichen Weise mit Hülfe eines Glasprismas von bekanntem Polarisationswinkel. Da an den mit den Nicols verbundenen Theilkreisen nur je ein Nonius angebracht war, so wurden, um eine Excentricität derselben zu eliminiren, die Normalstellungen der Nicols in zwei um π voneinander verschiedenen Lagen ermittelt. Es fand sich für die Stellungen, in denen die Polarisationsebene des Polarisators parallel, die des Analysators senkrecht zur Einfallsebene lag:

$$\begin{array}{lll} 132^\circ 45' \pm 5', & 312^\circ 42' \pm 5', & \text{Mittel } 132^\circ 44', \\ 48^\circ 21' \pm 5', & 228^\circ 21' \pm 3', & \text{,, } 48^\circ 21'. \end{array}$$

Die Orientirung des Babinet'schen Compensators geschah in folgender Weise:

Es wurde der Analysator, resp. Polarisator parallel, resp. senkrecht zur Einfallsebene gestellt; dann muss der richtig orientirte Compensator stets Dunkelheit zeigen. Durch kleine Drehungen desselben um die Fernrohraxe wurde auf grösste Dunkelheit eingestellt. Da aber diese Drehungen nur ruckartig mit der Hand ausgeführt werden konnten, so zeigte sich bei den Beobachtungen, dass doch noch ein kleiner Orientirungsfehler vorhanden war. Derselbe betrug, wie eine später zu diesem Zwecke angestellte Messung ergab, nur $\frac{1}{3}^\circ$, trotzdem würde er in der Nähe des Haupteinfallswinkels einen stark falschen Werth für die relative Verzögerung des senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Lichtes zu dem in derselben polarisirten ergeben. Nach Hrn. Hennig³⁾ ist die Correction δA für diese relative Verzögerung A bei einem Orientirungsfehler ϵ :

1) cf. Zeitschr. f. Instrumentenkunde. 1885. p. 13.

2) l. c. p. 14.

3) Hennig, l. c. p. 375.

Die Tabelle zeigt, dass man in der That auch bei ziemlich beträchtlichen Orientirungsfehlern dieselben Mittelwerthe erhält; die Abweichung von ψ im ersten Falle hat nichts zu bedeuten, da nur wenige Messungen gemacht sind. Die Verzögerung ist überhaupt hier zuverlässiger als ψ . Die in der letzten Columnne angegebenen Winkel gestatten, die Orientirungsfehler in jedem Falle zu berechnen.

Mit alleiniger Berücksichtigung von δA findet man für die drei Fälle:

$$\varepsilon = 0,33^\circ; \quad 1,29^\circ; \quad -1,39^\circ;$$

wird $\delta\psi$ allein berücksichtigt, so ergibt sich:

$$\varepsilon = 0,66^\circ; \quad 1,34^\circ; \quad -1,34^\circ.$$

Nach den oben angeführten Hennig'schen Formeln ist, da hier $A = 69^\circ 20'$, $\rho = 0,150$ ist:

$$\begin{array}{lll} \varepsilon = 0,33^\circ; & 1,29^\circ; & -1,39^\circ; \\ \text{resp. } \varepsilon = 0,46^\circ; & 1,82^\circ; & -1,38^\circ; \end{array}$$

je nachdem man nach δA oder $\delta\psi$ berechnet. In der That stimmen im ersten Falle die beobachteten Orientirungsfehler völlig mit den berechneten, im letzteren nicht ganz, was sich aus der relativ ungenaueren Bestimmung von ψ erklärt.

Auswerthung des Compensators. Das Fernrohr wurde direct auf die Oeffnung im Collimatorrohr gerichtet und nun diejenigen Stellen des Compensators aufgesucht, für welche bei gekreuzten Nicols mit dem Azimuth 45° gegen die Einfallsebene das Bild der Oeffnung verschwand. Dabei wurden alle Stellungen der Nicols combinirt, welche obiger Bedingung genügten, also im ganzen acht. Sie mögen im Folgenden stets mit I, II, ... VIII bezeichnet werden und bedeuten, dass die Theilkreise des Polarisators (P) und Analysators (A) auf folgende Indices eintreten:

I	$357^\circ 43' P,$	$3^\circ 21' A;$	II	$357^\circ 43' P,$	$183^\circ 21' A;$
III	$177^\circ 43' P,$	$183^\circ 21' A;$	IV	$177^\circ 43' P,$	$3^\circ 21' A;$
V	$267^\circ 43' P,$	$93^\circ 21' A;$	VI	$267^\circ 43' P,$	$273^\circ 21' A;$
VII	$87^\circ 43' P,$	$273^\circ 21' A;$	VIII	$87^\circ 43' P,$	$93^\circ 21' A.$

Es bedeuten V—VIII die zu I—IV symmetrischen Lagen in Bezug auf die Einfallsebene. Die Stellungen des Compensators, in denen Dunkelheit eintrat, für die also die Ver-

zögerung $2h\pi$ oder $(2h + 1)\pi$ beträgt, waren angegeben in Umdrehungen der Compensatorschraube.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
18,212	18,223	18,229	18,191	18,214	18,201	18,225	18,211	Mittel 18,216
36,075	36,153	36,147	36,091	36,141	36,157	36,121	36,126	„ 36,126
53,880	53,959	53,943	53,884	53,953	53,958	53,920	53,916	„ 53,927.

Jede angegebene Zahl ist das Mittel aus mindestens fünf Beobachtungen, der wahrscheinliche Fehler beträgt meist nur einige Einheiten der letzten Decimale. Um so auffallender ist es, dass die in den acht Combinationen erhaltenen Werthe untereinander nicht sehr gut übereinstimmen, besonders bei der mittelsten Columnne, welche dem Falle entspricht, dass die beiden optisch verschiedenen Quarzschichten des Compensators gleiche Dicke besitzen. Dieser Fall lässt sich am genauesten bestimmen, weil hier völlige Dunkelheit eintritt, während bei den beiden anderen Stellungen wegen der doch noch mangelnden völligen Homogenität der Beleuchtung ein bläulicher Schein übrig blieb.¹⁾ Die Abweichungen vom Mittel verlaufen in der zweiten und dritten Columnne völlig parallel und deuten darauf hin, dass vielleicht die Schiefe der Endflächen des Nicols hier von Einfluss sein kann. — Die Zahlen der mittelsten Columnne sind wiederholt controlirt und stets mit demselben Resultate.

Bei einigermaßen grossen Verzögerungen ist diese Ungewissheit über die Lage des Nullpunktes unbedenklich, und deshalb sind bei den meisten Beobachtungen die unter der Tabelle angeführten Mittelwerthe benutzt; da aber auch bei kleinen Einfallswinkeln beobachtet wurde, für welche die Verzögerung klein war, und da gerade bei ihnen der Analysator ganz anders stand, als vorhin bei Bestimmung des Nullpunktes,

1) Aus diesem Grunde wurden die späteren Messungen stets möglichst in der Nähe des Nullpunktes des Compensators angestellt. Da bei Ueberführung des Azimuthes des Analysators in die zur Einfallsebene symmetrische Lage die Verzögerung um π vermindert wird, so ist es möglich, die Schraube des Compensators vom Nullpunkt aus höchstens um so viel zu drehen, als der Verzögerung $\frac{1}{2}\pi$ entspricht. Wenn nicht andere Gründe vorlagen, ist daher der Compensator in dem Intervalle von 31,6 bis 40,6 benutzt.

so wurde für diese derselbe noch auf eine andere Weise ermittelt.

Für den kleinsten Einfallswinkel, mit dem der Apparat zu beobachten gestattete (derselbe betrug 25°), wurde an Stelle des Krystalls eine Glasplatte gesetzt, und Analysator und Compensator auf Dunkelheit eingestellt. Dann standen die Nicols fast genau (nur der Analysator um 4° verschieden) wie bei der Reflexion vom Krystall, der Compensator stand auf 36,17. Nach Hrn. Wernicke¹⁾ ist für Glas:

$$\operatorname{tg} \Delta = k \operatorname{tg} (\alpha + \alpha'), \quad k = 0,0165,$$

wo α der Einfallswinkel und α' der gebrochene Winkel bedeutet. Für $\alpha = 25^\circ$ berechnet sich $\Delta = 0,63^\circ = 0,03$ Umdrehungen der Compensatorschraube.

Demgemäss wurde bei kleinen Einfallswinkeln 36,14 als Nullpunkt angenommen. Für grössere Einfallswinkel (von 65° an) kommt es auf eine grosse Genauigkeit des Nullpunktes einmal aus dem obenangeführten Grunde nicht an, andererseits aber auch schon deshalb nicht, weil der wahrscheinliche Fehler in der Bestimmung von Δ grösser wird und einige Einheiten der zweiten Decimale eventuell erreicht. Dort wurde also 36,12 zum Nullpunkt gewählt.

Eine andere Unregelmässigkeit zeigt sich darin, dass gleichen Umdrehungen der Schraube nicht genau gleiche Verzögerungen entsprechen, denn die Differenz zwischen den Mittelwerthen der ersten und zweiten Columnne beträgt 17,910, dagegen die der zweiten und dritten 17,801. Beides muss der Verzögerung 2π entsprechen. Wenn man den Ansatz machen wollte²⁾, dass die Intervalle gleich gross sein müssten, und nun nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichen Werthe berechnen wollte, so würde 36,09 als Nullpunkt resultiren, eine Abweichung, die entschieden nicht in den Bereich der Beobachtungsfehler fällt, zumal da der Nullpunkt genauer ermittelt ist, als die beiden Werthe, welche

1) W. Wernicke, Wied. Ann. 30. p. 457. 1887.

2) cf. Hennig, l. c. p. 371. Die Messungen sind dort mit demselben Instrument vorgenommen, wie hier, inzwischen ist dasselbe aber einmal auseinandergenommen worden. Auch Hr. Hennig findet eine Abweichung in demselben Sinne, nur nicht von derselben Grösse.

der Verzögerung $\pm 2\pi$ entsprechen. Es ist deshalb der direct beobachtete Werth als Nullpunkt beibehalten und je nach der Seite vom Nullpunkt aus, mit der gemessen wurde, ist 17,91 oder 17,80 als der Verzögerung 2π entsprechend angenommen. — Eine solche Ungleichheit kann ihre Ursache in einer verschiedenen Ganghöhe der Schraube oder in einer Krümmung der Keilflächen haben. Ersteres war hier der Fall, wie eine directe Messung der Schraube mit dem Mikroskop ergab. In dem ersten Intervall war die Ganghöhe derselben proportional 15,039, in dem zweiten zu 15,119. Das Product aus Umdrehungszahl in Ganghöhe ergiebt 269,3, resp. 269,1, also in der That eine gleich grosse Verschiebung in beiden Intervallen.

I. Theil.

Abhängigkeit der relativen Verzögerung Δ und des Amplitudenverhältnisses ρ in den beiden Hauptlagen vom Einfallswinkel.

Beobachtungen.

Das Beobachtungsmaterial war ein sehr schöner Krystall Antimonglanz aus Japan vom Bergwerk Ichinokawa in der Ortschaft Ojoiro-mura bei Saijo, Provinz Iyo auf der Insel Shikoku von ungefähr 7 cm Länge, (parallel der krystallographischen Verticalaxe c) und $1\frac{1}{2}$ cm Dicke und Breite. Es waren nur Flächen der Prismenzone ausgebildet. Etwa $1\frac{1}{2}$ cm von dem einen Ende entfernt zeigte der Krystall einen Knick, dessen c -Axe mit der ursprünglichen im brachydiagonalen Hauptschnitt lag und einen Winkel von $71\frac{1}{2}^\circ$ mit ihr bildete. Es wurden mehrere Stücke von dem nicht geknickten Theile abgesägt und dann parallel dem Brachypinakoid gespalten. Die Beobachtungen sind nur an dieser Spaltfläche gemacht, die beiden Hauptlagen mögen die sein, wo die Basis oder das Makropinakoid in der Einfallsebene liegt, die zugehörigen ρ , ψ und Δ mögen danach mit Indices 1 und 2 bezeichnet werden. — Es glückte, einige sehr gute Spaltungsflächen herzustellen, die das Aussehen eines polirten Metallspiegels hatten. Sie bildeten allerdings

meist nicht genau eine Ebene, sondern bestanden aus mehreren über die ganze Breite des Stückes sich erstreckenden ebenen Flächen, deren gemeinsame Schnittrichtung die Brachy-Axe war. Dies hatte, wenn die miteinander gebildeten Winkel nicht allzu klein waren, sodass sich die reflectirten Oeffnungsbilder überdeckten, nur den Nachtheil, dass die Lichtintensität geringer wurde, bei den beiden hauptsächlich zu den Beobachtungen benutzten Spaltungsflächen war aber das benutzte ebene Stück recht gross, fast 1 qcm. Dieselben zeigten einige Streifen parallel der Brachy- und Vertical-Axe, die aber in grossen Abständen lagen, sodass sie das reflectirte Bild nicht störten. Unter dem Mikroskop zeigten sich die Flächen absolut glatt, sie veränderten ihr gutes Aussehen während der ganzen Beobachtungszeit nicht, d. h. zwei Monate hindurch.

Zu den Beobachtungen wurde zunächst die Spaltfläche senkrecht zur Drehungsaxe des Kreises *T* am Liebischschen Totalreflectometer gestellt und dann zur Orientirung die Lage von *T* aufgesucht, in welcher das Oeffnungsbild von einer Prismenfläche ins Fernrohr reflectirt wurde. Dieses war die erste Hauptlage und wurde so an *T* abgelesen.

Ich hatte erwartet, dass die Spaltflächen mit der Zeit ihre optische Natur nicht verändern würden, und hatte demnach für Einfallswinkel von $25-87^{\circ}$ ψ und Δ mit möglichster Genauigkeit bestimmt. Zu dem Zweck wurden in jeder Stellung I—VIII des Nicols¹⁾ fünf Beobachtungen gemacht, sodass bei demselben Einfallswinkel für die Bestimmung von ψ und Δ 160 Beobachtungen erforderlich waren. Da dies für 18 Einfallswinkel geschah, so nehmen diese Beobachtungen mehrere Wochen in Anspruch. Erst nach diesen bemerkte ich, dass sich namentlich Δ stark mit der Zeit ändert. Deshalb wurde eine neue Spaltfläche hergestellt und möglichst rasch nach ihrer Herstellung und danach täglich an ihr beobachtet, und zwar immer nur in der Stellung I und dort nur dreimal dasselbe, da es hier auf Schnelligkeit ankam.

1) cf. p. 493. Die Lagen des Analysators sind hier natürlich je nach dem Einfallswinkel verschieden.

Dass die so erhaltenen Zahlen nur ein Mittel aus drei Beobachtungen sind, ist hier deshalb wenig bedenklich, weil ein groberer Fehler sich bei der grossen aufeinander folgenden Reihe von Beobachtungen, die für dieselbe Lage nur bei verschiedenen Zeiten angestellt sind, doch durch eine Unstetigkeit bemerkbar machen würde. Die ursprüngliche Beobachtungsreihe ist nun nur dazu benutzt, um aus dem in der Stellung I erhaltenen Werthe auf das Mittel aller acht Combinationen der Nicolstellungen schliessen zu können. Die folgenden Tabellen geben die Resultate der ersten Beobachtungsreihe, statt ψ ist der Index des Theilkreises des Analysators angegeben (Nullpunkt $48^\circ 21'$), der Compensator in Trommeltheilen der Schraube (Nullpunkt 36,14—36,12). Da Δ stark mit der Zeit variirt, so ist die Zeit, die zwischen der Spaltung und Beobachtung verstrichen ist, in Klammern bei den Werthen beigesetzt. Die Einheit der Zeit ist ein Tag. Von den beiden unter I stehenden Reihen bezieht sich die erste auf eine 15 Tage nach der Spaltung gemachte Beobachtung. Sie ist bei dem in der elften Reihe angeführtem Mittel (M_1) aus I, II, III, IV nicht berücksichtigt. φ bedeutet den Einfallswinkel.

Tabelle I.

Analysator; Nullpunkt $48^\circ 21'$.
1. Hauptlage.

φ	25	30	35	40	45	50	55	60	65
I	$89^\circ 22'$	$88^\circ 0'$	$86^\circ 34'$	$85^\circ 32'$	$83^\circ 22'$	$81^\circ 0'$	$77^\circ 56'$	$74^\circ 20'$	$69^\circ 18'$
I	89 12	88 2	86 43	84 48	82 44	80 11	77 39	74 6	69 40
II	269 7	268 12	267 6	265 8	262 52	260 31	257 31	254 3	249 31
III	89 13	88 12	86 35	84 50	82 41	80 15	77 26	74 10	69 33
IV	268 47	267 57	266 54	265 5	262 55	260 45	257 39	253 56	249 34
V	7 8	7 47	9 21	11 3	12 53	15 8	18 32	21 54	26 34
VI	187 2	188 5	189 23	191 0	192 40	195 13	198 21	201 53	107 4
VII	6 43	8 8	9 14	10 45	13 1	15 3	18 14	21 42	26 37
VIII	187 10	188 18	189 24	191 0	192 59	195 30	198 13	201 54	206 31
M_1	89 5	88 6	86 50	84 58	82 48	80 25	77 34	74 4	69 35
M_2	7 1	7 59	9 20	10 57	12 53	15 14	18 20	21 51	26 41
Corr.	18'	18'	16'	23'	30'	31'	24'	23'	13'

(Fortsetzung von Tabelle I.)

φ	70	72	74	76	77	78	79	80	85
I	63°44'	61°20'	58°10'	56° 8'	—	55°44'	—	57°26'	73°26'
I	63 42	60 40	57 59	55 43	55°13'	55 13	56°10'	58 15	73 3
II	243 56	241 5	237 57	235 43	235 34	235 19	236 6	238 33	253 39
III	64 13	60 51	57 47	55 46	55 22	55 28	55 33	58 17	73 49
IV	244 3	240 57	237 58	235 40	235 17	235 9	236 0	238 23	253 1
V	32 33	35 30	38 11	40 12	40 45	40 14	38 41	37 52	22 57
VI	212 18	215 41	218 9	220 26	220 23	220 29	219 6	217 51	203 3
VII	32 3	35 22	38 8	40 11	40 22	40 17	39 12	37 46	23 31
VIII	212 12	215 17	218 0	220 12	220 39	220 24	219 4	217 37	203 34
M_1	64 1	60 53	57 55	55 43	55 56	55 17	55 58	58 22	73 23
M_2	32 17	35 27	38 7	40 15	40 32	40 21	39 1	37 47	23 14
Corr.	12	11	20	22'	24'	32'	52'	16'	2'

Tabelle II.

Analysator; Nullpunkt 48°21'. 2. Hauptlage.

φ	25	30	35	40	45	50	55	60	65
I	92°30'	91°57'	90° 8'	88°36'	86°42'	84°36'	81°30'	77°40'	73°42'
I	92 43	91 41	90 16	88 38	86 33	84 20	81 39	77 49	73 2
II	272 24	271 26	270 29	268 44	266 27	264 16	261 20	257 56	253 14
III	92 30	91 23	89 55	88 38	86 58	84 21	81 27	77 43	73 30
IV	272 30	271 31	270 5	268 43	266 40	264 3	261 32	257 51	253 7
V	3 42	4 47	5 57	7 35	9 42	11 55	14 52	17 54	22 45
VI	183 44	184 35	185 41	187 37	189 31	191 44	194 54	197 45	202 55
VII	3 45	4 29	6 9	7 35	9 15	11 53	14 28	18 6	22 48
VIII	183 41	184 39	186 22	187 43	189 24	191 47	194 31	198 1	203 4
M_1	92 32	91 30	90 11	88 41	86 39	84 15	81 30	77 50	73 13
M_2	3 43	4 38	5 47	7 38	9 28	11 50	14 41	17 57	22 53
Corr.	13'	17'	22'	11'	18'	18'	15'	27'	18'

φ	70	72	74	76	77	78	79	80	85
I	67°38'	64°30'	61°12'	57°30'	—	54°40'	—	54° 0'	69° 6'
I	67 16	64 31	61 11	57 29	55 53'	54 10	53°36'	54 15	69 52
II	247 19	244 22	241 12	237 32	235 59	234 15	233 41	234 8	249 56
III	67 13	64 25	61 19	57 21	55 53	54 21	53 46	54 23	69 37
IV	247 18	244 7	241 4	237 20	235 59	234 27	233 40	234 29	249 48
V	28 40	31 43	35 27	38 45	40 21	41 47	42 32	41 31	27 0
VI	208 37	212 16	215 17	218 41	220 23	221 33	222 25	221 26	206 47
VII	28 50	31 55	35 20	38 31	40 23	42 14	42 11	41 27	26 43
VIII	208 35	211 46	215 13	218 33	220 16	222 8	222 5	221 48	207 2
M_1	67 17	64 21	61 12	57 25	55 56	54 18	53 41	54 19	69 48
M_2	28 41	31 55	35 19	38 38	40 21	41 55	42 18	41 33	26 53
Corr.	22'	13'	6'	19'	13'	14'	21'	25'	1'

Tabelle III.

Compensator; Nullpunkt 36,13. 1. Hauptlage.

φ	25	30	35	40	45	50	55	60	65
I(15)	36,27	36,37	36,39	36,45	36,49	36,59	36,61	36,81	37,04
I	36,28	36,36	36,38	36,42	36,47	36,52	36,65	36,79	36,97
	(13)	(12)	(12)	(12)	(11)	(11)	(11)	(10)	(10)
II	26,29	36,36	36,35	36,40	36,47	36,54	36,63	36,77	36,96
	(13)	(12)	(12)	(12)	(11)	(11)	(11)	(10)	(10)
III	36,29	36,36	36,38	36,43	36,47	36,52	36,62	36,78	36,97
IV	36,30	36,34	36,36	36,39	36,45	36,53	36,62	36,77	36,96
V	36,27	36,34	36,35	36,40	36,45	36,52	36,62	36,77	36,99
VI	36,31	36,36	36,39	36,44	36,49	36,55	36,65	36,81	37,01
VII	36,29	36,36	36,35	36,41	36,42	36,50	36,62	36,77	36,97
VIII	36,29	36,37	36,36	36,44	36,46	36,53	36,64	36,80	37,02
M_1	36,29	36,35	36,36	36,41	36,46	36,53	36,63	36,78	36,96
M_2	36,29	36,36	36,36	36,42	36,46	36,52	36,63	36,79	37,00
Corr.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

φ	70	72	74	76	77	78	79	80	85
I(15)	37,47	37,86	38,49	39,53	—	32,11	—	33,77	35,54
	37,08								
	(0,17)								
I	37,12	37,48	38,17	39,27	40,11	32,44	41,81	33,96	35,51
	(1)	(4)	(6,4)	(6,4)	(14)	(7,4)	(14)	(8)	(9)
	37,16								
	(2)								
	37,40								
	(9)								
II	37,24	37,59	38,10	39,29	40,06	32,33	41,83	33,85	35,55
	(2,3)	(4)	(6,4)	(7)	(14)	(7,4)	(14)	(8)	(9)
III	37,18	37,50	38,20	39,24	40,09	32,38	41,90	33,82	35,51
IV	37,20	37,58	38,20	39,23	40,11	32,42	41,84	33,82	35,53
V	37,27	37,75	38,45	39,59	40,56	33,52	42,44	34,00	35,51
VI	37,34	37,79	38,43	39,65	40,59	33,56	42,40	33,99	35,54
VII	37,24	37,64	38,45	39,60	40,59	33,38	42,42	34,05	35,51
VIII	37,31	37,79	38,44	39,52	40,54	33,43	42,41	34,01	35,48
M_1	37,20	37,54	38,17	39,26	40,09	32,39	41,85	33,86	35,53
	(9)								
M_2	37,23	37,74	38,44	39,59	40,57	33,47	42,42	34,01	35,51
Corr.	0,02	0,10	0,14	0,17	0,24	0,54	0,33	0,08	0,00

Für die Stellungen II—VIII sind die Beobachtungen zu der bei der Stellung I angegebenen Zeit (in der vierten Reihe der Tabellen III und IV) angestellt.

Tabelle IV.

Compensator; Nullpunkt 36,13. 2. Hauptlage.

φ	25	30	35	40	45	50	55	60	65
I(15)	36,15	36,18	36,22	36,23	36,28	36,34	36,40	36,49	36,64
I	36,12	36,15	36,16	36,21	36,24	36,34	36,37	36,46	36,58
	(13)	(12)	(12)	(12)	(11)	(11)	(11)	(10)	(10)
II	36,09	36,15	36,20	36,20	36,26	36,30	36,37	36,49	36,57
	(13)	(12)	(12)	(12)	(11)	(11)	(11)	(10)	(10)
III	36,12	36,17	36,18	36,23	36,23	36,33	36,38	36,46	36,53
IV	36,12	36,15	36,18	36,21	36,22	36,33	36,36	36,46	36,57
V	36,13	36,18	36,17	36,22	36,22	36,32	36,34	36,48	36,59
VI	36,15	36,17	36,20	36,20	36,23	36,31	36,33	36,48	36,62
VII	36,13	36,16	36,18	36,20	36,22	36,31	36,33	36,48	36,57
VIII	36,13	36,16	36,16	36,20	36,23	36,33	36,36	36,45	36,58
M_1	36,11	36,15	36,18	36,21	36,24	36,32	36,37	36,47	36,56
M_2	36,14	36,17	36,18	36,21	36,22	36,32	36,34	36,47	36,59
Corr.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

φ	70	72	74	76	77	78	79	80	85
I(15)	36,88	37,08	37,39	37,90	—	39,22	—	32,63	35,42
	36,46								
	(9,3)								
I	36,50	36,71	37,12	37,72	38,25	39,00	40,17	33,00	35,57
	(1)	(4,3)	(5)	(7)	(14)	(7,3)	(14)	(8)	(9)
	36,87								
	(9,3)								
II	36,59	36,83	37,16	37,70	38,27	39,02	40,13	33,04	35,55
	(3)	(4,3)	(5)	(7)	(14)	(7,3)	(14)	(8)	(9)
III	36,55	36,76	37,17	37,64	38,23	38,96	40,04	32,99	35,51
IV	36,55	36,79	37,11	37,73	38,26	39,07	40,16	32,91	35,55
V	36,64	36,78	37,22	37,86	38,59	39,45	41,06	33,19	35,54
VI	36,66	36,85	37,25	37,66	38,65	39,50	41,10	33,18	35,59
VII	36,51	36,81	37,21	37,87	38,56	39,46	40,83	33,11	35,52
VIII	36,58	36,83	37,23	37,80	38,52	39,36	40,86	33,06	35,59
M_1	36,57	36,77	37,14	37,70	38,25	39,02	40,13	32,99	35,55
M_2	36,60	36,82	37,23	37,80	38,58	39,44	40,96	33,13	35,56
Corr.	0,01	0,02	0,05	0,05	0,16	0,21	0,41	0,07	0,01

Die Tabellen zeigen, dass I—IV und V—VIII untereinander gut übereinstimmen, die Mittel aus ihnen sind mit M_1 und M_2 bezeichnet und in den zwei vorletzten Reihen in den Tabellen angeführt. Die Differenz zwischen M_1 und M_2 rührt vom Orientierungsfehler des Compensators her, da sie zwei zur Einfallsebene symmetrische Lagen der Nicols bezeichnen. In der letzten Reihe der Tabellen ist unter

Corr. die Correction angegeben, welche man den nur in der Stellung I beobachteten Werthen¹⁾ hinzufügen muss, um den wahren Werth, d. h. das Mittel aus allen acht Stellungen, zu erhalten. Für die Verzögerung ist dabei die Correction $(M_1 - M_2)/2$, für das Azimuth φ dagegen $48^\circ 21' - (M_1 + M_2)/2$, wie eine einfache Ueberlegung zeigt. Die Correction zeigt ganz den Gang, wie die Hennig'schen Formeln verlangen; sie direct bestimmt zu haben, scheint mir indessen zuverlässiger, als sie aus dem Orientirungsfehler des Compensators zu berechnen, da letzterer sich nicht mit grosser Sicherheit feststellen lässt.

Die Tabellen zeigen ferner, dass besonders λ mit der Zeit sich ändert, wie sich aus dem Vergleich der beiden mit I rubricirten Reihen ergibt und aus den mehrfachen Werthen, die für $\varphi = 70^\circ$ zu verschiedenen Zeiten erhalten sind.

Deshalb wurde noch eine Beobachtungsreihe angestellt mit einer frischen Spaltfläche; es wurde nur in der Stellung I beobachtet. Bei dem Einfallswinkel 70° wurde angefangen, weil die für ihn erhaltenen Werthe sich mit den am vorigen Spaltstück erhaltenen vergleichen lassen. — Die Temperatur übte innerhalb der vorkommenden Grenzen keinen Einfluss auf die erhaltenen Werthe aus, wie ich mich direct überzeugte bei ungeheiztem Zimmer (5° C.) und stark geheiztem (24° C.). Die relative Feuchtigkeit wurde stets notirt, sie schwankte zwischen 45 und 60 Proc. Da sich indess kein merkbarer Einfluss zeigte, so ist sie in den Tabellen fortgelassen.

In den folgenden Tabellen geben die über den Columnen stehenden Zahlen die Zeit, die zwischen Beobachtung und Spaltung verstrichen ist, in Tagen an. Bei der mit 0 überschriebenen Columnne bedeuten in Tafel V die rechts stehenden Zahlen die Zeit nach der Spaltung in Minuten. Sie ist in den Tabellen VI, VII, VIII nicht hingeschrieben, da sie an entsprechenden Stellen der Tabellen gleich und aus Tabelle V zu entnehmen ist.

1) Da diese sich nicht wesentlich von M_1 unterscheiden, so ist bei Berechnung der Correction M_1 für die in Stellung I allein beobachteten Zahlen substituirt.

Tabelle V. Compensator; 1. Hauptlage.

φ	0	1,1	2,0	4,2	7,0	10,0	13,3	14	18
25	36,29	120	36,29	36,30	36,31	36,30	36,28	36,30	36,30
30	—	—	—	—	—	—	—	—	36,34
35	—	—	36,33	36,36	36,36	36,36	36,35	36,35	36,39
40	36,40	115	—	—	—	—	—	—	36,42
45	36,41	110	36,45	36,45	36,43	36,42	36,40	36,47	36,46
50	36,49	105	—	—	—	—	—	—	36,55
55	36,55	100	36,52	36,54	36,57	36,56	36,58	36,58	36,66
60	36,63	90	—	—	—	—	—	—	36,77
65	36,80	85	36,83	36,85	36,87	36,91	36,92	36,99	36,99
70	37,00	8	—	—	—	—	—	—	—
70	37,13	78	37,20	37,21	37,26	37,30	37,36	37,40	37,44
70	37,17	125	—	—	—	—	—	—	—
72	37,31	20	37,47	37,51	37,50	37,54	37,65	37,74	37,88
74	37,71	25	37,93	38,00	38,05	38,09	38,15	38,24	38,35
76	38,67	35	38,93	39,00	39,01	39,08	39,16	39,33	39,40
77	—	—	—	—	—	—	—	40,09	—
78	40,96	42	—	—	—	—	—	—	—
78	41,04	135	40,85	40,98	40,82	40,82	40,95	41,01	40,94
79	—	—	—	—	—	—	—	41,84	—
80	34,01	55	34,06	34,03	34,06	33,93	33,91	33,96	42,58
85	35,70	67	35,65	35,64	35,63	35,59	35,57	35,54	35,49
87	35,91	73	—	35,86	35,88	35,82	35,83	35,85	35,81

Tabelle VI. Compensator; 2. Hauptlage.

φ	0	1,1	2,0	4,2	7,0	10,0	13,3	14	18
25	36,10	36,10	36,09	36,11	36,09	36,11	36,13	—	36,12
30	—	—	—	—	—	—	—	—	36,15
35	—	36,16	36,12	36,16	36,15	36,14	36,16	—	36,19
40	36,19	—	—	—	—	—	—	—	36,22
45	36,21	36,26	36,22	36,21	36,23	36,23	36,32	—	36,24
50	36,26	—	—	—	—	—	—	—	36,32
55	36,31	36,30	36,33	36,34	36,35	36,32	36,40	—	36,40
60	36,36	—	—	—	—	—	—	—	36,49
65	36,46	36,47	36,51	36,54	36,52	36,54	36,62	—	36,63
70	36,52	—	—	—	—	—	—	—	—
70	36,61	36,66	36,69	36,73	36,74	36,82	36,88	—	36,92
70	36,62	—	—	—	—	—	—	—	—
72	36,65	36,77	36,79	36,85	36,90	36,98	37,03	—	37,12
74	36,81	37,02	37,05	37,08	37,14	37,18	37,35	—	37,46
76	37,16	37,37	37,41	37,53	37,59	37,67	37,72	37,81	37,97
77	—	—	—	—	—	—	—	38,25	—
78	38,23	—	—	—	—	—	—	—	—
78	38,35	38,39	38,55	38,67	38,81	38,79	39,02	38,99	39,27
79	—	—	—	—	—	—	—	40,12	—
80	33,09	33,07	32,98	33,02	33,02	32,93	32,86	41,56	32,79
85	35,76	35,71	35,68	35,66	35,65	35,59	35,57	—	35,52
87	35,92	—	35,97	35,93	35,90	35,89	35,86	—	35,85

Tabelle VII. Analysator; 1. Hauptlage.

φ	0	1,1	2,0	4,2	7,0	10,0	13,3	14	18
25	89°39'	89° 7'	89°19'	89°19'	88°56'	88°36'	88°38'	—	88°56'
30	—	—	—	—	—	—	—	—	88 12
35	—	87 1	86 38	86 17	86 30	86 57	87 2	—	87 3
40	85 30	—	—	—	—	—	—	—	85 4
45	83 23	83 7	83 26	83 26	83 14	83 2	83 40	—	83 14
50	81 12	—	—	—	—	—	—	—	80 59
55	77 36	77 59	78 3	77 44	77 47	77 57	78 43	—	77 53
60	74 32	—	—	—	—	—	—	—	74 41
65	69 45	69 41	69 52	69 50	69 37	69 57	69 52	—	69 41
70	63 26	63 40	63 48	63 43	63 30	64 5	63 50	—	63 17
72	60 30	60 54	60 45	60 44	60 57	61 10	61 2	—	61 37
74	57 32	57 47	58 8	58 4	58 6	58 23	58 10	—	58 42
76	54 43	54 50	55 8	55 31	55 23	55 49	55 49	55°57'	56 18
77	—	—	—	—	—	—	—	55 22	—
78	53 29 40	54 23	54 6	54 9	54 37	54 46	54 36	55 24	55 49
79	—	—	—	—	—	—	—	55 58	—
80	39 17	38 47	38 35	38 51	38 29	38 39	37 57	57 28	37 24
85	23 47	23 28	23 58	23 43	23 41	23 33	23 25	—	22 56
87	15 48	—	15 48	16 15	15 31	15 42	15 45	—	15 51

Tabelle VIII. Analysator; 2. Hauptlage.

φ	0	1,1	2,0	4,2	7,0	10,0	13,3	14	18
25	92°41'	92°24'	92°36'	92°40'	92°11'	92°50'	92°22'	—	92°22'
30	—	—	—	—	—	—	—	—	91 25
35	—	89 44	90 10	89 50	89 5	90 16	90 36	—	90 31
40	88 18	—	—	—	—	—	—	—	88 28
45	86 6	86 26	86 30	86 29	86 34	86 40	86 32	—	86 32
50	83 44	—	—	—	—	—	—	—	84 25
55	81 20	81 29	81 26	81 1	81 8	81 43	81 36	—	81 17
60	77 58	—	—	—	—	—	—	—	78 9
65	73 24	73 18	73 7	73 10	73 6	73 8	73 19	—	73 6
70	67 7	67 12	67 23	67 24	67 9	67 27	67 11	—	67 20
72	64 28	64 2	64 26	64 23	64 15	64 50	64 26	—	64 39
74	61 13	60 46	60 55	61 1	61 11	61 11	60 57	—	61 25
76	56 43	56 47	57 3	57 17	57 16	57 37	57 30	57°32'	57 56
77	—	—	—	—	—	—	—	55 56	—
78	52 31 53 20	53 32	53 31	53 38	53 49	53 45	54 19	54 38	54 37
79	—	—	—	—	—	—	—	53 41	—
80	43 12	43 13	43 7	43 7	42 16	42 25	41 25	41 26	41 12
85	27 10	27 16	27 13	27 11	26 57	26 43	26 37	—	26 27
87	18 20	—	17 59	18 9	17 47	18 4	18 9	—	17 34

Die letzten vier Tabellen zeigen, dass namentlich Δ sich stark mit der Zeit ändert, ψ nur wenig, und zwar nur in der Umgebung des Haupteinfallswinkels φ . Der Gang der

Veränderungen in den Tabellen ist ein durchaus stetiger. Nach 18 Tagen war ungefähr ein constanter Zustand erreicht, noch spätere Messungen ergaben wenigstens keine wesentlichen Abweichungen von den in der letzten Columnne angegebenen Zahlen.

Der Gang der Veränderungen von Δ ist ein sehr eigenthümlicher, für Winkel φ , welche kleiner als der Haupteinfallswinkel $\bar{\varphi}$ sind (in der ersten Hauptlage liegt $\bar{\varphi}$ zwischen 77 und 78°, in der zweiten zwischen 79 und 80°), wachsen die vom Compensator angezeigten Zahlen, für grössere Einfallswinkel nehmen sie ab. Je nachdem man festsetzt, dass bei streifender Incidenz die Verzögerung 0 oder π eintritt, bedeutet ein Wachsen der Compensatorzahlen eine Abnahme oder ein Wachsen der relativen Verzögerung Δ . In den späteren Formeln ist die erste Festsetzung gemacht, wir wollen sie daher auch schon hier treffen und können somit sagen:

Die relative Verzögerung Δ nimmt mit der Zeit ab für Einfallswinkel, welche kleiner als der Haupteinfallswinkel sind, für grössere Einfallswinkel wächst sie.

Sonach müsste der Haupteinfallswinkel unverändert bleiben, was angenähert beobachtet ist, besonders in der zweiten Hauptlage, während in der ersten für den Haupteinfallswinkel noch ein geringes Abnehmen der Verzögerung beobachtet ist, d. h. ein Abnehmen des Haupteinfallswinkels.

Für ψ oder φ sind die Verhältnisse einfach:

Das Amplitudenverhältniss ϱ wächst mit der Zeit etwas für Einfallswinkel, welche dem Haupteinfallswinkel benachbart sind.

Man kann die Verhältnisse am besten übersehen an Hand der Curven, welche ich für die Veränderungen auf Tafel I und Tafel II gezeichnet habe. Die Einfallswinkel sind die Abscissen, die Ordinaten sind die Differenzen zwischen den in den letzten Columnen der Tafeln V—VIII angegebenen Endwerthen und den in den folgenden Tafeln angegebenen Anfangswerthen. Die meist unten liegende Curve bezieht sich auf Δ , die Einheit der Ordinaten bedeutet dabei

$\frac{1}{1000}$ Wellenlänge, die obere Curve bezieht sich auf ψ , Einheit der Ordinaten ist $\frac{1}{10}$ Grad. Die beobachteten Werthe sind durch +, resp. $\odot$ markirt. Besonders auffallend ist das starke Steigen der Curven für Δ beim Haupteinfallswinkel.

In einer gewissen Annäherung wird durch den Werth des Haupteinfallswinkels der Brechungsexponent, durch den Werth des Hauptazimuths die Undurchsichtigkeit eines Mediums bestimmt. Man kann also hier sagen, dass der Antimonglanz an der Luft auf seinem Brachypinakoid mit der Zeit sich mit einer Oberflächenschicht bedeckt, welche fast denselben Brechungsexponenten besitzt, die aber etwas undurchsichtiger als das eigentliche Material ist.¹⁾ Eine undurchsichtigere Substanz würde nämlich nicht nur die Veränderung von ψ , sondern auch von Δ genau so zeigen, wie sie hier beobachtet ist. Denn je durchsichtiger ein Medium ist, desto grösser ist Δ bei kleinen Einfallswinkeln, und desto kleiner bei grossen. Die Curve für Δ geht beim Haupteinfallswinkel schnell vom Werth π zu 0. Dieser Uebergang wird um so allmählicher, d. h. Δ bei kleinen Einfallswinkeln um so kleiner, bei grossen um so grösser, je undurchsichtiger das Medium ist.

Diese Beobachtungen könnten vielleicht dazu beitragen, eine genauere Vorstellung über die oberflächliche Veränderung zu gewinnen, sie scheinen darauf hinzudeuten, dass es eine sehr schnell und eine allmählich verlaufende Veränderung ist; dies sprechen die in den Figuren 3 und 4 gezeichneten Curven für Δ bei $\varphi = 70^\circ$ aus²⁾, sie sind fast geknickt und deuten an, dass die schnelle Veränderung innerhalb zwei Stunden nach der Spaltung geschehen ist. Ob nun noch eine schneller verlaufende Aenderung stattfindet, vielleicht im Laufe weniger Secunden, darüber geben die Beobachtungen nichts, im günstigsten Falle habe ich zwei Minuten nach der Spaltung beobachten können, da die Fläche immer erst auf

1) Alles gilt zunächst nur für Natriumlicht.

2) Die Zeit ist Abscisse, Einheit = 0,05 Tag. Der Endwerth ist durch horizontale Linien markirt. Ordinaten sind die Differenzen gegen den Anfangswerth.

dem Totalreflectometer festgekittet, justirt und orientirt werden muss. Genaueres liesse sich wohl hier erst sagen, wenn das Antimonglanzstück in einer luftdicht schliessenden Kammer eingeschlossen wäre, und in ihr die Spaltung vorgenommen würde. Man kann dann im Vacuum und in verschiedenen Gasen beobachten. Da dies aber eine complicirte Vorrichtung erfordert, so ist dies bis jetzt noch unterblieben.

Wurde ein Spaltungsstück mit frisch ausgeglühtem Kohlenpulver bestreut und dann letzteres nach einiger Zeit mit einem Pinsel entfernt, so zeigte sich keine Aenderung im optischen Verhalten, sodass sich hieraus kein Schluss über eventuelle Condensation von Gasen ergab.

Eine mit der Luft längere Zeit in Berührung gewesene Fläche ergab bei Reflexion in ausgekochtem, destillirtem Wasser andere Resultate als eine Fläche, die im Wasser selbst durch Spaltung hergestellt wurde. Für letztere ergab sich in der ersten Hauptlage bei $\varphi = 70^\circ$: $A_1 = 39^\circ 10'$, $\psi_1 = 9^\circ 0'$. Diese Werthe schienen sich wenig mit der Zeit zu ändern, die eben erwähnte schnelle Aenderung fand in Wasser nicht statt, über die langsame sind noch keine sicheren Resultate gewonnen.

Wie ein Vergleich der Tabellen V—VIII mit den früheren I—IV zeigt, so stimmen die zu denselben Zeiten nach der Spaltung beobachteten Werthe im allgemeinen bei ψ gut überein, doch zeigen die Werthe für A , dass sich die neue Spaltfläche etwas schneller geändert hat, als die frühere, was ja auch wohl durch andere äussere Umstände, z. B. Feuchtigkeit und Luftdruck, zu erklären ist. Aus diesem Grunde sind die weiter unten angeführten Anfangswerthe nicht aus den Tabellen I—IV gewonnen, indem von den Werthen derselben die aus den Tabellen V—VIII zu entnehmenden Veränderungen mit der Zeit subtrahirt sind, sondern sie sind aus den letzteren allein entnommen.

Weil die Veränderung von A zuerst sehr schnell vor sich geht, so kann man aus den Beobachtungen, welche nach mehr als vielleicht 15 Minuten nach der Spaltung angestellt sind, keinen sicheren Schluss auf den Anfangswerth machen. Daher ist dies bis jetzt nur bei $\varphi = 70^\circ$ möglich. Um auch

für andere Einfallswinkel über die Anfangswerthe mögliche Gewissheit zu erhalten, wurden wieder für jeden Einfallswinkel besondere Spaltflächen hergestellt und möglichst schnell nach der Spaltung beobachtet. Es gelang nicht, aus den Resten des Krystalls noch solch gute Spaltstücke zu erhalten, als die, mit denen bis dahin beobachtet war, die brauchbaren Flächen waren meist viel kleiner. Deshalb und auch wegen der Ueberhastung der Beobachtungen (zum Theil wurde nur eine Einstellung gemacht) sind dieselben nicht so sicher, als die bisher mitgetheilten. — Die folgenden Tabellen geben die Resultate. Die in Klammern beigesetzten Resultate bezeichnen die Zeit der Beobachtung nach der Spaltung in Minuten. Die beiden für $\varphi = 78^\circ$ erhaltenen Reihen beziehen sich auf zwei verschiedene Spaltstücke.

Tabelle IX. Compensator.

1. Hauptlage.

$\varphi = 25$	55	65	72	74	76	78	80	85
36,26 (6)	36,52 (4)	36,73 (5)	37,24 (6)	37,58 (7)	38,54 (7)	40,87 (7)	34,11 (3)	35,57 (5)
36,28 (10)		36,76 (9)	37,18 (11)	37,77 (12)	38,60 (11)	40,80 (14)		35,67 (10)
		36,80 (27)	37,21 (16)	37,70 (18)	38,53 (17)	40,89 (20)	40,85 (26)	35,63 (17)
			37,25 (22)	37,71 (26)	38,59 (24)	40,86 (24)		35,65 (27)
					38,66 (30)	41,04 (38)	40,98 (40)	35,63 (67)

2. Hauptlage.

36,08 (2)	36,29 (3)	36,35 (4)	36,58 (5)	36,59 (6)	37,15 (4)	37,86 (5)	37,65 (6)	32,95 (6)	35,79 (7)
36,11 (8)		36,36 (7)	36,55 (8)	36,72 (10)	37,03 (8)	38,09 (11)	38,04 (8)		35,74 (13)
		36,45 (27)	36,60 (13)	36,72 (15)	37,01 (14)	38,05 (17)	37,90 (9)		35,68 (21)
			36,64 (20)	36,76 (22)	37,02 (20)	37,95 (21)	38,02 (11)		35,68 (29)
				36,79 (28)	37,16 (30)	37,63 (34)	38,02 (19)		35,72 (34)
						38,01 (44)	38,19 (40)		35,67 (71)

Tabelle X. Analysator.

1. Hauptlage.

$\varphi = 55$	65	72	74	76	78	80	85
78° 8' (4)	69° 18' (5)	60° 12' (6)	57° 34' (7)	54° 26' (7)	52° 42' (7)	39° 49' (3)	24° 17' (5)
	69 22 (9)	60 27 (11)	57 5 (12)	54 16 (11)	52 22 (14)	39 43 (9)	24 10 (10)
	69 28 (27)	60 31 (16)	57 12 (18)	54 12 (17)	52 56 (20)	53° 12' (21)	39 21 (17)
		60 22 (22)	57 24 (26)	54 24 (24)	52 56 (24)	53 5 (40)	39 27 (17)
				54 12 (30)	53 37 (38)		24 4 (67)

2. Hauptlage.

81° 32' (3)	73° 2' (4)	64° 14' (5)	60° 16' (6)	55° 48' (4)	52° 55' (5)	52° 30' (6)	43° 57' (6)	26° 56' (7)
	73 28 (7)	64 20 (8)	60 4 (10)	56 21 (8)	52 16 (11)	52 24 (8)	44 11 (11)	27 19 (13)
	73 14 (27)	64 29 (13)	61 11 (15)	56 45 (14)	52 31 (17)	52 28 (9)	43 29 (25)	27 34 (21)
		64 15 (20)	60 40 (22)	57 2 (20)	52 37 (21)	52 29 (11)	43 46 (46)	27 51 (29)
			60 39 (28)	57 11 (30)	52 34 (34)	52 21 (19)		27 22 (34)
						52 43 (40)		

Die letzten Tabellen zeigen, dass in der That die zuerst erhaltenen Werthe namentlich für Δ nicht ganz mit den in den Tabellen V—VIII angegebenen coincidiren. Sie zeigen oft einen unregelmässigen Gang, was durch Beobachtungsfehler aus den oben angeführten Gründen verursacht wird. Im allgemeinen schliessen sich die Werthe der Tabellen X und IX gut an die der früheren an.

Wenn so eine Ungewissheit über die eigentlichen Werthe von Δ_1 und Δ_2 innerhalb kleiner Grenzen besteht, so ist dies weniger der Fall für die Differenz $\Delta_1 - \Delta_2$. Dies ist gerade hier von grosser Wichtigkeit, weil der Gang der Differenzen zwischen den Hauptlagen ein gutes Mittel bietet, Formeln, die für krystallinische Mittel aufgestellt sind, zu prüfen. Die folgenden Tabellen enthalten die Differenzen entsprechender Werthe der Tabellen V und VI, resp. VII und VIII. Aus ihnen ergibt sich, dass dieselben sich mit der Zeit gar nicht oder wenig ändern, eine continuirliche Abnahme ist haupt-

sächlich nur für $\Delta_1 - \Delta_2$ bei $\varphi = 78^\circ$ zu constatiren. Das hat seinen Grund darin, dass in diesem Falle für Δ_1 der Haupteinfallswinkel schon überschritten, für Δ_2 noch nicht erreicht ist. Ein Blick auf die Fig. 1 und 2 lässt diesen Grund übersehen.

Tabelle XI. $\psi_2 - \psi_1$.

φ	0	1	2	4	7	10	13	14	18
25	3° 2'	3° 17'	3° 17'	3° 21'	3° 15'	4° 14'	3° 44'	—	3° 26'
30	—	—	—	—	—	—	—	—	3 13
35	—	2 43	3 32	3 33	2 35	3 19	3 36	—	3 28
40	2 48	—	—	—	—	—	—	—	3 24
45	2 43	3 19	3 4	3 3	3 20	3 38	2 52	—	3 18
50	2 32	—	—	—	—	—	—	—	3 26
55	3 44	3 30	3 23	3 17	3 21	3 46	2 53	—	3 24
60	3 36	—	—	—	—	—	—	—	3 28
65	3 39	3 37	3 15	3 20	3 29	3 11	3 27	—	3 25
70	3 42	3 32	3 35	3 41	3 39	3 22	3 21	—	4 3
72	3 56	3 8	3 41	3 39	3 20	3 40	3 24	—	3 2
74	3 41	2 59	2 47	2 57	3 5	2 48	2 47	—	2 43
76	2 0	1 57	1 55	1 46	1 53	1 48	1 41	1° 35'	1 38
77	—	—	—	—	—	—	—	34	—
78	—58'	—51'	—37'	—31'	—48'	—61'	—17'	—46	—72'
79	—20'	—	—	—	—	—	—	—2 19	—
80	—3 55	—4 26	—4 32	—4 16	—3 47	—3 46	—3 28	—3 42	—3 48
85	—3 23	—3 48	—3 15	—3 28	—3 16	—3 10	—3 8	—	—3 31
87	—2 32	—	—2 11	—1 54	—2 16	—2 22	—2 24	—	—1 43

Tabelle XII. $\Delta_2 - \Delta_1$.

25	0,19	0,19	0,21	0,20	0,21	0,17	0,17	—	0,18
30	—	—	—	—	—	—	—	—	0,19
35	—	0,17	0,24	0,20	0,21	0,21	0,19	—	0,20
40	0,21	—	—	—	—	—	—	—	0,20
45	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	—	0,22
50	0,23	—	—	—	—	—	—	—	0,23
55	0,24	0,22	0,21	0,23	0,21	0,26	0,18	—	0,26
60	0,27	—	—	—	—	—	—	—	0,26
65	0,34	0,36	0,34	0,33	0,39	0,38	0,37	—	0,36
70	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—
71	0,52	0,54	0,52	0,53	0,56	0,54	0,52	—	0,52
72	0,55	—	—	—	—	—	—	—	—
72	0,66	0,70	0,72	0,65	0,64	0,67	0,71	—	0,76
74	0,90	0,91	0,95	0,97	0,95	0,97	0,89	—	0,89
76	1,51	1,56	1,59	1,48	1,49	1,49	1,61	1,52	1,43
77	—	—	—	—	—	—	—	—	—
78	2,73	2,46	2,43	2,15	2,01	2,16	1,99	1,95	1,87
79	2,69	—	—	—	—	—	—	—	—
80	0,92	0,99	1,05	1,04	0,91	0,98	1,10	1,02	1,07
85	—0,06	—0,06	—0,04	—0,03	—0,06	—0,02	—0,03	—	—0,03
87	—0,01	—	—0,11	—0,05	—0,08	—0,06	—0,01	—	—0,04

$A_2 - A_1$ ist in Umdrehungen der Compensatorschraube angegeben, von denen 8,91, resp. 8,95 einer Verzögerung π entsprechen. — Diese Differenzen stimmen auch gut mit den bei der ersten Spaltfläche erhaltenen, deren Werthe aus den Tabellen I—IV zu entnehmen sind.

Die Anfangswerthe von Δ und ψ sind nun auf folgendem Wege gebildet: Es wurde zunächst nach den Tabellen V—X die wahrscheinlichen Werthe gebildet durch graphische Extrapolation.

Diese Werthe wurden dann so corrigirt, dass ihre Differenzen die aus den Tabellen XI und XII zu entnehmenden Werthe erhielten. Dabei wurde in den Tabellen XII $A_2 - A_1$ als constant angenommen, abgesehen für $\varphi = 78^\circ$. Dort wurde sie graphisch aus den beobachteten Werthen construiert, für die übrigen Einfallswinkel wurde das Mittel der beobachteten Werthe genommen. $\psi_2 - \psi_1$ wurde als constant angenommen, abgesehen von $\varphi = 76^\circ$ und $\varphi = 78^\circ$. Dort wurde extrapolirt, sonst aus Tabelle XI die Mittel genommen. — Zu diesen so erhaltenen wahrscheinlichen Werthen wurde noch die Correction wegen des Orientirungsfehlers des Compensators hinzugefügt, wie sie in den Tabellen I—IV in der letzten Reihe angegeben ist. Streng genommen muss sich diese Correction etwas mit der Zeit ändern, doch ist dies zu unbedeutend, um es zu berücksichtigen.

Ausser bei den bis jetzt angeführten Einfallswinkeln sind auch noch einige Beobachtungen bei $\varphi = 89^\circ$ und $\varphi = 0$ gemacht. Erstere sind deshalb recht unsicher, weil ausser dem reflectirten Oeffnungsbilde auch noch das directe im Gesichtsfeld erschien, was durch seine Helligkeit störte. Es ist aber gezeigt, dass bei $\varphi = 89^\circ$ Δ gegen 0 und ρ gegen 1 convergirt. Bei senkrechter Incidenz wurde beobachtet, indem das Oeffnungsbild durch eine schräg¹⁾ gestellte durchsichtige Glasplatte auf die senkrecht zum Fernrohr gerichtete Spaltfläche geworfen wurde. Dadurch wird das Azimuth des einfallenden polarisirten Lichtes geändert, es ist deshalb ψ nicht beobachtet, wohl aber das vom Azimuth des einfallenden Lichtes

1) Der Einfallswinkel auf der Glasplatte war so gross, dass durch Reflexion von ihr keine merkliche Verzögerung Δ entstand.

unabhängige Δ . Es hat die Beobachtung bei senkrechter Incidenz deshalb Interesse, weil sich dort die grösste negative Verzögerung findet.

In der folgenden Tabelle stehen in der zweiten Columnne die wahrscheinlichen Anfangswerthe des Compensators, in der folgenden die wegen der Orientirungsfehler des Compensators corrigirten, in der vierten Δ in Winkelmaass. Die drei folgenden Columnnen beziehen sich analog auf den Analysator und ψ , resp. φ . Für $\varphi = 77^\circ$ und $\varphi = 79^\circ$ sind keine Anfangsbeobachtungen gemacht. Die Reduction auf den Anfangswerth ist hier aus der der Nachbarwerthe interpolirt.

Tabelle XIII. Anfangswerthe. 1. Hauptlage.

φ	Compens.	Corrig.	Δ_1	Analys.	Corrig.	ψ_1	$\varphi_1 = \text{tg } \psi_1$
0	36,20	36,20	$\pi - 1^\circ 12'$	—	—	—	—
25	36,27	36,27	$\pi - 2^\circ 37'$	$89^\circ 42'$	$89^\circ 22'$	$41^\circ 1'$	0,870
30	36,29	36,29	$\pi - 3^\circ 2'$	$88^\circ 12'$	$88^\circ 30'$	$40^\circ 9'$	0,844
35	36,32	36,32	$\pi - 3^\circ 38'$	$86^\circ 47'$	$87^\circ 3'$	$38^\circ 42'$	0,801
40	36,35	36,35	$\pi - 4^\circ 14'$	$85^\circ 4'$	$85^\circ 27'$	$37^\circ 6'$	0,756
45	36,38	36,38	$\pi - 4^\circ 50'$	$83^\circ 19'$	$83^\circ 49'$	$35^\circ 28'$	0,712
50	36,43	36,43	$\pi - 6^\circ 4'$	$81^\circ 6'$	$81^\circ 37'$	$33^\circ 16'$	0,656
55	36,49	36,49	$\pi - 7^\circ 17'$	$77^\circ 58'$	$78^\circ 22'$	$30^\circ 1'$	0,578
60	36,56	36,56	$\pi - 8^\circ 42'$	$74^\circ 36'$	$74^\circ 59'$	$26^\circ 38'$	0,501
65	36,73	36,74	$\pi - 12^\circ 30'$	$69^\circ 47'$	$70^\circ 0'$	$21^\circ 39'$	0,396
70	37,01	37,03	$\pi - 18^\circ 18'$	$63^\circ 37'$	$63^\circ 49'$	$15^\circ 28'$	0,277
72	37,24	37,34	$\pi - 24^\circ 30'$	$60^\circ 38'$	$60^\circ 49'$	$12^\circ 28'$	0,221
74	37,62	37,76	$\pi - 33^\circ 6'$	$57^\circ 28'$	$57^\circ 48'$	$9^\circ 27'$	0,166
76	38,56	38,73	$\pi - 52^\circ 36'$	$54^\circ 13'$	$54^\circ 35'$	$6^\circ 14'$	0,109
77	39,64	39,88	$\pi - 75^\circ 54'$	$53^\circ 11'$	$53^\circ 35'$	$5^\circ 14'$	0,092
78	40,89	41,43	$72^\circ 48'$	$52^\circ 47'$	$53^\circ 19'$	$4^\circ 58'$	0,087
79	41,80	42,13	$58^\circ 42'$	$53^\circ 27'$	$54^\circ 19'$	$5^\circ 58'$	0,106
80	33,99	34,07	$41^\circ 18'$	$39^\circ 50'$	$39^\circ 34'$	$8^\circ 47'$	0,154
85	35,65	35,65	$9^\circ 30'$	$24^\circ 13'$	$24^\circ 11'$	$24^\circ 10'$	0,449
87	35,89	35,89	$4^\circ 30'$	$15^\circ 49'$	$15^\circ 49'$	$32^\circ 32'$	0,638
89	36,09	36,09	$36'$	$7^\circ 49'$	$7^\circ 49'$	$40^\circ 32'$	0,855

Tabelle XIV. Anfangswerthe. 2. Hauptlage.

φ	Compens.	Corrig.	Δ_2	Analys.	Corrig.	ψ_2	φ_2
0	36,05	36,05	$\pi + 1^\circ 48'$	—	—	—	—
25	36,08	36,08	$\pi + 1^\circ 13'$	$92^\circ 31'$	$92^\circ 44'$	$44^\circ 23'$	0,979
30	36,10	36,10	$\pi + 49'$	$91^\circ 25'$	$91^\circ 42'$	$43^\circ 21'$	0,944
35	36,12	36,12	$\pi + 24'$	$90^\circ 2'$	$90^\circ 24'$	$42^\circ 3'$	0,902
40	36,15	36,15	$\pi - 12'$	$88^\circ 23'$	$88^\circ 34'$	$40^\circ 13'$	0,846
45	36,18	36,18	$\pi - 49'$	$86^\circ 26'$	$86^\circ 44'$	$38^\circ 23'$	0,792
50	36,20	36,20	$\pi - 1^\circ 25'$	$84^\circ 5'$	$84^\circ 23'$	$36^\circ 2'$	0,727

(Fortsetzung der Tabelle XIV.)

φ	Compens.	Corrig.	Δ_2	Analys.	Corrig.	ψ_2	ϱ_2
55	36,25	36,25	$\pi - 2^\circ 24'$	$81^\circ 23'$	$81^\circ 38'$	$33^\circ 17'$	0,656
60	36,29	36,29	$\pi - 3^\circ 12'$	$78^\circ 3'$	$78^\circ 30'$	$30^\circ 9'$	0,580
65	36,37	36,38	$\pi - 5^\circ 12'$	$73^\circ 12'$	$73^\circ 30'$	$25^\circ 9'$	0,469
70	36,49	36,50	$\pi - 7^\circ 42'$	$67^\circ 15'$	$67^\circ 37'$	$19^\circ 16'$	0,350
72	36,55	36,57	$\pi - 9^\circ 6'$	$64^\circ 5'$	$64^\circ 18'$	$15^\circ 57'$	0,286
74	36,68	36,73	$\pi - 12^\circ 6'$	$60^\circ 26'$	$60^\circ 32'$	$12^\circ 11'$	0,216
76	37,05	37,10	$\pi - 19^\circ 48'$	$56^\circ 7'$	$56^\circ 26'$	$8^\circ 5'$	0,142
77	37,38	37,54	$\pi - 28^\circ 42'$	$54^\circ 6'$	$54^\circ 19'$	$5^\circ 58'$	0,105
78	38,02	38,23	$\pi - 42^\circ 36'$	$52^\circ 24'$	$52^\circ 38'$	$4^\circ 17'$	0,075
79	39,67	40,08	$\pi - 79^\circ 54'$	$51^\circ 24'$	$51^\circ 45'$	$3^\circ 24'$	0,059
80	32,98	33,05	$61^\circ 42'$	$43^\circ 47'$	$43^\circ 22'$	$4^\circ 59'$	0,087
85	35,69	35,70	$8^\circ 30'$	$27^\circ 35'$	$27^\circ 34'$	$20^\circ 47'$	0,380
87	35,96	35,96	$3^\circ 12'$	$18^\circ 0'$	$18^\circ 0'$	$30^\circ 21'$	0,585
89	36,10	36,10	24°	$8^\circ 53'$	$8^\circ 53'$	$39^\circ 28'$	0,823

Die Sicherheit der hier angegebenen Zahlen ist eine verschiedene. Der Compensator lässt sich für kleine Einfallswinkel gut einstellen, dort ist der wahrscheinliche Fehler ein oder zwei Einheiten der letzten Decimale, es macht sich hier aber die Unsicherheit in der Lage des Nullpunktes für die Bestimmung von Δ geltend. In der Nähe des Haupteinfallswinkels wird der wahrscheinliche Fehler des Compensators grösser, wohl bis zur Einheit der ersten Decimale, da, wie man aus dem geringen Betrage vom Hauptazimuth $\bar{\varrho}$ sieht, die reflectirte Intensität sehr gering ist, wenn der Analysator auf grösste Dunkelheit eingestellt ist, der Compensator aber noch nicht ganz auf grösster Dunkelheit steht. — Für noch grössere Einfallswinkel wird der Compensator zunächst genauer und dann, z. B. bei 87 und 89° wieder ungenauer, weil wegen der stark schrägen Incidenz nur wenig Lichtstrahlen von dem kleinen Spiegel zur Reflexion gelangen. Auf die Beobachtungen bei 0 und 89° ist daher wenig Gewicht zu legen.

Für sehr grosse Einfallswinkel kann auch noch dadurch ein Fehler entstehen, dass nur eine Hälfte der Linsen des Fernrohrs und Collimators benutzt werde. Dies gibt schon für sich eine relative Verzögerung. Der Einfluss der Abblendung der einen Hälfte der Linsen war in der That sehr gut merkbar, wenn auf das Oeffnungsbild direct eingestellt

wurde. Der hieraus entstehende Fehler kann durch Drehen des Compensators um 90° eliminirt werden. Es ist hier nicht geschehen, weil es nur bei sehr grossen Einfallswinkeln merkbar sein kann und unverhältnissmässig viel Messungen mehr erfordert.

ψ mag im Durchschnitt bis auf einen Fehler von $\pm 10'$ bestimmt sein. Da ψ mit der Zeit sich wenig ändert abgesehen für Einfallswinkel in der Nähe des Haupteinfallswinkels, so müssen die hier angegebenen Werthe von ψ mit den in den Tabellen I und II angegebenen abgesehen für $\varphi = 78^\circ$ und Umgebung, übereinstimmen. Dies trifft nun in der That auch zu, besonders in der zweiten Hauptlage, nur in der ersten finden sich folgende Abweichungen: Nach Tabelle XIII ist ψ_1 für

$$\begin{array}{cccc} \varphi = 45^\circ, & 50^\circ, & 55^\circ, & 60^\circ, \\ \psi_1 = 35^\circ 28', & 33^\circ 16', & 30^\circ 1', & 26^\circ 38' \end{array}$$

nach Tabelle I:

$$\psi_1 = 34^\circ 58', \quad 32^\circ 35', \quad 29^\circ 37', \quad 26^\circ 6',$$

also durchschnittlich $\frac{1}{2}^\circ$ kleiner. Wenn überhaupt eine Abweichung bestände, so müsste sie in umgekehrtem Sinne stattfinden, da Tabelle I ältere Beobachtungen enthält. Auch die Curven $\psi_2 - \psi_1$ weist für diese Winkel auf einen Fehler hin, und es sind die Werthe nach Tabelle I wahrscheinlich die richtigeren. Trotzdem sind die ursprünglichen Werthe beibehalten, da die Abweichung nicht sehr erheblich ist.

Die mitgetheilten Beobachtungen zeigen aufs deutlichste den Unterschied gegen ein unkrystallinisches Medium nicht nur dadurch, dass sich für die beiden Hauptlagen verschiedene Werthe ergeben, sondern es zeigen die für jede Hauptlage allein erhaltenen Werthe ein wesentliches Abweichen von dem Gange derselben bei isotropen Medien. Es convergiren nämlich φ und Δ mit abnehmendem Einfallswinkel nicht nach der Grenze 1, resp. π , sondern in der ersten Hauptlage nach kleineren, in der zweiten nach grösseren Werthen. Rechnet man die Verzögerung nur mod. π , wie es meist geschieht, so tritt in der zweiten Hauptlage für steile Incidenzen negative relative Verzögerung ein, d. h. es ist das in der

Einfallsebene polarisirte Licht gegen das senkrecht zu ihr polarisirte verzögert, und die Amplitude des letzteren ist durch die Reflexion grösser geworden als die des ersteren. Um diese Verhältnisse sicher überblicken zu können, sind so viel Beobachtungen bei kleinen Einfallswinkeln gemacht, die sonst wenig Interesse bieten. Fig. 4 und 6 illustriert das Gesagte, über ihre Construction siehe weiter unten.

Die Differenzen $A_2 - A_1$ und $\varrho_2 - \varrho_1$ zeigen sich von erheblicher Grösse, letztere wird mit abnehmendem Einfallswinkel immer grösser. Daher eignet sich der Antimonglanz sehr gut dazu, um Formeln, die für Krystalle Gültigkeit besitzen sollen, zu prüfen. Wir wollen uns dazu wenden.

Formeln zur Berechnung der Beobachtungen.

In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich die Formeln für die Reflexion an absorbirenden Krystallen auf Grund der Voigt'schen Lichttheorie entwickelt. Es sind dort²⁾ für rhombische Krystalle die Formeln in dem Falle aufgestellt, dass sowohl Einfalls-, als Grenzebene eine Symmetrieebene des Krystalles ist. Die Formeln sind hier also direct anwendbar.

Das aus den Beobachtungen sich ergebende Verhalten für senkrechte Incidenz wurde schon dort (p. 624) theoretisch geschlossen.

Es werden die drei Symmetrieebenen des Krystalles s_1, s_2, s_3 genannt. Es möge s_1 mit der Verticalaxe, s_2 mit der Brachy-, und s_3 mit der Makroaxe coincidiren. Dann ist:

$$(1) \begin{cases} r_1 = \varrho_1 e^{iA_1} = \frac{E_s}{E_p} \cdot \frac{\cos \varphi - \sqrt{\beta} \sqrt{1 - \gamma \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi + \sqrt{\beta} \sqrt{1 - \gamma \sin^2 \varphi}} \cdot \frac{\sqrt{\alpha} \cos \varphi + \sqrt{1 - \alpha \sin^2 \varphi}}{\sqrt{\alpha} \cos \varphi - \sqrt{1 - \alpha \sin^2 \varphi}}, \\ r_2 = \varrho_2 e^{iA_2} = \frac{E_s}{E_p} \cdot \frac{\cos \varphi - \sqrt{\alpha} \sqrt{1 - \gamma \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi + \sqrt{\alpha} \sqrt{1 - \gamma \sin^2 \varphi}} \cdot \frac{\sqrt{\beta} \cos \varphi + \sqrt{1 - \beta \sin^2 \varphi}}{\sqrt{\beta} \cos \varphi - \sqrt{1 - \beta \sin^2 \varphi}}. \end{cases}$$

Hier haben ϱ, A, φ die im Vorigen schon angewandten Bedeutungen, α, β, γ sind drei dem Krystall individuelle Constanten, deren reelle Theile vorwiegend den Brechungsexponenten, deren imaginäre Theile wesentlich die Absorption bestimmen.

1) P. Drude, Wied. Ann. 32. p. 584, 1887.

2) P. Drude, l. c. p. 623.

E_s/E_p hängt von der Natur des einfallenden Lichtes ab. Ist dasselbe geradlinig unter dem Azimuth 45° gegen die Einfallsebene polarisirt, so ist:

$$\frac{E_s}{E_p} = 1.$$

Dieses ist hier der Fall. Man sieht, dass r_2 aus r_1 durch Vertauschung von α und β miteinander hergeleitet wird, es sollen daher die Entwicklungen nur an r_1 anknüpfen. Nach (1) folgt:

$$(2) \quad R_1 = \frac{1+r_1}{1-r_1} = \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\sqrt{\alpha} \cos^2 \varphi - \sqrt{\beta} \sqrt{1-\alpha \sin^2 \varphi} \sqrt{1-\gamma \sin^2 \varphi}}{\sqrt{\alpha \beta} \sqrt{1-\gamma \sin^2 \varphi} - \sqrt{1-\alpha \sin^2 \varphi}}.$$

Ich hatte früher, um die Formeln zu vereinfachen, Entwicklungen nach $(\alpha - \beta)/\alpha$ etc. gemacht und mich nur auf die erste Potenz beschränkt. Solange keine Beobachtungen vorlagen, war dies das natürlichste, da für nicht absorbirende Krystalle analoge Entwicklungen völlig unbedenklich sind. Es hat sich nun herausgestellt, dass dies hier nicht zulässig ist, die Grössen, nach deren Potenzen entwickelt wird, erreichen den Werth $1/2$ und noch grössere. Es ist aber beim Antimonglanz gestattet, die Quadrate von α, β, γ gegen 1 zu vernachlässigen, dies soll hier angewandt werden. Die folgenden Formeln gelten also nur für Krystalle mit kleinen Constanten α, β, γ , d. h. mit sehr grossen Brechungssexponenten und mässiger Absorption.

Aus (2) folgt in obiger Vernachlässigung:

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{\cos \varphi} \{(-\sqrt{\alpha} \cos^2 \varphi + \sqrt{\beta})(1 + \sqrt{\alpha \beta}) \\ &\quad - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi (\alpha \sqrt{\alpha} \cos^2 \varphi + \gamma \sqrt{\beta})\}. \end{aligned} \right.$$

Durch Vertauschung von α und β folgt:

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} R_2 &= \frac{1}{\cos \varphi} \{(-\sqrt{\beta} \cos^2 \varphi + \sqrt{\alpha})(1 + \sqrt{\alpha \beta}) \\ &\quad - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi (\beta \sqrt{\beta} \cos^2 \varphi + \gamma \sqrt{\alpha})\}. \end{aligned} \right.$$

Durch Addition und Subtraction von (3) und (4) folgt:

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} R_1 + R_2 &= (\sqrt{\alpha} + \sqrt{\beta}) \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi} [1 + \sqrt{\alpha \beta} - \frac{1}{2} \gamma \\ &\quad - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi (\alpha + \beta - \sqrt{\alpha \beta})], \end{aligned} \right.$$

$$(6) \left\{ \begin{aligned} R_1 - R_2 &= (\sqrt{\beta} - \sqrt{\alpha}) \frac{1}{\cos \varphi} [(1 + \sqrt{\alpha\beta} - \frac{1}{2}\gamma)(1 + \cos^2 \varphi) \\ &\quad + \frac{1}{2} \cos^2 \varphi (2\gamma + (\alpha + \beta + \sqrt{\alpha\beta}) \sin^2 \varphi)]. \end{aligned} \right.$$

Die letzten beiden Formeln lassen bequem die Constanten aus den Beobachtungen und umgekehrt berechnen. Zu ersterem Zwecke berechne man zunächst α und β nach den Näherungsformeln:

$$(7) \quad R_1 + R_2 = (\sqrt{\alpha} + \sqrt{\beta}) \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi},$$

$$(8) \quad R_1 - R_2 = (\sqrt{\beta} + \sqrt{\alpha}) \frac{1}{\cos \varphi}.$$

Die so erhaltenen Näherungswerte werden in die rechts stehenden Klammerausdrücke der Formeln (5) und (6) eingesetzt, dann findet man α und β in zweiter, γ in erster Näherung, indem man die Beobachtungen in zwei Theile theilt, die einen für kleine Einfallswinkel angestellt, die anderen für grosse. Die Mittelwerthe für $(R_1 + R_2) \cos \varphi / \sin^2 \varphi$ und $(R_1 - R_2) \cos \varphi$ müssen dann in den beiden Theilen verschieden ausfallen, aus ihren Unterschieden lässt sich γ in doppelter Weise berechnen. — Es ist bemerkenswerth, dass sich γ nur in erster Näherung berechnen lässt. — Die Abhängigkeit des R von den direct beobachteten Grössen ψ und Δ ist:

$$(9) \quad R = \frac{\cos 2 \psi}{1 - \sin 2 \psi \cos \Delta} + i \frac{\sin 2 \psi \sin \Delta}{1 - \sin 2 \psi \cos \Delta}.$$

Bei der Berechnung der Beobachtungen ψ oder ϱ und Δ aus den Constanten, d. h. aus R kommen die Formeln zur Anwendung: Für:

$$R = tg \Psi e^{i\Phi}, \quad \text{ist}$$

$$(10) \left\{ \begin{aligned} \varrho^2 &= tg^2 \psi = \frac{1 - \sin 2 \Psi \cos \Phi}{1 + \sin 2 \Psi \cos \Phi}, \\ \sin 2 \Delta &= \frac{\sin 4 \Psi \sin \Phi}{(1 - \sin 2 \Psi \cos \Phi)(1 + \sin 2 \Psi \cos \Phi)}. \end{aligned} \right.$$

Die Formeln sind so einfach, dass ihre Anwendung kaum grössere Rechnungen erfordern als die entsprechenden bei isotropen Medien, nur dass natürlich alles verdoppelt, resp. verdreifacht wird, wenn man zwei oder alle drei Constanten α , β , γ berechnen will. — Analog einfache Formeln müssen sich aufstellen lassen, wenn $1 - \alpha$ etc. so klein ist, dass sein

Quadrat gegen 1 vernachlässigt werden kann, d. h. bei geringer Absorption und sehr kleinen Brechungsexponenten. Es ist ein glücklicher Zufall, dass die Formeln gerade in den beiden Fällen möglichst einfach werden, in welchen man eine Prüfung der Theorie am besten veranstalten kann. Ich habe früher¹⁾ darauf hingewiesen, dass gerade in den Fällen, wo bei kleiner²⁾ Absorption der Brechungsexponent entweder sehr gross oder sehr klein ist, die Differenzen der Werthe in den Hauptlagen gross werden.

Setzt man:

$$\sqrt{a} + \sqrt{\beta} = A + Bi, \quad \sqrt{\beta} - \sqrt{a} = C + Di,$$

so ergeben die Näherungsformeln (7) und (8) folgende Werthe für die A, B, C, D aus den Beobachtungen:

Tabelle XV.

φ	A	B	C	D
25	0,433	0,038	0,0293	0,0154
30	0,395	0,068	0,0279	0,0163
35	0,406	0,068	0,0294	0,0169
40	0,413	0,071	0,0266	0,0172
45	0,404	0,067	0,0250	0,0160
50	0,401	0,069	0,0227	0,0178
55	0,406	0,068	0,0263	0,0169
60	0,400	0,063	0,0276	0,0167
65	0,410	0,066	0,0266	0,0178
70	0,410	0,062	0,0284	0,0171
72	0,416	0,062	0,0279	0,0202
74	0,417	0,060	0,0246	0,0197
76	0,417	0,058	0,0245	0,0180
77	0,421	0,060	0,0240	0,0182
78	0,419	0,057	0,0288	0,0165
79	0,410	0,062	0,0229	0,0155
80	0,414	0,076	0,0271	0,0156
85	0,411	0,066	0,0299	0,0157
87	0,426	0,054	0,0381	0,0197
Mittel	0,4121 ± 14	0,0629 ± 12	0,0272 ± 5	0,0172 ± 2

Hieraus berechnet sich in erster Annäherung:

$$\alpha = 0,0364 + i \cdot 0,0088, \quad \beta = 0,0469 + i \cdot 0,0176.$$

1) P. Drude, l. c. p. 621.

2) Die hier erforderliche kleine Absorption kann immerhin, absolut betrachtet, noch sehr gross sein, wie sich daraus ergibt, dass der metallisch glänzende Antimonglanz in diesem Sinne zu den wenig absorbirenden Medien gerechnet ist.

Der oben angegebene Weg zur Ermittlung von γ , nämlich die Beobachtungen in zwei Theile zu spalten, versagt hier, es sind die Constanten so klein, dass sich die auf dem angegebenen Wege zu erhaltenden Differenzen in den Beobachtungsfehlern verstecken.

Es würde nach dieser Methode c' negativ werden, was nicht eintreten kann. γ ist also nicht zu berechnen; es ist dies für die Prüfung der Formeln nicht ungünstig, da dieselbe um so schärfer ist, je weniger Constanten aus den Beobachtungen selbst zu berechnen sind. — Da man γ nicht kennt in erster Annäherung, so kann α und β auch nicht in zweiter Annäherung berechnet werden. Trotzdem ist, um eine Vorstellung von den zu den Formeln (7) und (8) hinzuzufügenden Correctionen zu gewinnen, für die Berechnung der Beobachtungen aus den Constanten eine zweite Annäherung versucht. Dazu ist angenommen, dass γ das arithmetische Mittel zwischen α und β sei; dies in gewisser Weise ein willkürliches Verfahren, es ist aber sehr plausibel, ja nach den Beobachtungen fast gewiss, dass γ von derselben Grössenordnung wie α und β sei, denn sonst würde die Tabelle XV nicht solch constante Werthe für A, B, C, D zeigen. Es ist also angenommen:

$$\gamma = 0,0416 + i \cdot 0,0132.$$

In den Formeln (5) und (6) sind nun in den Gliedern der Ordnung $\sqrt{\alpha^3}$ die bis jetzt erhaltenen Näherungswerthe eingesetzt, die Glieder der Ordnung $\sqrt{\alpha}$ sind so bestimmt, dass man als Mittelwerthe für $\varphi = 25, 30, \dots 85$ wirklich die beobachteten Mittelwerthe A, B, C, D erhält. Man gewinnt so die Formeln:

$$(11) \left\{ \begin{array}{l} R_1 + R_2 = (0,4141 + i \cdot 0,0639) \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \\ \quad - (0,0074 + i \cdot 0,0038) \sin^2 \varphi \cos \varphi, \\ R_1 - R_2 = (0,0274 + i \cdot 0,0174) \frac{1 + \cos^2 \varphi}{\cos \varphi} \\ \quad + (0,0013 + i \cdot 0,0015) \sin^2 \varphi \cos \varphi \\ \quad - (0,0004 + i \cdot 0,0005) \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi}. \end{array} \right.$$

Da $\sin^2 \varphi \cos \varphi$ im Maximum den Werth 0,18 erreicht, so sind die zu den ersten Gliedern hinzuzufügenden Correc-

tionen sehr klein. In den folgenden Tabellen sind die nach (11) berechneten Werthe mit den Beobachtungen zusammengestellt. Um besser die für die Verzögerung erhaltenen Resultate vergleichen zu können, ist dieselbe auch direct in Umdrehungen der Compensatorschraube angegeben.

Tabelle XVI. 1. Hauptlage.

φ	A_1		Compensator		ψ_1	
	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.
0	$\pi - 1^\circ 12'$	$\pi - 1^\circ 56'$	36,20	36,23	—	$43^\circ 26'$
25	$\pi - 2^\circ 37'$	$\pi - 2^\circ 40'$	36,27	36,27	$41^\circ 1'$	41 15
30	$\pi - 3^\circ 2'$	$\pi - 3^\circ 2'$	36,29	36,29	40 9	40 3
35	$\pi - 3^\circ 38'$	$\pi - 3^\circ 29'$	36,32	36,31	38 42	38 42
40	$\pi - 4^\circ 14'$	$\pi - 4^\circ 3'$	36,35	36,34	37 6	37 6
45	$\pi - 4^\circ 50'$	$\pi - 4^\circ 46'$	36,38	36,38	35 28	35 9
50	$\pi - 6^\circ 4'$	$\pi - 5^\circ 44'$	36,43	36,41	33 16	32 45
55	$\pi - 7^\circ 17'$	$\pi - 6^\circ 52'$	36,49	36,47	30 1	29 47
60	$\pi - 8^\circ 42'$	$\pi - 8^\circ 39'$	36,56	36,56	26 38	26 8
65	$\pi - 12^\circ 30'$	$\pi - 12^\circ 4'$	36,74	36,73	21 39	21 30
70	$\pi - 18^\circ 18'$	$\pi - 18^\circ 35'$	37,03	37,04	15 28	15 24
72	$\pi - 24^\circ 30'$	$\pi - 23^\circ 53'$	37,34	37,35	12 28	12 15
74	$\pi - 33^\circ 6'$	$\pi - 33^\circ 20'$	37,76	37,76	9 27	9 24
76	$\pi - 52^\circ 36'$	$\pi - 54^\circ 15'$	38,73	38,80	6 14	6 25
77	$\pi - 75^\circ 54'$	$\pi - 75^\circ 10'$	39,88	39,84	5 14	5 27
78	72 48	78 40 ¹⁾	41,43	41,14	4 58	5 20
79	58 42	56 20	42,13	42,24	5 58	6 23
80	41 18	38 33	34,07	34,21	8 47	8 24
85	9 30	9 28	35,65	35,65	24 10	24 4
87	4 30	5 6	35,89	35,87	32 32	32 4
89	36	1 36	36,09	36,04	40 32	40 37
90	—	0 0	—	36,12	—	45 0

Tabelle XVII. 2. Hauptlage.

φ	A_2		Compensator		ψ_2	
	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.
0	$\pi + 1^\circ 48'$	$\pi + 1^\circ 56'$	36,05	36,05	—	$46^\circ 34'$
25	$\pi + 1^\circ 13'$	$\pi + 1^\circ 22'$	36,08	36,07	$44^\circ 23'$	44 25
30	$\pi + 49'$	$\pi + 1^\circ 0'$	36,10	36,09	43 21	43 13
35	$\pi + 24'$	$\pi + 38'$	36,12	36,11	42 3	41 53
40	$\pi - 12'$	$\pi + 9'$	36,15	36,14	40 13	40 18
45	$\pi - 49'$	$\pi - 24'$	36,18	36,16	38 23	38 24
50	$\pi - 1^\circ 25'$	$\pi - 1^\circ 5'$	36,20	36,18	36 2	36 3
55	$\pi - 2^\circ 24'$	$\pi - 2^\circ 3'$	36,25	36,23	33 17	33 10
60	$\pi - 3^\circ 12'$	$\pi - 3^\circ 10'$	36,29	36,29	30 9	29 39

1) Die berechneten Zahlen sind in der Nähe des Haupteinfallswinkels hier, und noch mehr in der zweiten Hauptlage eventuell bis zu $\pm 2^\circ$ unsicher da die Constanten α und β nur auf vier Decimalen berechnet sind.

(Fortsetzung der Tabelle XVII.)

φ	Δ_2		Compensator		ψ_2	
	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.
65	$\pi - 5^0 12'$	$\pi - 4^0 57'$	36,37	36,37	$25^0 9'$	$25^0 5'$
70	$\pi - 7 42$	$\pi - 8 18$	36,49	36,53	19 16	19 14
72	$\pi - 9 6$	$\pi - 10 23$	36,55	36,63	15 57	16 2
74	$\pi - 12 6$	$\pi - 14 4$	36,68	36,82	12 11	12 37
76	$\pi - 19 48$	$\pi - 21 27$	37,05	37,19	8 5	8 45
77	$\pi - 28 42$	$\pi - 29 13$	37,38	37,57	5 58	6 42
78	$\pi - 42 36$	$\pi - 42 30$	38,02	38,22	4 17	4 44
79	$\pi - 79 54$	$\pi - 79 14$	39,67	40,04	3 24	3 26
80	61 42	63 0	32,98	33,00	4 59	4 0
85	8 30	7 45	35,69	35,74	20 47	20 57
87	3 12	3 30	35,96	35,96	30 21	30 3
89	24	1 14	36,10	36,06	39 28	39 55
90	—	0 0	—	36,12	—	45 0

Tabelle XVIII.

φ	$\Delta_2 - \Delta_1$		$\psi_2 - \psi_1$	
	beobacht.	berechn.	beobacht.	berechn.
0	$3^0 0'$	$3^0 52'$	—	$3^0 8'$
25	3 50	4 2	$3^0 22'$	3 10
30	3 51	4 2	3 12	3 10
35	4 2	4 7	3 21	3 11
40	4 2	4 12	3 7	3 12
45	4 1	4 22	2 55	3 15
50	4 39	4 39	2 46	3 18
55	4 53	4 49	3 16	3 23
60	5 30	5 29	3 31	3 31
65	7 18	7 7	3 30	3 35
70	10 36	10 17	3 48	3 50
72	15 24	13 30	3 29	3 47
74	21 0	19 16	2 44	3 13
76	32 48	32 38	1 51	2 20
77	47 12	45 57	44	1 15
78	64 36	58 50	-41	-36
79	41 24	44 26	-2 34	-2 57
80	20 24	24 27	-3 48	-4 24
85	-1 0	-1 43	-3 23	-3 7
87	-1 18	-1 36	-2 11	-2 1
89	-12'	-22'	-1 4	-0 42
90	—	00	—	00

Die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist so gut, wie man es nur irgend erwarten kann bei der Schwierigkeit der Beobachtungen. Trotzdem dass die Spaltbarkeit vom Antimonglanz sehr gut ist, so sind die von einer Spaltfläche reflectirten Bilder doch nicht so tadellos, wie von einem polirten Spiegel, daher allein schon, abgesehen

von den oben angeführten anderen Gründen cf. p. 513 sind an die Beobachtungen nicht ganz die gleichen Anforderungen zu stellen, als z. B. an die des Hrn. Hennig. Als besonders wichtig muss es erscheinen, dass für die in der letzten Tabelle angegebenen Differenzen die Rechnung mit der Beobachtung so gut übereinstimmt. Die einzig grössere Abweichung ist für $\Delta_2 - \Delta_1$ bei $\varphi = 78^\circ$, und gerade in diesem Falle herrschte über den Werth dieser Differenz eine Ungewissheit, da er mit der Zeit abnahm. Da ψ nicht so mit der Zeit sich ändert, als Δ , so ist für ersteres auch die Uebereinstimmung grösser. In der Tabelle XVI findet sich für $\varphi = 45 - 60^\circ$ ψ etwas zu gross, dies sind gerade die Werthe, welche p. 514 als unwahrscheinlich bezeichnet sind. Die dort angegebenen beobachteten und wahrscheinlichen Werthe stimmen in der That völlig mit den berechneten. Dies verschuldet auch die kleine Abweichung in Tabelle XVIII in der Differenz $\psi_2 - \psi_1$ bei obigen Einfallswinkeln.

Die Resultate sind graphisch dargestellt in den Fig. 5 und 6. Die Curven sind nach den berechneten Werthen gezeichnet, die Kreuzchen und Kreise bezeichnen die Beobachteten. In Fig. 5 beziehen sich erstere auf Δ , letztere auf ϱ . In Fig. 6 ist der Maassstab für $\psi_2 - \psi_1$ stark vergrössert, die Einheit ist $= 6'$. Die Kreuze gelten für $\psi_2 - \psi_1$ und $\Delta_2 - \Delta_1$. Die Kreise bezeichnen die p. 514 als wahrscheinlich bezeichneten Werthe. Die gestrichelte Curve gilt für $\varrho_2 - \varrho_1$, sie ist gezeichnet, um das von vornherein unerwartete Resultat zu demonstrieren, dass $\varrho_2 - \varrho_1$ für $\varphi = 0^\circ$ am grössten ist.

Die beobachteten Werthe schliessen sich überraschend gut an die Curven in allen Einzelheiten an, besonders ist der Verlauf von $\Delta_2 - \Delta_1$ für grosse Einfallswinkel sehr charakteristisch.

Aus der Fig. 5 finden sich die Haupteinfallswinkel $\bar{\psi}$ und Hauptazimuthe $\bar{\varrho}$ zu:

$\bar{\psi}_1 = 77^\circ 30'$, $\bar{\psi}_2 = 78^\circ 20'$, $\bar{\varrho}_1 = 0,090$, $\bar{\varrho}_2 = 0,058$.
Aus den Constanten α und β berechnen¹⁾ sich die Brechungs-
exponenten n ²⁾ und Absorptionscoëfficienten κ zu:

1) P. Drude, Wied. Ann. 32. p. 616. 1887.

2) W. Voigt, Wied. Ann. 23. p. 111. 1884.

$$\begin{aligned} n_1 &= 5,17, & n_2 &= 4,49, \\ \kappa_1 &= 0,143, & \kappa_2 &= 0,177, \\ n_1 \kappa_1 &= 0,740, & n_2 \kappa_2 &= 0,795. \end{aligned}$$

Es hat also der Antimonglanz sehr hohe Brechungsexponenten, wie sie wohl noch bei keiner anderen Substanz beobachtet sind. $n\kappa$ ist ein Maass für die Absorption. Dieselbe ist etwa viermal kleiner als beim Silber. Für eine Platte, deren Normale die Verticalaxe ist, ist sie kleiner als für eine Platte normal zur Brachyaxe. Die angegebenen Zahlen gelten nur in erster Näherung.

Es gelang nicht, eine so dünne Platte herzustellen, dass die Absorption direct gemessen werden konnte. Spaltstücke und ein Dünnschliff derselben Orientirung von etwa $\frac{1}{100}$ mm Dicke zeigten sich bei intensiver Beleuchtung in schöner rother Farbe durchscheinend, das Roth war ganz homogen und von weit grösserer Wellenlänge, als Lithiondampf.

Wird anstatt in Luft in einer Flüssigkeit vom Brechungsexponenten n^0 beobachtet, so sind¹⁾ anstatt der bisher benutzten Constanten $\alpha, \beta, \gamma, \alpha n^{0^2}, \beta n^{0^2}, \gamma n^{0^2}$ einzuführen. Es berechnet sich so für Wasser bei $\varphi = 70^\circ$, $\Delta_1 = 37^\circ 18'$, $\psi_1 = 8^\circ 44'$. Beobachtet war (cf. p. 507) $\Delta_1 = 39^\circ 10'$, $\psi_1 = 9^\circ 0'$.

II. Theil.

Abhängigkeit der relativen Verzögerung Δ und des Amplitudenverhältnisses ρ von dem Azimuth der Einfallsebene.

Beobachtungen.

Es ist an mehreren Spaltflächen beobachtet, und zwar meist unter dem Einfallswinkel 70° . Es geschah dies deshalb, weil, wie die Fig. 5 zeigt, $\psi_2 - \psi_1$ dort am grössten ist. Aus der Verzögerung lässt sich oft nichts schliessen, weil diese nur bei fast gleichzeitigen Beobachtungen vergleichbare Resultate liefert.

Das Azimuth der Einfallsebene wurde von 10 zu 10° geändert, indem der Kreis T des Totalreflectometers gedreht wurde, und zwar ganz herum, sodass bei einem Einfallswinkel in 36 Azimuthen beobachtet ist.

1) P. Drude, Wied. Ann. **32**. p. 607. 1887.

Die ersten Beobachtungen beziehen sich auf die Spaltfläche, die auch für die Tabellen I—IV benutzt ist. Sie war in der Nähe des Knicks des Krystalles (cf. p. 496) abgesägt, doch zeigten einzelne der Vertical- und Brachyaxe parallel verlaufende Streifungen, dass ihre krystallographische Orientierung vollkommen die von ihren Begrenzungsflächen (Prismenflächen) angezeigte war. Da die Beobachtungen sich über die Dauer von den ersten vier Tagen nach der Spaltung erstreckten, so änderte sich die Verzögerung Δ stark. Ich gebe daher hier nur die für ψ gewonnenen Zahlen. Dieselben sind die Mittel aus je fünf Beobachtungen; sie sind im Folgenden so angeordnet, dass oben und unten die beiden Hauptlagen stehen, in der k ten Reihe stehen die Azimuthe von der ersten Hauptlage an gerechnet:

$$(k-1) \cdot 10^0, 180^0 - (k-1) \cdot 10^0, 180^0 + (k-1) \cdot 10^0, 360 - (k-1) \cdot 10^0.$$

Tabelle XIX.

 $\varphi = 70^0$. Analysator.

63° 42'	63° 12'	—	63° 28'	66° 14'	65° 19'	65° 59'	65° 10'
63 47	63 9	63° 21'	63 35	66 56	65 44	66 47	65 54
64 14	63 19	64 17	63 31	67 6	66 39	67 16	66 28
64 36	64 0	64 54	63 51	67 25	66 52	67 21	66 47
65 5	64 20	65 38	64 28	67 16	—	67 24	—

Es müssen die Zahlen derselben Reihe übereinstimmen. Dies ist nun in der Tabelle nicht der Fall, die erste und dritte, sowie zweite und vierte stimmen wohl für sich, aber nicht mit einander, die Differenzen erreichen 1^0 , liegen also weit ausserhalb der Beobachtungsfehler. Dies deutet darauf hin, dass die beiden Hauptlagen nicht optische Symmetrierichtungen sind. Es sollen die Lagen derselben ermittelt werden.

Es möge die vom Analysator angegebene Zahl, wenn das Azimuth der Einfallsebene einen Winkel a mit einer wirklichen optischen Symmetrierichtung S bildet, allgemein $f(a)$ sein, so muss sein:

$$f(a) = f(-a), \quad f\left(\frac{\pi}{2} + a\right) = f\left(\frac{\pi}{2} - a\right).$$

Nennt man den Winkel der krystallographischen Verticalaxe mit Sx , und die in der Tabelle XIX angegebenen Zahlen A_h , $h = 0, 1 \dots 37$, so ist:

$$A_h = f(x + h \cdot 10^0) = f(h \cdot 10^0) + x \left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_{a = h \cdot 10^0}.$$

Da nun: $f(a) = f(\pi + a),$

so ist auch: $\left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_a = \left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_{\pi + a},$ d. h. $A_h = A_{18+h}.$

Dies erfüllt in der That die Tabelle XIX. Es ist ferner:

$$A_{18-h} = f(h \cdot 10^0) + x \left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_{a = 18-h \cdot 10^0}.$$

Nun ist aber:

$$\left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_{a = h \cdot 10^0} = \frac{A_{h+1} - A_h}{10}, \quad \left[\frac{\partial f}{\partial a} \right]_{a = 18-h \cdot 10^0} = \frac{A_{18-h+1} - A_{18-h}}{10},$$

folglich: $x = 10 \frac{A_h - A_{18-h}}{A_{h+1} - A_h - A_{18-h+1} + A_{18-h}}.$

Setzt man:

$$A_h - A_{18-h} = D_h, \quad A_{h+1} - A_h = A_h, \quad A_h - A_{18-h} = D'_h,$$

so wird: $x = 10 \frac{D_h}{D'_h}.$

Im Folgenden sind A_h und A_{18+h} zu Mittelwerthen vereinigt. Es ergibt sich dann folgende Rechnung:

Tabelle XX. $\varphi = 70^\circ.$

A_h	A_h	D_h	D_h	x
63° 27'	7'	36'	12'	3,3°
63 34	41	33	50	15,1
64 15	30	66	50	7,6
64 45	36	74	57	7,7
65 21	45	96	51	5,3
66 6	45	54	62	11,5
66 51	20	56	38	6,8
67 11	12	14	33	23,5
67 23	— 3	—	—	—
67 20	—30	—	—	—
66 50	—17	—	—	—
66 33	—44	—	—	—
65 49	—34	—	—	—
65 15	—51	—	—	—
64 24	—29	—	—	—
63 55	—30	—	—	—
63 25	— 3	—	—	—
63 22	+ 5	—	—	—
63 27	—	—	—	—

Wird aus den Werthen x das Mittel genommen, nur der letzte, offenbar falsche Werth ausgeschlossen, so folgt:

$$x = 8,2^{\circ}.$$

Der Compensator würde eine Abweichung der optischen von den krystallographischen Symmetriemaxen in demselben Sinne und ungefähr derselben Grösse geben.

Um ganz sicher zu sein, habe ich für $\varphi = 85^{\circ}$ an demselben Spaltstück analoge Beobachtungen gemacht. Da der Compensator in beiden Hauptlagen fast identische Resultate ergibt, so brauchte nur der Analysator eingestellt zu werden.

Es ergab sich:

$$x = 4,5^{\circ}; 11,4; -; 1,6; 7,1; 6,0; 10,8; -; \text{Mittel } 6,9^{\circ}.$$

Die Beobachtungen sind hier, weil der Einfallswinkel sehr gross, und daher die reflectirte Intensität klein ist, mit grösseren Fehlern behaftet, als bei $\varphi = 70^{\circ}$. Indess auch hier zeigt sich die genannte Abweichung in demselben Sinne und fast derselben Grösse.

Es liegt nahe, anzunehmen, dass die Nähe des Knicks dieselbe verursachte; als Mittel aus Tabelle XX und XXI erhält man für x $7,5^{\circ}$, und dies ist genau der Winkel, den die Verticalaxe des Knickes mit der eigentlichen des Krystals bildete. Die Streifungen der Spaltfläche liessen allerdings, wie schon oben gesagt ist, nicht auf eine falsche Orientierung schliessen.

Um diesen eventuellen Einfluss constatiren zu können, wurden die Beobachtungen für $\varphi = 70^{\circ}$ an einem Stück wiederholt, welches möglichst weit vom Knick entfernt lag. Auch hier gab der Compensator keine sicheren Resultate; es zeigten sich nämlich bei Drehung von T um 180° verschiedene relative Verzögerungen. Der Grund war der, dass das Spaltstück mit Watte lose einmal abgewischt war; dadurch waren optisch verschiedene Partien entstanden, und je nach Drehung von T wurde bald von einem, bald von anderen Theilen reflectirt, da das einfallende Lichtbündel nicht genau die Mitte des Spaltstückes traf. Dass dies wirklich die Ursache war, wurde dadurch constatirt, dass es durch geeignete Parallelverschiebung des Stückes, was bei der Construc-

tion des Liebisch'schen Totalreflectometers ermöglicht ist, erreicht werden konnte, dass bei Drehung von T um 180° die vom Compensator angegebenen Zahlen gleich wurden und bei noch weiterer Verschiebung des Schlittens in einem dem früheren entgegengesetzten Sinne voneinander abwichen.¹⁾

Aus den Beobachtungen für ψ folgte so bei $\varphi = 70^\circ$:

$x = 2,4^\circ$; $-1,0$; $5,5$; $4,5$; $2,6$; $3,1$; $1,3$; $19,0$ ²⁾; Mittel $x = 2,6^\circ$.

Es ergibt sich hier in der That ein kleinerer Werth für x , der aber noch trotzdem von 0 wesentlich abweicht.

Um auch den Compensator bei Auffindung der Symmetrierichtungen einmal benutzen zu können, wurde noch eine Messung für $\varphi = 70^\circ$ vorgenommen drei Tage nach der Spaltung im Laufe einer Stunde an einem Stück, welches zwischen den beiden vorigen lag. Es wurde nur immer eine Beobachtung gemacht, die Zahlen sind daher relativ unsicher.

Aus den Angaben des Analysators folgte:

$x = 13,6^\circ$; $16,2$; $11,9$; $8,9$; $7,8$; $8,4$; $3,9$; $3,7$; Mittel $x = 9,3^\circ$.

Nach dem Compensator folgte:

$x = 7,3^\circ$; $18,0$; $15,7$; $17,9$; $15,0$; $22,0$; $17,1$; $10,0$; Mittel $x = 15,4^\circ$

Ich möchte den Werth $x = 9,3^\circ$ für wahrscheinlicher halten, als den letzten. Wenn man auch den einzelnen Bestimmungen keine grosse Genauigkeit beilegt, so geht doch mit Evidenz hervor, dass die optischen Symmetrierichtungen einen gewissen Winkel mit den krystallographischen machen, der Schwankungen in den verschiedenen Stellen des Krystalls unterworfen ist. Die Abweichung der Symmetriearien von der krystallographischen sogenannten Verticalaxe in dem Sinne der Abweichung der Verticalaxe des Knickes ist absolut sicher, da nur in einem einzigen Falle x negativ gefunden ist (cf. 7. Zeile). Optisch würde hiernach der Antimonglanz eine niedere Symmetrie besitzen, mindestens die

1) Die geringste Politur zeigte sich von merkbarem Einfluss. Für diese Fläche zeigte der Compensator ursprünglich bei $\varphi = 70^\circ$: $37,76$, resp. $37,07$ in den beiden Hauptlagen, nachdem die Fläche fünf Minuten lose mit einem Lederlappen, auf welchem sich Pariser Roth befand, gerieben war, zeigte der Compensator $37,56$, resp. $37,02$.

2) Dieser Werth ist beim Mittel ausgeschlossen.

des monoklinen Systems. In diesem Falle könnte schon Δ andere Symmetrierichtungen zeigen als ψ , wie es zuletzt beobachtet ist. Wie diese optische Anomalie zu erklären ist, hat mehr krystallographisches Interesse.

Es will auf den ersten Blick scheinen, als ob nun alle vorigen Bestimmungen in den beiden Hauptlagen keinen Werth hätten, da nicht in den wirklichen Hauptlagen beobachtet ist; da aber in ihnen Maxima, resp. Minima stattfinden, so ändern sich ψ und Δ in ihrer Umgebung so wenig, dass es völlig unbedenklich ist, die angeführten Werthe als den eigentlichen Hauptlagen entsprechend anzunehmen. Es sind wiederholt ψ und Δ in den berechneten Hauptlagen bestimmt, und nie hat sich eine ausserhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler fallende Abweichung von den in den krystallographischen Hauptlagen beobachteten ergeben.

Formeln zur Berechnung der Beobachtungen.

Von der letzthin constatirten Abweichung der optischen Symmetrieaxe geben natürlich die Formeln der rhombischen Krystalle keine Rechenschaft. Ich will nun aber nicht hier die für monokline gültigen anwenden, sondern wie bisher die für rhombische Krystalle, nur unter der Voraussetzung, dass die Axen s_1, s_2 mit den zuletzt bestimmten Symmetrierichtungen coincidiren.

In der Bezeichnung weise ich auf eine frühere Arbeit zurück.¹⁾ Es handelt sich hauptsächlich um die Bestimmung von ϑ und χ , welche dort im Formelsystem (41) auftreten²⁾. Schliesst die Einfallsebene mit s_1 einen Winkel ζ ein, so wird³⁾:

$$\alpha_{11} = \alpha \cos^2 \zeta + \beta \sin^2 \zeta, \quad \alpha_{22} = \alpha \sin^2 \zeta + \beta \cos^2 \zeta, \quad \alpha_{33} = \gamma,$$

$$\alpha_{23} = 0, \quad \alpha_{31} = 0, \quad \alpha_{12} = (\alpha - \beta) \sin \zeta \cos \zeta.$$

Aus den dortigen⁴⁾ Formeln 37 und 38 bestimmt sich dann, wenn man α^2 gegen 1 vernachlässigt:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}^2 \chi_o &= \alpha \sin^2 \varphi [1 + \sin^2 \varphi (\alpha \sin^2 \zeta + \gamma \cos^2 \zeta)]^5, \\ \operatorname{tg}^2 \chi_e &= \beta \sin^2 \varphi [1 + \sin^2 \varphi (\gamma \sin^2 \zeta + \beta \cos^2 \zeta)], \end{aligned}$$

1) P. Drude, Wied. Ann. 32. p. 584. 1887.

2) l. c. p. 308.

3) l. c. p. 586.

4) l. c. p. 605.

5) Ueber die Bezeichnung $\chi_o, \chi_e, \vartheta_o, \vartheta_e$ cf. l. c. p. 608.

$$\operatorname{tg} \vartheta_o = \operatorname{cotg} \zeta \left(1 + \alpha \sin^2 \varphi \frac{\gamma - \alpha}{\alpha - \beta} \right),$$

$$\operatorname{tg} \vartheta_e = - \operatorname{tg} \zeta \left(1 - \beta \sin^2 \varphi \frac{\gamma - \beta}{\alpha - \beta} \right).$$

Im Folgenden sollen auch Glieder der Ordnung α gegen 1 vernachlässigt werden, d. h. es soll dieselbe Näherung gemacht werden, mit deren Hülfe aus den Formeln (7) und (8) α und β berechnet sind, und die sich schon sehr genau den wirklichen Verhältnissen anschloss. Es wird dann¹⁾

$$(11) \left\{ \begin{array}{ll} A_1^o - A_3^o = \frac{\sin \zeta}{\cos \varphi}, & A_1^e - A_3^e = \frac{\cos \zeta}{\cos \varphi}, \\ A_2^o + A_4^o = \cos \zeta, & A_2^e + A_4^e = -\sin \zeta, \\ A_1^o + A_3^o = \sqrt{\alpha} \sin \zeta, & A_1^e + A_3^e = \sqrt{\beta} \cos \zeta, \\ A_2^o - A_4^o = \sqrt{\alpha} \frac{\cos \zeta}{\cos \varphi}, & A_2^e - A_4^e = -\sqrt{\beta} \frac{\sin \zeta}{\cos \varphi}. \end{array} \right.$$

Man kann nun $r = R_s/R_p$ bilden²⁾ und findet so:

$$r = \frac{-1 + \cos^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\alpha}}{\cos \varphi} - \sqrt{\beta} \cos \varphi \right) + \sin^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\beta}}{\cos \varphi} - \sqrt{\alpha} \cos \varphi \right) + 2(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}) \sin \zeta \cos \zeta}{1 + \cos^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\alpha}}{\cos \varphi} - \sqrt{\beta} \cos \varphi \right) + \sin^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\beta}}{\cos \varphi} - \sqrt{\alpha} \cos \varphi \right) - 2(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}) \sin \zeta \cos \zeta}$$

und daraus:

$$R = \frac{1+r}{1-r} = \frac{\cos^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\alpha}}{\cos \varphi} - \sqrt{\beta} \cos \varphi \right) + \sin^2 \zeta \left(\frac{\sqrt{\beta}}{\cos \varphi} - \sqrt{\alpha} \cos \varphi \right)}{1 - 2(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}) \sin \zeta \cos \zeta}.$$

Wird auch noch $(\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}) \sin 2\zeta$ gegen 1 vernachlässigt, was im Maximum einen Fehler von 2 Proc. macht und die Formel sehr vereinfacht, so wird:

$$(12) \quad R = \cos^2 \zeta \cdot R_1 + \sin^2 \zeta \cdot R_2,$$

wo R_1 und R_2 die Werthe sind, die R in den beiden Hauptlagen für $\zeta = 0$ und $\zeta = \pi/2$ besitzt.

Nach der Formel (12) sind die letzthin (p. 527) erwähnten Beobachtungen bei $\varphi = 70^\circ$ berechnet. Es ist am bequemsten, $x = 10^\circ$ zu nehmen. Es ist demgemäss mit A_1 , statt mit A_0 begonnen; im Folgenden ist die Anordnung getroffen, dass auf gleichen Reihen Werthe mit supplementären Azimuthen stehen, die also gleich sein müssen.

1) l. c. p. 608.

2) l. c. p. 609.

Tabelle XXI.

Analysator		Mittel	ψ	Compensator -36,00	Mittel	Δ
63° 32'	—	63° 32'	15° 29'	125	—	22° 48'
63 32	63° 29'	63 35	15 32	123	122	22 26
64 6	63 55	64 0	15 57	117	119	21 25
64 31	64 32	64 32	16 29	104	110	19 10
64 56	65 6	65 1	16 58	97	100	17 23
65 31	65 46	65 39	17 36	86	92	15 31
66 0	66 29	66 14	18 11	76	81	13 31
66 35	66 59	66 47	18 44	70	71	11 54
66 33	67 17	67 5	19 2	68	69	11 18
67 12	—	67 12	19 9	65	—	10 42

In der That stimmen die Zahlen derselben Reihe so gut überein, dass es unbedenklich erscheint, $x = 10^0$ zu wählen.

Nach den hier angegebenen ψ und Δ sind die R nach Formel (9) berechnet, andererseits nach (12). Die Resultate sind in Tabelle XXII zusammengestellt. Es ist dabei gesetzt:

$$R = M + Ni,$$

wo M und N reell sein sollen.

Tabelle XXII.

φ	M		N	
	beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet
0°	0,5816	0,5816	0,1352	0,1352
10	0,5800	0,5788	0,1333	0,1334
20	0,5691	0,5707	0,1294	0,1278
30	0,5543	0,5581	0,1180	0,1193
40	0,5414	0,5430	0,1088	0,1090
50	0,5255	0,5266	0,0992	0,0979
60	0,5108	0,5112	0,0879	0,0874
70	0,4975	0,4988	0,0786	0,0790
80	0,4906	0,4907	0,0753	0,0735
90	0,4877	0,4877	0,0715	0,0715

Die Uebereinstimmung ist völlig befriedigend. Die Resultate sind graphisch dargestellt auf Tafel VII, in einem Quadranten sind die Kreuzchen, welche die beobachteten Werthe darstellen, nur da gezeichnet, wo überhaupt bei dem dort angewandten Maassstabe eine Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung sichtbar war. N stellt wesentlich den Gang der Verzögerung, M den von $\cos 2\psi$ dar. Die Curve für die Verzögerung würde dieselbe Gestalt besitzen, als die für N .

Resultate.

1. Die auf Grund der Voigt'schen Lichttheorie für Krystalle entwickelten Formeln stehen völlig in Einklang mit Beobachtungen am Antimonglanz.

2. Der Antimonglanz besitzt in Richtung der Vertical-, resp. Brachyaxe für Natriumlicht die Brechungsexponenten 5,17, resp. 4,49 und die Absorptionscoëfficienten 0,740, resp. 0,795.

3. Das Mineral bedeckt sich mit der Zeit an der Luft, auf seinen Spaltungsflächen mit einer Oberflächenschicht, welche die Undurchsichtigkeit erhöht, aber den Brechungsindex nicht wesentlich ändert.

4. Die optischen Symmetrieaxen der Spaltungsfläche des Antimonglanzes bilden gewisse Winkel mit seinen krystallographischen Symmetrieaxen.

Phys. Inst. zu Göttingen, Wintersemester 1887/88.

VI. Ueber die Compressibilität des Sylvins, des Steinsalzes und der wässerigen Chlorkaliumlösungen; von W. C. Röntgen und J. Schneider.

Wir gestatten uns, im Folgenden die Fortsetzung unserer Untersuchung über die Compressibilität mitzuthemen. Da die Versuchsmethode in unseren früheren Abhandlungen¹⁾ beschrieben wurde, so können wir uns auf eine Mittheilung der neuen Resultate beschränken.

Früher bestimmte, in der folgenden Arbeit benutzte Werthe.

Inhalt des Piézometers II bei 17,95° bis zum Theilstrich 4,0 der Scala	62,753 ccm
Normalquerschnitt der Capillare des Piézometers II	0,003 604 qcm
Calibercorrection der beiden Capillaren, vgl. Wied. Ann. 29. p. 174. 1886.	
Verhältniss der durch gleichen Druck in den mit Wasser gefüllten Piézometern I und II erzeugten, auf Normalcalibermaass reducirten Depressionen	1,0418

1) Röntgen u. Schneider, Wied. Ann. 29. p. 165. 1886; 31. p. 1000. 1887; 33. p. 644. 1888.