

#### **4. Die Phasenänderung des Lichtes bei der Reflexion an Quecksilber; von Heinrich Wallbott.**

---

Die früheren Versuche zur Bestimmung der Phasenänderungen des Lichtes bei der Reflexion an Metallen standen zum Theil untereinander und mit der Theorie im Widerspruch. Da es nun wahrscheinlich schien, dass die Theorie auch in dieser Frage recht behalten würde, so schlug man zur Erklärung des Widerspruches im wesentlichen nur zwei Wege ein. Es konnten die Abweichungen von der Theorie ihren Grund entweder in natürlichen Oberflächenspannungen haben, welche durch die Verschiedenheit der Beschaffenheit der Körper im Innern und an der Grenze bedingt und durch keine Versuchsanordnung zu entfernen sind. Auf diesem Wege versuchte Drude<sup>1)</sup> eine Erklärung, indem er z. B. bei Silber eine unnormale Oberflächenschicht von sehr geringer Dicke ( $1/400\lambda$ ) auf beiden Seiten des sich normal verhaltenden Silbers annahm. Oder jene Abweichungen konnten von verunreinigenden Oberflächenschichten herrühren, die sich bei der Messung zwischen das durchsichtige und das absorbirende Medium drängen und sich beseitigen lassen. Diesen Weg beschritt Wernicke<sup>2)</sup> und bewies, dass gerade bei Silber ein fremder Körper an der Grenzfläche des Metalles die Ursache der der Theorie widersprechenden Beobachtungen ist. Der fremde Körper war nach seinen Untersuchungen moleculares Silber, welches auf dem cohärenten aufsass und durch Verwandlung in solches beseitigt werden konnte, sodass dann die Beobachtungen der Theorie entsprachen.

Bei dieser Sachlage kann man im allgemeinen nicht vorhersagen, ob bei einem gegebenen Metall mit einer angrenzenden durchsichtigen Schicht die Phasenänderungen der Theorie entsprechen werden oder nicht. Jeder einzelne Fall bedarf einer besonderen Untersuchung.

---

1) P. Drude, Wied. Ann. **51**. p. 104. 1894.

2) W. Wernicke, Wied. Ann. **51**. p. 448. 1894; **52**. p. 515. 1894.

Angeregt durch Hrn. Prof. Wiener unternahm ich die experimentelle Bestimmung der Phasenänderungen des Lichtes an Quecksilber. Die Feststellung dieser Grössen war um so erwünschter, als sie in neuerer Zeit praktisches Interesse gewinnen, beispielsweise bei dem Lippmann'schen Verfahren der Farbenphotographie.

Als durchsichtige Medien, in denen die Reflexion stattzufinden hat, benutzte ich verschiedene Körper, welche nahezu dieselben Brechungsexponenten haben, und für welche die theoretisch gefundenen Werthe der Phasenänderungen sich höchstens um drei Einheiten der dritten Decimale unterscheiden. Da aber diese Grösse innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt, so müssten bei Benutzung der verschiedenen Medien dieselben Resultate erzielt werden, wenn sich eine Uebereinstimmung von Theorie und Erfahrung ergeben soll.

Eine solche Uebereinstimmung fand nur zum Theil statt. Es ergab sich aber, dass von den beiden oben aufgestellten Annahmen auch hier diejenige die richtige ist, welche den Grund der Abweichungen in verunreinigenden Oberflächenschichten sucht. Es gelang mir nämlich, die in verschiedenen Fällen auftretenden Oberflächenschichten ganz oder theilweise zu entfernen und bei allen benutzten durchsichtigen Medien Uebereinstimmung mit der Theorie zu erzielen, soweit es die Genauigkeit der Methode zuliess.

### § 1. Geschichtliches.

Die einzigen experimentellen Bestimmungen der Phasenänderungen des Lichtes bei der Reflexion an Quecksilber, die meines Wissens vorliegen, sind die von Quincke.<sup>1)</sup> Derselbe erzeugt Interferenzstreifen mittels eines Interferentialrefractors, dessen eine dicke, planparallele Glasplatte  $G_1$  mit einer undurchsichtigen Schicht von Quecksilber belegt war. Als Lichtquelle benutzt er dabei polarisirtes Sonnenlicht, welches nach den Reflexionen an den beiden Glasplatten  $G_1$  und  $G_2$  auf ein Prisma fällt und dann mit einem Fernrohr beobachtet wird. Auf diese Weise findet er bei kleinen Einfallswinkeln für den

---

1) G. Quincke, Pogg. Ann. 142. p. 202. 1871.

elektrischen (Fresnel'schen) Lichtvector eine Phasenbeschleunigung von 0,2 Wellenlängen, während die von ihm berechneten Werthe im Mittel 0,43 ergaben. Wenn auch die von Quincke benutzte Methode keine besonders genauen Werthe liefert, glaubt er doch unter anderem, dass die Abweichungen der beobachteten von den berechneten Werthen möglicherweise von condensirten Gasen und Dämpfen an der Oberfläche der reflectirenden Flächen herrühren.

## § 2. Theorie.

Für den magnetischen (Neumann'schen) Lichtvector berechnet sich die absolute Phasenbeschleunigung des Lichtes bei der Reflexion an Metallen in durchsichtigen Medien nach folgender, von Drude<sup>1)</sup> aufgestellten, einfachen Formel:

$$(1) \quad \operatorname{tg} 2\beta_1 = - \frac{2n\kappa \cdot n_1}{n^2 + n^2\kappa^2 - n_1^2} = - \operatorname{tg} \Delta.$$

Hierbei bedeutet  $n\kappa$  den auf die Wellenlängen (nicht auf die Längeneinheit) bezogenen Absorptionscoefficienten und  $n$  den Brechungsexponenten des betreffenden Metalles gegen den freien Aether,  $n_1$  dagegen den Brechungscoefficienten des durchsichtigen Mediums gegen Luft. Die Brechungsexponenten  $n_D$  für die Natriumlinie und die Dispersionen der von mir benutzten Substanzen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle I.

Substanz	$n_D$	$n_F - n_C = \delta$
Glimmer	1,57	0,009
Gelatine	1,54	0,011
Glas	1,52	0,008
Collodium	1,51	0,012

Unter Zugrundelegung der von Drude<sup>2)</sup> bestimmten Werthe für reines Quecksilber:

$$n = 1,73; \quad n\kappa = 4,96$$

1) P. Drude, Wied. Ann. 51. p. 87. 1894.

2) l. c. 39. p. 530. 1890.

ergiebt sich also für die Reflexion der Natriumlinie an Quecksilber in Glimmer:

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{2 \cdot 4,96 \cdot 1,57}{1,73^2 + 4,96^2 - 1,57^2}; \quad \Delta = 31^\circ 47'.$$

Der magnetische Lichtvector erfährt also bei der Quecksilberreflexion in Glimmer eine Beschleunigung von  $(-0,088)$ , d. h. eine Verzögerung von  $0,088$  Wellenlängen. Legen wir dagegen den elektrischen Vector zu Grunde, welcher bei den meisten Lichterscheinungen maassgebend ist, so beträgt die Beschleunigung des letzteren:

$$\varphi = 0,5 - 0,088 = 0,412 \text{ Wellenlängen.}$$

Nehmen wir als durchsichtige Substanz Collodium, mit dem kleinsten der vier Brechungsexponenten, so ergiebt sich in derselben Weise:

$$\varphi = 0,415 \text{ Wellenlängen.}$$

Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Angaben der Phasenänderungen ist in folgender Tabelle zur Anschauung gebracht.

Tabelle II.

Neumann (magn.)		Fresnel (elektr.)	
Beschleunigung $1 - y$	Verzögerung $y$	Beschleunigung $0,5 - y$	Verzögerung $0,5 + y$
0,912	0,088	0,412	0,588 (Glimmer)
0,915	0,085	0,415	0,585 (Collodium)

Jede dieser Angaben führt für das Experiment zu demselben Ergebniss. Entscheidet man sich für die Angabe als Beschleunigung oder Verzögerung mit Rücksicht auf den Sinn der Phasenänderung bei von Null bis Unendlich wachsender Dicke des Metalles, so ist die Phasenänderung nach den Versuchen von Wernicke<sup>1)</sup> (an Silber) eine Beschleunigung. Daher gebe ich in den folgenden Ausführungen die Phasenänderung als Beschleunigung des elektrischen Vectors an.

1) W. Wernicke, Wied. Ann. 51. p. 448. 1894.

Zieht man noch die von Drude<sup>1)</sup> bestimmte Dispersion des Brechungsvermögens von Quecksilber für rothes und gelbes Licht in Betracht, so folgt aus deren positivem (d. h. mit wachsender Wellenlänge wachsendem Brechungsexponent) Werth, dass im rothen Theil des Spectrums die Phasenbeschleunigungen etwas grösser sind als für gelbes Licht. Für rothes Licht findet nämlich Drude:

$$n' = 1,87; \quad n' \kappa' = 5,20.$$

Unter Benutzung dieser Werthe wird aber für Glimmer:

$$A = 30^{\circ} 11' \quad \text{und} \quad \varphi = 0,416,$$

für Collodium:

$$\varphi = 0,419.$$

Da nun nicht anzunehmen ist, dass der Sinn der Dispersion des Quecksilbers innerhalb des Spectrums wechselt, so werden theoretisch die Phasenbeschleunigungen mit abnehmender Wellenlänge auch abnehmen.

### § 3. Methode.

Die von mir eingeschlagene Methode ist die von Wernicke<sup>2)</sup> angegebene und gründet sich auf die Interferenzerscheinung dünner Blättchen im spectral zerlegten Licht.

Bezeichnen wir die Dicke des Blättchens mit  $d$ , so haben die beiden Wellenzüge  $A$  und  $B$  (Fig. 1) bei senkrechter Incidenz einen Wegunterschied von  $2d$ . Nehmen wir nun an, unsere durchsichtige Substanz sei optisch dichter als Luft, so erfährt der Wellenzug  $A$  an der vorderen Grenzfläche eine Phasenverzögerung von  $\lambda'/2$  ( $\lambda'$  sei die Wellenlänge des Lichtes im durchsichtigen Medium), während der Wellenzug  $B$  keine Phasenänderung erleidet. Der Gangunterschied von  $A$  und  $B$  beträgt somit  $(2d - \frac{1}{2}\lambda')$ . Alle Strahlen des Spectrums, für welche diese Differenz ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge ist, werden also ausgelöscht, d. h. für unsere beobachteten Interferenzstreifen ist stets:

$$(2) \quad 2d = n \cdot \lambda'_0 = (n+1) \lambda'_1 = (n+2) \lambda'_2 = \dots$$

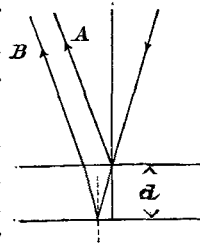


Fig. 1.

1) P. Drude, Wied. Ann. **39**. p. 536. 1890.

2) W. Wernicke, Pogg. Ann. **159**. p. 198. 1876.

Hierbei ist  $n$  eine ganze, für jedes Blättchen neu zu bestimmende Zahl (Ordnungszahl) und  $\lambda'_0, \lambda'_1, \lambda'_2, \dots$  sind der Reihe nach die Wellenlängen — im durchsichtigen Medium — der von roth nach violett zu aufeinander folgenden Interferenzstreifen.

Ist das Blättchen überall gleich dick, so bilden diese Lichtminima parallele Linien, deren Abstand von der Dicke  $d$  und der Dispersion der betreffenden Substanz abhängt.

Bringt man nun die hintere Fläche des Blättchens zur Hälfte mit einem Metall in Berührung und hält das Ganze so vor das Spectroskop, dass die Trennungslinie an der hinteren Fläche senkrecht zum Spalt desselben verläuft, so beobachtet man im reflectirten Lichte zwei Systeme von Interferenzstreifen übereinander; Fig. 2 zeigt das unter Benutzung

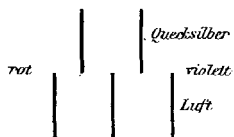


Fig. 2.

von Quecksilber entstehende Bild. Diese beiden Systeme erscheinen gegeneinander verschoben, weil der Wellenzug  $B$  bei der Reflexion an dem betreffenden Metall eine der Beschaffenheit des letzteren entsprechende Phasenänderung (Beschleunigung)  $\varphi \cdot \lambda'$  erfährt. Entsprechend den Gleichungen (2) erhalten wir dann für das neue System von Interferenzstreifen die Gleichungen:

$$(3) \quad 2d = n \cdot \lambda'_{01} + \varphi_0 \lambda'_{01} = (n+1) \lambda'_{12} + \varphi_1 \lambda'_{12} = \dots$$

$\lambda'_{01}, \lambda'_{12} \dots$  sind die Wellenlängen dieser neuen Interferenzstreifen im durchsichtigen Medium und  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots$  die denselben entsprechenden Phasenbeschleunigungen in Bruchtheilen der betreffenden Wellenlängen.

#### § 4. Apparat und Einstellung.

Der benutzte Apparat besteht im wesentlichen aus einem Spectrometer, an dessen Collimator seitlich ein kleineres Spaltrohr angebracht ist. Durch dieses fällt das Licht einer elektrischen Bogenlampe auf eine unter  $45^\circ$  geneigte, planparallele, im Collimator befindliche Glasplatte, wird von dieser durch den Spalt auf das Blättchen geworfen, gelangt durch senkrechte Reflexion wieder in den Spalt zurück und wird dann

vom Spectrometer zerlegt. Die Einstellungen sind auf 10'' genau abzulesen. Das Fernrohr stand auf einem Minimum der Ablenkung für Natriumlicht. Die Graduierung des Spectrums und die Festlegung der Dispersionskurve geschah mit Hülfe der Linien Na, Li, Th, K, der Wasserstofflinien und der Quecksilberlinien des Arons'schen<sup>1)</sup> Quecksilberlichtbogens.

Ein fertiges Blättchen wurde an ein besonderes Stativ geheftet und so vor den Spalt des Spectrometers gebracht, dass die Grenzlinie des Quecksilbers gegen Luft senkrecht zur Richtung des Spaltes verlief. Dies war leicht zu bewerkstelligen, da das Stativ eine Verschiebung in horizontaler und in verticaler Richtung, sowie eine Drehung um die horizontale und verticale Axe gestattete. Bei richtiger Einstellung mussten die beiden Systeme von Interferenzstreifen gleichzeitig deutlich sichtbar sein und ihre scharfe Trennungslinie musste mit der horizontalen Axe des Fadenkreuzes im Fernrohr zusammenfallen.

Bei allen Messungen wurde dann die verticale Axe des Fadenkreuzes auf die Mitte eines jeden Streifens mindestens dreimal eingestellt und aus den drei Ablesungen an der Kreistheilung das Mittel genommen. Zu bemerken ist noch, dass vor und nach jeder Messung durch Einstellen auf die Natriumlinie auf eine etwaige Verschiebung der Dispersionscurve geprüft wurde.

#### § 5. Formel für die Berechnung der Phasenänderungen.

Es handelt sich nun zunächst darum, wie werden aus den Ablesungen an der Kreistheilung die Phasenänderungen ermittelt? Die Interferenzstreifen, bei denen der Wellenzug  $B$  an Luft reflectirt wird (kurz Luftinterferenzen genannt), bezeichnen wir der Reihe nach, von roth nach violett zu gehend, mit den Indices 0, 1, 2, 3, ... und entsprechend die dazwischen liegenden Quecksilberinterferenzen mit 01, 12, 23, ... Sind nun ferner  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_{01}, \lambda_{12}, \dots$  die entsprechenden Wellenlängen in Luft und  $\lambda'_0, \lambda'_1, \lambda'_2, \dots \lambda'_{01}, \lambda'_{12}, \dots$  die

---

1) L. Arons, Wied. Ann. 47. p. 767. 1892.

in dem durchsichtigen Medium, so gelten für die letzteren die bereits oben aufgestellten Gleichungen:

$$(2) \quad 2d = n \cdot \lambda_0' = (n+1) \lambda_1' = \dots$$

$$(3) \quad 2d = n \cdot \lambda_{01}' + \varphi_0 \cdot \lambda_{01}' = (n+1) \lambda_{12}' + \varphi_1 \cdot \lambda_{12}' = \dots$$

Hieraus ergibt sich direct:

$$\varphi_0 = \frac{n(\lambda_0' - \lambda_{01}')}{\lambda_{01}'},$$

ebenso:

$$\frac{n}{n+1} = \frac{\lambda_1'}{\lambda_0'}, \quad n = \frac{\lambda_1'}{\lambda_0' - \lambda_1'}.$$

Für die zu bestimmenden Phasenbeschleunigungen erhalten wir also folgende Werthe:

$$(4) \quad \varphi_0 = \frac{\lambda_0' - \lambda_{01}'}{\lambda_0' - \lambda_1'} \cdot \frac{\lambda_1'}{\lambda_{01}'}, \quad \varphi_1 = \frac{\lambda_1' - \lambda_{12}'}{\lambda_1' - \lambda_2'} \cdot \frac{\lambda_2'}{\lambda_{12}'}, \dots$$

Wie sich aus einer in meiner Dissertation durchgeführten Rechnung ergibt, lässt sich nun zeigen, dass wir für die Wellenlängen in den benutzten durchsichtigen Medien die entsprechenden in Luft setzen können, ohne die Grenze der Genauigkeit zu überschreiten.

Für ein bestimmtes Beispiel wurde nämlich:

$$\frac{\lambda_0 - \lambda_{01}}{\lambda_0 - \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_{01}} = a_0 = 0,4150 \text{ und } \varphi_0 = 0,4152.$$

Die Abweichung der beiden Werthe beträgt also circa 0,05 Proc., während die folgende Ueberlegung zeigt, dass die beobachteten Werthe  $a_0$ ,  $a_1$ , ... höchstens eine Genauigkeit von 1 Proc. besitzen.

Eine Abweichung von 5'', die bei jeder Einstellung vorkommen kann, bedingt unter Umständen einen Unterschied von  $\frac{2}{10} \mu\mu$  der Wellenlänge, und dieser ruft bei der Phasenbeschleunigung eine Differenz von fünf Einheiten in der dritten Decimale hervor. Dazu kommt noch, dass zuweilen verschiedene Einstellungen auf dieselben Interferenzstreifen 10'' bis 15'' voneinander abwichen, und dass bei der Dispersionscurve ein Fehler von  $\frac{1}{10} \mu\mu$  leicht vorkommen konnte. Die Genauig-



keit der Methode ist also derart, dass wir bei der Bestimmung der Ausdrücke  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , ... und damit der gemessenen Phasenänderungen einen Fehler von 0,02 Wellenlängen begehen können; indessen dürften sehr viele Messungen bis auf 0,005 Wellenlängen, d. h. etwa 1 Proc., genau sein.

Da die Messungen mit der Herstellung der Blättchen im engsten Zusammenhang stehen, werde ich auf die Herstellungsweise jeder Art von Blättchen unmittelbar die Beobachtungen und deren Ergebnisse folgen lassen.

### § 6. Glimmer.

Mit Hülfe einer Mischung von Wachs und Colophonium wurden drei parallelepipedische Glasstäbchen in der durch Fig. 3 angedeuteten Weise aufge kittet; zugleich wurde darauf geachtet, dass ihre Oberflächen in einer Ebene lagen. Auf diese Glasstäbchen wurde dann ein überall gleich dünnes Glimmerblättchen mit frischen Spaltflächen glatt aufgelegt und ebenfalls festgeheftet. So entstand zwischen den drei Glasstäbchen, der Glasplatte und dem dünnen Blättchen ein trogartiges Näpfchen, das zur Hälfte mit chemisch reinem Quecksilber gefüllt wurde.

Bei dieser Anordnung waren bei der Beobachtung mit dem Spectrometer die Quecksilberinterferenzen nur schwach sichtbar, weil die Intensität des an Quecksilber reflectirten Wellenzuges  $B$  weit über die des Strahles  $A$  überwiegt (vgl. Fig. 1); ganz besonders war dies bei sehr dünnen Blättchen der Fall, bei denen sonst wegen der grösseren Streifenbreite die Genauigkeit grösser ist als bei dickeren Blättchen.

Um diesem Uebelstande abzu helfen und die Intensität des Wellenzuges  $A$  etwas zu vergrössern und gleichzeitig die von  $B$  zu verkleinern, wurde die Vorderseite des Glimmerblättchens (unter Benutzung der Martin'schen Silberlösung und der aldehydhaltigen Reductionsflüssigkeit von Wernicke<sup>1)</sup> mit einer schwachen Silberschicht überzogen. Die Dicke dieser

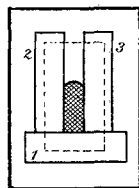


Fig. 3.

1) W. Wernicke, Pogg. Ann. **133**. p. 184. 1868.

letzteren war so ausprobiert worden, dass die Luft- und Quecksilberinterferenzen ziemlich gleich stark sichtbar waren.

Durch dieses Verfahren wurde es mir möglich, sogar Blättchen von 4 Wellenlängen Dicke zu messen, während bei der Messung eines nicht versilberten Glimmerblättchens von 9 Wellenlängen Dicke schon ein sehr geübtes Auge erforderlich war, um auf die ausserordentlich schwachen Quecksilberinterferenzen einzustellen.

Auf die gemessenen Phasenbeschleunigungen hat die Silberschicht insofern keinen Einfluss, als eine Phasenänderung des Wellenzuges  $A$  am Silber für die Luft- und Quecksilberinterferenzen in gleicher Weise in Betracht kommt und hier nur

die absolute Phasenänderung des an Quecksilber reflectirten Strahles  $B$  gemessen werden soll. In Fig. 4, welche einen Querschnitt des Ganzen darstellt, ist 1 = Silber, 2 = Glimmer, 3 = Quecksilber, 4 = Glas und 5 = Luft.

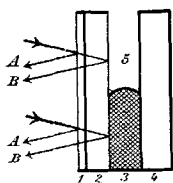


Fig. 4.

Um zu sehen, welchen Einfluss die Doppelbrechung im Glimmer auf die gemessenen Phasenänderungen ausübt, habe ich die Rechnung für beide Componenten durchgeführt und gefunden, dass der Unterschied innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt.

Die Herstellung der Glimmerblättchen ist im allgemeinen recht mühsam; besonders schwierig ist das Aufkitten der ausserordentlich dünnen Blättchen, wobei diese meistens entweder zerreißen oder sich nicht eben auflegen, sodass die Interferenzstreifen nicht mehr geradlinig und senkrecht verlaufen. Vor allen Dingen muss darauf gesehen werden, dass die Oberflächen der drei Glasstäbchen vollständig trocken sind; ferner empfiehlt es sich, über das aufgelegte Glimmerblättchen zuerst ein Stückchen Papier zu legen und darüber dann ein Glasstäbchen, mit dessen Hülfe man das Blättchen während des Aufkittens festhält.

Die Resultate der Messungen an Glimmer sind in Tab. VIIa nebst den zugehörigen Wellenlängen zusammengestellt.

Tabelle VII a.

1.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 624,30} \\ \varphi \text{ 0,424} \end{array} \right.$	582,50	545,05	512,00	483,65	458,45				
		0,416	0,413	0,410	0,397	0,391				
2.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 595,90} \\ \varphi \text{ 0,424} \end{array} \right.$	557,72	523,10	493,85	467,60					
		0,415	0,421	0,409	0,409					
3.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 638,10} \\ \varphi \text{ 0,415} \end{array} \right.$	603,30	572,20	543,60	518,30					
		0,422	0,423	0,414	0,398					
4.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 642,80} \\ \varphi \text{ 0,418} \end{array} \right.$	615,90	590,70	568,90	547,00	526,90	508,80	491,30	474,30	
		0,417	0,426	0,413	0,385	0,405	0,398	0,387	0,399	
5.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 623,05} \\ \varphi \text{ 0,418} \end{array} \right.$	582,30	445,20	511,56	483,70					
		0,399	0,392	0,393	0,389					
6.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 640,70} \\ \varphi \text{ 0,405} \end{array} \right.$	579,70	528,90	487,30						
		0,400	0,398	0,377						
7.	$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ 637,20} \\ \varphi \text{ 0,409} \end{array} \right.$	593,77	556,20	522,65	594,67	468,54				
		0,395	0,396	0,393	0,390	0,377				

Trägt man nun die einzelnen Wellenlängen als Abscissen, als Ordinaten die dazu gefundenen Phasenbeschleunigungen auf und legt durch die Schwerpunkte (.) von je drei Endpunkten (+) eine Curve, so entsteht die in Fig. 1 der Tafel (vgl. p. 482) aufgezeichnete Schwerpunktscurve der sieben verschiedenen Messungen. Aus dieser sind dann die in Tab. VIIb verzeichneten Mittelwerthe der beobachteten Phasenbeschleunigungen entnommen.

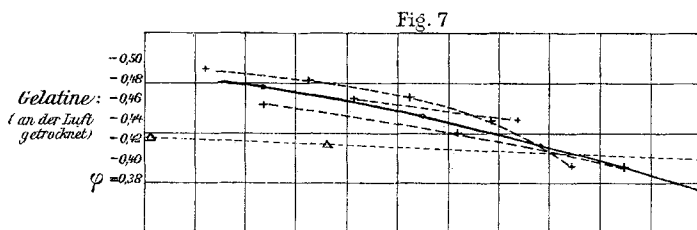
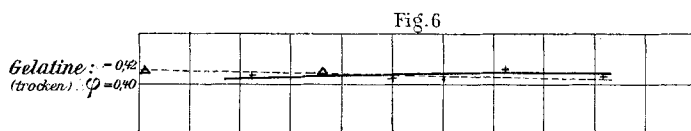
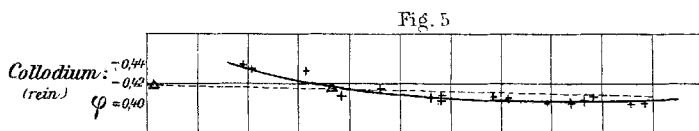
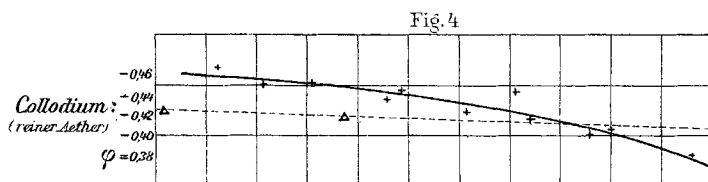
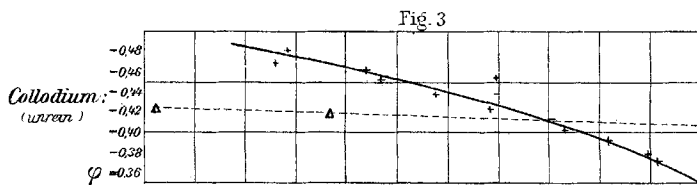
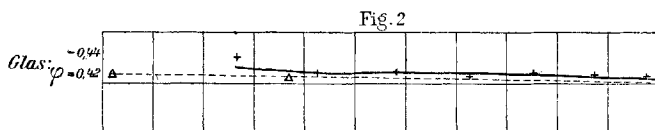
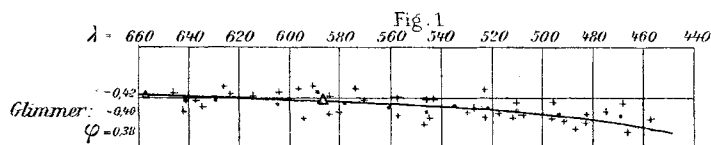
Tabelle VIIb.

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	0,416	0,415	0,414	0,412	0,409	0,405	0,399	0,391	0,382

Vergleicht man hiermit die bereits oben theoretisch berechneten Werthe der Phasenbeschleunigung für rothes Licht ( $\lambda = 656,30$ ,  $\varphi = 0,416$ ) und für gelbes ( $\lambda = 589,32$ ,  $\varphi = 0,412$ ), welche in Fig. 1 der Tafel (vgl. p. 482) durch  $\Delta$  bezeichnet sind, so findet man eine gute Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung.

Zwei Glimmerblättchen, welche sechs Wochen nach ihrer Herstellung gemessen wurden, ergaben grössere Werthe der

## Tafel.



Phasenbeschleunigung, im Mittel etwa 0,44. Diese Aenderung ist vielleicht auf die Bildung eines Quecksilberoxyds durch adhärirende Gase zurückzuführen.

Bei Messungen der Phasenänderungen an Quecksilber, welches durch Beimischung von Blei verunreinigt war, hat sich keine Abweichung von den Werthen an reinem Quecksilber ergeben; wahrscheinlich war die Verunreinigung ( $\frac{1}{1000}$  Proc. Pb) nicht stark genug. Beim Zusatz einer grösseren Menge von Blei überzog sich aber das Quecksilber mit einer Schicht von Bleioxyd, sodass es zum Messen ungeeignet war.

### § 7. Glas.

Will man dünne Blättchen aus Glas zur Erzeugung der Interferenzstreifen verwenden, so verfährt man genau so wie bei Glimmer. Da aber die durch Blasen erhaltenen Glaslamellen immer etwas gewölbt, dabei äusserst spröde und noch viel empfindlicher sind als Glimmerblättchen, so ist das Aufkitten derselben mit grossen Schwierigkeiten verbunden.

Trotz der grössten Sorgfalt, die ich dabei angewandt, ist es mir nur in einem Falle gelungen, ein Blättchen glatt aufzukitten, dasselbe auf der Vorderseite schwach zu versilbern und zum Messen zu verwenden. Da die Interferenzen hier sehr scharf waren, so ist trotz der geringeren Streifenbreite das Resultat (vgl. Tab. VIIIa und Fig. 2 der Tafel [p. 482]) ein ziemlich genaues zu nennen. Obgleich deshalb die Abweichungen der Mittelwerthe (vgl. Tab. VIIIb) aus Fig. 2 der Tafel (vgl. p. 482) von den theoretisch berechneten Werthen ( $\lambda$  in Fig. 2 der Tafel [p. 482]) innerhalb der oben bezeichneten Grenze der Genauigkeit liegen, lassen doch die überall etwas grösseren Werte der gemessenen Phasenbeschleunigungen eine an dem Glasblättchen haftende, verunreinigende Schicht vermuthen.

Tabelle VIIIa.

$\lambda$	609,25	575,02	543,49	515,19	490,16	467,54	446,50
$\varphi$	0,434	0,425	0,425	0,422	0,427	0,426	0,423

Tabelle VIIIb.

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	—	—	0,425	0,425	0,425	0,425	0,425	0,424	0,422

## § 8. Collodium.

Die Herstellung der Collodiumblättchen von geeigneter Dicke war an sich einfacher und leichter als die der Glimmerblättchen. Eine planparallele Glasplatte  $g_1$  (vgl. Fig. 5) wurde — nachdem sie mit Säure und Alkohol gereinigt und mit frischem Putzleder gerieben worden war — auf einem Tischchen mit Stellschrauben genau horizontal gelegt und mit einer verdünnten Collodiumlösung übergossen. Das Blättchen war dann sehr bald an die Glasplatte angetrocknet.

Um es nun zum Messen bequem verwenden zu können, wurde eine zweite gut gereinigte Glasplatte  $g_2$  in einem Abstand von 1—1,5 mm am Rande mit der ersten ( $g_1$ ) so verkittet, dass die Collodiumschicht nach innen kam. Nur an einer Stelle des Randes war eine Oeffnung gelassen worden, um später beim Versuch bis zur gewünschten Höhe bequem Quecksilber einfüllen zu können.

Bei dieser Anordnung sind die Interferenzstreifen nicht so scharf wie bei Glimmer und Glas, sondern etwas breiter und schwächer. Wegen der geringen Intensität des an Collodium in Glas zurückgeworfenen Lichtes wurde die Glasplatte  $g_1$  erst schwach versilbert und dann erst mit Collodium überzogen.

Der Durchschnitt einer fertigen Plattencombination ist in Fig. 5 dargestellt. Die Dicke der Silberschicht (1) und die der Collodiumschicht (2) sind dabei im Verhältniss stark vergrössert gezeichnet.

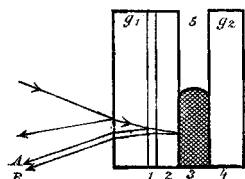


Fig. 5.

Bei der Messung eines so hergestellten Blättchens machte sich aber ein grosser Unterschied gegenüber den Glimmerblättchen bemerkbar. Während bei den letzteren die Interferenzstreifen gleichförmig und parallel der Senkrechten im Fadenkreuz verliefen, waren sie hier überall zickzackförmig, sodass eine sichere Einstellung unmöglich war. Mehrere trotzdem gemachte Versuche, die Phasenänderungen zu bestimmen, bestätigten diese Unmöglichkeit.

Der unregelmässige Verlauf der Interferenzstreifen kommt nun von einer welligen Oberfläche der Collodiumschicht; die Ursache der unebenen Oberfläche vermuthete ich bald in dem

allzuraschen Eintrocknen der Blättchen an der freien Luft. Diese Vermuthung wurde bestätigt. Dadurch nämlich, dass ich die Collodiumschichten zwang, langsamer anzutrocknen, ist es mir gelungen, Blättchen zu erhalten, welche vollständig ebene Oberflächen besaßen und sich vorzüglich zum Messen der Phasenänderungen eigneten. Ein langsames Eintrocknen erreichte ich, indem die Blättchen in einen mit Alkohol und Aether geschwängerten, abgeschlossenen Raum gebracht wurden, der etwa alle drei Stunden für eine Minute geöffnet wurde.

Die Messungen an derartig hergestellten Blättchen sind durchaus zuverlässig. Um so mehr fällt auf, dass die erhaltenen Resultate (Tab. IXa und Fig. 3 der Tafel [p. 482]) erhebliche Abweichungen zeigen gegenüber den theoretisch berechneten ( $\Delta$  in Fig. 3 der Tafel [p. 482]) und den bereits oben gefundenen Werthen an Glimmer und Glas.

Während nämlich bei den letzteren die Differenz der Phasenbeschleunigung im äussersten Roth gegen die im äussersten Violett höchstens drei Einheiten der zweiten Decimale beträgt, erscheint bei Collodium eine solche von zehn Einheiten derselben Stelle.

Tabelle IXa.

1.	{	$\lambda$	608,37	563,70	524,76	491,15	461,84	
		$\varphi$	0,468	0,454	0,427	0,403	0,379	
2.	{	$\lambda$	603,49	573,60	546,25	520,50	497,90	477,00 458,32
		$\varphi$	0,484	0,464	0,444	0,455	0,414	0,396 0,374

Tabelle IXb.

Mittelwerthe aus Fig. 3 der Tafel (vgl. p. 482).

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	—	0,485	0,475	0,462	0,449	0,434	0,416	0,393	0,363

Zur Erklärung dieser grossen Abweichungen blieb nur die Annahme einer verunreinigenden Oberflächenschicht. Ich untersuchte daher zunächst den zur Verdünnung benutzten Aether. Beim Schütteln desselben — es war gewöhnlicher Schwefeläther — mit reinem Quecksilber bemerkte ich einen schwarzen Niederschlag. Hier hatte ich offenbar die Ursache der abweichenden Werthe für die Phasenbeschleunigungen.

Der Director des chemischen Instituts, Herr Prof. Dr. Naumann hatte nun die Freundlichkeit, Versuche anstellen zu lassen, welche ergaben, dass in dem gewöhnlichen Aether Wasserstoffsuperoxyd ( $H_2O_2$ ) vorhanden ist, welches beim Schütteln mit Quecksilber vermuthlich die Bildung von Quecksilbersuboxyden veranlasst. Das Vorhandensein von Wasserstoffsuperoxyd geht auch aus einer Arbeit von Poleck und Thümmel<sup>1)</sup> hervor, auf die Hr. Prof. Elbs so freundlich war mich aufmerksam zu machen. Die genannten Beobachter haben nachgewiesen, dass der Vinylalkohol ( $CH-OH$ ) ein ständiger Begleiter des Schwefeläthers ist; er ist das Produkt der Oxydation des reinen Aethers durch den atmosphärischen Sauerstoff unter gleichzeitiger Bildung von Wasserstoffsuperoxyd, welches sich auch in dem Licht ausgesetzten Aether bildet.

Es lag nun nahe, bei der Herstellung der Collodiumschichten solchen Aether zu verwenden, welcher, mit Quecksilber geschüttelt, keinen Niederschlag ergab. Der aus dem chemischen Institut bezogene, über Natrium destillirte und dann filtrirte Aether besass diese Eigenschaft. Diesen benutzte ich zur Verdünnung der vorhandenen Collodiumlösung (reine Collodiumwolle stand mir nicht gleich zur Verfügung).

Die Messung der jetzt erhaltenen Blättchen zeigte nun, dass die Differenz der Phasenänderungen an den beiden Enden des Spectrums zwar etwas abgenommen hatte, aber immerhin noch 6 Einheiten der zweiten Decimale betrug. (Tab. Xa, Fig. 4 der Tafel [p. 482] und Tab. Xb.)

Tabelle Xa.

1.	{	$\lambda$	617,50	563,25	517,65	480,06	447,05	
		$\varphi$	0,448	0,442	0,445	0,407	0,381	
2.	{	$\lambda$	635,65	599,40	567,51	538,00	511,26	487,69
		$\varphi$	0,462	0,449	0,430	0,420	0,415	0,400

Tabelle Xb.

Mittelwerthe aus Fig. 4 der Tafel (vgl. p. 482).

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	0,456	0,452	0,448	0,442	0,435	0,425	0,413	0,400	0,380

1) Poleck und Thümmel, Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. **22** b. p. 2863. 1889.



Durch Benutzung von reiner und gut getrockneter Collodiumwolle und vollständig reinem Aether gelang es mir dann, die Oberflächenschicht bis auf eine kleine Spur zu entfernen. Dies beweisen die dabei erzielten Resultate, welche in Tab. XIa und Fig. 5 der Tafel (p. 482) zusammengestellt sind und nahezu mit der Theorie übereinstimmen.

Tabelle XIa.

1.	$\begin{cases} \lambda \\ \varphi \end{cases}$	621,20 0,431	546,40 0,403	486,76 0,404	2.	$\begin{cases} \lambda \\ \varphi \end{cases}$	597,75 0,432	545,75 0,408	501,70 0,400	464,80 0,401
3.	$\begin{cases} \lambda \\ \varphi \end{cases}$	618,30 0,428	581,55 0,406	548,00 0,406	518,00 0,405	491,50 0,401	468,26 0,400			
4.	$\begin{cases} \lambda \\ \varphi \end{cases}$	626,18 0,432	571,25 0,414	525,30 0,408	486,18 0,407					

Tabelle XIb.

Mittelwerthe aus Fig. 5 der Tafel (vgl. p. 482).

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	—	0,432	0,421	0,413	0,406	0,404	0,403	0,402	0,402

Die grössere Dispersion der in den Tabellen IX und X enthaltenen Phasenbeschleunigungen macht den Eindruck, als ob eine durchsichtige Schicht mit grossen Brechungsexponenten, vielleicht von Quecksilbersuboxyden, sich gebildet hätte, welche eine mit abnehmenden Wellenlängen zunehmende Verzögerung oder abnehmende Beschleunigung verursachen müsste.

Auffallend ist aber die Vergrösserung der Beschleunigung im Rothen gegenüber dem reinen Collodium und Quecksilber. Zu ihrer Erklärung müsste man annehmen, dass die optische Dicke (Summe der auf Luft reducirten Wellenlängen) etwas abgenommen hätte, was ja infolge der chemischen Umsetzung nicht ausgeschlossen ist. Man müsste aber dann zunächst erwarten, dass nach Abfluss des Quecksilbers die Dickenänderung bemerkbar bleibt. Ein von mir daraufhin angestellter Versuch liess diese aber nicht erkennen. Die folgende Construction lehrt nun, dass sie auch nicht unter allen Umständen eintreten muss.

Nehmen wir an, die optische Dicke habe sich nur um  $0,03 \lambda$  ( $\lambda$  = Wellenlänge für Roth und Collodium) geändert und die Dicke der störenden Schicht betrage  $0,12 \lambda$  (für Roth und

die Schicht); nehmen wir ferner den Brechungsexponenten der Schicht im Rothen ( $\lambda = 650$ ) gleich 2, im Violetten ( $\lambda = 450$ )

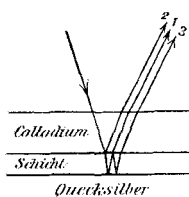


Fig. 6.

gleich 2,5 an und setzen wir die im ganzen hinten reflectirte Welle zusammen aus der in der Schicht an Quecksilber (1), der in Collodium an der Schicht (2) und einer zweimal an Quecksilber und einmal in der Schicht an Collodium reflectirten Welle (3) — indem wir diese Zusammensetzung mit Vektoren ausführen, deren Länge durch die Amplituden und deren Richtung durch die Phasen bestimmt werden<sup>1)</sup>, wobei die Phase 0 für die in Collodium an Luft reflectirte Welle angenommen ist — so erhalten wir (aus Fig. 7) die folgenden Phasenbeschleunigungen: im Rothen 0,49

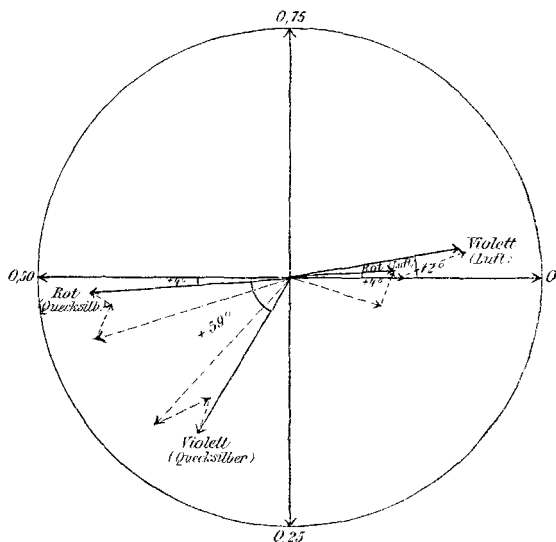


Fig. 7.

(beob. 0,49), im Violetten 0,34 (beob. 0,36). Die analogen Zusammensetzungen für die spätere Reflexion an Luft nach Ablauf des Quecksilbers ergibt im Rothen eine Phasenänderung von 0,01, im Violetten eine solche von 0,03.

<sup>1)</sup> Vgl. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 5. Aufl. 1. p. 703.

Da die berechnete Dispersion noch 0,02 gegenüber der beobachteten voraus ist, so lässt sich eine andere Annahme machen, für die auch im Violetten die Phasenänderung innerhalb von 0,01 bliebe, also kaum mit Sicherheit festzustellen wäre.

Ob nun wirklich diese Annahmen der Wirklichkeit entsprechen, lässt sich nicht sagen. Die vorstehende Ueberlegung zeigt aber, wie schon durch Annahme ausserordentlich dünner Schichten ( $0,06 \lambda$  in Luft = ca. 40 Milliontelmillimeter) sehr auffallende Veränderungen in den Phasenbeschleunigungen und den Dispersionen eintreten können.

Nachträglich hatte Hr. Nennstiel die Freundlichkeit, den Versuch zur Beobachtung der Verschiebung nach Ablauf des Quecksilbers noch einmal anzustellen. Die Blättchen waren noch von mir präparirt und zeigten gute Streifen. Um die Wirkung noch stärker hervortreten zu lassen, hatte ich dem Collodium etwas Wasserstoffsuperoxyd zugesetzt. Es wurde nach Abfluss des Quecksilbers eine deutliche Verschiebung nach Roth zu von 0,03 bis 0,05 Streifenbreiten beobachtet.

### § 9. Gelatine.

Um geeignet dünne Gelatineschichten zu erhalten, wurde dasselbe Verfahren eingeschlagen wie bei Collodium. Eine planparallele Glasplatte  $g_1$  (Fig. 5) wurde wieder schwach versilbert und dann mit einer Lösung von Gelatine in destillirtem Wasser übergossen. Durch verschiedene Vorversuche hatte ich festgestellt, dass eine Lösung von 1 g Gelatine in 140 bis 200 g Wasser Blättchen von der Dicke ergab, welche sich am besten für meine Zwecke eigneten. Da nun das Trocknen der Gelatineblättchen an der Luft erheblich langsamer geht, als bei Collodium, so wurden die Oberflächen vollständig eben.

Gleich bei den ersten Messungen der an Luft getrockneten Gelatineschichten tauchte aber eine andere Schwierigkeit auf. Während die Quecksilberinterferenzen immer fast die gleiche Einstellung ergaben, wichen bei manchen Blättchen die drei verschiedenen Einstellungen auf die einzelnen Luftinterferenzen voneinander ab; es schien fast, als ob sich die letzteren etwas nach dem rothen Ende des Spectrums hin verschoben hätten. Da indess die Interferenzstreifen ziemlich breit und die Ab-

weichungen nicht sehr gross waren, glaubte ich zunächst die Ursache dieser Erscheinung in ungenauen Einstellungen suchen zu müssen.

Um nun zu prüfen, welchen Einfluss ein verschiedener Feuchtigkeitsgehalt der Blättchen auf die Phasenänderungen ausübte, untersuchte ich:

1. gut getrocknete Gelatineblättchen;
2. solche, welche zuerst an der Luft getrocknet waren und dann in einem Raume mit 47 Proc. Feuchtigkeit gelegen hatten;
3. solche, die ebenso in einem Raume mit 82 Proc. Feuchtigkeit gelegen hatten;
4. solche, die nach dem Trocknen an der freien Luft in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre ein Maximum der Feuchtigkeit in sich aufgenommen hatten.

Bei diesen Messungen stellten sich zwei Umstände hinderlich in den Weg: erstens die capillare Anziehung der feuchten Gelatine durch Quecksilber — diese habe ich zum Gegenstand eines besonderen Aufsatzes gemacht<sup>1)</sup> — und zweitens die Dickenänderung eines Gelatineblättchens mit jeglicher Feuchtigkeitsänderung. Zur Verhütung der letzteren wurden die zum Messen fertigen Blättchen mittelst einer Mischung von Wachs und Colophonium vollständig von der äusseren Luft abgeschlossen. Trotzdem ergab sich bei einem feuchten Gelatineblättchen an der belichteten Stelle ein Dünnerwerden des mit Luft in Berührung stehenden Theiles. Dies kommt, wie eine genauere Untersuchung ergab, durch die erwärmende Wirkung des auffallenden Lichtes, welches eine Feuchtigkeitsabgabe an den eingeschlossenen Luftraum bedingt. Hört die Belichtung auf, so wird die abgegebene Feuchtigkeit an der betreffenden Stelle wieder aufgenommen, was man an dem Wandern der Interferenzstreifen erkennen kann.

Die Dicke eines Gelatineblättchens richtet sich nun, wie auch begreiflich, nach dem Feuchtigkeitsgehalt des Luftraumes, in welchem es sich befindet. Da eine genauere Untersuchung der Abhängigkeit der Dicke eines Blättchens von dem Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft für vorliegenden Versuch zu

---

1) H. Wallbott, Wied. Ann. 68. p. 496. 1899.

weit geführt hätte, so habe ich durch eine andere Anordnung annähernde Messungen in dieser Hinsicht angestellt.

Ein schwach keilförmiges Gelatineblättchen wurde auf dem verschiebbaren Schlitten eines horizontal gestellten Comparators befestigt und im reflectirten Natriumlicht mit einem feststehenden Mikroskop beobachtet, in dessen Ocular eine Marke in Gestalt eines feinen Diamantstriches in Glas angebracht war. Durch Verschiebung des Schlittens mittels einer Mikrometerschraube konnte dann dieser Strich auf die Mitte der Interferenzstreifen bis auf  $\frac{1}{10}$  mm genau eingestellt werden.

Zunächst habe ich bei einem an eine Glasplatte ange-trockneten Blättchen durch allmähliche Aenderung der Feuchtigkeit im Messraume von 63 Proc. (bei  $17,8^{\circ}\text{C.}$ ) auf 75 Proc. (bei  $20,3^{\circ}\text{C.}$ ) an einem dunklen Streifen eine Verschiebung von  $\frac{1}{5}$  Streifenbreite nach dem dünneren Ende des Blättchens hin beobachtet. Da die Dicke des Blättchens an der beobachteten Stelle 7 Wellenlängen betrug, so ist durch eine Vermehrung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft um 12 Proc. eine Zunahme von  $\frac{1}{10}$  Wellenlänge oder von  $\frac{1}{70}$  der ganzen Dicke eingetreten.

Um nun auch die Dickenänderung in anderer Richtung zu beobachten, wurde dasselbe Blättchen in einen mit Wasserdampf nahezu gesättigten Raum gebracht; nach etwa zwei Tagen wurde es rasch herausgenommen und in die frühere Lage gebracht. Beim Wiedertrocknen an der Luft ergab sich ebenfalls eine Verschiebung von  $\frac{1}{5}$  Streifenbreite, jetzt aber nach dem dickeren Ende des Blättchens hin; der Messraum hatte eine relative Feuchtigkeit von 60 Proc. bei  $20,9^{\circ}\text{C.}$

Nun wurde noch das Blättchen mittels Phosphorsäureanhydrid gut getrocknet und dann wieder in Luft gebracht; hierbei ergab sich in ähnlicher Weise eine Dickenzunahme von  $\frac{1}{12}$  Wellenlänge, d. h. eine solche von  $\frac{1}{84}$  der ganzen Dicke bei einer Luftfeuchtigkeit von 75 Proc. und einer Temperatur von  $15,7^{\circ}\text{C.}$

In den beiden letzten Fällen sind die Werthe für die Dickenänderungen sicher zu klein ausgefallen, da immerhin eine gewisse Zeit bis zur ersten Einstellung vergeht.

Nachdem ich so die auftretenden Schwierigkeiten ihrem Wesen nach erkannt hatte, war es meine nächste Aufgabe, nun

die in Wirklichkeit eintretenden Phasenbeschleunigungen zu messen.

Da bei vollständig getrockneten, vom äusseren Luftraum abgeschlossenen Blättchen die beobachteten Werthe (0,43 bis 0,45) immer etwas grösser wurden als die theoretisch berechneten, habe ich die Versuche fortgesetzt, bis es mir nach längerem Bemühen gelungen ist, einen so dichten Abschluss zu bekommen, dass keine Feuchtigkeit mehr eindringen konnte. Wie aus Tab. XIIIa, Fig. 6 der Tafel (p. 482) und Tab. XIIIb ersichtlich, stimmt das Resultat der Messung mit der Theorie überein, soweit es eben die Genauigkeit der Methode zulässt.

Tabelle XIIIa.

$\lambda$	613,14	559,97	514,7	477,12
$\psi$	0,410	0,402	0,411	0,408

Tabelle XIIIb.

Mittelwerthe aus Fig. 6 der Tafel (vgl. p. 482).

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	—	0,405	0,406	0,407	0,408	0,409	0,410	0,411	—

Bei feuchter Gelatine ist die Bestimmung der Phasenänderungen in verschiedenen Theilen des Spectrums an demselben Blättchen kaum möglich, weil sich die Luftinterferenzen durch das Belichten sofort verschieben.

Die Messung der Phasenbeschleunigung an einer Stelle habe ich durch folgende Anordnung versucht. Nach Einstellung auf die Quecksilberinterferenzen liess ich das Quecksilber durch ein unten angebrachtes Röhrchen ausfliessen und stellte sofort auf die Luftinterferenzen ein. Da sich dieselben sehr schnell verschoben, kann nur die erste Einstellung verbürgt werden; diese ergiebt aber eine Phasenbeschleunigung von 0,456 bei einer Wellenlänge von 626,78  $\mu\mu$ .

Nehmen wir an, auch dieser zuerst gemessene Streifen hätte sich bis zur Messung schon etwas verschoben, so erhalten wir für die Beschleunigung einen noch grösseren Werth. Jedenfalls haben wir hier ebenso wie im Folgenden keine Uebereinstimmung mit den theoretisch berechneten Werthen.

Um endlich auch bei den an Luft getrockneten Blättchen brauchbare Resultate zu erzielen, liess ich den zum Messen fertigen und an einer Stelle offenen Trog einen halben Tag lang vorher in dem Messraume liegen. Es wurde dann zuerst auf die Luftinterferenzen eingestellt und, da sich während einer halben Stunde keine Verschiebung ergab, wurde Quecksilber eingefüllt und die eingetretene Verschiebung der Interferenzen gemessen.

Ein anderer Weg war der, dass zuerst auf die Quecksilberinterferenzen und dann nach Ablauf des Quecksilbers schnell auf die Luftinterferenzen eingestellt wurde. Auch hierbei ergab sich keine Aenderung der letzteren.

Die Ergebnisse dieser Messungen (Tab. XIVa, Fig. 7 der Tafel [p. 482] und Tab. XIVb) sehen denen an unreinem Collodium sehr ähnlich. Es ergibt sich daraus, dass bei nicht ganz trockenen und bei feuchten Gelatineblättchen die kleiner gefundenen Werthe der Phasenbeschleunigungen auch in einer Oberflächenschicht ihren Grund haben, welche durch Trocknen der Blättchen ferngehalten werden kann.

Tabelle XIVa.

1. $\left\{ \begin{array}{lll} \lambda & 575,50 & 514,27 \\ \varphi & 0,461 & 0,434 \end{array} \right.$	2. $\left\{ \begin{array}{llll} \lambda & 615,34 & 532,4 & 469,47 \\ \varphi & 0,455 & 0,425 & 0,388 \end{array} \right\} f/f_0 = 0,70$
3. $\left\{ \begin{array}{lllll} \lambda & 635,00 & 591,95 & 555,05 & 521,75 & 493,15 \\ \varphi & 0,491 & 0,477 & 0,459 & 0,434 & 0,395 \end{array} \right\} f/f_0 = 0,80$	

Hierbei bedeutet  $f/f_0$  die jeweilige relative Feuchtigkeit der Luft in dem Messraume.

Tabelle XIVb.

Mittelwerthe aus Fig. 7 der Tafel (p. 482).

$\lambda$	650,00	625,00	600,00	575,00	550,00	525,00	500,00	475,00	450,00
$\varphi$	—	0,476	0,470	0,458	0,446	0,431	0,413	0,393	0,373

Im Anschluss hieran möchte ich noch die vielleicht nicht uninteressante Thatsache mittheilen, dass bei einem feuchten Gelatineblättchen innerhalb eines Tages das darin stehen gebliebene Quecksilber durch die etwa 10 Wellenlängen dicke

Gelatineschicht hindurch auf die dünne Silberschicht eingewirkt hatte, sodass dieselbe durchsichtig war.

Da es nun unwahrscheinlich ist, dass das Quecksilber als Metall durchdiffundirt, ist man gezwungen anzunehmen, dass sich Quecksilberverbindungen gebildet haben, welche die Gelatineschicht durchdringen können. Diese Thatsache spricht auch dafür, dass sich sofort infolge einer chemischen Einwirkung des Quecksilbers auf die feuchte Schicht eine Oberflächenschicht bildet, welche die oben angeführten, abweichenden Werthe der Phasenänderung bedingt.

### § 5. Zusammenstellung der Resultate.

Zum Schlusse seien nochmals die in vorliegender Arbeit erzielten Resultate kurz zusammengefasst:

1. Unter Benutzung von Glimmer mit frischen Spaltflächen, Glas, vollständig reinem Collodium und gut getrockneter Gelatine als durchsichtigen Medien besteht zwischen den beobachteten Phasenänderungen des Lichtes an Quecksilber und den theoretisch berechneten Werthen nur ein geringer Unterschied, welcher meist innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt.

Bei Glimmer, an welchem ich die meisten Beobachtungen gemacht habe, ergeben sich für die vier Fraunhofer'schen Linien *C*, *D*, *E*, *F* die in der folgenden Tabelle enthaltenen Mittelwerthe der Phasenbeschleunigungen.

Tabelle XV.

	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
$\lambda$	656	589	527	486
$\varphi$	0,417	0,413	0,405	0,395

Auch ist bei allen Messungen eine kleine Abnahme der Phasenbeschleunigung nach dem violetten Ende zu bemerkbar; es stimmt dies überein mit dem Sinne der von Drude aufgestellten Dispersion des Quecksilbers.

Hieraus folgt, dass die metalloptische Theorie für die Phasenänderung des Lichtes an dicken Quecksilberschichten als durch die Erfahrung bestätigt anzusehen ist.

2. Die Abweichungen der Phasenbeschleunigungen an nicht ganz reinem Collodium, an älteren Glimmerblättchen und an nicht ganz trockenen Gelatineblättchen sind auf verunreinigende



Oberflächenschichten zurückzuführen, welche sich zwischen das durchsichtige Medium und das Quecksilber drängen. Der Beweis dafür liess sich bei Collodium dadurch erbringen, dass durch Benutzung von stufenweise reinerem Collodium auch die Abweichungen von der Theorie stufenweise geringer wurden.

Jene Oberflächenschichten bewirken eine grössere Dispersion der Phasenverzögerungen derart, dass die letzteren im Rothen grösser und im Violetten ein wenig kleiner werden.

Giessen, Physik. Inst. d. Univ.

(Eingegangen 23. März 1899.)

---