

VIII. *Ueber die temporäre Doppelbrechung des Lichtes in rotirenden Flüssigkeiten;*
von Georg de Metz.

Assistent der Physik an der Universität Odessa.

(Hierzu Taf. V Fig. 1—5.)

Hr. Prof. Kundt¹⁾ hat gezeigt, dass eine Flüssigkeitsschicht, welche zwischen zwei concentrischen metallischen Cylindern durch die Drehung derselben in eine rotirende Bewegung versetzt wird, eine besondere Art von Deformation erleidet. Man nennt diese bei einer grossen Zahl von Flüssigkeiten auftretende Deformation — Deformation der scheerenden (stress) Kräfte. Sie ruft in isotropen Flüssigkeiten Doppelbrechung hervor. Da Hr. Prof. Kundt noch nicht weitere Untersuchungen hierüber angestellt hat, so veranlasste er mich, diese Erscheinung weiter zu studiren. Meine Aufgabe bestand in der Beantwortung der Frage, ob überhaupt der Gangunterschied der beiden Strahlen bei einer derartigen Deformation messbar ist oder nicht?

Es sei mir gestattet, Hrn. Prof. Kundt, in dessen Laboratorium ich diese Arbeit ausgeführt habe, hiermit meinen besten Dank auszusprechen.

1. Beobachtungsmethode.

Den Strom einer Gramme'schen Dynamomaschine, welcher bei Kurzschluss ungefähr 18 Ampère gab, leitete ich durch eine zweite Gramme'sche Maschine, welche als Motor diente. Durch Einschaltung von Widerständen konnte ich beliebige constante Geschwindigkeiten erzielen.

Auf einem rechteckigen Messingrahmen *AAAA* (Fig. 2 $\frac{1}{5}$ der nat. Grösse) ruht in einem Axenlager *BBBB* die Axe des beweglichen Cylinders *cccc*, welchen concentrisch ein zweiter unbeweglicher Cylinder *dddd* im Abstände von 0,5 bis 1,0 cm umgibt. Der ganze Rahmen ist mittelst

1) A. Kundt, Wied. Ann. 13, p. 110. 1881.

der Schrauben *ffff* an einem Zinkkasten ($15 \times 10 \times 15$ cm) befestigt.

Der Uebertragungsmechanismus, Fig. 1, besteht aus einer festen Axe *pq*, auf welcher das Rad *R* mit einer Nuth für den von dem Motor kommenden Riemen sitzt. Das eine Ende dieser Axe ist mittelst einer Drehvorrichtung mit einer Spirale *ss'*, wie sie von Zahnärzten zur Drehung des Bohrers verwendet wird, mit der Axe *oo'* verbunden. Das andere Ende mit der Axe *qr* des Tourenzählers *C*.

Die optische Methode war folgende. Der mit Flüssigkeit gefüllte Kasten stand zwischen zwei zu einander senkrechten Nicols *N* und *A*, deren Polarisationssebene bez. horizontal und vertical eingestellt wurde. Vor dem analysirenden Nicol *A* befand sich ein sehr empfindlicher Babinet'scher Compensator *K*, dessen Interferenzstreifen unter 45° zur Polarisationssebene des Analysators¹⁾ mittelst eines kleinen Dubosq'schen Fernrohrs *L* beobachtet wurde. Ich versuchte, den Gangunterschied zwischen dem ordentlichen und ausserordentlichen Strahl zu messen, welche während der Drehung des inneren Cylinders in der Flüssigkeit zu Stande kam. Das Licht war entweder Sonnenlicht oder meist Gaslicht von einem sogenannten Präcisionsbrenner, der sich vom gewöhnlichen Argandbrenner nur durch die bessere Luftzufuhr und grössere Dimensionen unterschied. Der Gang des Lichtstrahles ist ohne weiteres aus der Fig. 1 ersichtlich.

Wenn die Flüssigkeit in Ruhe ist, so sieht man im Gesichtsfelde (Fig. 3, *α*) einen schwarzen Interferenzstreifen zwischen zwei ausgespannten Spinnfäden. Bei der Drehung des inneren Cylinders (Fig. 3, *β*) verschiebt sich nicht nur dieser Streifen nach einer Seite hin, sondern krümmt sich in der Weise, dass das Maximum dieser Krümmung auf das Ende *f* fällt, welches dem beweglichen Cylinder *cc* (Fig. 3) am nächsten ist, und das Minimum ungefähr um $\frac{1}{3}$ vom unbeweglichen Cylinder *dd* entfernt ist. Auch das untere Ende des Streifens *h* in der Nähe des unbeweglichen Cylinders *dd* verschiebt sich ebenfalls nach der Richtung der Bewegung.

1) Betreffs der Ansichten des Hrn. Prof. Kundt, s. l. c. p. 116.

Der verschobene Interferenzstreifen wurde durch Drehen der Mikrometerschraube des Babinet'schen Compensators in seine ursprüngliche Lage zwischen den zwei Spinnfäden zurückgebracht. Selbstverständlich musste ich mich dabei auf einen bestimmten Theil des Streifens beschränken, da derselbe infolge der Krümmung nicht ganz zwischen die Fäden gebracht werden konnte. Ich wählte denjenigen, ungefähr 1 mm langen Theil desselben, welcher 1 mm vom beweglichen Cylinder entfernt war. Auf diese Weise wurde aus der Drehung der Mikrometerschraube der Gangunterschied Δ zwischen dem ordentlichen und ausserordentlichen Strahle bestimmt.

Die erste Aufgabe bestand in der Bestimmung der Doppelbrechung als Function der Rotationsgeschwindigkeit. Die Versuche mit Ricinusöl, zwei Sorten von Olivenöl, Leberthran, Süssmandelöl und einer Mischung von Olivenöl mit 5,5 Proc. festem Paraffin führten mich zu dem Schlusse, dass der beobachtete Gangunterschied Δ der Rotationsgeschwindigkeit der Flüssigkeit V proportional ist, d. h.:

$$(1) \quad \Delta = \alpha \cdot V,$$

worin der constante Factor α für verschiedene Flüssigkeiten verschieden ist; man kann ihn den Coëfficienten der Doppelbrechung nennen.

In den folgenden Tabellen theile ich die Versuchsergebnisse für weisses Licht mit. V bedeutet die Umdrehungszahl des inneren Cylinders in einer Secunde, D die Streifenablenkung in Mikrometerscalentheilen des Compensators, $\Delta = D/7145,12$ ist der Gangunterschied zwischen den ordinären und extraordinären Strahlen nach der Formel:

$$(2) \quad \Delta = \frac{1}{2} \frac{D}{\gamma} \lambda,$$

worin γ der Abstand von zwei Interferenzstreifen des Compensators in Mikrometerscalentheilen und λ die Wellenlänge ist. Für den von mir benutzten Compensator betrug für Natriumlicht

$$\gamma = 3572,56 \text{ Scalentheile.}$$

1) Jamin, Ann. de chim. et de phys. (3) 29. p. 273. 1850.

Tabelle I. Frisches Olivenöl aus Nizza.

V	D	$10^5 \Delta$	$10^5 \alpha$	V	D	$10^5 \Delta$	$10^5 \alpha$
6,06	52,31	732	120	34,12	285,68	3998	117
6,66	57,81	809	121	36,84	303,83	4252	115
7,14	58,81	823	115	43,43	372,48	5213	120
16,00	133,62	1870	117	43,75	360,86	5049	115
17,25	148,62	2080	120	44,64	379,48	5311	119
22,29	182,93	2560	115	46,66	383,08	5361	115
25,00	205,24	2872	115	50,00	422,25	5909	118
26,66	217,47	3043	114	53,84	459,77	6434	119
31,25	271,49	3799	121	55,55	471,68	6601	119
33,33	283,10	3562	119	63,63	533,65	7468	117

Das Mittel aus 91 derartigen Einstellungen ist:

$$\alpha = 0,0011755.$$

Die Zahlen in der Columnne $10^5 \alpha$ bestätigen hinreichend das oben erwähnte Proportionalitätsgesetz zwischen dem Gangunterschiede des ordinären und des extraordinären Strahles und der Rotationsgeschwindigkeit.

Ferner ergab sich α im Mittel für folgende Oele.

Tabelle II.

	ϱ	$10^6 \eta$	$10^5 \alpha$	G	z	F
Olivenöl, frisches	0,915	588	1175	6—63	91	5,8%
„ altes	0,925	930	1331	5—35	44	6,5
Süssmandelöl . .	0,915	544	899	7—62	77	4,0
Leberthran . . .	0,923	453	906	16—63	69	6,5
Olivenöl mit 5,5%						
Paraffin	0,907	545	717	14—50	33	7,0

Hier bedeutet ϱ das specifische Gewicht bei 20° , η den Reibungscoëfficienten, G die Grenzen, innerhalb welcher die Rotationsgeschwindigkeiten variirt werden, z die Zahl der Beobachtungen, F die Grenze der Beobachtungsfehler.

1) Hiernach ist der Unterschied der beiden Strahlen der Rotationsgeschwindigkeit des inneren metallischen Cylinders direct proportional.

2) Die Coëfficienten der Doppelbrechung α sind für verschiedene Flüssigkeiten verschieden und nach dem absoluten Werth sehr klein.

3) Es lässt sich keine Abhängigkeit zwischen α und dem Coëfficienten der Reibung η und resp. der Dichtigkeit ϱ der verschiedenen Flüssigkeiten erkennen.

4) Die Beobachtungen sind nur bei mittleren Rotationsgeschwindigkeiten sicher; bei kleiner Umdrehungszahl (2 bis 10 pro 1 Secunde) ist die Geschwindigkeit zu unconstant; bei grosser Umdrehungszahl (grösser als 60 pro Secunde) wird die Flüssigkeit stark erwärmt, und beginnt der ganze Apparat zu zittern. Ausserdem wird das Gesichtsfeld in diesem Falle trübe und der Interferenzstreifen des Compensators zu gekrümmt.

5) Der beobachtete Gangunterschied muss auf die mittlere Wellenlänge bezogen sein, da alle Oele mit der Zeit eine grünliche Färbung annehmen (der kupfernen Apparatheile wegen). Es wurde immer weisses Licht benutzt, da das monochromatische Licht wegen der grossen Absorption in der Oelschicht (von 15 cm Dicke) sich als zu schwach erwies. Einige Versuche mit dem Lichte von verschiedenen Wellenlängen ergaben keine merkliche Differenz in den Gangunterschieden. Man kann vermuthen, dass bei diesen Versuchen das Wertheim'sche Gesetz anwendbar sei, d. h. dass der Gangunterschied von der Wellenlänge λ unabhängig sei.

6) Die Beimischung von 5,5 Proc. festem Paraffin zum reinen Olivenöl vermindert die Doppelbrechung sehr stark, α sinkt dabei von 0,0₂1175 bis 0,0₃717, d. h. etwa auf 40 Proc.

Die Doppelbrechung ist eine Function der Temperatur, was sich namentlich bei Ricinusöl zeigte. Deshalb untersuchte ich die Erscheinung a) bei constanter Geschwindigkeit und verschiedenen Temperaturen t ; b) die Abhängigkeit des Reibungscoëfficienten von der Temperatur; c) noch genauer die Form der Abhängigkeit zwischen der Doppelbrechung und der Rotationsgeschwindigkeit bei constanter Temperatur.

a) Bei den Versuchen a) bietet es grosse Schwierigkeiten, die Temperatur constant zu erhalten. Nahe dem Siedepunkte des Wassers ergab sich die Doppelbrechung fast unmessbar klein; bei der Temperatur der Wasserleitung (14—15° C.) ist die Reibung der Oele so gross, dass der benutzte Gasmotor von etwa vier Pferdekraften mehr als 30—35 Umdrehungen pro 1 Secunde nicht geben konnte.

Es wurden daher die Untersuchungen zwischen den Temperaturen von 16 bis 40° C. angestellt; man erwärmte die Flüssigkeit etwa auf 45° C. und liess sie sich langsam in dem Apparat abkühlen. Während der Abkühlung wurden die Gangunterschiede gemessen, bis die Rotationsgeschwindigkeit durch Einschaltung von Widerständen constant erhalten wurde. Die Temperatur wurde an zwei Thermometern abgelesen, $T_{\text{int.}}$ und $T_{\text{ext.}}$ (Fig. 1, Taf. I), von denen das eine sich in dem Zwischenraum zwischen den beiden Cylindern, das andere in der äusseren Oelmasse befand.

Die Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle III. Ricinusöl.

$T_{\text{int.}}$	$T_{\text{ext.}}$	$10^3 A$	$T_{\text{int.}}$	$T_{\text{ext.}}$	$10^3 A$
21,75	20,50	119	31,45	31,30	61
22,50	22,10	115	33,00	33,00	56
23,12	21,64	110	36,00	36,33	48
24,18	23,10	106	36,25	36,60	46
24,80	23,70	99	37,15	37,35	43
26,23	25,30	89	37,80	38,00	42
31,18	31,02	62			

$$V = \frac{500 \text{ Umdreh.}}{17 \text{ Sec.}} = 29,41; \text{ die Zahl der Einstellungen } 88.$$

Tabelle IV. Altes Olivenöl.

$T_{\text{int.}}$	$T_{\text{ext.}}$	$10^4 A$	$T_{\text{int.}}$	$T_{\text{ext.}}$	$10^4 A$
16,60	16,60	489	30,00	30,10	297
17,00	17,00	485	30,90	30,90	296
17,40	17,10	460	34,50	34,20	268
20,60	?	421	35,30	34,80	264
20,80	20,80	417	36,50	?	236
24,00	24,00	368	36,80	36,80	264
26,10	25,70	347	38,50	38,80	252
26,60	26,20	342	38,80	38,80	238

$$V = \frac{500 \text{ Umdreh.}}{17 \text{ Sec.}} = 29,41; \text{ die Zahl der Umdrehungen } 55.$$

Auf Tafel V sind die Curven für $A = f(t)$ für die constante Umdrehungsgeschwindigkeit gegeben. 1 mm entspricht bei den Abscissen 0,1° C., bei den Ordinaten dem Gangunterschied 0,05 t.

b) Nun lag die Vermuthung nahe, dass der Gangunterschied Δ von der die Aenderung der Temperatur begleitenden Aenderung des Reibungscoëfficienten η abhängt. Deshalb wurden die letzteren für Ricinusöl und altes Olivenöl besonders nach der Poiseuille'schen Methode bei constantem Druck bestimmt. Letzterer wurde mittelst eines stetig tröpfelnden Trichters mit zeitlichem Abfluss hergestellt. Das Capillarrohr befand sich mit dem angeschmolzenen weiten Rohre in einem grossen, mit Wasser gefüllten Kasten von $70 \times 15 \times 15$ cm, dessen Temperatur durch Rühren und Zugiessen von warmem Wasser eine Stunde lang auf $0,2^\circ$ C. constant erhalten werden konnte. Die Reibungscoëfficienten wurden nach der bekannten Formel¹⁾:

$$(3) \quad \eta = \frac{\pi}{128} \frac{H D^4}{Q L}$$

berechnet.

L bedeutet die Länge, D den Durchmesser des Capillarrohrs, H den Druck in Millimetern Quecksilber, ferner ist:

$$(4) \quad Q = \frac{P}{T \rho (1 + \Theta t)},$$

wo T die Ausströmungsdauer der Oele in 1 Sec. mittlerer Zeit, P das Gewicht in Milligrammen der während der Zeit T durchströmten Flüssigkeit, ρ die Dichtigkeit, Θ der Ausdehnungscoëfficient und t die Beobachtungstemperatur der letzteren ist.

Tabelle V. Ricinusöl.

$L = 217,5$ mm; $\Theta = 0,000\,751\,4$; $D = 0,6274$ mm; $H = 98,6$ mm;
 $\rho = 0,956$ bei $19,4^\circ$ C.

t	40	35	30	25	20	$15,65^\circ$ C.
$10^6 \eta$	1758	2463	3538	5230	7348	9829

Tabelle VI. Altes Olivenöl.

$L = 264$ mm; $\Theta = 0,000\,741\,8$; $D = 0,6274$ mm; $H = 96,24$ mm;
 $\rho = 0,928$ bei $15,25^\circ$ C.

t	40	35	30	25	20	$14,9^\circ$ C.
$10^7 \eta$	3585	4322	5555	7005	9305	12175

1) Jamin et Bouty, Cours de phys. 1. (2) p. 108. 1882.

Die gewonnenen Reibungscoefficienten η sind als Ordinaten in Fig. 4 aufgetragen, als Abscissen sind die Temperaturen genommen ($1 \text{ mm} = 0,1^\circ \text{C.}$ und $1 \text{ mm} = 0,0_{45} \eta$).

Hiernach ist die *Doppelbrechung für eine und dieselbe Flüssigkeit dem Reibungscoefficienten proportional*. Ich zweifle nicht, dass dieses Gesetz ebenso allgemein gültig ist, wie das Proportionalitätsgesetz $\Delta = \alpha \cdot V$, da ich dies auch an den anderen von mir untersuchten Oelen gefunden habe. Hiernach dürfte sowohl die verschiedene Elasticität der Flüssigkeiten, wie auch ihre verschiedene innere Reibung zu berücksichtigen sein.

c) Um endlich den Zusammengang zwischen Δ und V zu untersuchen, jetzt aber bei constanter Temperatur, wurden, da mein Apparat zur Erhaltung einer constanten Temperatur ungeeignet war, die Beobachtungen bei veränderlicher Temperatur (etwa in den Grenzen von $3-4^\circ \text{C.}$) angestellt und dann mit Hülfe der Tab. III und IV alle Ablesungen auf eine constante Temperatur reducirt.

Tabelle VII. Ricinusöl bei 25°C.

Brechungsexponent $n_D = 1,47804$ bei 25°C. $z = 93$.

V	6,90	8,10	8,33	8,57	8,82	11,77	12,00	13,04	13,64
$10^3 \Delta$	47	52	53	55	57	78	79	83	82
V	20,00	20,83	30,77	35,71	38,46	41,66	55,55		
$10^3 \Delta$	108	113	150	175	181	194	249		

Tabelle VIII. Altes Olivenöl bei 23°C.

Brechungsexponent $n_D = 1,47082$ bei 23°C. $z = 41$.

V	8,11	8,82	9,70	12,50	14,29	15,00	20,00	26,14	29,41
$10^3 \Delta$	13	12	15	19	20	21	25	34	39
V	31,25	35,71	41,66	45,45	50,00	55,55			
$10^3 \Delta$	41	46	54	60	65	73			

In der Fig. 5 dienen als Abscissen die Geschwindigkeiten ($1 \text{ mm} = 0,2$ Umdrehungen), als Ordinaten die Gangunterschiede Δ ($1 \text{ mm} = 0,001 \lambda$). Hiernach ist wirklich Δ ungefähr V proportional. Die Abweichungen sind theils von Beobachtungsfehlern, theils vielleicht auch durch die Natur der Erscheinung selbst bedingt. Analoge Fälle finden wir

in ähnlichen Untersuchungen bei festen Körpern nach Wertheim.¹⁾

An diese Mittheilungen möchte ich noch einige besondere Bemerkungen knüpfen.

1) Vor allem hat die Form des Interferenzstreifens einen etwas anderen Charakter, als Hr. Prof. Kundt beschreibt. Bei allen Oelen krümmt sich der Streifen in der Bewegungsrichtung des Cylinders *cc* im Punkte *g* (Fig. 3), sodass es den Anschein hatte, als ob die Geschwindigkeit in der Nähe des unbeweglichen Cylinders *dd* ebenso gross, wie beim bewegten Cylinder *cc* wäre. Die Erklärung dieser Erscheinung fand ich in der Vertheilung der Temperatur in der rotirenden Flüssigkeit. In der That muss in der Nähe des bewegten Cylinders die Flüssigkeit sich stärker erwärmen, als in der Nähe des unbeweglichen, und daher würde der Gangunterschied Δ im ersten Falle kleiner sein, als im zweiten, wenn die Geschwindigkeit *V* bei beiden Cylindern dieselbe wäre. Da dieselben aber verschieden sind, so haben wir das Resultat zweier einander entgegengesetzten mechanischen Wirkungen, welche uns in den Stand setzen, bei der Annahme einer Temperaturdifferenz von 5° C. eine der beobachteten Curve ähnliche zu zeichnen. Eine derartige Curve erhielt ich aus der Gleichung:

$$(5) \quad \Delta = - A\eta \frac{2\alpha V}{b^3 - a^3} \frac{b^2}{r^2},$$

welche Hr. Prof. Kundt²⁾ für diese Doppelbrechung aufgestellt hat; hierin bedeuten *a* und *b* die Radien des inneren (1,75 cm) und äusseren (2,25 cm) Cylinders, *V* die Rotationsgeschwindigkeit des inneren Cylinders, *r* den Radius des betrachteten Flüssigkeitstheilchens zwischen *a* und *b*, *A* einen Proportionalitätsfactor.

2) Aus der Formel erkennt man, von wie grossem Einfluss die verschiedene Entfernung der beiden Cylinder ist. In Wirklichkeit konnte ich mit Hülfe zweier verschiedener äusserer Cylinder in der Entfernung von 5 und 10 mm (d. h.

1) C. Wertheim, Ann. de chim. et de phys. (3) 40. p. 217. 1854.

2) Kundt, l. c. p. 119.

$b = a + 5 \text{ mm}$ und $b = a + 10 \text{ mm}$) keinen solchen Unterschied wahrnehmen.

3) Bei dem Ricinusöl erschien der Streifen des Babinet'schen Compensators, wenn die Flüssigkeit in Ruhe war, vollständig schwarz, sobald aber der Cylinder zu rotiren begann, ging er in eine grünliche Farbe über und konnte nur durch Drehung des Analysators A (Fig. 1) wieder schwarz gemacht werden. So scheint hier eine Drehung der Polarisationsebene aufzutreten; aber es ist auch möglich, dass wir es mit einer complicirteren Art von Doppelbrechung zu thun haben, als mit der Doppelbrechung des linear polarisirten Strahls. Interessant ist, dass diese Drehung ψ proportional der Geschwindigkeit v und der Temperatur t ist. Nach einigen Messungen betrug bei $V = 4545$ für $t = 24^\circ \text{C}$. $\psi = 17^\circ 42'$.

Die Resultate der vorstehenden Arbeit sind hiernach folgende:

1) Die Doppelbrechung des Lichtes in rotirenden Flüssigkeiten ist eine Eigenschaft gewisser Flüssigkeiten, hauptsächlich der Colloide und Oele.

2) Diese Doppelbrechung kann bis jetzt mit keiner der bekannten physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten in eine Beziehung gebracht werden, und die Theorie ist nicht im Stande, das Fehlen derselben bei chemisch reinen Flüssigkeiten zu erklären.

3) Die Richtung der mechanischen, also auch der optischen Axe muss theoretisch einen Winkel von 45° mit der Tangente an dem Radius des betrachteten Theilchens bilden; nach der Erfahrung kann sie einen Winkel von 40 bis 25° bilden.¹⁾

4) Der Sinn der Doppelbrechung hängt von der Bewegungsrichtung der Flüssigkeit ab, bei der Drehung derselben in der Richtung des Uhrzeigers verschiebt sich der Compensatorstreifen nach links von seiner ursprünglichen Lage und bei der umgekehrten Bewegung nach rechts.

1) Kundt, l. c. p. 119—120 u. 123.

5) Die Doppelbrechung ist eine Function der zwei Parameter der Rotationsgeschwindigkeit V und der Temperatur t .

6) Ist zunächst $t = \text{const.}$, so ist Δ proportional der Rotationsgeschwindigkeit V , d. h. $\Delta = \alpha \cdot V$, wo der Factor α für verschiedene Flüssigkeiten ein anderer ist.

7) Ist $V = \text{const.}$, so ist die Doppelbrechung proportional dem Reibungscoefficienten η , d. h. $\Delta = \beta \cdot \eta$, wobei wiederum der Factor β für verschiedene Flüssigkeiten ein anderer ist.

8) Die Beifügung einer flüssigen Substanz, welche durch Rotation keine Doppelbrechung zeigt, zu einer anderen, welche diese Doppelbrechung besitzt, schwächt den Gangunterschied Δ der letzteren ungemein, obgleich sich ihr Reibungsunterschied η nur äussert wenig ändert.

9) Der Satz 7) ist ein Widerspruch mit dem Schlusse 8), wie auch mit den Versuchen des Hrn. Prof. Kundt und den meinigen über die Abhängigkeit der Doppelbrechung Δ von dem Reibungscoefficienten η .

10) Der Gangunterschied Δ erreicht bei derartigen Versuchen eine nur sehr kleine Grösse, und zwar war das Maximum $0,2487 \lambda$ für Ricinusöl und das Minimum $0,0107 \lambda$ für Olivenöl mit 5,5 Paraffin; λ ist auf die Wellenlänge des mittleren Theiles des Spectrums bezogen.

11) Der Gangunterschied ist scheinbar von der Wellenlänge unabhängig, d. h. die Dispersion dieser Art von Doppelbrechung ist gering.

12) Den Gesetzen Nr. 4, 5, 7, 8 genügt die Formel (5), welche Hr. Prof. Kundt für diese Art der Doppelbrechung auf Grund der allgemeinen Gleichungen der Hydrodynamik von Stokes¹⁾ gegeben hat. Zur vollständigen Prüfung dieser theoretischen Formel fehlen noch weitere Untersuchungen.

Strassburg-Odessa, den 20. Juni 1888.

1) G. G. Stokes, Mathem. and phys. papers. 1. p. 102. 1880.