**7. Über elektrische Doppelbrechung
in Schwefelkohlenstoff bei niedrigem Potential;
von Gustaf W. Elmén.¹⁾**

Wenn man Licht, das in einem Winkel von 45° zu den Kraftlinien polarisiert ist, zwischen zwei parallelen Elektroden durch gewisse Dielektrika hindurchgehen läßt, so werden diese doppelbrechend. Die Phasendifferenz δ zwischen den beiden Lichtkomponenten — der zu den Kraftlinien senkrechten und der parallelen — ist, wie Kerr angegeben hat und wie andere Forscher es später bestätigt haben,

$$\delta = \pm \frac{B P^2 l}{a^2},$$

wo B die vom Dielektrikum abhängige elektro-optische Konstante, l die Länge und a die Entfernung zwischen den Platten-elektroden in Zentimetern ist; P ist die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden in C.G.S.-Einheiten.

Aus den in vorliegender Untersuchung gewonnenen Daten scheint sich eine ausgesprochene Abweichung von diesem Gesetze für niedrige Potentiale zu ergeben. Wenn das Potential von ungefähr 200 Volt pro Millimeter Entfernung zwischen den Elektroden ausgehend verkleinert wurde, so war die Abnahme von δ langsamer als die Abnahme von P^2 .

Bei der Bestimmung der elektro-optischen Konstante muß man entweder hohes Potential oder ein empfindliches Verfahren zur Messung von δ verwenden. Bei den Untersuchungen von Kerr²⁾, Quincke³⁾, Lemoine⁴⁾ und Schmidt⁵⁾ wurden hohe Potentiale angewandt. Die Phasendifferenz wurde mit Hilfe eines Babinetschen Kompensators gemessen und das Potential entweder durch eine statische Maschine oder einen

1) Aus dem Englischen übersetzt von A. Gradenwitz.

2) J. G. Kerr, Phil. Mag. (4) 50. p. 446. 1875; (5) 8. p. 85 u. 229. 1879; (5) 9. p. 157. 1880; (5) 13. p. 153 u. 248. 1882.

3) G. Quincke, Wied. Ann. 10. p. 729. 1883.

4) J. Lemoine, Compt. rend. 122. p. 835. 1896.

5) W. Schmidt, Ann. d. Phys. 7. p. 142. 1902.

Induktionsapparat vermittelt eines Elektrometers geliefert. Die Differenzen zwischen den von verschiedenen Beobachtern für B gefundenen Werte und auch zwischen den einzelnen Werten eines und desselben Beobachters (z. B. bei CS_2 , wo die Quinckeschen Werte um $\frac{1}{5}$ variieren) sind, wie Schmidt ausführt, wahrscheinlich auf die Schwierigkeit zurückzuführen, hohe Potentiale mit genügender Genauigkeit zu messen. Um diesen Fehler zu eliminieren, benutzte er zwei Sätze Elektroden auf derselben Drehungsachse wie das Lichtstrahlenbündel und rechtwinklig zueinander, so daß die Wirkung des einen Satzes durch die des anderen kompensiert wurde. Auf diese Weise erhält man jedoch nur relative Werte, und absolute Messungen können nur mit Hilfe einer anderen Methode erzielt werden.

Eine empfindliche Anordnung zur Bestimmung der Phasendifferenz ist in vorliegender Untersuchung zur Verwendung gekommen; an Stelle des Babinetschen Kompensators wurde nämlich ein elliptisches Halbschatten-Polarisationssystem benutzt.¹⁾ Mit diesem System ließen sich bei vorliegender Untersuchung Werte von $\delta = 0,0001 \lambda$ beobachten. Bei den von mir ausgeführten Messungen war der niedrigste aufgezeichnete Wert $0,00025 \lambda$. Hierdurch wurde das zur Verwendung geeignete Potential bis auf weniger als 100 Volt pro Millimeter Entfernung zwischen Elektroden von 47 cm Länge reduziert. Bei CS_2 war der kleinste von Quincke angegebene Wert bei derselben Elektrodenlänge über 3000 Volt pro Millimeter Entfernung. Das Potential wurde von einer Akkumulatorenbatterie von ungefähr 1400 Volt geliefert, und da das kleinste zur Verwendung kommende Potential weniger als 200 Volt betrug, so hatte der Verfasser zu seiner Verfügung ein siebenmal größeres Potentialintervall. Das Potential wurde vermittelt eines Voltmeters gemessen, den man vorher kalibriert hatte, so daß die möglichen Fehler bei den kleinsten Potentialen weniger als 1 Proz. betragen.

Das Halbschattensystem bestand aus zwei dünnen Glimmerabteilungen. Die eine, der „empfindliche Streifen“ S (Fig. 1) befand sich neben dem Polarisations-Nicol N , bedeckte das halbe Feld und lag mit ihrer Hauptachse in einem Azimut

1) D. B. Brace, Phys. Rev. 18. p. 70; 19. p. 218. 1904.

von 45° zur Schwingungsebene des polarisierten Lichtes. Die Kante dieses Streifens war zu den Seiten der Elektroden parallel, so daß die verschwindende Linie parallel zur größten Dimension des Gesichtsfeldes wurde. Wenn Elektroden von größter Länge (127 cm) benutzt wurden, so lag dieser Streifen zwischen Kompensator und Analysator, da die Entfernung zu groß war, um gute Definierung zu ermöglichen. Die zweite Abteilung, der „Kompensator“ C (Fig. 1) wurde neben dem Analysator-Nicol N' angebracht und bedeckte das ganze Feld. Diese Abteilung wurde auf einem Teilkreise mit einem Nonius montiert, der Ablesung auf Minuten gestattete. Die Lage des Streifens wurde mehrere Male verändert, so daß sich Ablesungen von

Fig. 1.

verschiedenen Teilen des Kreises erzielen ließen, womit etwaige Fehler des Apparates eliminiert wurden.

Ein Nernstscher Glühkörper von 48 Kerzen, 1 cm Länge und 1 mm Durchmesser wurde zuerst als Lichtquelle L (Fig. 1) benutzt. Später wurden Beobachtungen mit Sonnenlicht ausgeführt, welches durch ein Spektroskop hindurchgesandt wurde; Beobachtungen erfolgten bei Rot ($620 \mu\mu$), Grün ($540 \mu\mu$) und Blau ($490 \mu\mu$). Vermittelt einer Kondensatorlinse A (Fig. 1) wurde das Licht durch den Polarisations-Nicol, den empfindlichen Streifen, die Flüssigkeit zwischen den Platten Elektroden E (Fig. 1), durch den Kompensator und Analysator, und von dort aus nach einem Brennpunkt O innerhalb des Auges des Beobachters gesandt. Bei Benutzung von Sonnenlicht genügte die Lichtstärke dazu, die Verwendung eines Fernrohres von kurzer Brennweite mit geringer Vergrößerung zu gestatten, welches neben dem Analysator angebracht wurde. Die eine der Elektroden wurde geerdet und die andere mit der Batterie verbunden. V ist ein zwischen den Elektroden eingeschaltetes Voltmeter.

Ein in der Flüssigkeit angebrachtes Thermometer wurde vor und nach den Beobachtungen abgelesen; die Messungen erfolgten bei Zimmertemperatur.

Die Ordnung des Kompensators wurde durch Vergleichen desselben mit einer Viertelwellenplatte gefunden. Der Kompensator wurde auf Gleichheit eingestellt und die Viertelwellenplatte im Felde so angebracht, daß sie keine Wirkung hervorrief. Der Kompensator wurde nun um einen Winkel von 5 bis 10° gedreht, und die Viertelwellenplatte erfuhr gleichfalls eine Drehung, bis die Intensität der beiden Feldhälften wieder dieselbe war. Wenn $N' \Theta'$ und $N \Theta$ bez. die Ordnung und die Gradzahl des Winkels bedeuten, um den die beiden Platten gedreht werden, so erhält man

$$N' \Theta = N \Theta' \text{ } ^1),$$

oder

$$(4) \quad N = \frac{N' \Theta}{\Theta'}.$$

Wenn man so die Ordnung des Kompensators für eine gewisse Wellenlänge festgestellt hat, findet man die Ordnung für irgendwelche andere Wellenlängen vermittelst der differentialen Dispersionskurve von Glimmer.²⁾

Die Wellenlänge, bei der die Viertelwellenplatte eine Verzögerung von $\lambda/4$ hervorrief, wurde folgendermaßen bestimmt: Ein in einem Winkel von 45° zur Hauptachse der Platte

Fig. 2.

polarisierter Sonnenstrahl wurde zweimal durch die Platte und hierauf durch einen zweiten Nicol gesandt, dessen Ebene zum Polarisator parallel war. Der Strahl wurde vermittelst eines Spektroskops analysiert. Das Spektrum enthielt einen schwarzen Streifen, welcher einer Verzögerung von einer halben Wellenlänge entsprach. Wie man feststellte, entsprach die

1) D. B. Brace, Phys. Rev. 18. p. 73. 1904.

2) E. J. Rendtorff, Phil. Mag. (6) 1. p. 545. 1901.

benutzte Platte einem Werte von $\lambda = 560 \mu\mu$. In Fig. 2 sind A und A' die beiden Nicols, B die Viertelwellenplatte, C ein an der Vorderfläche versilberter Spiegel, und P das Spektroskop.

Beim Anstellen von Beobachtungen wurde der „Kompensator“ auf Gleichheit eingestellt und hierauf die Plattenelektroden geladen und der Kompensator gedreht, bis wieder Gleichheit erzielt wurde. Wenn dann Θ den Winkel bedeutet, über den der Kompensator gedreht wurde, und N die Ordnung des Kompensators, so ist

$$(2) \quad \delta = \frac{4 N \Theta}{180^\circ} = \frac{N \Theta}{45^\circ},$$

wenn Θ klein ist, und nach (1)

$$(3) \quad \frac{N \Theta}{45^\circ} = \pm \frac{B F^2 l}{a^2}.$$

Bei demselben Potential waren die Einstellungen des Glimmerkompensators bei allen benutzten Farben annähernd dieselben, woraus hervorging, daß bei den kleinen erzeugten Phasendifferenzen die elektrische differentiale Doppelbrechung bei CS_2 annähernd dieselbe ist wie die differentiale Doppelbrechung von Glimmer.

Es wurden Plattenelektroden von zwei verschiedenen Längen benutzt. Die ersten bestanden aus nickelplattierten Messingstreifen von 37 cm Länge und 1,5 cm Breite. Sie standen mit den nach der Erde führenden Drähten und der Batterie durch zwei Stäbe in Verbindung, welche in die Platten eingeschraubt waren und durch Glasröhren von 5 cm Länge gingen, welche an der Seite des Rohres angekittet waren. Kleine Glasstreifen wurden zwischen ihnen an den Kanten in Zwischenräumen angebracht und mit Fischleim festgehalten. Die Elektroden wurden in einer Röhre von 2,5 cm Durchmesser angebracht; sie ragten über beide Enden um 1 cm hinaus. An den Enden der Röhre waren Glasquadrate befestigt, in die Öffnungen von 1 cm Durchmesser gebohrt waren, und die hierauf mit dünnen Deckgläsern bedeckt wurden. Diese Deckgläser wurden, nachdem sie angekittet waren, auf Doppelbrechung untersucht, da es in verschiedenen Fällen vorkam, daß durch das Trocknen des Fischleims so viel Spannung im Glase erzeugt wurde, daß diese beobachtet werden konnte.

Ich hatte ziemliche Schwierigkeit damit, vollkommen parallele Metallstreifen für die größeren Elektroden von 127 cm Länge zu erzielen, so daß ich an ihrer Stelle Spiegelglasstreifen benutzte. Eine dicke Lage Silber wurde auf der einen Seite jeder einzelnen Platte angebracht; die Versilberung wurde an den gegenüberliegenden Enden hinübergezogen, wo mit Hilfe eines Paares Messingklemmen, die auch zum Festhalten der Platten dienten, Kontakt erzielt wurde. Kupferdrähte wurden an diese Klemmen gelötet und gingen durch Öffnungen hindurch, die in den Endplatten der Röhre angebracht waren. Die Elektroden wurden ebenso wie vorher voneinander getrennt; sie ruhten ohne Träger in der Röhre mit der Flüssig-

Fig. 3.

keit. Fig. 3 stellt eine senkrechte Ansicht und Aufsicht der Elektroden dar. Die Bildung von Ag_2S erfolgte, wenn die Elektroden mit CS_2 in Kontakt waren, nur langsam; sie ließen sich eine Zeitlang ohne erneute Versilberung benutzen.

Die zur Verwendung kommende Flüssigkeit war CS_2 . Das gewöhnliche käufliche CS_2 enthielt, wie ich feststellte, eine große Anzahl kleiner Teilchen, welche zwischen den Elektroden vibrierten, wenn dieselben geladen wurden, so daß man große Schwierigkeit hatte, zwischen ihnen eine hohe Potentialdifferenz zu erhalten. Ich fand es daher für notwendig, die Flüssigkeit durch Filtrieren zu klären; als Filter diente eine im Hals einer Glasflasche vermittelst Kitt befestigte poröse Schale. Unmittelbar unterhalb des Halses befand sich in der Flasche eine Öffnung, in die eine Glasröhre eingekittet wurde. Diese Röhre stand mit einer Luftpumpe in Verbindung, und auf diese Weise wurde die Flüssigkeit durch die poröse Schale hindurchgetrieben. Durch das Filtrieren von CS_2 erfuhr jedoch die elektro-optische Konstante der Flüssigkeit anscheinend keine merkliche Veränderung. Tab. 1 gibt an, auf welche Weise die einzelnen aufgezeichneten Werte von B in den folgenden Tabellen erzielt wurden. Bei Potentialdifferenzen unterhalb 200 Volt pro Millimeter Entfernung zwischen den

Elektroden ist jeder Wert von B das Mittel von 20 und nicht von 9 Beobachtungen. Tab. 2 und 3 gibt Mittelwerte an, die man bei Messingelektroden für $a = 0,2545$ und $a = 0,184$ cm erhielt. Tab. 4 gibt die Werte, die ich mit versilberten Elektroden beobachtete. Die Werte der drei Serien zeigen untereinander recht gute Übereinstimmung. Tab. 5 gibt Werte an,

Tabelle 1.

$l = 47$ cm, $a = 0,2545$ cm.

Temp.	Volt	Kompensator- ablesung bei eingeschaltetem Potential	Kompensator- ablesung bei ausgeschaltetem Potential	$B \times 10^{-7}$
19° C.	1360	354° 17'	6° 13'	4,05
		354 38	6 18	
		354 15	6 5	
		354 32	6 16	
		354 16	6	
		354 19	5 54	
		354 15	5 58	
		354 17	5 51	
20° C.		354 24	6 6	
	Mittelwert	354° 22,5'	6° 4,5'	
	Drehung = 11° 42'			

Tabelle 2.

$l = 47$ cm, $\lambda = 560 \mu\mu$, $a = 0,2545$ cm.

Temp.	Volt	θ°	$B \times 10^{-7}$	Temp.	Volt	θ°	$B \times 10^{-7}$
23,5° C.	1389	11,66°	3,88	20° C.	357	1,1°	5,53
19,5	1360	11,68	4,05	19	324	0,74	4,52
18,5	1345	11,6	4,11	20	324	0,84	5,13
20	1043	6,77	3,94	19,5	283	0,76	6,04
19	995	6,28	4,07	24	252	0,65	6,77
20	880	4,74	3,94	22	252	0,68	6,56
21	720	3,16	3,92	22	247	0,62	6,51
22	649	2,58	3,93	19,5	244	0,77	8,29
19	556	2,16	4,53	19	243	0,53	5,88
22	531	1,8	4,09				

Tabelle 3.

 $l = 47 \text{ cm}, \lambda = 560 \mu\mu, a = 0,184 \text{ cm.}$

Temp.	Volt	0°	$B \times 10^{-7}$
23° C.	876	$8,7^\circ$	3,78
25	861	8,24	3,71
23	418	2	3,82
25	242	0,74	4,22
23	193	0,58	5,19
25	191	0,53	4,56
25	191	0,46	4,23

Tabelle 4.

 $l = 127 \text{ cm}, \lambda = 560 \mu\mu, a = 0,656 \text{ cm.}$

Temp.	Volt	0°	$B \times 10^{-7}$
19° C.	1364	$4,84^\circ$	4,08
20	1355	4,88	4,17
20	1334	4,38	3,85
20,5	1328	4,27	3,84
18	1314	4,53	4,11
20	1017	2,8	4,25
20	1017	2,87	4,35
19,5	1040	2,9	4,17

Tabelle 5.

 $l = 47 \text{ cm}, a = 0,184 \text{ cm.}$

$\lambda \text{ in } \mu\mu$	Temperatur	Volt	Θ	$B \times 10^{-7}$
620	23°	807	$7,6^\circ$	3,00
	23	525	3,1	2,93
	23	240	0,73	3,17
	23	190	0,6	4,32
540	23	997	11,75	4,13
	23	841	8,5	4,16
	23	543	3,4	4,20
	23	242	0,78	4,88
490	23	191	0,6	5,96
	23	955	11,5	5,51
	23	670	5,38	5,64
	26	387	1,67	5,23
	26	250	0,66	5,38
	26	190	0,5	6,39

die ich bei verschiedenen Farben erzielte. Bei demselben Wert von C und bei verschiedenen Wellenlängen bleibt Null annähernd gleich, und bei der Berechnung des Wertes von B war es nur notwendig, den aus Gleichung (3) erhaltenen Wert von B mit dem Ordnungsverhältnis des Kompensators zu multiplizieren ($N = 1 : 43,8$); dasselbe wurde vermittelt der Viertelwellenplatte für den betreffenden Wert von λ bestimmt, welcher im vorliegenden Falle $560 \mu\mu$ betrug, während die Ordnung bei allen anderen zur Verwendung kommenden Farben durch

Fig. 4.

Interpolieren nach der von Rendtorff erzielten Kurve erhalten wurden.

In Fig. 4 sind die Werte von $B \times 10^{-7}$ als Ordinaten und $P/a \times 10$ als Abszissen aufgetragen. Die Kurve ist bis 200 Volt pro Millimeter Entfernung eine annähernd gerade Linie; dann dreht sie sich und scheint zu den Ordinaten fast asymptotisch zu verlaufen. Beim Feststellen dieser niedrigen Werte waren die Beobachtungsfehler natürlich in Anbetracht der Kleinheit des Effektes bedeutend, und zunächst dachte ich, daß die erhebliche Abweichung von dem Gesetz von irgendeinem syste-

matischen Fehler herrührte. Um derartige etwaige Fehler zu eliminieren, nahm ich den Apparat auseinander und setzte ihn unter anderen Verhältnissen wieder zusammen, konnte jedoch auf diese Weise keinen Unterschied in den für B erzielten Werten finden.¹⁾

Zwischen B , der vermittelt der Doppelbrechung bestimmten elektrischen Polarisationskonstante in CS_2 , und der Permeabilität μ , die man mit Hilfe der magnetischen Induktion findet, besteht große Ähnlichkeit, so daß man auf den Gedanken kommt, daß die Doppelbrechung in Flüssigkeiten, die unter elektrischer Spannung stehen, auf Rechnung eines Polarisationszustandes zu setzen sein könnte, der seiner Natur nach dem in einer magnetischen Substanz im Polarisationszustande ähnelt.

Zum Schlusse möchte ich Hrn. Prof. Brace für seine wertvollen Anregungen, durch die vorliegende Untersuchung ermöglicht wurde, meinen besten Dank aussprechen.

Lincoln (Nebraska), Physik. Laborat. d. Univ.

1) Man könnte die Ansicht aussprechen, daß die Ablesungen des Voltmeters nicht den wahren Potentialabfall innerhalb der Flüssigkeit geben, da möglicherweise an den Elektroden ähnlich wie in Elektrolyten eine Polarisation stattfindet, die bei Verwendung von niedrigen Potentialen zum Ausdruck kommen könnte. Dies könnte man durch Variieren des Elektrodenabstandes und Vergleichen der Beobachtungen bei demselben Potentialabfall bestimmen. Diese Schlußfolgerung scheint durch die Daten der Tab. 2 und 3 nicht bestätigt zu werden, wo a bez. = 0,2545 und 0,184 cm.

(Eingegangen 26. November 1904).