DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XXXII.

I. *Ueber anormale Erscheinungen bei dielectrischen Flüssigkeiten, besonders bei Rapsöl;*
von G. Quincke.

§ 1. Die Dielectricitätsconstante isolirender Flüssigkeiten kann nach drei verschiedenen Methoden bestimmt werden:

1. durch Vergleichung der Capacität eines Condensators, dessen Belegungen in der betreffenden Flüssigkeit oder in Luft sich befinden;

2. mit der electricischen Wage durch Vergleichung der Anziehung zweier Condensatorplatten in der betreffenden Flüssigkeit und in Luft;

3. mit hydrostatischem Druck durch die Druckzunahme einer Luftblase, welche die beiden horizontalen Condensatorplatten im Inneren der isolirenden Flüssigkeit berührt, sobald dieselben bis zu einer bekannten Potentialdifferenz geladen werden.

Ich habe in meinen „Electricischen Untersuchungen“ § 50 bis 53 und § 80¹⁾ verschiedene isolirende Flüssigkeiten mit diesen drei Methoden untersucht und dabei verschiedene Resultate für dieselbe Flüssigkeit erhalten.

Die zweite und dritte Methode gaben, abgesehen von Rapsöl, nahezu dieselben Werthe der Dielectricitätsconstante, die erste Methode dagegen etwas kleinere.

Bei der letzteren Methode wurde die untere Condensatorplatte zur Erde abgeleitet, die obere Condensatorplatte geladen, das electricische Potential mit einem Thomson'schen Schraubenelectrometer gemessen und nun durch Umlegen eines Schlüssels die Ladung des Condensators durch eine

1) Quincke, Wied. Ann. 19. p. 705. 1883; 28. p. 529. 1886.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXII.

Wassersäule und einen empfindlichen Spiegelmultiplicator zur Erde entladen. Darauf wurde der Condensator in die dielectricische Flüssigkeit gebracht, bis zum gleichen Potential geladen und durch Umlegen des Schlüssels wieder durch den Multiplicator entladen. Die Ausschläge der Multiplicatornadel s_1 und s_{11} sind dann proportional der Electricitätsmenge, welche durch den Multiplicatordraht geflossen ist.

Die Ladungen des Condensators in der Flüssigkeit und in Luft verhalten sich wie die Dielectricitätsconstante zu 1, und es würde das Verhältniss der Ausschläge s_{11} und s_1 direct diese Constante geben, wenn die Capacität des Schlüssels und des kurzen Drahtes, welcher den Schlüssel mit der Condensatorplatte verbindet, genügend klein wäre gegen die Capacität des Condensators in Luft. Ist dies nicht der Fall, so muss von den beobachteten Ausschlägen der Theil abgezogen werden, welcher der Electricitätsmenge auf Schlüssel und Zuleitungsdraht entspricht. Das Verhältniss s_{11}/s_1 gibt in diesem Falle zu kleine Werthe der Dielectricitätsconstante.

Ausserdem nimmt während des Umlegens des Schlüssels die Ladung des Condensators etwas ab durch die electriche Leitung der dielectricischen Flüssigkeit zwischen den Condensatorplatten. Die Methode ist also um so ungenauer, je schlechter das Isolationsvermögen der dielectricischen Flüssigkeit ist.

Aus diesem Grunde werden die Messungen mit der electricischen Wage oder dem Manometer stets zuverlässigere Resultate geben müssen, als die Messungen der Capacität, und ich hatte bei meinen „Electricischen Untersuchungen“ nur der Vergleichung wegen die von den früheren Beobachtern angewandte Capacitätsmethode ebenfalls benutzt, ohne die Multiplicatorausschläge in Bezug auf die Capacität des Schlüssels und des Zuleitungsdrahtes zu corrigiren.

Da aber die von mir untersuchten Flüssigkeiten mit wenigen Ausnahmen vortrefflich isolirten, so war der Verlust der Ladung durch Leitung beim Umlegen des Schlüssels nur gering, und es empfahl sich, den Einfluss der Capacität x des Schlüssels bei der Berechnung zu berücksichtigen, um

so mehr, als ich durch eine briefliche Mittheilung des Hrn. Dr. J. Hopkinson¹⁾ darauf aufmerksam gemacht wurde, dass dies x gegenüber der Capacität C des Condensators selbst bei meinen Versuchen nicht zu vernachlässigen sein dürfte.

Der Ausschlag s_1 oder s_0 der Multiplicatornadel wurde für die Stellung $r_0 + r_1$ des Thomson'schen Schraubenelectrometers gemessen, wenn der Zuleitungsdraht und die obere Condensatorplatte, oder wenn der Zuleitungsdraht allein mit dem Schlüssel in Verbindung war. Dann ist:

$$(1) \quad \frac{s_0}{s_1} = \frac{x}{x + C},$$

und der Electricitätsmenge auf Schlüssel und Zuleitungsdraht bei der Stellung $r_0 + r_{11}$ des Thomson'schen Schraubenelectrometers würde ein Ausschlag:

$$(2) \quad \frac{r_0 + r_{11}}{r_0 + r_1} \cdot s_0 = \frac{r_0 + r_{11}}{r_0 + r_1} \cdot s_1 \cdot \frac{x}{x + C}$$

entsprechen, wo das Verhältniss $x/(x + C)$ ein für alle mal bestimmt werden kann, solange man denselben Schlüssel und denselben Zuleitungsdraht in derselben Lage benutzt. Man beobachtet ferner bei der Entladung des Schlüssels und des Condensators in der isolirenden Flüssigkeit, die bis zum Potential $r_0 + r_{11}$ geladen worden sind, den Multiplicatorausschlag s_{11} .

Sind die in Bezug auf die Capacität von Schlüssel und Zuleitungsdraht corrigirten Multiplicatorausschläge (s_{11}) und (s_1), wenn die Condensatorplatten sich in Flüssigkeit oder in Luft befinden, so ist:

$$(3) \quad (s_{11}) = s_{11} - \frac{r_0 + r_{11}}{r_0 + r_1} s_1 \cdot \frac{x}{x + C}, \quad (s_1) = s_1 - s_1 \cdot \frac{x}{x + C}$$

und die Dielectricitätsconstante:

$$(4) \quad (K) = \frac{(s_{11})}{(s_1)} \cdot \frac{r_0 + r_1}{r_0 + r_{11}}.$$

Für die Anordnung der Versuche mit grossen electrischen Kräften (§ 81. Tab. 55a)²⁾ fand ich:

$$\frac{x}{x + C} = 0,1762.$$

1) J. Hopkinson, Proc. Roy. Soc. 41. p. 453. 1886.

2) G. Quincke, Wied. Ann. 28. p. 536. 1886.

Berechnet man hiermit und den Gleichungen (3) und (4) die Werthe der Dielectricitätsconstante (K) für die erwähnten Beobachtungen (§ 81. Tab. 55a) und vergleicht diese Zahlen mit den Messungen von K_p an der electrischen Wage, so ergeben sich folgende Resultate.

Tabelle 55b.

Dielectricitätsconstante
aus der Capacität eines Condensators in Luft und in der
dielectrischen Flüssigkeit bestimmt.

Schrauben- electrometer		Multiplier- ausschlag (corrigirt)		Dielectricitätsconstante mit		
Luft	Flüssigk.	Luft	Flüssigk.	Multiplie.	Wägung	K_p
$r_0 + r_1$	$r_0 + r_{11}$	(s_1)	(s_{11})	(K)	K_p	(K)
Aether (Kahlbaum)						
rev	rev					
12,590	12,590	47,12	150,1	3,185	4,323	1,357
"	33,783	"	400,0	3,165	4,166	1,316
						1,336
Aether (1 Jahr über gebranntem Marmor gestanden und frisch destillirt)						
12,590	12,590	47,12	198,4	4,211	4,394	1,043
Schwefelkohlenstoff						
12,815	12,815	47,82	124,2	2,597	2,623	1,010
"	37,154	"	360,4	2,599	2,558	0,984
"	41,872	"	386,6	2,474	2,505	1,013
						1,002
Schwefelkohlenstoff (Kahlbaum)						
9,063	9,063	30,50	76,48	2,508	2,647	1,055
12,815	12,815	47,29	118,6	2,508	2,623	1,046
"	26,662	"	259,8	2,640	2,541	0,963
"	32,478	"	321,4	2,680	2,569	0,958
"	37,581	"	359,7	2,593	2,558	0,986
"	42,457	"	447,8	2,455	2,505	1,021
						1,005
Benzol aus Steinkohlentheer (Kahlbaum)						
8,939	8,939	34,45	79,93	2,320	2,374	1,022
12,623	12,623	48,36	114,06	2,359	2,360	1,000
"	26,568	"	240,7	2,565	2,257	0,954
"	37,747	"	338,7	2,343	2,237	0,955
						0,985
Steinöl (über gebranntem Marmor gestanden)						
8,939	8,939	34,52	68,22	1,976	2,123	1,076
12,623	12,623	49,04	99,32	2,025	2,073	1,023
"	17,920	"	138,6	1,991	2,084	1,047
"	25,660	"	202,3	2,030	2,033	1,002
"	36,726	"	291,7	2,044	1,984	0,971
"	44,963	"	336,7	1,928	1,994	1,035
						1,026

Abgesehen von dem Aether (Kahlbaum), der nicht sehr gut isolirte und daher zur Bestimmung von (K) nicht geeignet war, sind die Zahlen für (K) und K_p so nahezu gleich, wie man es bei so schwierigen Messungen und so verschiedenen Untersuchungsmethoden überhaupt erwarten kann.

Ich habe ferner für die älteren Bestimmungen (§ 52. Tab. 55)¹⁾, bei denen ein anderer Schlüssel und Zuleitungsdraht benutzt worden war, gefunden:

$$\frac{x}{x+C} = 0,3200.$$

Berechnet man hiermit nach den Gleichungen (3) und (4) die Dielectricitätsconstante (K), so findet man ebenfalls nahezu dieselben Werthe, wie mit der electricischen Wage, die unter K_p in der folgenden Tabelle aufgeführt sind. Bei diesen älteren Versuchen wurden die Condensatorplatten in Luft und in der dielectricischen Flüssigkeit auf dieselbe Potentialdifferenz gebracht, es war also $r_1 = r_{11}$.

Tabelle 55c.

Fl ü s s i g k e i t	$r_0 + r_1 = 13,55 \text{ rev}$ Dielectricitätsconstante mit			$r_0 + r_1 = 9,60 \text{ rev}$ Dielectricitätsconstante mit		
	Multiplic. (K)	Wägung K_p	K_p (K)	Multiplic. (K)	Wägung K_p	K_p (K)
Aether	4,536	4,876	1,075	4,416	4,827	1,092
Aether (über gebranntem Marmor gestanden)	4,558	4,730	1,038	4,277	4,515	1,055
5 Vol. Aether + 1 Vol. Schwefelkohlenst.	3,729	4,179	1,120	3,775	4,093	1,084
1 Vol. Aether + 1 Vol. Schwefelkohlenst.	3,123	3,585	1,148	3,166	3,493	1,104
1 Vol. Aether + 1 Vol. Schwefelkohlenst.	2,972	3,089	1,040	3,135	3,176	1,013
Schwefel in Schwefelkohlenstoff gelöst (19,5 Proc.)	2,654	2,869	1,081	2,620	2,870	1,095
Schwefelkohlenstoff (Kahlbaum)	2,865	2,649	0,924	2,744	2,688	0,980
Schwefelkohlenstoff (Heidelberg)	2,402	2,690	1,120	2,452	2,639	1,076
1 Vol. Schwefelkohlenstoff + 1 Vol. Terpentinöl	2,418	2,459	1,040	2,412	2,447	1,014
Schweres Benzol (Kahlbaum)	2,383	2,396	1,006	2,347	2,333	1,015
Reines Benzol aus Benzoësäure	2,609	2,324	0,891	2,477	2,325	0,939
Leichtes Benzol (Heidelberg)	2,139	2,179	1,019	2,140	2,132	0,996
Rapsöl	3,195	2,309	0,723	3,047	2,442	0,802
Terpentinöl	2,352	2,284	0,971	2,411	2,233	0,926
Steinöl	1,966	2,151	1,093	2,103	2,124	1,003

1) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 716. 1883.

Wenn man berücksichtigt, dass die Capacität des Schlüssels und Zuleitungsdrahtes bei diesen Versuchen der Tab. 55 c. ein wenig gewechselt hat, so wird man auch aus ihnen schliessen, dass beide Beobachtungsmethoden dieselben Resultate geben.

Eine Ausnahme machen nur die erste Beobachtung bei reinem Benzol, bei der ich irgend eine Störung annehmen möchte, die jetzt nicht mehr festzustellen ist, und die Beobachtungen bei Rapsöl, bei welchem im Mittel (K) = 3,121, also bedeutend grösser als K_p gefunden wurde. Auffallender Weise habe ich für dasselbe Rapsöl mit der dritten Methode die Dielectricitätsconstante K_s = 3,296 gefunden, sodass also für diese Flüssigkeit die erste und dritte Methode die Constante etwa 20 Proc. grösser ergeben als die zweite.

§ 2. Dielectricitätsconstante von Rapsöl.

Dies eben erwähnte anormale Verhalten veranlasste mich, eine Bestimmung der Dielectricitätsconstante nach allen drei Methoden für starke electricische Kräfte bei einer anderen Sorte Rapsöl zu wiederholen, die ich der Güte des Hrn. P. J. Landfried in Heidelberg verdankte. Dasselbe war frisch geschlagen, wurde warm mit wasserfreiem Kupfervitriol geschüttelt und filtrirt, um es möglichst wasserfrei und gut isolirend zu erhalten.

Gleichzeitig wurde auch reines Terpentinöl untersucht nach der ersten und zweiten Methode, da mir von anderer Seite die Vermuthung ausgesprochen worden war, dass die Dielectricitätsconstante dieser Flüssigkeit mit zunehmender electricischer Kraft zunehmen würde.

Die Versuche wurden in der früher (§ 80)¹⁾ von mir angegebenen Weise angestellt und führten zu folgenden Resultaten.

1) G. Quincke, Wied. Ann. 28. p. 534 u. 536. 1886.

Tabelle 54b.

Electrische Zugkräfte
in Luft und in dielectricischen Flüssigkeiten
mit electrischer Wage verglichen.

$O = 58,234$ qcm. $a = 0,1581$ cm.

Gewichte		Schrauben- electrometer		Dielectri- citätscon- stante
Luft	Flüssigkeit	Luft	Flüssigkeit	
G_1	G_{11}	$r_0 + r_1$	$r_0 + r_{11}$	
Rapsöl (Landfried) $\sigma = 0,9103$				
gr	gr	rev	rev	
10	25	8,844	8,538	2,683
20	50	12,502	12,340	2,565
"	100	"	17,416	2,531
"	200	"	25,112	2,434
Terpentinöl (Kahlbaum) $\sigma = 0,8612$				
10	22,5	9,145	9,004	2,320
20	45	12,875	12,828	2,266
"	90	"	18,139	2,267
"	180	"	25,892	2,225
"	360	"	36,849	2,197
20	45	12,681	12,666	2,255
"	720	"	50,158	2,301

Tabelle 55d.

Dielectricitätsconstante
aus der Capacität eines Condensators in Luft und in der
dielectricischen Flüssigkeit bestimmt.

Schrauben- electrometer		Multiplicatorausschlag			Dielectricitätsconstante mit		
Luft $r_0 + r_1$	Flüssigk. $r_0 + r_{11}$	Luft		Flüssigk. s_{11}	Multiplic. (K)	Wägung K_p	$\frac{K_p}{(K)}$
		s_0	s_1				
Rapsöl (Landfried) $\sigma = 0,9103$							
rev	rev	sc	sc	sc			
8,844	8,844	13,85	90,72	242,1	2,970	2,683	0,903
12,502	12,502	19,36	126,84	339,8	2,982	2,565	0,860
"	25,700	"	"	665	2,830	2,434	0,860
Terpentinöl (Kahlbaum) $\sigma = 0,8612$							
9,064	9,064	14,72	96,88	196,9	2,218	2,320	1,046
12,681	12,681	21,04	137,14	275,4	2,191	2,266	1,035
"	36,849	"	"	780,4	2,132	2,197	1,030
"	45,750	"	"	1000,8	2,208	2,301	1,042

Die Tabellen sind in derselben Weise angeordnet, wie in Tab. 54a. und 55a. der früheren Mittheilung. Nur wurde bei den Bestimmungen der Capacität jedesmal der Multiplacitorausschlag s_0 für den Schlüssel und Zuleitungsdraht gemessen, um deren Capacität berücksichtigen und die Constante (K) in der oben § 1 angegebenen Weise berechnen zu können.

Ich habe ferner die Dielectricitätsconstante K_s für dasselbe Rapsöl nach der dritten Methode bestimmt, indem ich den electricen Querdruck auf eine Luftblase in dieser Flüssigkeit zwischen horizontalen Condensatorplatten mit einem Manometer in der früher (§ 53) beschriebenen Weise gemessen habe.¹⁾ Die Manometerflüssigkeit war Schwefelkohlenstoff mit Zusatz von etwas Aether und hatte ein specifisches Gewicht von 1,1837.

Für eine Stellung $r_0 + r_{11}$ des Schraubenelectrometers wurde die Höhe der Manometerflüssigkeit beobachtet, der Condensator entladen und die Abnahme der Höhendifferenz der Flüssigkeitskuppen im Manometer mit einem Kathetometermikroskop gemessen. Dieselbe ist in der folgenden Tabelle unter h angegeben.

Die obere Condensatorplatte wurde dann durch eine andere gleich grosse Condensatorplatte mit Cardani'scher Aufhängung ersetzt und mit der electricen Wage (§ 80) bei gleichem Abstand und gleicher Potentialdifferenz der Condensatorplatten das Gewicht G_{11} bestimmt, welches der electricen Anziehungskraft beider Condensatorplatten in Rapsöl das Gleichgewicht hielt. Findet man ferner für die electriche Anziehung der Condensatorplatten in Luft das Gewicht G_1 bei der Potentialdifferenz $r_0 + r_1$, so ist:

$$(5) \quad K_p = \frac{G_{11}}{G_1} \left(\frac{r_0 + r_1}{r_0 + r_{11}} \right)^2,$$

$$(6) \quad K = 1 + \frac{h \sigma O}{G_{11}} K_p,$$

wo O die Oberfläche der Condensatorplatte in Quadratcentimetern und σ das specifische Gewicht der Manometerflüssigkeit bedeutet.

1) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 721. 1883.

Man hat bei dieser Bestimmung des electricischen Querdrucks den Vortheil, dass man den kleinen Abstand a der Condensatorplatten nicht zu kennen braucht, dessen Messung immer mit Schwierigkeiten verknüpft ist, und dass man gleichzeitig eine Messung der Dielectricitätsconstante K_p mit der electricischen Wage für dieselbe Flüssigkeit erhält.

Tabelle 56a.

Electricische Zugkraft
in Rapsöl (Landfried) vom specifischen Gewicht 0,9103 und
Electricischer Querdruck
auf eine Luftblase in demselben Rapsöl
mit Schwefelkohlenstoff-Manometer gemessen.
 $O = 58,234$ qem. $a = 0,1581$ cm. $\sigma = 1,1337$.

Gewichte		Schrauben-electrometer		Druck-zunahme	Dielectricitäts-constante	
Luft G_1	Flüssigk. G_{11}	Luft $r_0 + r_1$	Flüssigk. $r_0 + r_{11}$	h	K_p	K_s
gr	gr	rev	rev	cm		
10	25	8,887	8,583	0,3236	2,680	3,392
20	50	12,616	12,780	0,5994	2,436	3,014

Aus diesen Messungen der Tabellen 54b, 55d, 56a ergibt sich zunächst für Terpentinöl nahezu dieselbe Dielectricitätsconstante mit Multiplicator und electricischer Wage; und gleichzeitig eine geringe Abnahme der Dielectricitätsconstante K_p mit wachsenden electricischen Kräften, wie bei den anderen isolirenden Flüssigkeiten.

Eine Ausnahme macht nur Rapsöl, bei welchem alle drei Methoden drei verschiedene Werthe der Dielectricitätsconstante geben. Die Manometermethode gibt die grössten, die electricische Wage die kleinsten Werthe; die Capacitätsmethode Werthe zwischen beiden. Dies entspricht genau den Resultaten der früheren Versuche mit einer anderen Sorte Rapsöl.

Dieses anormale Verhalten des Rapsöls lässt sich nicht durch eine sehr schwache electrolytische Zersetzung dieser Flüssigkeit erklären, selbst wenn man eine Electrolyse in dem sehr gut isolirenden Rapsöl annehmen wollte. Die an

den Condensatorplatten abgeschiedenen Zersetzungsproducte können nämlich den Capillardruck der gemeinsamen Grenzfläche von Luft und Rapsöl nicht ändern, welcher mit dem Schwefelkohlenstoffmanometer gemessen wird. Ausserdem ist es wenig wahrscheinlich, dass durch diese Zersetzungsproducte die Potentialdifferenz der Condensatorplatten von 2700 bis 4000 Volt oder die Ladung der Condensatorplatten erheblich geändert werden.

Rapsöl ist sehr ähnlich dem Rüböl, das auch in Bezug auf electriche Doppelbrechung sich anders als die übrigen dielectricischen Flüssigkeiten verhält.¹⁾

§ 3. Electriche Doppelbrechung des Chloroforms. Meine Bemühungen, die Dielectricitätsconstante des Chloroforms mit der electriche Wage zu bestimmen, sind leider daran gescheitert, dass ich dasselbe in einer offenen oder nur mit einer Glasplatte bedeckten Glasschale nicht isolirend genug erhalten konnte, trotz wiederholter Destillationen und mehrfacher Behandlung mit gebranntem Marmor. Chloroform scheint ganz besonders empfindlich und schon durch sehr geringe Spuren fremder Substanz leitend zu werden.

In den nahezu geschlossenen Flüssigkeitscondensatoren nahm das Isolationsvermögen des Chloroforms durch Electriciren ganz ausserordentlich zu. Es konnte aber diese Eigenschaft durch blosses Umgiessen in einen anderen, scheinbar reinen Flüssigkeitscondensator wieder verlieren.

Bei längerem Electriciren bedeckte sich die positive Electrode mit einem grauen Ueberzug, dessen Natur wegen der geringen Menge nicht festgestellt werden konnte.

Die electriche Doppelbrechung des Chloroforms wurde in Flüssigkeitscondensatoren mit ebenen Nickelelectroden durch einen Babinet'schen Compensator für rothes Licht und in ähnlicher Weise, wie bei anderen dielectricischen Flüssigkeiten (§ 55—56) gemessen. Das Chloroform zeigt dabei negative electriche Doppelbrechung, wie Aether, in Uebereinstimmung mit der früheren Angabe von Kerr.³⁾

1) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 768. 1883.

2) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 729. 1883.

3) Kerr, Phil. Mag. 13. p. 256. 1882.

Nennt man δ , resp. δ_{100} den Gangunterschied in Wellenlängen, um welchen die $\pm$ den electricischen Kraftlinien polarisirten Lichtstrahlen gegen die $\perp$ zu den electricischen Kraftlinien polarisirten Lichtstrahlen beschleunigt sind, wenn die ebenen Belegungen des Condensators die electricische Potentialdifferenz P , einen Abstand a und eine Länge von l resp. 100 cm haben, so ist:

$$(7) \quad \delta = \delta_{100} \frac{l}{100} = B \cdot \frac{P^2}{a^2} \frac{l}{100}.$$

Für das benutzte rothe Licht entsprachen 32^{rev} des Babinet'schen Compensators einer Wellenlänge. Wenn b^{rev} des Compensators den von den electricischen Kräften erzeugten Gangunterschied aufheben, so ist:

$$(8) \quad \delta_{100} = \frac{b}{32} \cdot \frac{100}{l}.$$

Die Potentialdifferenz P der Belegungen wurde mit dem Thomson'schen Schraubenelectrometer gemessen; a und l waren für jeden Flüssigkeitscondensator durch besondere sorgfältige Messungen bekannt und die Anordnung der Versuche ebenso, wie ich es früher (Electricische Untersuchungen § 56)¹⁾ beschrieben habe. Die mit den Gleichungen (7) und (8) berechneten und in der Tabelle 66a zusammengestellten Beobachtungen zeigen wieder, wie die früheren Versuche an anderen isolirenden Flüssigkeiten, eine grössere Constante B der electricischen Doppelbrechung bei kürzeren Flüssigkeitsstrecken, als bei längeren. (Siehe Tabelle 66a. p. 540).

Im Mittel ist für Chloroform	$B \cdot 10^6 = -33,15$, ^{λ}
während früher ²⁾ gefunden wurde für Aether	- 6,69
und für Schwefelkohlenstoff	+ 32,80.

Die electricische Doppelbrechung des Chloroforms ist also negativ, aber viel grösser, wie die des Aethers, nahezu eben so gross, wie die positive electricische Doppelbrechung des Schwefelkohlenstoffs.

1) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 743. 1883.

2) G. Quincke, Wied. Ann. 19. p. 755. 1883. Tabelle 67.

Tabelle 66a.

Electrische Doppelbrechung des Chloroforms
zwischen ebenen Nickelelectroden
mit Babinet'schem Compensator gemessen.

Potential- differenz P	Babinet'scher Compensator b	δ_{100}	$B \cdot 10^6$
$a = 0,1615 \text{ cm}$		$l = 19,64 \text{ cm}$	
C.G.S.	rev	λ	λ
17,93	— 2,92	—0,465	—37,70
29,10	— 6,96	—1,108	—34,10
31,83	— 8,26	—1,314	—33,83
41,58	—13,52	—2,151	—32,45
47,28	—16,92	—2,693	—31,42
			—33,90
$a = 0,1615 \text{ cm}$		$l = 46,17 \text{ cm}$	
17,89	— 4,62	—0,313	—25,48
26,39	—11,08	—0,746	—27,94
30,09	—15,58	—1,054	—30,35
			—27,92
$a = 0,3230 \text{ cm}$		$l = 19,09 \text{ cm}$	
25,63	— 1,23	—0,201	—31,99
42,40	— 3,84	—0,629	—36,48
48,05	— 4,68	—0,766	—34,61
53,63	— 5,67	—0,928	—33,67
			—34,19
$a = 0,3230 \text{ cm}$		$l = 19,09 \text{ cm}$	
40,56	— 3,22	—0,527	—33,44
52,25	— 6,22	—1,018	—38,91
59,93	— 7,79	—1,276	—37,01
65,42	— 9,18	—1,502	—36,64
			—36,50

Ich habe in der vorstehenden Tabelle nur die Phasendifferenz an der Anodenplatte gegeben. An der zur Erde abgeleiteten Kathodenplatte war die Phasendifferenz oft erheblich kleiner. Bei der grössten Phasendifferenz der vorletzten Versuchsreihe in Tabelle 66a fand ich z. B. an der Kathode $b = -4,06^{\text{rev}}$ statt $-5,67^{\text{rev}}$, was einem $B \cdot 10^6$ von $-24,19\lambda$ statt $-33,67\lambda$ entsprechen würde. Der dunkle Streifen im Babinet'schen Compensator erscheint dabei häufig gekrümmt mit einem Wendepunkt in der Mitte. Zuweilen fehlte er ganz in der Nähe der Kathodenplatte; dies war der Fall bei der letzten Versuchsreihe in Tabelle 66a,

die mit einer anderen Sorte reinen Chloroforms als die ersten drei Versuchsreihen erhalten wurde. Der Theorie nach wären an der zur Erde abgeleiteten Kathodenplatte dieselbe electricische Kraft und dieselbe electricische Doppelbrechung, wie an der Anode, zu erwarten gewesen in dem Raum zwischen beiden Belegungen. Möglicherweise hängen diese Unregelmässigkeiten auch mit sehr geringen Mengen fremder Substanz zusammen, welche dem reinen Chloroform beigemischt waren.

§ 4. Das Maxwell'sche Gesetz. Bekanntlich soll nach der electromagnetischen Theorie des Lichtes von Maxwell¹⁾ die Dielectricitätsconstante einer isolirenden Substanz gleich dem Quadrate des Brechungsexponenten für sehr grosse Lichtwellen oder für ultraroth Strahlen sein.

Dies sogenannte Maxwell'sche Gesetz ist durch die Erfahrung nicht bestätigt worden.

Bei festen Substanzen ist es schwer, Verunreinigungen zu vermeiden, die auf die Bestimmung der Dielectricitätsconstante grossen Einfluss haben können. Dieser Einwand fällt aber fort für isolirende Flüssigkeiten, die sich durch wiederholte Destillation und in anderer Weise reinigen lassen. Es widerspricht daher dem Maxwell'schen Gesetz besonders, dass unter den von mir untersuchten isolirenden Flüssigkeiten reiner Aether die grösste Dielectricitätsconstante und den kleinsten Brechungsexponenten für Natriumlicht hat.

Hr. Dr. J. Hopkinson²⁾ hat schon vor längerer Zeit darauf aufmerksam gemacht, dass man im allgemeinen durch Extrapolation auf den Brechungsexponenten für Ultraroth schliesst; dass die Körper, bei welchen das Maxwell'sche Gesetz nicht zutrifft, vielleicht ein Absorptionsvermögen für Ultraroth besitzen, und dass der Brechungsexponent für unendlich grosse Lichtwellen dadurch erheblich modificirt werden kann.

Ich habe nun versucht, den Brechungsexponenten des reinen Aethers für ultraroth Strahlen zu messen, mittelst

1) Maxwell, Electricity and magnetism 1. p. 788.

2) J. Hopkinson, Phil. Mag. 13. p. 242. 1882.

einer Thermosäule und eines dazu passenden Spiegelmultiplifiers. Die Sonnenstrahlen wurden durch einen Silbermann'schen Heliostaten mit ebenem Silberspiegel in horizontaler Richtung auf einen Collimator mit Spalt und Steinsalzlinsen geworfen, gingen durch ein mit reinem Aether gefülltes Hohlprisma aus ebenen Steinsalzplatten mit 45° brechendem Winkel und bildeten ein reines Spectrum auf einer linearen Thermosäule. Wäre der Brechungsexponent des Steinsalzes für Ultraroth 2,05 bis 2,122, wie es der Quadratwurzel aus der Dielectricitätsconstante entsprechen würde, so müssten die ultraroth Strahlen durch das erwähnte Hohlprisma eine Minimalablenkung von 58 bis 64° die Strahlen des sichtbaren Spectrums eine Minimalablenkung von $35,5^\circ$ erleiden. Ich habe aber nur eine Wärmewirkung an einer Stelle wahrnehmen können, die neben dem Roth ausserhalb des sichtbaren Spectrums lag.

Das gleiche negative Resultat gab die Untersuchung des Ultraroth nach der Methode von E. Becquerel¹⁾ und Lommel.²⁾

Liess man das vom Aetherprisma erzeugte Sonnenspectrum auf Schwefelcalcium fallen, das vorher bestrahlt war und mit blauem Phosphoreszenzlicht leuchtete, so wurde nach etwa zwei Minuten das Phosphoreszenzlicht durch die Bestrahlung mit Ultraroth ausgelöscht. An der Stelle des Spectrums, wo Lichtstrahlen mit dem Brechungsexponenten 2 bis 2,5 hätten auftreten müssen, war kein Auslöschen des Phosphoreszenzlichtes wahrzunehmen.

Endlich habe ich noch eine andere dritte Methode benutzt. Horizontale von einem Silberspiegel reflectirte Sonnenstrahlen fielen auf die rechte Hälfte eines dünnen cylindrischen Becherglases von 105 mm Durchmesser, das mit reinem Aether gefüllt war. Ein Pappschirm hielt die Sonnenstrahlen ab von der linken Seite des Becherglases. Man erhält dann auf der dem Becherglase zugewandten Seite des Pappschirms nach zweimaliger Brechung und einmaliger Reflexion

1) E. Becquerel, *La lumière, ses causes et ses effets*. 1. p. 144. Paris 1867.

2) Lommel, *Münch. Ber.* 3. p. 413. 1883.

durch die diakaustischen Linien ein Spectrum oder einen Regenbogen in ähnlicher Weise, wie der gewöhnliche Regenbogen durch zweimalige Brechung und einmalige Reflexion des Lichtes in den kugelförmigen Regentropfen gebildet wird. Der Ablenkungswinkel A der diakaustischen Linien lässt sich aus dem Brechungsexponenten n der Flüssigkeit berechnen, indem:

$$A = 2(2\beta - \alpha), \quad \cos^2 \alpha = \frac{n^2 - 1}{3}, \quad \cos^2 \beta = \frac{4}{3} \frac{n^2 - 1}{n^2}.$$

Man erhält dann

für die Flüssigkeit mit dem Brechungsexponenten	die Ablenkung
Wasser 1,332	42° 13'
Aether 1,352	41 24
Benzol 1,414	31 32
Schwefelkohlenstoff . . 1,627	13 4
2	0

Die Lage des Regenbogens ist unter Umständen ein sehr bequemes Mittel um angenähert den Brechungsexponenten einer Flüssigkeit in einer gewöhnlichen Glasflasche zu bestimmen, ohne dieselbe in ein Hohlprisma füllen zu müssen.

Für Licht mit dem Brechungsexponenten > 2 fehlt das Spectrum oder der Regenbogen ausserhalb der Flüssigkeit.

Stellt man in das Spectrum, das von dem mit Aether gefüllten Becherglase in einem dunklen Zimmer gebildet wird, vor den Pappschild Schwefelcalcium, das kurz vorher belichtet wurde und mit blauem Phosphoreszenzlicht leuchtet, und blendet plötzlich das Sonnenlicht ab, so sieht man einen breiten dunklen Streifen auf hellem Grunde an der vorher vom Roth und Ultraroth bestrahlten Stelle und einen matten dunklen Streifen an der vorher vom Ultraviolett bestrahlten Stelle. Den letzteren konnte ich nicht wahrnehmen, wenn das Becherglas mit Benzol, Terpentinöl oder Schwefelkohlenstoff gefüllt war; wohl aber den ersteren dunklen Streifen. Das Ultraroth hatte also bei allen diesen Flüssigkeiten einen kleineren Brechungsexponenten als das sichtbare rothe Licht. Dem matten dunklen Streifen bei Aether in Ultraviolett entsprach aber ein Brechungsexponent bedeutend kleiner als 2.

Würden ultraroth Strahlen bei Aether einen Brechungsexponenten zwischen 2,05 und 2,12 haben, so würden sie nach einmaliger Brechung eine diakaustische Linie im Innern des mit Aether gefüllten Cylinders in der Nähe der Cylinderoberfläche bilden müssen, deren Gegenwart sich durch Schlierenbildung verrathen würde. Ich habe aber von einer solchen Schlierenbildung nichts wahrnehmen können.

Will man also nicht annehmen, dass alle Strahlen mit grosser Wellenlänge und grossem Brechungsexponenten vom Aether absorbirt worden sind, so würde aus diesen Versuchen folgen, dass Aether für Licht- und Wärmestrahlen einen Brechungsexponenten < 2 hat, für Aether also das Maxwell'sche Gesetz nicht gültig ist.

Resultate.

1. Die Dielectricitätsconstante isolirender Flüssigkeiten wird gleich gross gefunden, mag man dieselbe mit der Capacität eines Condensators, mit der electricischen Wage oder mit der Druckzunahme einer Luftblase im Inneren der Flüssigkeit bestimmen.

2. Eine Ausnahme bildet Rapsöl, bei welchem die electricische Wage die kleinsten, die Capacität eines Condensators grössere, die Druckzunahme einer Luftblase die grössten Werthe der Dielectricitätsconstante gibt.

3. Bei Terpentinöl nimmt, wie bei den übrigen dielectricischen Flüssigkeiten, die Dielectricitätsconstante ein wenig ab mit steigender electricischer Kraft.

4. Die electricische Doppelbrechung des Chloroforms ist nahezu ebenso gross, wie die des Schwefelkohlenstoffs, aber von entgegengesetztem Vorzeichen.

5. Aether mit der Dielectricitätsconstante 4,3 hat für Ultraroth einen Brechungsexponenten < 2 , folgt also nicht dem Maxwell'schen Gesetze.

Heidelberg, October 1887.