9. Ueber den Brechungsexponenten und das Reflexionsvermögen von Wasser und Alkohol für electriche Wellen; von A. D. Cole.

Durch die Arbeiten der Hrn. E. Cohn¹⁾ und D. A. Goldhammer²⁾ ist zuerst darauf hingewiesen worden, dass die electromagnetische Lichttheorie in der Form, welche ihr von Maxwell gegeben wurde, nur die Optik einer einzigen Wellenlänge enthält, also nach dieser Richtung der Ergänzung bedürftig ist, falls sie den Thatsachen der selectiven Absorption, der Dispersion und verwandten Phänomenen gerecht werden soll. Diese Vervollständigung ist ihr bald darauf durch die Arbeit von H. v. Helmholtz³⁾ über die Farbenzerstreuung ertheilt worden, in welcher der Einfluss der individuellen electrischen Eigenschaften des Molecüls zur Erklärung der genannten Erscheinungen herangezogen wird. Nach dieser Theorie ist eine Aenderung des Brechungsexponenten, bez. der Dielectricitätsconstanten mit der Wellenlänge innerhalb des gesammten Spectrums zu erwarten; doch nähern sich diese Grössen von einer gewissen Wellenlänge ab asymptotisch einem festen Grenzwert, sodass sie für wesentlich längere Wellen praktisch als Constante behandelt werden dürfen. Die Grössenordnung dieser charakteristischen Wellenlänge ist in theoretischer Hinsicht dadurch bestimmt, dass die ihr entsprechende Periode mit der tiefsten möglichen Eigenschwingung des Molecüls annähernd zusammenfällt, praktisch ist sie uns noch vollständig unbekannt. Aus einigen neueren experimentellen Arbeiten lässt sich allerdings mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit der Schluss ziehen, dass für einige Substanzen die asymptotische Annäherung an den constanten Grenzwert bereits innerhalb eines Spectralgebiets erfolgt, dessen Wellen hinsichtlich ihrer Länge wesentlich unterhalb der bisher erzeugten electrischen Wellen liegen.

1) E. Cohn, Wied. Ann. **45.** p. 55. 1892.

2) D. A. Goldhammer, Wied. Ann. **46.** p. 99. 1892.

3) H. v. Helmholtz, Wied. Ann. **48.** p. 389. 1893.

Zu diesen Stoffen gehören in erster Linie wohl alle diejenigen, welche das Maxwell'sche Gesetz $n^2 = \mu$ in seiner ursprünglichen Form befriedigen; n bedeutet hierin den aus optischen Beobachtungen mit Hülfe der Cauchy'schen Dispersionsformel erhaltenen Grenzwert des Brechungsindex für unendlich lange Wellen, μ die aus statischen Versuchen sich ergebende Dielectricitätsconstante. Für einige dieser Substanzen (Xylol, Benzol, Schwefelkohlenstoff) hat Hr. Rubens¹⁾ durch Dispersionsmessungen im ultrarothem Spectrum den Nachweis geliefert, dass sich dieselben bereits kurz hinter dem sichtbaren Spectralgebiet hinsichtlich ihres Brechungsexponenten einem festen Grenzwert nähern, dessen Quadrat mit der auf electrostatischem Wege gemessenen Dielectricitätsconstanten sehr nahe zusammenfällt.

Für eine andere Reihe von Substanzen, bei welchen das Maxwell'sche Gesetz in der oben besprochenen Fassung keine Geltung besitzt, wie Ricinusöl, Olivenöl, einige Glassorten, ist von den Hrn. Arons und Rubens²⁾ gezeigt worden, dass diese Körper für electricische Schwingungen von 6 m Länge Brechungsexponenten besitzen, welche mit den Wurzeln aus den Dielectricitätsconstanten gut übereinstimmen. Noch interessanter und wichtiger sind auf diesem Gebiet die Versuche von Hrn. E. Cohn³⁾, welchem es gelang das gleiche von dem Wasser nachzuweisen, bei welchem sich das Quadrat des optischen Brechungsexponenten von der Dielectricitätsconstante am meisten unterscheidet. Auch diese Messungen wurden mit electricischen Wellen von einigen Metern Länge ausgeführt. Bald darauf hat Hr. Ellinger⁴⁾ die electricischen Brechungsexponenten von Wasser und Alkohol nach der Methode der prismatischen Ablenkungen für Wellen von ca. 60 cm gemessen und auch unter diesen Verhältnissen vollkommene Uebereinstimmung mit den Wurzeln aus den nach electrostatischen Methoden bestimmten Dielectricitätsconstanten erhalten. In gleicher Weise liefern die Versuche des Hrn. Udney Yule⁵⁾ für Wellen von 900 cm

1) H. Rubens, Wied. Ann. 45. p. 238. 1892.

2) L. Arons u. H. Rubens, Wied. Ann. 42. p. 581. 1891.

3) E. Cohn, Wied. Ann. 45. p. 370. 1892.

4) Ellinger, Wied. Ann. 46. p. 513. 1892 und 48. p. 108. 1893.

5) Udney Yule, Wied. Ann. 50. p. 742. 1893.

Länge für Wasser und Alkohol die Brechungsexponenten 8,33 bez. 5,17, welche den Dielectricitätsconstanten 69,5 und 26,7 entsprechen. Man wird hierdurch zu der Annahme genöthigt, dass die grossen Aenderungen, welche die Brechungsexponenten dieser Substanzen mit wachsender Wellenlänge erfahren, in ein Spectralbereich fallen, welches dem sichtbaren Spectrum näher liegt, als die von Hertz erzeugten electricischen Strahlen. Andererseits schliessen die Hrn. Grätz und Fomm¹⁾ aus ihren kürzlich veröffentlichten Versuchen, dass für einige Substanzen (Beryll. z. B.) noch bei wesentlich langsamer verlaufenden electricischen Schwingungen erhebliche Dispersion der Dielectricitätsconstanten stattfindet, während sie bei anderen Stoffen so gering ist, dass sie sich bei Benutzung der Beobachtungsmethoden, welche die Verwendung sehr kurzer electricischer Wellen gestatten, nicht constatiren lässt. Auch die nach dieser Richtung angestellten Versuche von Hrn. Drude²⁾ ergeben bei Wasser und Alkohol eine noch merkliche Dispersion der Dielectricitätsconstante für lange Wellen, doch ist dieselbe sehr gering. Es erschien mir daher von Interesse, bei einigen der oben genannten Stoffe (Wasser und Alkohol) Bestimmungen des Brechungsexponenten für möglichst kurze electricische Wellen auszuführen, um zu prüfen, ob sich hierbei gegenüber den mit grösseren Wellenlängen ausgeführten Bestimmungen wesentliche Aenderungen ergeben bez. um festzustellen ob die Dispersion bei diesen Stoffen auf das kurzwelligere Spectrum beschränkt ist. Hierzu sollen die im Folgenden beschriebenen Versuche einen kleinen Beitrag liefern.

Bevor ich mich an die Ausführung der Versuche mit kurzen electricischen Wellen begab, schien es mir wünschenswerth, die Messungen von Hrn. E. Cohn in etwas modificirter Weise zu wiederholen und diese Beobachtungen auch auf Alkohol auszudehnen. Da unterdessen die umfassenden Versuche von Hrn. P. Drude³⁾ über den gleichen Gegenstand erschienen sind, welche kurz vor dem Abschluss meiner Beobachtungen publicirt wurden, so kann ich mich hierbei sehr kurz fassen, doch halte ich es nicht für angebracht, auf die

1) Grätz u. Fomm, Wied. Ann. **54**, p. 626. 1895.

2) P. Drude, Wied. Ann. **54**, p. 352. 1895.

3) P. Drude, Wied. Ann. **55**, p. 633. 1895.

Wiedergabe der Versuche vollkommen zu verzichten, da sie sich immerhin in einigen Punkten von denen des Hrn. Drude unterscheiden.

Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit langer electricischer Wellen in Wasser und Alkohol nach der Methode von E. Cohn.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. Das Inductorium J erzeugt mit Hülfe des primären Leiters electricische Schwingungen. Letzterer besteht aus 2 quadratischen Zinkplatten A und A' von 40 cm Kante, verbunden durch einen starken 4,5 cm langen Messingdraht, welcher in der Mitte eine Funkenstrecke enthält. Gegenüber den Platten des Erregers endigen die beiden parallel ausgespannten Drähte des secundären Leiters in zwei kleinen 10 cm im Quadrat messenden Zinkplatten B und B' . Der Abstand dieser beiden Drähte

Fig. 1.

beträgt 2,5 cm. Diese durchlaufen bei a einen 68 cm langen, 7,5 cm breiten und 7 cm hohen Glaskrog, dessen innere Oberfläche auf chemischem Wege versilbert ist. Die Drähte sind durch je zwei in den Glaswänden des Kastens angebrachten Bohrlöcher mit Hülfe von Gummistopfen wasserdicht hindurchgeführt. An der Eintrittsstelle der Drähte in den Kasten (a) und an mindestens 2 Punkten ausserhalb des Kastens (b und c) wurden die Drähte durch Metallbügel überbrückt und die Lage dieser Brücken so gewählt, dass die 3 Leiterkreise in Resonanz waren. Das Vorhandensein der Resonanz wurde mit Hülfe zweier in der Mitte zwischen den Punkten a und b befindlicher, kleiner Leydener Flaschen f und eines Dynamobolometers nach Paalzow und Rubens¹⁾ constatirt. Die kleinen Leydener Flaschen bestanden, wie bei den Versuchen von Hrn. Rubens²⁾, aus kurzen Stücken einer dickwandigen Glascapillaren, welche über die

1) A. Paalzow u. H. Rubens, Wied. Ann. **37**. p. 769. 1889.

2) H. Rubens, Wied. Ann. **41**. p. 154. 1890.

Drähte geschoben waren und als äussere Belegung je eine einzige Windung von dünnem Kupferdraht enthielten, die mit den Enden des Dynamobolometers verbunden wurden. Ein zweites Flaschenpaar (*g*) befand sich im Innern des mit der zu untersuchenden Flüssigkeit angefüllten Glastrogs und diente dazu die verschiedenen Brückenstellungen (*e*, *e'* etc.) dort ausfindig zu machen, in welchen Resonanz mit dem äusseren System eintrat.

Wie man erkennt, schliesst sich die Versuchsanordnung eng an diejenigen des Hrn. E. Cohn an, dagegen weicht sie in folgenden Punkten von derselben ab.

1) Es wurden 2 Flüssigkeitsbehälter benutzt, von denen der eine aus Metall (Zinkblech), der andere aus Glas bestand, welches auf der Innenseite versilbert war. Die Anwendung metallischer Umhüllungen ist, wie die Hrn. Arons und Rubens gezeigt haben, hierbei von Wichtigkeit, wenn es sich um gut isolirende Substanzen mit nicht zu hohem Brechungsindex handelt. Für Wasser und Alkohol ist dagegen der Einfluss der Metallhülle nur sehr gering, wie weiter unten gezeigt werden wird. Die beiden Gefässe waren durch passende Metalldeckel verschlossen, welche eine Bewegung der Brücke sowie der Leydener Flaschen im Innern des Kastens von aussen her gestatteten.

2) Die beiden Flüssigkeitströge waren erheblich kleiner und enthielten an Stelle von 50 Litern nur 10 bez. 3,5 Liter¹⁾, was die Aufstellung erleichtert und die Kosten des Experimentes verringert. Der Abstand der Drähte betrug statt 7 nur 2,5 cm.²⁾

3) Da ausserhalb und innerhalb des Flüssigkeitstrogos stets mindestens 3 Ueberbrückungen stattfanden, (diejenigen an der Grenze mitgerechnet), so erhielt man 2 Werthe, sowohl für die Wellenlänge in Luft, als auch für diejenige in der Flüssigkeit, deren Differenzen dem Einfluss des Kastens zugeschrieben werden müssen. Es zeigte sich, dass diese Differenzen nicht einander gleich waren, d. h. dass der Einfluss

1) Hrn. P. Drude ist es bei Ausführung der oben erwähnten Versuche gelungen, mit noch wesentlich kleinerem Trog und dementsprechend verringerten Flüssigkeitsmengen zu arbeiten.

2) Durch besondere Versuche wurde festgestellt, dass die Verminderung des Abstandes der Drähte von 7 auf 2,5 cm der Resonanzverhältnisse sehr wenig beeinflusst, hingegen etwas grössere Galvanometerempfindlichkeit erforderlich macht.

der Kastenwand nach innen und aussen nicht bei der hier gewählten Versuchsanordnung als gleich angenommen werden darf, wie dies Hr. Cohn für die seinige voraussetzte. Es sind daher zur Berechnung des Brechungsindex die Längen der unmittelbar an die Kastenwand anstossenden Wellen in Flüssigkeit und Luft niemals benutzt worden. Bei der Untersuchung von Wasser konnte von der Verwendung dieser Grössen um so leichter Abstand genommen werden, als innerhalb des Trogs nicht weniger als 4 Brückenstellungen mit Sicherheit bestimmt werden konnten, bei denen Resonanz eintrat. Die Bestimmung der Wellenlängen in Luft sowohl als auch in Flüssigkeit geschah in zweierlei Art. Entweder es wurden, nach Aufsetzen der Brücke a , an jeder anderen Stelle des secundären Leiters, an welchen Resonanz zu erlangen war, eine besondere Brücke aufgesetzt, welche dauernd in dieser Stellung verblieb. In diesem Falle rechnete die Länge des Drahts, gemessen von der Mitte einer Brücke bis zur Mitte der benachbarten, d. i. der Abstand zweier benachbarter Brücken vermehrt um die Brückenlänge, als die halbe Wellenlänge. Oder man verschoob ein und dieselbe Brücke, nach Herstellung der Ueberbrückung bei a längst der Paralleldrähte und markirte die Stellungen, in welchen Resonanz eintrat. Die halbe Wellenlänge war dann ohne weiteres gleich der Länge zu setzten, um welche die Brücke verschoben wurde. Experimentell lässt sich die Richtigkeit dieses Messverfahrens leicht erweisen, da die nach beiden Methoden (mit einer, bez. mehreren Brücken) sich ergebenden Wellenlänge einander gleich sind.

Die Resultate mehrerer in der oben beschriebenen Weise ausgeführter Versuche für destillirtes Wasser sind in der folgenden Tabelle enthalten. Die Buchstaben λ_L bez. λ_W bedeuten die halben Wellenlängen in Luft bez. in Wasser, $n = \lambda_L / \lambda_W$ mit den Brechungsexponenten.

Benutzter Trog Material und Grösse	λ_L	λ_W	$n = \frac{\lambda_L}{\lambda_W}$	Temp. (Celsius)
Glas $68 \times 7,5 \times 7$ cm	261,3	27,8	8,5	18°
Zink $100 \times 10 \times 10$ cm	299,7	33,5	8,9	16—18
Glas versilbert $68 \times 7,5 \times 7$ cm	} 155,7 {	17,1	} 17,4 {	18—20
		17,6		
		17,4		

Die erste Bestimmung ist mit unbelegtem Glastrog ausgeführt und liefert, wie man erkennt, einen nur wenig kleineren Brechungsindex als die beiden anderen Versuchsreihen. Dass der Unterschied so gering ist, erklärt sich zum grössten Theil aus der starken Reflexionsfähigkeit, welche die Wasseroberflächen gegen electriche Schwingungen besitzen, wodurch jene nahezu wie eine metallische Umhüllung wirken.

Bei weitem am sorgfältigsten wurden die Versuche mit dem innen versilberten Glastrog angestellt, welche in der Tabelle an dritter Stelle aufgeführt sind. Nach diesen Beobachtungen erscheint der Werth 8,95 für den Brechungsexponenten des Wassers 19° C. am wahrscheinlichsten.¹⁾

Die kürzlich erschienenen Versuche von Hrn. P. Drude liefern für Wellen von 60 cm Länge den Werth $n=8,7$, eine Zahl, die mit den vorstehenden Beobachtungen gut übereinstimmt.

Messungen mit käuflichem, sogenannten absolutem Alkohol, welche sich unmittelbar an die Beobachtungen mit Wasser anschliessen, zeigten, dass hierbei die Bedingungen zur Erzeugung starker und scharf ausgeprägter Maxima viel ungünstiger waren. Der Alkohol scheint für Schwingungen von der angewendeten Frequenz ein wesentlich höheres Absorptionsvermögen zu besitzen, als selbst stark verunreinigtes Leitungswasser; denn in keinem Falle konnten innerhalb der Flüssigkeit mehr als zwei Brückenstellungen gefunden werden, in welchem noch merkliche Resonanz eintrat.²⁾ Für Wellen, deren halbe Länge in Luft 129,4 cm betrug, ergab sich aus den beobachteten Brückenstellungen im Alkohol der Brechungsindex 5,24 bei 18° C. Auch dieser Werth ist nicht sehr ver-

1) *Anmerkung bei der Correctur.* In der unterdessen erschienenen Abhandlung der Hrn. Cohn und Zeemann (Koninkl. Akad. Te Amsterdam) Sept. 1895 ergeben sich in guter Uebereinstimmung mit unserem Resultat Werthe des Brechungsindex des Wassers zwischen 8,93 und 8,99. Eine Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge ist für Schwingungen, deren Frequenz zwischen 27 und 96 Millionen in der Secunde liegt, nicht bemerkbar.

2) Die gleiche Erfahrung hat Hr. P. Drude gemacht (l. c. p. 646). Er sucht die Erklärung hierfür in mangelhaften Contacten der Brücke innerhalb der Flüssigkeit, doch scheint es mir aus dem Folgenden mit einiger Wahrscheinlichkeit hervorzugehen, dass es sich hier in der That um starke Absorption der Schwingungen handelt.

schieden von der Zahl, die Hr. Drude für den Brechungsexponenten des Aethylalkohols bei Anwendung 60 cm langer Wellen erhalten hat (4,74), jedoch kann die Differenz Beobachtungsfehlern nicht wohl zugeschrieben werden. Wir werden im Folgenden Gelegenheit nehmen, hierauf zurückzukommen.

II. Brechungsexponenten der Flüssigkeiten für kurze electricische Wellen.

Die bisher mitgetheilten Versuche hatten die Thatsache festgestellt, dass der Brechungsexponent des Wassers für Wellen von 600—300 cm Länge und mit Berücksichtigung der Drude'schen Messungen selbst bis 60 cm Länge als nahezu constant betrachtet werden muss und sich von dem für unendlich lange Wellen sich ergebenden Werth nicht merklich unterscheidet.¹⁾ Für Alkohol dagegen lieferten unsere Versuche mit grosser Wellenlänge (259 cm) einen etwas höheren Brechungsindex als diejenigen von Hrn. Drude, welche für Oscillationen von vier- bis fünfmal kleinerer Periode gelten, doch war der Unterschied zu klein und die Beobachtungsmethode zu unsicher, um einen bindenden Schluss auf die Inconstanz des Brechungsindex zu gestatten. Besseren Aufschluss mussten hier Versuche mit sehr kurzen, nach Hrn. Righi's²⁾ Methode erzeugten electricischen Wellen ergeben. Ich begann damit solche Wellen von 5 cm Länge in der von Hrn. Righi angegebenen Weise zu produciren und zu beobachten, und versuchte die Ablenkung zu messen, welche electricische Strahlen dieser Art in einem mit Flüssigkeit angefüllten Hohlprisma aus Spiegelglas erfahren. Die Dimensionen einer Seite des Hohlprismas betrugen 15×25 cm. Der brechende Winkel war gleich 10 Grad. Mit dieser Einrichtung liess sich der Brechungsindex von Ricinusöl (2,2) leicht feststellen, doch versagte dieselbe vollkommen, wenn sich Wasser oder Alkohol im Innern des Hohlprismas befand. Auf der von dem Erreger abgewendeten Seite des Prismas war mit Hülfe der Funkenmethode nicht die geringste Energiemenge

1) Die genauen Bestimmungen des Hrn. Heerwagen (Wied. Ann. 49. p. 279. 1893) liefern für die Wurzel aus der Dielectricitätsconstante den Werth $n = 8,99$ bei 17° C.

2) A. Righi, Rendiconte della R. Accad. de Lincei, 2. 1. Sem., (11). p. 505.

nachweisbar. Ausser dem Verlust an Absorption, welcher, wie weiter unten gezeigt werden wird, sehr bedeutend ist, tritt hier noch die Schwächung durch Reflexion sowohl an den Glaswänden als auch an den Flüssigkeitsoberflächen hinzu, sodass von der auffallenden Energie nur ein verschwindend geringer Bruchtheil zum Austritt gelangt.

Es wurde daher zunächst der Versuch gemacht, einen empfindlicheren Empfangsapparat herzustellen. Zu diesem Zwecke wurde analog der von Hrn. Klemenčič¹⁾ zur Untersuchung langer Wellen benutzten thermoelectrischen Vorrichtung ein Thermoelement construirt, welches sich als ausserordentlich empfindlich erwies. Aus Fig. 2 ist die Einrichtung des Empfängers zu ersehen. *A* und *B* sind Streifen aus

Fig. 2.

Schablonenblech, 10mm lang, 1,5mm breit, durch einen 4 mm breiten Zwischenraum voneinander getrennt. An die beiden einander gegenüberstehenden Enden sind kurze Stückchen eines sehr feinen Eisen- bez. Nickelindrahtes gelöthet, deren Durchmesser 0,02 bez. 0,08mm betragen. Die Drähte

sind nach Hrn. Klemenčič's Angabe L-förmig gebogen, in der Mitte umeinandergeschlungen und dann mit zwei kleinen Kupferdrahtspiralen in den Punkten *a* und *b* verlöthet. Diese Spiralen sind ein wenig gespannt und üben auf die Contactstelle einen permanenten Zug aus, wodurch die Güte des Contacts gesichert wird. Die freien Enden der Kupferfedern sind mit den Klemmschrauben eines Galvanometers von mässiger Empfindlichkeit und kleinem Widerstand verbunden. Der secundäre Leiter und das Thermoelement sind auf einem leichten Holzkreuz montirt und im Focus eines concaven, parabolisch gekrümmten Cylinderspiegels befestigt. Dieser ist aus Carton gefertigt und auf seiner Innenseite mit drei Reihen 24 mm langer, 2 mm breiter, der Brennnlinie des Spiegels paralleler Stanniolstreifen (Resonatoren) beklebt. Da das Thermoelement auch für Wärmeeinflüsse anderer Art sehr empfindlich war, wurde

1) Klemenčič, Wied. Ann. 45. p. 62. 1891.

der Empfänger nebst Hohlspiegel in einem leichten Kasten aus weissem Carton dauernd untergebracht, einem Material, von welchem vorher durch Versuche festgestellt worden war, dass es für die benutzten electrischen Strahlen sehr gut durchlässig ist. Bei Benutzung des Righi'schen Erregers lieferte dieser Empfänger in Verbindung mit einem Elliot'schen Galvanometer von 5 Ω Widerstand in 1 m Abstand Ausschläge von 100—200 mm, je nach der Regulirung des Erregerfunkens.

Der Theorie nach sollten die Galvanometerausschläge der Energie der aufgenommenen Schwingung proportional sein. Um diesen Satz zu prüfen, wurden die hinter dem Erreger und Empfänger befindlichen Hohlspiegel entfernt und die Angaben des Empfängers in 25 und 50 cm Entfernung untersucht. Es ergab sich, dass sich die Ausschläge in beiden Fällen fast genau von 1 zu 4 verhielten, ein Resultat, welches das Vorhandensein der genannten Proportionalität bestätigt. Durch Anwendung des Thermoelementes wurde also nicht nur eine bei weitem höhere Empfindlichkeit erzielt, sondern auch die Möglichkeit gegeben, quantitative Messungen dieser schnellen Schwingungen vorzunehmen.¹⁾

Nunmehr wurde der Prismenversuch unter Benutzung des verbesserten Empfängers für Wasser und Alkohol wiederholt, aber wiederum mit dem gleichen negativen Erfolg. Während man bei directer Gegenüberstellung des primären und secundären Leiters mehr als 100 mm Ausschlag erhielt²⁾, war bei Einschalten des mit Wasser oder Alkohol gefüllten Prismas jenseits desselben an keiner Stelle des Raumes Energie nachzuweisen. Selbst eine zwischen Spiegelglaswänden eingeschlossene planparallele Schicht von destillirtem Wasser oder reinem Alkohol von 11 mm Dicke schwächte die hindurchgehenden

1) Ein ähnliches Verfahren hat neuerdings Hr. P. Lebedew zur Messung noch kürzerer Wellen mit gutem Erfolg angewandt (Wied. Ann. 56. p. 1. 1895).

2) Bei diesen Versuchen befand sich zwischen Primär- und Secundärleiter stets ein grosser Metallschirm mit einem Diaphragma von 10 $\times$ 12 cm, vor welchem das Prisma aufgestellt wurde. Diese Vorrichtung, welche auch bei den im Folgenden beschriebenen Absorptionsmessungen zur Anwendung gelangte, diente dazu, die Wirkung aller Strahlen auszuschliessen, die nicht durch das Prisma gingen.

electrischen Strahlen so beträchtlich, dass kaum 2—3 Proc. in den Empfangsapparat gelangten, während das leere Absorptionsgefäss 57 Proc. der auffallenden Strahlung hindurchliess.¹⁾ Versuche mit einem zweiten Absorptionsgefäss von nur 0,4 mm lichter Weite ergaben folgende Resultate:

Leeres Gefäss	Durchlässigkeit	55 Proc. der auffallenden Strahlung				
Gefäss mit Alkohol	„	51	„	„	„	„
Gefäss mit destill. Wasser	„	32	„	„	„	„

Da die Reflexion an einer 0,4 mm dicken absorptionsfreien Flüssigkeitsschicht für Wellen von 5 cm Länge nur sehr gering sein kann, selbst wenn der Flüssigkeit der Brechungsindex 9 zukommt, muss die hier beobachtete starke Schwächung, welche bei dem Alkohol 8 Proc., bei dem Wasser 33 Proc. beträgt, direct oder indirect durch Absorption hervorgebracht sein.

Diese Erfahrungen haben mich dazu veranlasst, den Prismenversuch aufzugeben und die Erreichung des angestrebten Zieles, d. i. die Ermittlung der Brechungsexponenten von Wasser und Alkohol für kurze electriche Wellen, auf indirectem Wege zu versuchen. Da die oben beschriebene Untersuchungsmethode quantitative Messungen der electriche Strahlung gestattete, so war die Möglichkeit gegeben, das Reflexionsvermögen dieser electriche Wellen an Wasser- und Alkoholflächen genau festzustellen und mit Hülfe dieser Zahlen durch Anwendung der Fresnel'schen Intensitätsformeln den Brechungsindex der beiden Flüssigkeiten zu berechnen. Allerdings ist die Gültigkeit der Fresnel'schen Intensitätsformeln an die Bedingung geknüpft, dass das Quadrat des Extinctionscoefficienten der betreffenden Substanz gegenüber $(n - 1)^2$ verschwindend klein sein muss²⁾, doch ist diese Bedingung bei den hier untersuchten Körpern zweifellos erfüllt³⁾, sodass man zur Anwendung der

1) Die Schwächung tritt bei Einschaltung des leeren Absorptionsgefässes zum grossen Theil infolge der Reflexion an den Glasflächen ein. Hierfür spricht die Thatsache, dass das mit Ricinusöl gefüllte Absorptionsgefäss 64 Proc. der auffallenden Strahlung hindurchliess, also 7 Proc. mehr als das leere.

2) Dieser Satz gilt streng nur für normale Incidenz; doch bleibt er auch bei nicht zu grossen Incidenzwinkeln angenähert richtig.

3) Legen wir der Berechnung des Extinctionscoefficienten k des Wassers die oben angegebenen Zahlen zu Grunde, und nehmen wir den ungünstigen Fall an, dass die 0,4 mm dicke Wasserschicht keine Strahlen reflectirt, so ergibt sich für k allerdings der Werth 8. Es ist jedoch

Reflexionsformeln in dem vorliegenden Falle wohl berechtigt ist. Für Wasser ist ferner die Unabhängigkeit des Reflexionsvermögens von dem Extinctionscoefficienten innerhalb weiter Grenzen durch besondere Versuche festgestellt worden, auf welche wir später zurückkommen werden.

Zur Messung des Reflexionsvermögens der Flüssigkeiten ist es erforderlich, die von der Flüssigkeitsoberfläche reflectirte Strahlung mit der directen zu vergleichen. Es empfiehlt sich jedoch aus praktischen Gründen, diese Vergleichung nicht unmittelbar vorzunehmen, sondern es ist vortheilhafter, das Verhältniss des Reflexionsvermögens der Flüssigkeitsoberfläche zu demjenigen einer Metallfläche festzustellen und das Reflexionsvermögen der Metallfläche besonders zu bestimmen. Es zerfällt somit dieser Abschnitt der Untersuchung in zwei gesonderte Theile, von denen sich der erste mit der Messung des Reflexionsvermögens eines Metallblechs beschäftigt, während der zweite die Vergleichung des Reflexionsvermögens von Flüssigkeits- und Metalloberflächen zum Gegenstand hat.

Reflexionsvermögen einer Metallfläche für senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisirte electricische Schwingungen.

Der von Hrn. Righi angegebene primäre Leiter, welcher zur Erzeugung kurzer electricischer Wellen dient, hat den Nachtheil, dass er nur in aufrechter Lage benutzt werden kann. Es war daher nöthig, denselben für den vorliegenden Fall etwas umzuändern. Nach mehrfachen Versuchen wurde demselben die in Fig. 3 dargestellte Form gegeben. A und A' bedeuten zwei 5 cm lange Stücke eines Glasrohrs von 3 mm lichter Weite. In die einander zugekehrten Enden sind zwei Messingstückchen von 2 mm Dicke und 8 mm Länge eingekittet, deren Kanten sorgfältig abgerundet sind. Diese

leicht einzusehen, dass diese Zahl viel zu hoch ist, da entgegen unserer Voraussetzung zweifellos an der dünnen Wasserschicht Reflexion eintritt, denn die an ihrer Vorder- und Rückfläche reflectirten Strahlen besitzen infolge der Absorption zu ungleiche Intensität, um sich durch Interferenz vernichten zu können. Die Versuche mit der 11 cm dicken Wasserschicht würden, ebenfalls unter Vernachlässigung der Reflexion, den Werth $k = 1,3$ liefern, und auch diese Zahl wäre hiernach noch viel zu hoch. Für die benutzten 5 cm langen Wellen berechnen sich für Alkohol noch kleinere Werthe von k .

Glasröhren sind in einem etwas weiteren T-Rohr mittels Korken in der in Fig. 3 dargestellten Weise befestigt und zwar derart, dass sich das eine von beiden mit leichter Reibung in seinem Kork vor und zurück bewegen lässt, sodass man die Entfernung zwischen den beiden Messingstücken nach Belieben variiren kann. Zwei rechtwinklig gebogene Drähte *D* und *D'* von 1 mm Dicke, welche an ihren Enden mit Oesen versehen sind, ragen in das Innere der Röhren *A* und *A'* und sind darin mit Hülfe kleiner Holzstückchen befestigt, welche zwar genügenden Halt gewähren, aber kleine Verschiebungen der Drähte gestatten. Von den äusseren Oesen dieser Drähte führen Verbindungen nach den Polklemmen eines kleinen Inductoriums, dessen Entladungen also hier drei Funkenstrecken zu überspringen haben. Das Innere des T-Rohrs ist bis oberhalb der mittleren Funkenstrecke mit Paraffinöl angefüllt, welches durch den in der Richtung *ab* liegenden Schenkel eingeführt wird. Mit Hülfe eines kurzen Stückchens Gummischlauch ist an diesen ein knieförmiges Glasrohr *E* angesetzt, welches bei einer

Fig. 3.

Drehung des Apparates um die Axe *ab* stets aufwärts gerichtet werden kann, sodass das Ausfliessen des Oels verhindert wird. In einigen Lagen des Primärleiters ist es wünschenswerth, zwischen dem mit Luft erfüllten Theil des T-Rohres und dem äusseren Raum durch den oberen Kork eine Verbindung herzustellen, weil andernfalls infolge der an der mittleren Funkenstrecke entwickelten Gase das Oel aus dem verticalen Schenkel des T-Rohres ausgetrieben wird. Hierzu dient das Glasrohr *C*, welches durch einen Stopfen verschlossen werden kann.

Es bleibt noch zu erwähnen, dass der Holzring *S*, in welchem der Erreger gedreht werden kann, an dem zur Concentration der Strahlen dienenden sphärischen Hohlspiegel

durch Holzstäbe starr befestigt ist, sodass bei einer Drehung des Erregers die mittlere Funkenstrecke eine unveränderte Lage beibehält und stets im Brennpunkt des Hohlspiegels bleibt. Die mit diesem Apparat angestellten Versuche ergeben, dass die Intensität der Strahlung von der Länge der beiden äusseren Funkenstrecken nur wenig abhängt, dass hingegen die Länge der mittleren Funkenstrecke von sehr erheblichem Einfluss ist. Eine mikrometrische Verschiebung des einen Glasrohres *A* wäre daher sehr vorthailhaft gewesen, doch functionirte der Apparat auch in der von mir angewendeten Form zufriedenstellend.

Zur Bestimmung des Reflexionsvermögens der Metallfläche wurde die folgende in Fig. 4 dargestellte Versuchsanordnung gewählt. *c* bedeutet darin den sphärischen Concentrationsspiegel von 50 cm Oeffnung, in dessen Brennpunkte sich der Erreger *E* befindet. Vor demselben ist in 25 cm Entfernung ein Nagel senkrecht in die Platte des Experimentirtisches eingeschlagen, welcher einem Holzarm von 30 cm Länge als Drehpunkt dient. Am äusseren Ende dieses Armes ist der parabolische Cylinderspiegel befestigt, in dessen Brennnlinie der oben beschriebene secundäre Leiter angebracht ist. Legt man den Arm gegen den Anschlageklötz *a*, so hat der Arm genau die Richtung der aus dem Hohlspiegel *c* austretenden Strahlen, dreht man ihn dagegen bis zu seiner Berührung mit dem Anschlagklötz *a'*, so steht er genau senkrecht zur Strahlenrichtung. Ueber dem Drehpunkte des Armes lässt sich ein ebenes, quadratisches Zinkblech *M* von 40 cm Seite und 1 mm Dicke unter 45° zur Strahlenrichtung vertical befestigen und ebenso leicht wieder entfernen. Es ist leicht einzusehen, dass man mit Hülfe dieser Vorrichtung das Reflexionsvermögen des Zinkblechs für 45° Incidenz dadurch bestimmen kann, dass man abwechselnd die directe Strahlung bei *a* beobachtet, während das Zinkblech entfernt ist, dann dasselbe in der oben genannten Lage über dem Drehpunkte des

Fig. 4.

Armes befestigt und die reflectirte Strahlung bei α' misst. Das Verhältniss beider Ausschläge ist das gesuchte Reflexionsvermögen. Um von den Schwankungen in der Intensität der ausgesandten Strahlung möglichst unabhängig zu sein, wurden die Versuchsreihen stets in folgender Weise angestellt. Es wurden vier Ausschläge in der Stellung a beobachtet, hierauf vier in der Stellung α' , wiederum vier bei a etc., bis eine Reihe von mindestens 24—32 aufeinanderfolgender Ablesungen vorhanden war, welche an der Wiederkehr der gleichen Zahlen deutlich erkennen liess, dass eine Aenderung der ausgesandten Strahlungsintensität in merklichem Maasse nicht stattgefunden hatte, andernfalls wurde die Versuchsreihe verworfen.

Electrische Componente parallel der Einfallsebene.		
direct	reflectirt	
	60	
	68	
	70	
	66	
75		
82		
87		
78		
	67	
	71	
	66	
	70	
78		
78		
77		
73		
	68	
	71	
	78	
	75	
70		
71		
83		
80		
	66	
	67	
	70	
	72	
78		
71		
69		
67		
76,1	69,1	

$$\text{Reflexionsvermögen } R = \frac{69,1}{76,1} = 90,8$$

Solcher Versuchsreihen wurden für beide Polarisationsrichtungen mehrere beobachtet und zwar drei für senkrecht, acht für parallel zur Einfallsebene schwingende electrische Strahlen. Um ein Urtheil über die Genauigkeit der einzelnen Ablesungen bez. über die Constanz der Strahlungsquelle zu

gestatten, gebe ich eine Versuchsreihe, welche als „mittelgut“ bezeichnet werden könnte, in aller Ausführlichkeit. Von den übrigen Serien sind nur die Resultate wiedergegeben.

Resultate sämtlicher Versuchsreihen.

Electrische Componente senkrecht zur Einfallsebene	Electrische Componente parallel zur Einfallsebene
99,5	87,9
101,0	93,1
100,1	88,8
<hr/>	93,2
100,2	92,9
	95,9
	93,8
	93,5
	<hr/>
	92,4

Es ergibt sich hieraus, dass eine Metallfläche unter 45° Incidenz diese Strahlung nahezu vollkommen reflectirt, wenn die electrischen Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene erfolgen, dass dagegen ca. 8 Proc. bei der Reflexion absorbirt werden, wenn die Schwingungsrichtung der electrischen Componente in die Einfallsebene fällt.

Reflexion der electrischen Schwingungen an
Flüssigkeitsoberflächen.

Um die Vergleichung der an der Metalloberfläche und Flüssigkeitsoberfläche reflectirten Strahlungsmengen vornehmen zu können, musste die Versuchsanordnung in der in Fig. 5 angedeuteten Weise modificirt werden. Ein flaches, rechteckiges Gefäß (*L*) von 44×36 cm Oberfläche aus Papiermaché, wie solche zum Entwickeln photographischer Platten verwendet werden, wurde bis zum Rande mit der zu untersuchenden

Fig. 5.

Flüssigkeit gefüllt. Die Axe des Erregers und seines Hohlspiegels wurden in der einen Richtung, die Axe des Empfangsapparates in der anderen Richtung um 45° gegen die Horizontale geneigt, sodass sich die von dem primären Leiter ausgehenden Strahlen nach Reflexion an der Flüssig-

keitsoberfläche im Brennpunkte des secundären Hohlspiegels wieder vereinigten. Infolge der starken Absorption von Wasser und Alkohol für die zur Untersuchung benutzten electricen Schwingungen gelangt die an der Bodenfläche des Gefässes reflectirte Strahlungsmenge nicht in merklichem Betrage zum Aus tritt, sodass man es praktisch nur mit einer einmaligen Reflexion zu thun hat. Ein Metallschirm *S* diente dazu, eine in geringem Maass vorhandene directe Einwirkung des primären Leiters auf den secundären zu beseitigen. Ein bis zwei Millimeter über der Flüssigkeitsoberfläche befanden sich drei Glasspitzen, auf welche das ebene Zinkblech, dessen Reflexionsvermögen vorher untersucht worden war, aufgesetzt werden konnte, so dass die Reflexion dann an der Metallfläche stattfand, ohne dass an dem Strahlengang etwas geändert war.

Electriche Componente *senkrecht* zur Einfallsebene.

Wasser- oberfläche		Metall- oberfläche	
31		41	
31	→	41	
30	↘	43	
31	↙	42	
33	→	43	
30	↘	45	
30	↙	40	
31	→	43	
31	↘	43	
29	↙	40	
33	→	43	
30	↘	43	
Mittel 30,8		42,3	

$$R_s = \frac{30,8}{42,3} = 73,0 \%$$

Auch bei diesen Versuchen wurde zur Prüfung der Constanz der Strahlung alternirend beobachtet, und stets abwechselnd drei oder vier Ablesungen der von Metall bez. Flüssigkeit reflectirten Strahlung vorgenommen. Um auch hier die Grösse der Beobachtungsfehler hervortreten zu lassen, sollen zwei dieser Versuchsreihen vollständig wiedergegeben werden. Sind die electricen Schwingungen senkrecht zur Einfallsebene gerichtet, so ergibt sich das Reflexionsvermögen unmittelbar als das Verhältniss der beiden Ausschlagsmittel, da in diesem Falle die Reflexion an der Metalloberfläche als total anzusehen ist. Schwingt dagegen die electriche Com-

ponente der Einfallsebene parallel, so ist zur Erlangung des richtigen Reflexionsvermögens das Verhältniss der beiden Aus-
schlagsmittel noch mit dem Factor 0.924 zu multipliciren.

Electrische Componente <i>parallel</i> zur Einfallsebene.		
Wasser- oberfläche	Metall- oberfläche	
18,5	33	
18,5	32	→
19,5	30	↘
18,5	32,5	↙
19,5	35	→
21,0	31	↘
17,5	31,5	↙
18,0	32	→
18,0	27	↘
15,5		↙
19,0		
17,5		
Mittel 18,4	31,6	

$$R_p = \frac{18,4 \times 0,924}{31,6} = 53,7\%$$

Die folgende kleine Tabelle enthält die Resultate dieser
sämmlichen Versuchsreihen für Wasser. Die Incidenz be-
trägt stets 45°.

Reflexionsvermögen.	
Electrische Componente senkrecht zur Einfallsebene	Electrische Componente parallel zur Einfallsebene
R_0	R_p
73,6%	45,6%
73,9	53,7
69,8	57,1
73,0	54,6
71,8	
Mittel 71,8%	Mittel 52,7%

Setzt man diese Werthe für das Reflexionsvermögen in
die beiden Fresnel'schen Formeln ein, welche für senkrecht
und parallel zur Einfallsebene polarisirte Strahlen gelten

$$(1) \quad (u_p)^2 = \left(\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \cos i} \right)^2$$

$$(2) \quad (n_s)^2 = \left(\frac{n^2 \cos i - \sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{n^2 \cos i + \sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)^2$$

worin i den Incidenzwinkel (45°), n den Brechungsindex und u
die Amplitude der Schwingung bedeutet, so erhält man unter
der Annahme, dass die electrischen Schwingungen senk-

recht zur Polarisationssebene erfolgen, mithin $R_p = (u_s)^2$ und $R_e = (u_p)^2$ zu setzen ist, die Resultate:

aus Gleichung (1)	$n = 8,8$
aus Gleichung (2)	$n = 8,9$
Mittel	$n = 8,85$

Diese sämmtlichen Reflexionsversuche wurden mit reinem destillirtem Wasser ausgeführt; es zeigte sich jedoch, dass auch erhebliche Verunreinigungen des Wassers das Reflexionsvermögen nicht merklich beeinflussen. Selbst ein Zusatz von von 50 ccm Schwefelsäure war nach dieser Hinsicht vollkommen wirkungslos, obwohl hierdurch die Leitungsfähigkeit bez. Absorption des Wassers zweifellos stark erhöht wurde. Dieser Versuch bildet einen weiteren Beleg für die Richtigkeit unserer oben gemachten Annahme, dass die Absorption des reinen Wassers nicht genügend gross ist, um die Anwendbarkeit der Fresnel'schen Formeln in Frage zu stellen.

Aus dem Reflexionsvermögen dieser kurzen Wellen berechnet sich nahezu der gleiche Werth für den Brechungsexponenten, welchen auch die Versuche mit langen Wellen ergeben hatten. Wesentlich andere Ergebnisse lieferten dagegen die Reflexionsversuche an Alkohol. Da die Beobachtungen in genau derselben Weise vorgenommen wurden, wie bei dem Wasser, genügt es, die Resultate der Versuchsreihen anzuführen.

Electrische Componente parallel zur Einfallsebene	Electrische Componente senkrecht zur Einfallsebene
R_p	R_s
39,7%	13,6%
35,3	17,5
44,3	14,5
42,0	16,2
41,4	Mittel 15,4%
Mittel 40,5%	

Setzt man dementsprechend

in Formel (1) $(n_p)^2 = R_s = 15,4$ so ergibt sich	$u = 3,25$
in Formel (2) $(n_s)^2 = R_p = 40,5$ so folgt	$n = 3,15$
	Mittel $n = 3,2$

Diese beiden Werthe für n sind untereinander in guter Uebereinstimmung, unterscheiden sich aber wesentlich von den Ergebnissen der mit grösseren Wellenlängen ausgeführten Versuche, welche bedeutend höhere Resultate ergeben. Es ist

hiernach in hohem Grade wahrscheinlich, dass der Alkohol in diesem Spectralbereich noch starke Dispersion besitzt. Dem Sinn dieser Dispersion entsprechend wäre für Strahlen, deren Wellenlänge 5 cm (in Luft) überschreitet ein (oder mehrere) Absorptionsstreifen vorhanden, welcher zu anomaler Dispersion Veranlassung geben.¹⁾ Versuche mit Wellen von 1 cm und 8 cm Länge, welche in Vorbereitung sind, sollen hierüber weiteren Aufschluss geben. Es wäre ferner sehr erwünscht, dieses in etwas indirecter Weise gewonnene Resultat durch eine andere, hiervon unabhängige Methode zu prüfen.

Die Ergebnisse dieser Versuche waren so unerwartet, dass ich es für gut fand, zur Prüfung der Methode auch einige Reflexionsmessungen an Petroleum vorzunehmen, dessen Brechungsexponent für electricische Wellen von jeder Länge genügend sicher bekannt ist.²⁾ Um die Reflexion von der Bodenfläche des Gefässes thunlichst zu vermeiden, war es hier erforderlich ein möglichst tiefes Gefäss zu benutzen. Es stand hierzu ein cylindrisches Glasgefäss von 20 cm Durchmesser und 21 cm Tiefe zur Verfügung; es stellte sich jedoch heraus, dass auch dieses den Anforderungen nicht vollkommen genügte, da auch das leere Gefäss eine noch merkliche Reflexionswirkung ausübte, welche zwar sehr schwach war, aber gegenüber der geringen Reflexionsfähigkeit des Petroleums nicht vernachlässigt werden konnte. Dieser Effect, welcher, wie Versuche zeigten, zum grössten Theil von der Reflexion an dem oberen wulstigen Rand des dickwandigen Glasgefässes herrührte, wurde deshalb genau gemessen und von den Resultaten in Abrechnung gebracht, welche für die Intensität der an dem mit Petroleum gefüllten Gefäss reflectirten Strahlung erhalten wurden. Es ergab sich so das Reflexionsvermögen des Petroleums für senkrecht zur Einfallsebene schwingende electricische Strahlen bei 45° Incidenz zu 9,2 Proc. Es entspricht dies einem Brechungsexponenten

1) Diese Vermuthung wird durch die oben erwähnte Thatsache bestätigt, dass der Alkohol für Wellen von 3—6 cm Länge ein Absorptionsvermögen besitzt, welches dasjenige des Wassers noch erheblich übertrifft.

2) Petroleum gehört zu der Klasse von Stoffen, für welche das Maxwell'sche Gesetz in seiner ursprünglichen Form mit guter Annäherung gilt. Vgl. auch die oben citirte Abhandlung von L. Arons und H. Rubens.

$n = 1,5$, was mit den bisherigen Beobachtungen in guter Uebereinstimmung ist. Für electricische Schwingungen, welche parallel der Einfallsebene erfolgten, war das Reflexionsvermögen des Petroleums unter den nämlichen Bedingungen so gering, dass einigermaassen zuverlässige Resultate nicht erhalten werden konnten; es hängt dies unzweifelhaft mit dem Umstand zusammen, dass der Incidenzwinkel von 45° den Polarisationswinkel nicht mehr fern liegt.

Zur besseren Uebersicht stellen wir schliesslich die Resultate sämtlicher Reflexionsversuche in einer Tabelle zusammen.

Substanz	Reflexionsvermögen (in Procenten)		Entsprech. Brechungsindex berechnet nach	
	electr. Comp. senkr. z. Einf.	electr. Comp. parall. z. Einf.	Formel (1)	Formel (2)
Metall (Zink)	100	92,4	—	—
Wasser	71,8	52,7	8,8	8,9
Alkohol	40,5	15,4	3,2	3,1
Petroleum	9,2	—	1,5	—

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich kurz folgendermaassen zusammenfassen:

1. Für Wellen von 300—600 cm Länge ergibt sich in guter Uebereinstimmung mit anderen Beobachtern für Wasser der Brechungsexponent 8,95, für Alkohol 5,20.

2. Bei Benutzung 5 cm langer Wellen liefern die beiden Fresnel'schen Formeln für senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisirte Strahlen den gleichen Werth des Brechungsexponenten aus dem beobachteten Reflexionsvermögen. Für Wasser ist dieser Werth = 8,8, für Alkohol = 3,2.

3. Bei Alkohol ist der Brechungsexponent für lange electricische Wellen erheblich grösser als für kurze.

Zum Schlusse möchte ich Hrn. Dr. Rubens für die zahlreichen Anregungen meinen Dank auszusprechen, sowie auch für die andere Hülfe, welche er mir während der ganzen Untersuchung hat zu Theil werden lassen.

Berlin, Physik. Institut, August 1895.