

**3. Die Induktion in den Dielektrika, die sich im magnetischen Feld bewegen;
von L. Slepian.**

Die Untersuchung der Induktion in den Dielektrika, die sich im magnetischen Feld bewegen, bietet nicht nur selbständiges Interesse, sondern führt auch zur Aufklärung des Zustandes des Äthers in den elektromagnetischen Erscheinungen, d. h. der Richtigkeit der Theorie von Hertz, Lorentz, Einstein, oder irgend welcher anderen. In Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen auf anderen Gebieten der Physik, erweisen sich auf diesem Gebiete die Resultate der Versuche mit der Theorie von Hertz unvereinbar. Das bereits veröffentlichte experimentelle Material, welches sich zur Untersuchung der Induktion in den Dielektrika, die sich im magnetischen Feld bewegen, bezieht, ist folgendes.

Blondlot¹⁾ blies einen Luftstrom zwischen den Polen eines starken Elektromagneten und stellte fest, daß dabei keine elektrische Verschiebung stattfindet, was auf Grund der Hertz'schen Theorie unerklärlich ist. Die Beobachtungsmethode war keine direkte, da Blondlot kein genügend empfindliches Elektrometer besitzen konnte.

H. Wilson²⁾ ließ einen Ebonitzylinder, der von innen und außen mit Messing bezogen war, im magnetischen Feld einer koaxialen Spule rotieren. Das Resultat entsprach dem aus der Lorentz'schen Theorie berechneten Wert.

Es ist kein Grund vorhanden, die Resultate dieser beiden Versuche auf Grund der unlängst veröffentlichten Arbeit von Fehrle³⁾ anzuzweifeln. Dieser Autor glaubt annehmen zu dürfen, daß bei einem seiner Versuche die Drehung der Luft

1) R. Blondlot, Journ. d. Phys. 1. p. 8. 1902.

2) H. Wilson, Phil. Trans. A. 204. p. 121. 1904.

3) K. Fehrle, Ann. d. Phys. 41. p. 1109, 1913.

einen Einfluß auf das Resultat ausübte. Aber im Fundamentalversuch von Fehrle wird das positive Resultat durch die EMK. verursacht, die in der Messingscheibe induziert wird und den Kondensator ladete, welcher durch den Messingzylinder und den Mantel der Spule gebildet wurde. Diese Wirkung konnte sich nicht ändern bloß auf Grund der Drehung der Luft im Zylinder samt letzterem. Daher ist das negative Resultat, welches der Autor in diesem Falle erhielt, nur einem unaufgeklärten Fehler in der Gesamtordnung zuzuschreiben.

Noch ein Versuch, welcher von M. Wilson und H. Wilson¹⁾ nach demselben Plan, wie der erste Versuch von H. Wilson, ausgeführt wurde, sollte feststellen, ob die Verschiebung im Dielektrikum, welche durch Bewegung im magnetischen Feld verursacht wird, dem Koeffizienten $1 - \varepsilon^{-1}$, wie das aus der Lorentzschen Theorie folgt, oder der Größe $1 - (\mu \varepsilon)^{-1}$, zu welcher die Theorie von Einstein führt, entspricht. Anstatt des Ebonits wurde ein künstlich hergestelltes „Dielektrikum“ aus Stahlkugeln, die durch Paraffin übergossen waren, gewählt. Der Versuch ergab für den erwähnten Koeffizienten eine Größe, welche sich zu $1 - (\mu \varepsilon)^{-1}$ nähert.

Im folgendem sollen die vom Autor dieses Aufsatzes ausgeführten Versuche beschrieben werden, welche sich an den ersten Versuch Wilsons lehnen. Einige neue Methoden, die hier verwendet wurden, ermöglichten in mannigfachster Weise die Induktion im Ebonit, Paraffin und Schwefel bei ihrer Bewegung im magnetischen Feld zu untersuchen. Außerdem wiederholte der Autor den Versuch Blondlots in vervollständigter Anordnung, wie es gegenwärtig möglich ist. Die Resultate stimmten mit denen von Wilson und Blondlot überein. Zuerst beschreiben wir die Versuche mit den festen Dielektrika.

Die Versuchsmethoden.

Anstatt einer Spule, wie sie von Wilson gebraucht wurde und welche das magnetische Feld koaxial mit der Drehungsachse schaffte, hatten wir einen großen Elektromagneten zur Verfügung. Die Polfläche mit den Abmessungen 80×120 mm wurden bis zu einer Entfernung von 36 mm zusammengedrückt.

1) M. Wilson u. H. Wilson, Proc. R. Soc. A. 89. p. 99. 1913.

Dabei konnte ein homogenes Feld von einer Intensität bis zu 3500 g erreicht werden. Im Fundamentalversuch wurde es in folgender Weise ausgenutzt.

Eine nichtleitende Scheibe wurde durch ein Metallband m , auf welchem ein Ring aus dielektrischem Material (vgl. Fig. 1) befestigt wurde, umwunden. Auf dem hervorstehenden Rande

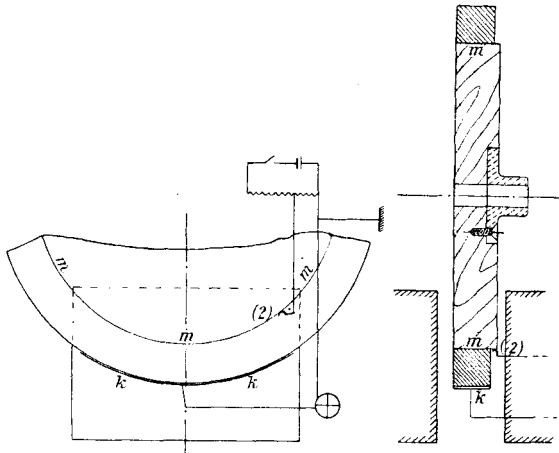


Fig. 1.

des Bandes gleitet ein Bürstchen (2), welches mit der Erde verbunden ist. Während der Rotation geht der Ring an den Polflächen vorbei, wie es aus der Fig. 1 zu ersehen ist. Im Spalt zwischen den letzteren unter dem Dielektrikum befindet sich ein Metallstreifen k , welcher an das Elektrometer angeschlossen ist. Dank dem magnetischen Feld wird im Dielektrikum eine Verschiebung zwischen dem Band m und dem Streifen k hervorgerufen, welches sich durch das Elektrometer schließt. Die Potentialdifferenz des letzteren muß laut der Hertzschen Theorie gleichen

$$(1) \quad V_e = \frac{c}{c + c_e} \cdot E$$

und laut der Lorentzschen Theorie

$$(1') \quad V_e = \frac{c}{c + c_e} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} E.$$

Hier bedeutet ε die Dielektrizitätskonstante des zu untersuchenden Dielektrikums, c die Kapazität des dielektrischen

Kondensators zwischen dem Streifen k und dem Band m , c_e die Kapazität des Elektrometers mit dem anschließenden Leiter, und E die EMK. der Induktion, welche durch den Ausdruck

$$E = B l v \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

bestimmt ist.

Die Größe E wurde mit Hilfe des Elektrometers, auf die im folgenden beschriebene Art, gemessen. Der Koeffizient $c/c + c_e$ wurde vermittelt einer Graduierung mit Hilfe einer äußeren EMK. bestimmt laut Schema, die aus der Fig. 1 ersehen ist. Bei Einwirkung der äußeren EMK. kann die Potentialdifferenz des Elektrometers nach Formel (1) berechnet werden, was auch zur Bestimmung des erwähnten Koeffizienten führt. Die Vergleichung des experimentellen Resultats mit dem auf Grund der angeführten Methoden der Bestimmung der EMK. der Induktion E und der Größe $c/c + c_e$ berechneten muß die Bestätigung von dieser oder jener Theorie ergeben.

Es muß jedoch bemerkt werden, daß die Kapazität zwischen dem Streifen k und dem Ring m hinsichtlich der Graduierung nicht streng derjenigen Kapazität gleich ist, welche der Wirkung des magnetischen Feldes entspricht und in den Ausdrücken (1) und (1') auftritt. Das wird durch die Verschiedenheit der Richtung und Verteilung der Linien der Verschiebung in beiden Fällen hervorgerufen. Die genaue Feststellung der aktiven Kapazitäten würde große Schwierigkeiten bieten. Das ist einer der Umstände, welche die Schätzung der quantitativen Resultate in den Versuchen, wie die hier beschriebenen, erschweren. Zweitens muß auf die Schwierigkeit der elektrometrischen Versuche mit der rotierenden Dielektrika infolge störender Einflüsse hingewiesen werden. Alle diese Umstände verkleinern die Glaubwürdigkeit der Resultate, welche sich auf den quantitativen Unterschied, entsprechend den Formeln (1) und (1'), stützen. Daher kann der Methode, welche diesen quantitativen Unterschied auf einen qualitativen zurückführen, ein hoher Wert verliehen werden. Dieser wurde durch den Entgegenschluß des Leiters und des Dielektrikums auf folgende Weise erreicht.

Es wurden zwei Messingringe, welche den Abmessungen nach dem dielektrischen entsprechen, angefertigt (vgl. Fig. 2).

Zur Bekämpfung der Foucaultströme wurde ein jeder bis zum inneren Rand auf 24 Teile zerschnitten. Diese Ringe konnten an der Scheibe, an welcher das Dielektrikum befestigt war, angeschraubt werden, wobei der Rand *C* mit dem inneren Metallband *m* verbunden war. Das Bürstchen (2) wird durch ein anderes, nämlich (4), ersetzt, welches an die Erde angeschlossen ist und auf dem hervorstehenden Rande *a* eines der Messingringe in

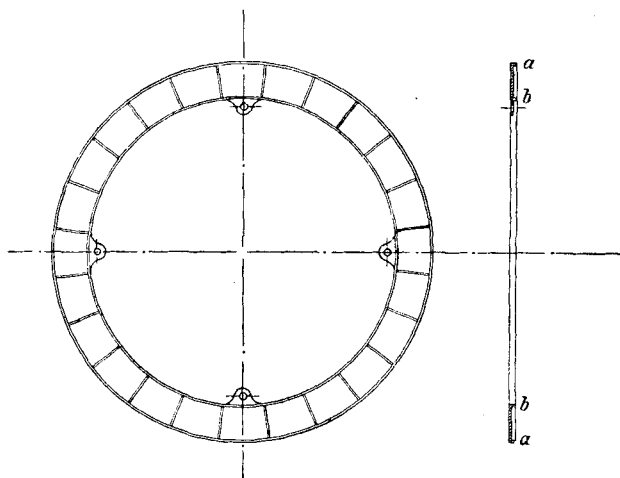


Fig. 2.

der Mitte zwischen den Polen gleitet (vgl. Fig. 4). Die EMK., welche im Messing und dem Dielektrikum induziert werden, werden im elektrometrischen Kreis entgegengerichtet sein. Laut der Hertzschen Theorie müssen sie einander aufheben und das Resultat muß negativ ausfallen. Nach der Lorentz-schen Theorie muß eine resultierende EMK., welche der im Dielektrikum induzierten EMK. entgegengerichtet ist und welche $-(1/\epsilon)E$ gleicht, auftreten. Die entsprechende Potentialdifferenz des Elektrometers

$$(1'') \quad V_e = - \frac{c}{c + c_e} \cdot \frac{1}{\epsilon} E.$$

In den beschriebenen Bedingungen bei unbeweglichen Streifen *k* werden die Ablenkungen des Elektrometers durch die Verschiebung nur in dem Teile des dielektrischen Ringes, welcher sich im Hauptfeld befindet, hervorgerufen. In der

Absicht, die Kapazität des ganzen Dielektrikums auszunutzen und folglich die Ablenkungen zu vergrößern, wurde folgende Methode verwendet.

Auf der äußeren Fläche des dielektrischen Ringes wurde eine Reihe voneinander isolierten metallischen Streifen befestigt. Im Hauptfeld befindet sich ein Bürstchen (1), welches den Streifen entlang gleitet und welches am Elektrometer angeschlossen ist (vgl. Fig. 3). Dank diesem Umstande wird in allen Teilen des dielektrischen Ringes beim Durchgange des entsprechenden Streifens unter dem Bürstchen (1) eine Verschiebung hervorgerufen. Wenn die Kapazität allen Streifen bezüglich des inneren Bandes m bei gegebenem Dielektrikum c_1 gleicht, so muß laut der Hertzschen Theorie die Potentialdifferenz des Elektrometers

$$(2) \quad V_e = \frac{c_1}{c_1 + c_e} \cdot E$$

und nach der Lorentzschen Theorie

$$(2') \quad V_e = \frac{c_1}{c_1 + c_e} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} E$$

gleichem.

Bei Anwendung der Gegenschlußmethode, d. h. bei der Zufügung von Messingringen und bei Benutzung der Bürstchen (1) und (4), müssen wir nach der Hertzschen Theorie die Abwesenheit von Ablenkungen verzeichnen, nach der Lorentzschen Theorie aber

$$(2'') \quad V_e = - \frac{c_1}{c_1 + c_e} \cdot \frac{1}{\varepsilon} E.$$

Vermittels eines Hilfsentladebürstchens (3), welches in Streufeld gesetzt wird (vgl. Fig. 3), kann man die Ablenkungen bedenklich vergrößern. In diesem Falle wird sich ein jeder Teil des dielektrischen Ringes, in welchem sich während des Durchganges unter dem Bürstchen (1) eine elektrische Verschiebung bildete, beim Berühren des Bürstchens (3) an den entsprechenden Streifen, entladen, was ihm die Möglichkeit gibt im Hauptfeld sich nochmals durch das Elektrometer zu laden. Kraft dieses Umstandes wird die aktive Kapazität des dielektrischen Kondensators gleichwie unendlich vergrößert. In den

Ausdrücken (2) und (2') kann man in diesem Falle die Größe c_e vernachlässigen, d. h. das Gleichgewicht muß dann eintreten, wenn die Potentialdifferenz des Elektrometers der aktiven EMK., welche im Dielektrikum induziert (genauer der Differenz der EMK. für das Haupt- und Streufeld) gleich wird. Die Zeit, welche zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich ist, übertrifft praktisch 2—3 Sek. nicht und muß folglich der Charakter der gewöhnlichen Ablenkungen eingehalten werden. Laut der Hertz'schen Theorie muß das Elektrometer die EMK. E , nach der Lorentz'schen Theorie die EMK. $(\epsilon - 1)/\epsilon E$, aufweisen.

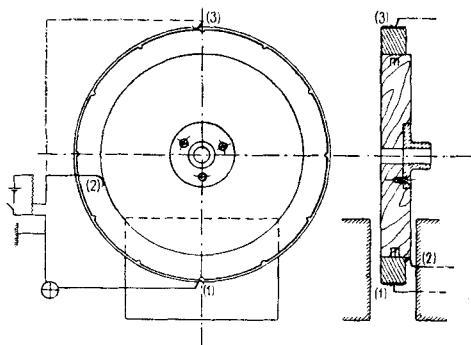


Fig. 3.

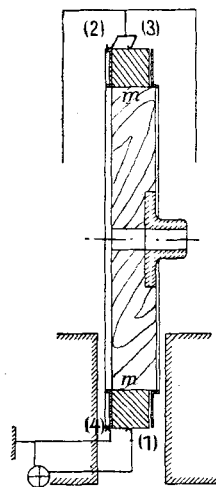


Fig. 4.

Im gegebenen Falle kann auch die Methode des Gegen-schlusses verwendet werden. Dazu sind zur Scheibe die Messingringe und Bürstchen (4) und (2) zuzufügen. Das letztere tangiert im oberen Teile des Apparates mit dem Rande a des Messingringes und wird mit dem Bürstchen (3) verbunden (vgl. Fig. 4). Da das Potential des inneren Bandes m , und folglich des Messingringes im oberen Teile vom Potential der Erde um die Größe E verschieden ist, so müssen die Bürstchen (2) und (3) isoliert sein. Außerdem macht das Bürstchen (3) das Potential der Streifen oben auch gleich E ; wenn der obere Schirm mit der Erde verbunden ist, so erhalten die Streifen eine Ladung, welche ihrer Kapazität bezüglich des Ekrans entspricht. Die Ladung wird durch das Bürstchen (1) auf das Elektrometer übertragen, was die Resultate verzerren muß.

Zur Beseitigung dieses muß der obere Ekran isoliert und mit den Bürstchen (2) und (3) verbunden werden.

Nach der Hertzschen Theorie muß auch bei vier Bürstchen das Resultat negativ ausfallen; laut der Lorentzschen Theorie aber muß das Elektrometer eine Potentialdifferenz der aktiven EMK. für den Leiter und das Dielektrikum aufweisen, d. h. $-(1/\epsilon) E$.

Zur Kontrolle der Gesamtanordnung und zur Bestimmung der Koeffizienten $c/c + c_e$ und $c_1/c_1 + c_e$ wurde, wie erwähnt, eine Graduierung vermittelt einer äußeren EMK. laut Schema, welche aus den Figg. 1 und 3 klar ist, ausgeführt. Zur Schätzung der Resultate bei drei und vier Bürstchen wurde die Graduierung bei drei Bürstchen ausgeführt: (1) wurde mit dem Elektrometer, (2) und (3) unter sich verbunden; zwischen ihnen und der Erde wurde die äußere EMK. eingeschaltet. Ebenso wie im Falle der vier Bürstchen wurde der obere Ekran mit ihnen verbunden und von der Erde isoliert.

Die Beschreibung der Apparate.

Als Material für die Grundscheibe, auf welche der dielektrische Ring angebracht wurde, diente Holz. Solcher Holzscheiben gab es drei, entsprechend der Anzahl der Ringe, wobei eine jede mit besonderer Messingnabe ausgerüstet war zur Befestigung auf der Achse. Der Durchmesser einer jeden Scheibe glich 160 mm, die Breite 23 mm. Auf den Umfang wurde ein Kupferband gelegt und befestigt, deren Dicke 0,07 mm beträgt. Fest anliegend an dieses Band wurde das Dielektrikum befestigt. Aus den Dielektrika wurden Ebonit, Paraffin und Schwefel gewählt. Der Ebonitring war abgedreht, auf seine Scheibe aufgeschoben und darauf zentriert. Paraffin und Schwefel wurden auf diese Scheiben gegossen und nachher bis zu den festgelegten Abmessungen bedreht. Die Abmessungen aller Ringe waren folgende: der innere Durchmesser betrug 160 mm, der äußere 200, die Breite entlang dem Radius folglich 20 mm, die Stärke auch 20 mm.

Die Streifen, deren Anzahl 12 betrug, welche am Umfang des dielektrischen Ringes angebracht wurden, waren aus demselben Messingband ausgeschnitten, welches für den inneren Ring gebraucht wurde. Auf jedem Ring wurden 12 Rillen

von 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm Tiefe und Breite eingesägt. Die Streifen wurden bis zu einer Entfernung, welche nicht $\frac{1}{2}$ mm übertrifft, zusammengeschoben, daher erstreckten sich deren Enden etwas über die Ränder der Rillen, wodurch die Möglichkeit einer Reibung zwischen den Bürsten und dem Dielektrikum beseitigt wurde. Auf die seitlichen Ränder der Streifen wurde eine dünne Schicht Paraffin aufgetragen, auf welche eine Bandage aus 4—5 Windungen paraffinierten Seidenfadens angebracht und nachher von oben mit Paraffin begossen wurde. Zwischen den Bandagen blieb ein Streifen reinen Metalls von

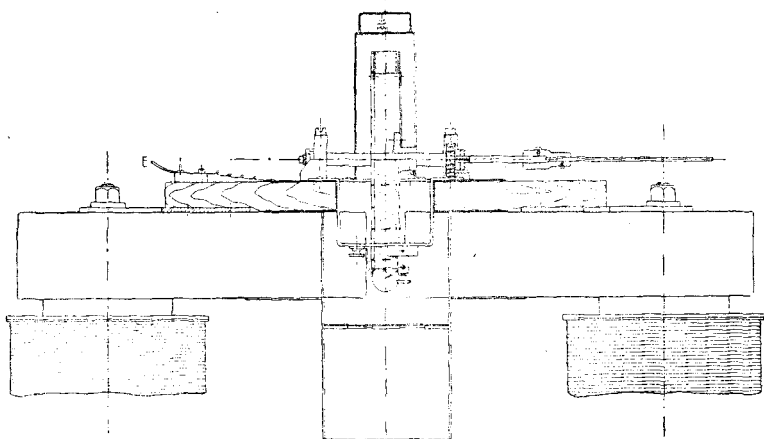


Fig. 5.

8—10 mm Breite frei. Die Isolation zwischen jedem Paar nebeneinander liegender Streifen wurde für einen jeden Ring bevor den Experimenten mit Hilfe des Elektrometers geprüft und erwies sich bei beschriebener Art der Befestigung der Streifen für durchaus zufriedenstellend.

Die Scheibe wurde auf eine Messingachse, welche in Kugellagern rotierte, gesetzt. Die letzteren waren an einem Grundbrett, welches an den Polen des Elektromagneten befestigt war, angeschraubt. Der Elektromagnet war auf eine breite Plattform gestellt. Auf nebenan stehendem Tisch wurde ein Motor gestellt, dessen Welle mittelst eines biegsamen Stahlstabes (Durchmesser 3 mm) mit der Achse des Apparates verbunden war.¹⁾

1) Die Details des Apparates sind auf der beigefügten Fig. 5 gezeigt.

Die Bürstchen (1) und (2) besaßen Enden aus demselben Messingband, welches für die Streifen gebraucht wurde. Bürstchen (1) und (4) waren auf einer Messingklammer, welche zum Grundbrett angeschraubt war, befestigt, wobei (1) auf Bernstein isoliert war. Bürstchen (2) und (3) wurden zusammengelötet, aber ein jedes konnte abgebogen werden, falls nur das andere arbeiten sollte. Beide wurden auf dem Messingkasten, welcher den oberen Teil der Scheibe zudeckte, befestigt, und hatten durch einen breiten Schlitz freien Durchgang. Der Schlitz wurde durch eine Falltür bedeckt. Der Kasten selbst wurde auf Ebonit isoliert und konnte mit der Erde verbunden werden.

Von der isolierten Schraube, in welcher das Bürstchen (1) eingepreßt wurde, ging ein Leiter zum Elektrometer. Der ganze Apparat und der Verbindungsleiter wurden von elektrostatischen Einflüssen ekraniert. Das Grundbrett wurde mit Messing umschlagen, die Scheibe und Bürstchen wurden von oben und unten mit Messingkästchen bedeckt. Das obere konnte abgehoben werden, das untere besaß Fallwändchen, so daß alle Teile des Apparates leicht zugänglich waren. Der Verbindungsleiter war durch ein Messingrohr geführt und auf Schwefel isoliert.

Als Elektrometer diente ein Quadrantenelektrometer mit Platindraht von 0,01 mm Durchmesser. Bei einem Hilfspotential von 90 Volt und einer Skalenentfernung von 3 m entsprach 0,001 Volt einer Ablenkung von ungefähr 1,1 mm.

Die beschriebene Gesamtanordnung wurde erst nach einer Reihe von Abänderungen des ganzen Apparates und seiner Einzelheiten, welche Abänderungen die Beseitigung der anfänglichen Schwankungen des Elektrometerfadens bezweckten, ausgearbeitet. Eine gänzliche Beseitigung der Schwingungen, welche durch die Deformationen im Dielektrikum, durch das Schlagen der Bürstchen und andere Ursachen hervorgerufen wurden, konnte nicht in allen Versuchen erreicht werden. Dieses konnte aber nicht, wie wir sehen werden, die Resultate beträchtlich beeinflussen.

Experimentelle Resultate.

Vor dem Anfang der Experimente wurde das Magnetfeld untersucht, zu welchem Zweck die magnetischen Spektre er-

halten und die Induktion des Hauptfeldes und des Streufeldes in verschiedenen Teilen gemessen wurden. Die entsprechenden Resultate dienten zur Kontrolle der Größe der induzierten EMK. E , welche unmittelbar mit Hilfe des Messingringes bei direkter Wirkung auf das Elektrometer der EMK., welche im ersten induziert, festgestellt wurde. Dazu wurde das Bürstchen (4) anstatt (1) gestellt und (2) mit der Erde verbunden. Die Ablesungen wurden bei der Kommutation des Stromes in der Wicklung des Elektromagneten nach der Differenz der Lagen des Fadens, in welcher er sich vor und nach dem Umschalten des Stromes befand, gemacht. Wie im gegebenen Falle, so auch bei den Beobachtungen mit den Dielektrika, wurden sechs Ablesungen für die hintereinander folgenden Umschaltungen des Stromes nach der einen oder anderen Seite gemacht. Von den sechs Ablesungen, welche eine Serie bildeten, wurden die mittleren Größen festgestellt, welche ferner in den Tabellen angeführt sind. Bei der Messung der induzierten EMK. E waren die Konstanz und Stabilität der Ablenkungen dieselben, wie bei der direkten Wirkung einer äußeren EMK. auf das Elektrometer. Wir führen in der Tab. I diejenigen von den auf diese Art gefundenen Werten,

Tabelle I.

$i \backslash n$	700	800	1000	2000	2400
3,5	66	75	94	186	—
7	—	—	115	228	275

welche wir im folgenden benötigen. Die Tabelle gibt die Ablenkungen in Millimeter bei Kommutationen des Stromes im Elektromagneten an; sie entsprechen der vollen EMK. der Induktion E . n bedeutet die Tourenzahl pro Minute laut der Angabe des Tachometers, i die Stromstärke in Amperen. Es war keine Notwendigkeit vorhanden, die Genauigkeit des Tachometers und Amperemeters festzustellen, da sie bloß als Kontrollinstrumente dienten.

Von den Dielektrika wurde zuerst Ebonit untersucht. Mit dem unbeweglichen Streifen k wurden Beobachtungen nur

bei maximaler Geschwindigkeit und Stromstärke gemacht, da dank der unbedeutenden Kapazität die Ablenkungen in diesem Falle klein sind. Die von der Wirkung des Magnetfeldes unabhängigen Ablenkungen betrafen 3 bis 5 mm; irgendwelche andere Verschiebungen oder Schwankungen des Fadens wurden bei normalen Verhältnissen nicht beobachtet. Bei $n = 2400$ und $i = 7$ Amp. wurden für einen Ebonitring bei den Kommutationen des Stromes für beide Drehrichtungen 6 mm große Ablenkungen erhalten. Die Potentialdifferenz des Elektrometers betraf folglich 0,022 (vgl. Tab. I) der Gesamtspannung der Induktion. Beim Anschluß des Messingringes wurden ebenfalls Ablenkungen von $2\frac{1}{2}$ mm in einer bei denselben Bedingungen der vorigen entgegengesetzter Richtung beobachtet. Das betrifft $-0,009$ der ganzen. Bei Graduierung mittels der äußeren EMK. wurde für das Verhältnis V_e/E 0,031 gefunden.

Beim System der isolierten Streifen und zweier Bürstchen waren die Ablenkungen, unabhängig vom magnetischen Feld, gewöhnlich 5–20 mm. Schwankungen des Fadens wurden nicht beobachtet, aber bei großen Geschwindigkeiten verschob er sich nicht selten langsam auf der Skala in einer Richtung. Das führte zur Ungleichheit der Ablenkungen nach beiden Richtungen. So z. B. waren für Bürstchen (1) und (2) bei $n = 2000$ pro Min., $i = 3,5$ Amp. und bei der Drehung, entgegengesetzt dem Uhrzeiger, die hintereinander folgenden Ablenkungen bei der Kommutation des Stromes in der Spule des Elektromagneten: $+23, -18, +24, -18, +23, -18$; bei $n = 800$: $+9, -8, +9, -9, +9, -8$. Bei Gegenschluß, d. h. bei Bürstchen (1) und (4), wurden ebenfalls Ablenkungen, welche mit den bei (1) und (2) beobachteten ähnlichen Charakters waren, festgestellt.

Bei drei und vier Bürstchen waren die konstanten Ablenkungen größer, als in den vorigen Fällen. Es wurden auch unregelmäßige Schwankungen des Fadens beobachtet, welche manchmal 10–20 mm erreichten; gewöhnlich waren sie aber nicht groß und verzerrten die Ablesungen nur in geringem Grade. Als Beispiel führen wir folgende Resultate an: bei vier Bürstchen für $n = 2000$ und $i = 7$ Amp. betrafen die Ablenkungen bei einer dem Uhrzeiger entgegengesetzter Drehung:

+ 24, - 25, + 33, - 30, + 30, - 25; bei Drehung nach Uhrzeiger: - 25, + 30, - 30, + 28, - 28, + 26.

Bei Graduierungen vermittelt der äußeren EMK. wurden in allen Fällen Ablenkungen bei der Kommutation einer Spannung von 0,2 Volt beobachtet. Dabei war das allgemeine Bild der Ablenkungen genau demjenigen ähnlich, welches bei der Wirkung des magnetischen Feldes erhalten war. Alle Ablesungen wurden in derselben Ordnung geführt. Die Drehgeschwindigkeit wurde ohne bemerkenswerte Änderung der Mittelablenkungen in breiten Grenzen geändert, was auch zu erwarten war.

Die für den Ebonitring erhaltenen Resultate sind in der Tab. II angeführt.

Tabelle II.

Ebonit.

		$n = 800$	$n = 2000$	$n = 2000$	V_e/E	
		$i = 3,5$	$i = 3,5$	$i = 7$	EMK. d. Ind.	Äuß. EMK.
(1), (2)	↙	9	21	27	0,117	0,132
	↘	-8	-21	-26		
(1), (4)	↙	-3	-7	-11	-0,041	—
	↘	3,5	7	9		
(1), (2), (3)	↙	27	58	72	0,335	0,453
	↘	-27	-61	-77		
(1), (2), (3), (4)	↙	-10	-23	-28	-0,122	—
	↘	9	21	28		

Das Minuszeichen bedeutet die Änderung der Ablenkungsrichtung im Verhältnis zu den Ablenkungen der ersten Reihe. Die erste vertikale Säule zeigt, bei welchen Bedingungen, d. h. bei welcher Kombination der Bürstchen, die Beobachtungen ausgeführt wurden. Die vorletzte Säule gibt das mittlere Verhältnis der beobachteten Ablenkung zur Ablenkung für die gesamte EMK. der Induktion, d. h. welches den Zahlen der Tab. I u. II entspricht. In der letzten Säule sind dieselben Verhältnisse V_e/E , welche bei Graduierung vermittelt der äußeren EMK. erhalten wurden, angeführt.

Wie die Zahlen der zwei letzten Säulen zeigen, wurde bei drei und vier Bürstchen keine volle EMK. erreicht, wie beim Wirken des Magnetfeldes, so auch für die äußere EMK. Das kann dadurch erklärt werden, daß parallel mit der Kapazität des Verbindungsleiters und des Elektrometers die Kapazität der äußeren Fläche der Streifen bezüglich der Pol- und Ekranierungsflächen, d. h. der Erde, angeschlossen ist. Bei den Versuchen mit dem unbeweglichen Streifen und zwei Bürstchen beträgt diese Kapazität einen kleinen Teil von c_e . Bei Anwendung eines Entladebürstchens wächst sie aber ebenso unendlich an, wie die aktive Kapazität des Dielektrikums und letztere schountierend setzt sie die auf das Elektrometer einwirkende EMK. herab. Das Maß dieser Herabsetzung, α , welche vom Verhältnis der entsprechenden Kapazitäten abhängt, gibt die Größe, welche bei der Graduierung vermittelt der äußeren EMK. gefunden wurde. Wir werden sie beziehen auch zum Falle der Wirkung der EMK. der Induktion, was nicht ganz streng ist, da die in verschiedenen Fällen wirkenden Kapazitäten nicht ganz identisch sind.

Für Paraffin war der Beobachtungsgang ebenso wie für Ebonit. Der Charakter aller Ablenkungen unterscheidet sich nicht vom für das letztere Beschriebenen, obgleich alle Resultate etwas weniger gleichmäßig und die Schwankungen der einzelnen Ablesungen etwas größer waren. Bei unbeweglichen Streifen wurden für $n = 2400$ und $i = 7$ Amp. Ablenkungen gleich 3 mm und bei Entgegenschluß -3 mm für beide Drehrichtungen beobachtet, was 0,011 und $-0,011$ der gesamten EMK. der Induktion ergibt. Bei der Graduierung vermittelt der äußeren EMK. wurde für das Verhältnis V_e/E 0,023 erhalten.

Die Angaben für den Paraffinring mit einem System isolierter Streifen sind in der Tab. III angeführt.

Für den Schwefelring wurden keine Beobachtungen mit unbeweglichen Streifen gemacht, da dank der Sprödigkeit des Schwefels keine bedeutende Drehgeschwindigkeit zugelassen werden konnte. Bei auf die Fläche des Ringes aufgelegten Streifen wurde seine Festigkeit einigermaßen durch Seidenbandagen gesichert, obgleich auch bei diesen Bedingungen wurde die Drehgeschwindigkeit 1000 Touren pro Minute nicht überschritten. Die Ablenkungen für den Schwefelring waren

Tabelle III.

Paraffin.

		$n = 800$	$n = 2000$	$n = 2000$	V_e/E	
		$i = 3,5$	$i = 3,5$	$i = 7$	EMK. d. Ind.	Äuß. EMK.
(1), (2)	↗	4	8	10	0,048	0,09
	↘	-4	-9	-10		
(1), (4)	↗	-4	-8	-9	-0,043	—
	↘	4	8	9		
(1), (2), (3)	↗	13	42	58	0,22	0,37
	↘	-15	-42	-55		
(1), (2), (3), (4)	↗	-11	-27	-40	-0,16	—
	↘	11	32	38		

ebenso gleichmäßig, wie für Ebonit. Die erhaltenen Resultate sind in der Tab. IV angeführt.

Tabelle IV.

Schwefel.

		$n = 700$	$n = 1000$	$n = 1000$	V_e/E	
		$i = 3,5$	$i = 3,5$	$i = 7$	EMK. d. Ind.	Äuß. EMK.
(1), (2)	↗	7	10	13	0,108	0,15
	↘	-7	-10	-13		
(1), (4)	↗	-4	-5	-6	-0,053	—
	↘	3	5	6		
(1), (2), (3)	↗	21	29	34	0,30	0,48
	↘	-20	-29	-33		
(1), (2), (3), (4)	↗	-11	-14	-15	-0,145	—
	↘	10	13	15		

Die in den Tabbl. I—IV angeführten Angaben stellen bloß einen Teil des erhaltenen Materials dar. In den Versuchen, welche den beschriebenen vorangingen, variierte die Drehgeschwindigkeit von 600—2000 Umdrehungen pro Minute und

die Stromstärke von 1,5—7 Amp., nach geringen Stufen. Die diesbezüglichen Resultate werden nicht angeführt, weil vor den letzten Beobachtungen Verbesserungen gemacht wurden, welche einige der erhaltenen Zahlen beeinflussen. Der allgemeine Charakter der Angaben blieb jedoch unverändert.

In diesen provisorischen Versuchen wurde in größerem Maße die wertvolle Eigenschaft des Entladebürstchens (3), welche die Erreichung bedeutender Ablenkungen ermöglicht, ausgenutzt. Bei seiner Anwendung ist der Gebrauch einer erhöhten Sensibilität des Elektrometers zulässig, ungeachtet der entsprechenden Kapazitätsvergrößerung. Dank dem letzteren Umstande wird in den Versuchen mit unbeweglichem Streifen und zwei Bürstchen keine bedeutende Vergrößerung der Ablenkungen erhalten. Beim Bürstchen (3) spielt die Kapazität des Elektrometers keine Rolle und die Ablenkungen wachsen seiner Empfindlichkeit proportional an. So z. B. in den erwähnten Vorversuchen war die Empfindlichkeit des Elektrometers 3,5 mm auf 0,001 Volt bei einem Potential des Bisquits gleich 180 Volt. Für den Ebonitring bei den Bürstchen (1) und (2) erreichten die Ablenkungen 30 mm bei $n = 2000$ und $i = 7$ Amp. (in den Angaben der Tab. II 27 mm), und bei Bürstchen (1), (2) und (3) bis 200 mm (in Tab. II 77 mm). Für Paraffin waren die Ablenkungen bei drei Bürstchen bis 150 mm und für Schwefel bis 90 mm. Die letzten beschriebenen Versuche waren bei verkleinerter Empfindlichkeit dank zufälligen Ursachen ausgeführt.

Die Betrachtung der angeführten Angaben läßt den Schluß ziehen, daß der ganze Charakter der Ablenkungen, besonders die Ablenkungen beim Gegenschuß des Leiters und Dielektrikums, nicht nach der Hertzschen Theorie erklärlich sind. Daher sind die allgemeinen Resultate vom Standpunkte der Lorentzschen Theorie in der Tab. V gruppiert. In derselben sind die in den Tab. II—IV angeführten Verhältnisse V_e/E , welche den in Tab. V angegebenen Koeffizienten gleich sind, zusammengefaßt.

Die Zahlen, welche in der Tab. V angeführt sind, erlauben auf neuerlei Arten die Dielektrizitätskonstante der untersuchten Dielektrika bei der Vergleichung der entsprechenden Resultate festzustellen, wobei die Größe der Konstante auf Grund un-

mittelbarer und eindeutiger Angaben bloß eines Meßinstruments, des Elektrometers, zu berechnen ist. Die Tab. VI gibt diese Größe für die Dielektrizitätskonstante.

Die Größe des Verhältnisses V_e/E bei Bürstchen (1) und (2) für Ebonit scheint zu hoch erhalten zu sein (vgl. Säule IV, Tab. V). Die Größe der Dielektrizitätskonstanten auf Grund dieser und der Graduierungsziffer gleicht 8,5, was unzulässig hoch ist. Entsprechend diesem ist die Konstante für Ebonit laut Angaben der Säule IV und VI zu klein. Es lenkt auf sich die Aufmerksamkeit auch der Umstand, daß die Größe der Koeffizienten $c_1/c_1 + c_e$ und α bei der Graduierung vermittelt der äußeren EMK. für Ebonit kleiner sich erwies, als für Schwefel (vgl. Tab. V), ob-

Tabelle V.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	$\frac{\epsilon c}{\epsilon c + c_e} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$	$-\frac{\epsilon c}{\epsilon c + c_e} \cdot \frac{1}{\epsilon}$	$\frac{\epsilon c}{\epsilon c + c_e}$	$\frac{\epsilon c_1}{\epsilon c_1 + c_e} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$	$-\frac{\epsilon c_1}{\epsilon c_1 + c_e} \cdot \frac{1}{\epsilon}$	$\frac{\epsilon c_1}{\epsilon c_1 + c_e}$	$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \cdot \alpha$	$-\frac{1}{\epsilon} \cdot \alpha$	α
Ebonit	0,022	-0,009	0,031	0,117	-0,041	0,132	0,335	-0,122	0,453
Paraffin	0,011	-0,011	0,023	0,048	-0,043	0,09	0,22	-0,16	0,37
Schwefel	—	—	—	0,108	-0,053	0,15	0,30	-0,145	0,48

Tabelle VI.

Dielektrizitätskonstante									
	I u. III	II u. III	I u. II	IV u. VI	V u. VI	IV u. V	VII u. IX	VIII u. IX	Mittel
Ebonit	3,4	3,4	3,4	—	3,2	3,8	3,7	3,7	3,5
Paraffin	1,9	2,1	2,0	1,9	2,1	2,1	2,3	2,4	2,1
Schwefel	—	—	—	3,6	2,8	3,0	3,3	3,1	3,1

gleich Tab. VI die Dielektrizitätskonstante letzterer kleiner angibt.

Die Lorentzsche Theorie erlaubt also augenscheinlich, die in den beschriebenen Bedingungen erhaltenen Resultate vollkommen befriedigend zu erklären. Die Nichtübereinstimmung einzelner Angaben kann einigen Unvollkommenheiten der Gesamtanordnung zugeschrieben werden.

Das Experiment mit Luft.

Ein der Lorentzschen Theorie entsprechendes Resultat ergab auch der Versuch mit Luft, den Versuchen von Blondlot analogisch.

Dieser Versuch wurde folgendermaßen angeordnet. Zu den Polschuhen des Elektromagneten, welcher in den vorigen Versuchen benutzt war, waren Endstücke in der Form dreieckiger Prismen mit abgeschnittenen Rippen angeschraubt. Deren stumpfe Enden besaßen eine Höhe von 15 und eine Länge von 120 mm, entsprechend der Breite der Schuhe. Die Entfernung zwischen den Endstücken war 18 mm. Die Induktion des magnetischen Feldes in diesem Spalt betraf 6000 Gauss bei 8 Amp. in der Spule des Elektromagneten. Im Spalt war eine Röhre von rechteckigem Querschnitt mit den Abmessungen 9×10 mm gesetzt, durch welche Luft geblasen wurde. Die Röhre wurde auf folgende Weise angefertigt. Die obere und untere Kante stellten Messingstreifen dar, die Seitenwände, welche an die ersteren vermittelt Schraubchen befestigt wurden, waren aus Glimmer. Alle Undichtheiten wurden mit Schwefel ausgefüllt. Außerhalb des Spaltes zwischen den Polen erweiterte sich die Röhre und ging in eine runde Messingröhre über. In Fig. 6 ist schematisch die Einrichtung der Röhre und ihre Lage hinsichtlich der Pole des Elektromagneten dargestellt.

Der obere Streifen war isoliert und mit dem Elektrometer verbunden. Wie dieser, so war auch der Verbindungsleiter peinlich vor äußeren Einwirkungen geschützt.

Die Luft wurde vermittelt einer Luftpumpe, welche bis 60 cbm pro Stunde liefern konnte, durchgeblasen. Die Geschwindigkeit der Luft wurde auf Grund der Angaben eines graduierten Gasmessers und des Röhrenquerschnitts gemessen.

Die Beobachtungen wurden bei einer Geschwindigkeit von 140 m/sec gemacht. Die EMK., welche solcher Geschwindigkeit und einer Induktion von 6000 Gauss entspricht, gleicht 0,75 Volt, bei der Kommulation des Stromes im Elektromagnet folglich 1,5 Volt.

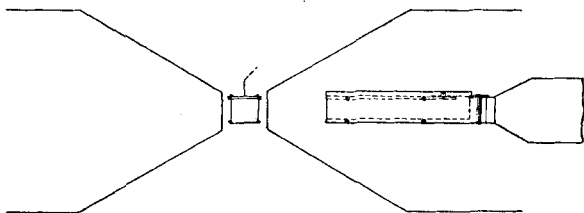


Fig. 6.

Die Kapazität des isolierten Streifens bezüglich des unteren kann gleich 1 cm angenommen werden, wenn wir sie als die Kapazität eines flachen Kondensators betrachten sollen, was in der Voraussetzung eines positiven Resultats zulässig ist. Die Kapazität des ganzen Systems war gleich 60 cm gefunden. Folglich, falls in der Luft eine Verschiebung entsprechend der Hertzschen Theorie auftreten soll, so muß bei der Kommulation des Stromes das Potential des Elektrometers sich um

$$V_e = \frac{1}{60} \cdot 1,5 \text{ Volt} = 0,025 \text{ Volt}$$

ändern. Die entsprechende Ablenkung des Elektrometers ist 27 mm. In Wirklichkeit wurde keine Ablenkung festgestellt. Nebensächliche Ablenkungen, welche auf Rechnung der Reibung der Luft den Wandungen der Röhre entlang gezogen werden können, waren unbedeutend, indem sie kaum 20—30 mm erreichten. Einige Schwankungen des Fadens traten dank der Unfestigkeit des Schwefels auf; trotzdem hätte man leicht Ablenkungen von 2—3 mm, d. h. 0,1 der Größe, welche aus der Hertzschen Theorie folgt, beobachten können.

Zusammenfassung.

Wir formulieren die allgemeinen Resultate der oben beschriebenen Versuche.

1. In den im magnetischen Feld rotierenden Dielektrika: Ebonit, Paraffin und Schwefel, ist eine elektrische Verschiebung,

welche der Drehgeschwindigkeit und der magnetischen Induktion des Feldes proportional ist und welche der Größe nach der Lorentzschen Theorie entspricht, festgestellt worden.

2. Bei Hintereinanderschaltung eines Leiters und Dielektrikums und bei deren gemeinsamer Drehung im magnetischen Felde, nämlich so, daß ihre EMK. der Induktion entgegengerichtet sind, wurde bei den beschriebenen Bedingungen im Dielektrikum ebenfalls eine elektrische Verschiebung erhalten, welche derselben Theorie entspricht.

3. Es wurde die Abwesenheit einer elektrischen Verschiebung in der Luft, die sich im magnetischen Feld bewegt, konstatiert.

4. Die Resultate beider Versuche widersprechen der Hertzschen Theorie; nach der Lorentzschen Theorie scheint eine befriedigende Erklärung der bei gegebenen Bedingungen erhaltenen Resultate möglich.

Die vorliegende Arbeit wurde unter Leitung des Hrn. Prof. W. F. Mitkewitsch in seinem Laboratorium am St. Petersburger Polytechnischen Institut ausgeführt. Ich erlaube mir, hier Hrn. Prof. Mitkewitsch meinen tiefsten Dank für die stetige Aufmerksamkeit der Arbeit gegenüber und für zahlreiche Anleitungen und Ratschläge, betreffend den allgemeinen Gang der Arbeit, wie auch ihre Details, auszudrücken.

(Eingegangen 13. Juli 1914.)
