

Quantitative Versuche über den Rowlandeffekt.

Von

F. Himstedt.

In seiner Dissertation Paris 1901 sowie in mehreren Mitteilungen in den C. R. der Pariser Akademie für 1902 hat Herr CRÉMIEU eine Reihe von Versuchen beschrieben, durch die er beweisen zu können glaubt, dass die elektrische Konvektion einer elektromagnetischen Wirkung nicht fähig sei, und dass somit die früheren Beobachter bei ihren Arbeiten sich geirrt hätten¹.

Auf die abweisenden Bemerkungen, welche Herr CRÉMIEU in seiner Dissertation S. 41 über meine Beobachtungen macht, glaube ich nicht ausführlicher eingehen zu sollen, da sie, soviel ich sehe, alle auf unrichtiger Auffassung resp. Wiedergabe meines Textes beruhen. So schreibt z. B. Herr CRÉMIEU: „H. observait les élongations et il ne parle pas de déviations permanentes.“ In meiner Arbeit S. 565 heisst es: „Es wurden stets nur definitive Einstellungen abgelesen, nicht Schwingungsbeobachtungen gemacht.“ Ebenso heisst es bei Herrn CRÉMIEU: „Je ne crois pas que le système magnétique de M. H. pouvait donner pour de pareils courants des impulsions de 40 à 100 mm à 1 Mtr.“ Abgesehen davon, dass es Herrn CRÉMIEU an der nötigen Unterlage fehlt, die Stärke der in meinem Apparate auftretenden Ströme zu berechnen, ist wieder unzutreffend die Angabe, dass ich in 1 m Skalenabstand

¹ ROWLAND, Ber. d. Berl. Akad. 1876 S. 211; RÖNTGEN, Ber. d. Berl. Akad. 1885 S. 198; ROWLAND u. HUTCHINSON, Philos. Mag. 1889 XXVII S. 445; HIMSTEDT, Wied. Ann. 38 1889 S. 560.

beobachtet hätte, — S. 564 a. a. O. steht deutlich 3 m — und ist ebenso unrichtig die bei gleicher Gelegenheit gemachte Annahme, der Abstand der rotierenden Scheiben von dem Magnetsysteme habe 3 cm betragen, er betrug noch nicht ganz 1,5 cm u. s. w.

Nur in einem Punkte stimme ich mit Herrn CRÉMIEU überein, dass nämlich eine endgültige Entscheidung der Frage nur durch quantitative Messungen erfolgen kann. Ich hatte solche schon 1889 vorbereitet, habe aber ausser aus andern Gründen auch um deswillen damals Abstand davon genommen, weil solche Messungen, wie bekannt, im gleichen Jahre von ROWLAND und HUTCHINSON ausgeführt waren, und nach meiner Ansicht in überzeugender Weise das Vorhandensein des Rowlandeffektes dargetan hatten.

Gegenüber den wieder und wieder und immer lauter und bestimmter ausgesprochenen Behauptungen des Herrn CRÉMIEU, es existiere absolut keine elektromagnetische Wirkung der elektrischen Konvektion, schien es mir jedoch unerlässlich, von neuem möglichst sorgfältige quantitative Versuche auszuführen.

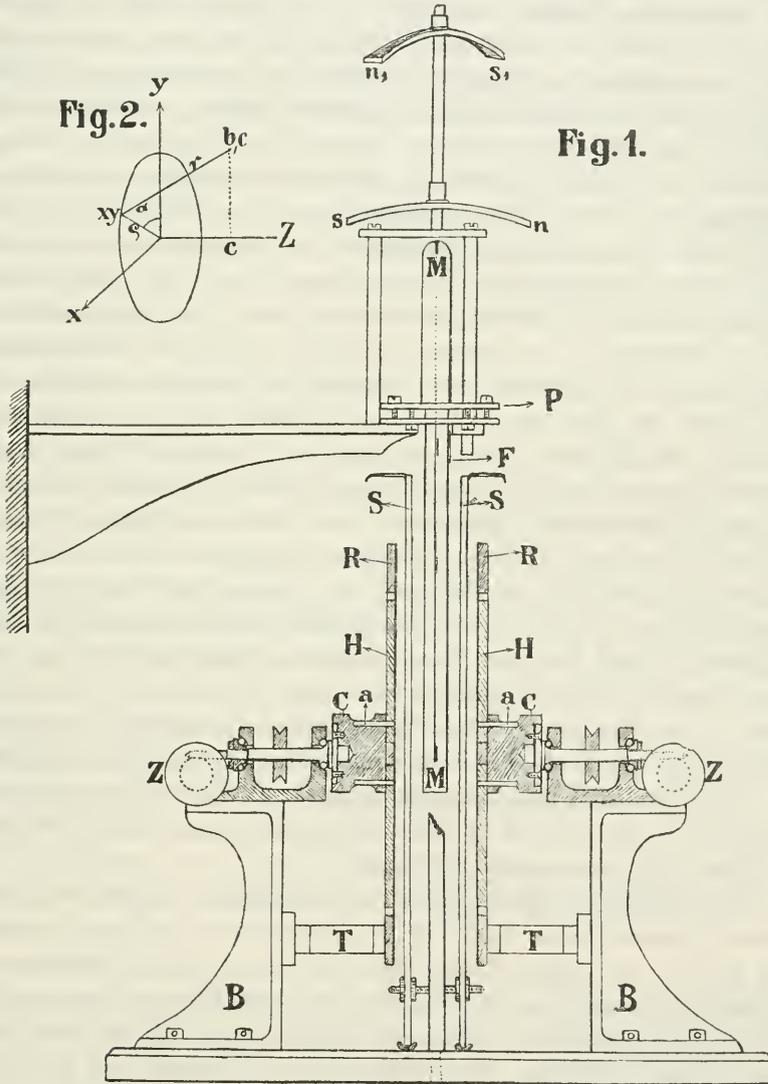
Bei der Konstruktion des Apparates habe ich mich eng an die Versuchsanordnung angeschlossen, welche bei meinen früheren Versuchen gute Resultate ergeben hatte¹. Mit einem von Herrn Mechaniker ELBS hier nach meinen Angaben ausgeführten Apparate habe ich vom 2. Oktober 1901 bis 18. Februar 1902 Versuche angestellt, deren Resultate, die weiter unten mitgeteilt werden sollen, eine so gute Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung zeigen, wie man sie bei so schwierigen Messungen nur erwarten kann. Trotzdem entschloss ich mich, weil mich die Anordnung in zwei später zu erwähnenden Punkten nicht ganz befriedigte, einen neuen Apparat bauen zu lassen, mit dem ich vom 18. September 1902 bis 13. April 1903 Versuche anstellte. Die vollständige Uebereinstimmung der Resultate dieser Versuche mit denen der oben erwähnten scheint mir um so beweisender zu sein, als ausser dem Beobachtungsfernrohr tatsächlich auch kein einziger Apparatenteil beiden Versuchsreihen gemeinsam ist.

Wenngleich nun inzwischen schon eine ganze Reihe von Physikern² durch ihre Arbeiten nachgewiesen haben, dass entgegen der Behauptung des Herrn CRÉMIEU der Rowlandeffekt tatsächlich vor-

¹ A. a. O. S. 564.

² Bekannt geworden sind mir die Arbeiten der Herren WILSON, ADAMS, PENDER, EICHENWALD.

handen ist, so glaube ich meine Rechnungen und Beobachtungen dennoch in extento mitteilen zu sollen, weil ich der Ansicht bin, dass in einer so wichtigen Frage eine quantitative Bestätigung stets ihren Wert behält.



Beschreibung des Apparates.

Fig. 1 gibt einen Vertikalschnitt durch den zweiten der oben erwähnten Apparate. *M.M* ist das Magnetometer. Das astatische

Nadelpaar war einem DUBOIS-RUBENSSchen Galvanometer entnommen und an einem dünnen Aluminiumdrahte so befestigt, dass der Mittelpunkt des unteren Magnets mit dem Mittelpunkte der Scheiben *H* zusammenfiel, der obere Magnet ca. 1 cm über dem oberen Rande der rotierenden Scheiben sich befand. Der Kupferdämpfer bestand aus zwei Streifen von Elektrolytkupfer je 0,6 cm dick, 5 cm breit, ca. 25 cm lang, die, nachdem in ihnen die Aussparungen für das Magnetsystem und den Spiegel angebracht waren, aufeinander geschraubt und luftdicht verkittet waren. Der Kupferdämpfer war angelötet an die Messingplatte *P*, welche mit sechs Zug- und Druckschrauben auf einem Träger befestigt war, der, wie K. R. KOCH¹ beschrieben hat, in einer Mauerecke der Hauptfundamentmauern des hiesigen physikalischen Institutes quer übers Eck, also in beide zusammenstossende Mauern eingemauert war. Das Magnetsystem war an einem ca. 15 cm langen sehr feinen Quarzfaden aufgehängt, und über die Aufhängung war ein dicht schliessendes Messingrohr geschoben, so dass das System vollkommen dicht in ein Metallgehäuse eingeschlossen war, das nur bei *F* ein nicht ganz 2 cm grosses Fenster für die Spiegelablesung besass. Trotzdem bei sorgfältigster Untersuchung sich gezeigt hatte, dass das System in dieser zur Erde abgeleiteten Hülle vollkommen von äusseren elektrostatischen Wirkungen geschützt war, habe ich bei den meisten Versuchen das Glasfenster noch mit einem Drahtgitter bedeckt, durch dessen Maschen hindurch bei guter Beleuchtung der Skale die Ablesung mit dem Fernrohr keine Schwierigkeiten bot. Bei einigen Versuchen habe ich auf das Fenster einen Metalltrichter von solcher Länge aufgesetzt, dass sein Ende weit über die geladenen Scheiben hinausragte.

Die gekreuzten Richtmagnete gestatteten, die Schwingungsdauer des Systems stets auf ca. 30 Sekunden einzustellen. Die Dämpfung war dann noch nicht ganz aperiodisch.

Die rotierenden Scheiben *H* aus Hartgummi hatten bei dem ersten Apparate einen Durchmesser von 20 cm, bei dem zweiten von 30 cm, und waren 5 mm dick. Sie waren auf die Hartgummi-zylinder *C* von ca. 6 cm Durchmesser und 6 cm Länge aufgeschraubt, und in diesen letzteren waren, wie aus der Figur zu ersehen, die Metallachsen befestigt. Diese bestanden aus Hartguss und liefen in einem Kugellager, dessen Kugeln aus Neusilber hergestellt waren.

¹ K. R. KOCH, Relative Schweremessungen, ausgeführt im Auftrag des Kgl. Ministeriums des Kirchen- und Schulwesens, Stuttgart 1901 S. 358.

An dem Ende jeder Achse befand sich ein Zählwerk *Z*. Durch jede der Hartgummischeiben hindurch sind in die Hartgummizylinder je sechs Stifte *a* eingeschraubt, die vorn eben mit der Scheibe abgedreht sind, hinten aber, dadurch dass eine Rinne in den Zylinder eingedreht ist, sozusagen einen Kollektor bilden, auf welchem der Zuleitungsdraht für die Ladung der Scheiben leicht federnd schleift. Die Hartgummischeiben sind auf der Innenseite versilbert und diese Versilberung ist zunächst in sechs ganz voneinander isolierte Sektoren geteilt, so dass jeder Sektor mit einem der oben erwähnten Stifte in Verbindung steht. Jeder Sektor ist dann noch einmal durch drei radiale Schnitte in Unterabteilungen geteilt, die aber alle nahe dem Mittelpunkte der Scheibe zusammenhängen. *R* ist ein Messingring, der als Schutzring die rotierenden Scheiben umgibt und durch Träger wie *T* fest mit den Böcken des Achsenlagers verschraubt ist.

SS sind zwei Spiegelglasplatten von 40×50 cm, welche durch sechs Schrauben (wie eine in der Figur angedeutete) gehalten, genau vertikal und damit den ebenfalls vertikal stehenden rotierenden Scheiben parallel gestellt werden konnten. Rings am Rande war an die Spiegelglasscheiben, wie in der Figur am oberen Rande angedeutet, ein steifer Karton angeklebt, welcher den enormen Luftzug, der bei der Rotation der Scheiben entstand, abfangen und von dem Magnetsystem abhalten sollte. Auf der den Hartgummischeiben zugekehrten Seite waren die Spiegelglasplatten versilbert, und war die Versilberung in derselben Weise wie bei den rotierenden Scheiben durch radiale Schnitte in Unterabteilungen geteilt. Die Ableitung der Versilberung zur Erde erfolgte durch die Halteschrauben. Auf der dem Magnetsysteme zugekehrten Seite war auf jede Glasplatte ein Staniolring von 2 mm Breite und 10,3 cm Radius aufgeklebt, der nach Art des Ringes einer Tangentenbussole mit zwei dicht nebeneinander laufenden Stromzuleitungen versehen war.

Durch Verstellen der Befestigungsschrauben der Glasplatten war es möglich, den Abstand der Kreisringe von dem Magnetsystem auf jeden gewünschten Betrag einzustellen. Unabhängig hiervon konnte durch Verstellen der Lagerböcke *B* der Abstand jeder Hartgummischeibe von der ihr gegenüberstehenden Spiegelglasplatte, also die Dicke des Dielektrikums zwischen diesen Kondensatorplatten reguliert werden. Mit Ausnahme der Hartgummipplatten und ihrer Schutzringe waren alle Apparateile, und zwar jeder für sich, durch

gute Leitungen an Erde gelegt. Der Antrieb der Scheiben erfolgte durch einen einpferdigen Elektromotor, der, in 11 m Entfernung aufgestellt, auf ein Vorgelege arbeitete, von dem aus Schnurläufe über die an der Achse des Apparates gezeichneten Rollen führten. Dieselben waren nicht aus Metall, sondern aus Hartgummi, weil sich gezeigt hatte, dass bei diesem Material das Gleiten der Schnüre bedeutend geringer und infolgedessen die Rotation der Scheiben viel gleichmässiger war. Der Apparat, mit dem die erste Versuchsreihe ausgeführt wurde, unterschied sich von dem eben beschriebenen in folgenden Punkten:

1. die Scheiben hatten 10 cm statt 15 cm Radius;
2. die Schutzringe um die Scheiben fehlten;
3. die Staniolringe auf den Innenseiten der Spiegelglasplatten fehlten. Um die Empfindlichkeit des Magnetsystems zu bestimmen, mussten nach jedem Rotationsversuche die Böcke mit den Hartgummischeiden entfernt und an ihrer Stelle zwei Drahringe aufgestellt werden, durch welche ein das Magnetsystem ablenkender Strom von bekannter Stärke geschickt werden konnte;
4. die Rotationsapparate hatten Zapfenlager, nicht wie hier Kugellager.

Berechnung eines Versuches.

Wir bezeichnen das magnetische Moment des unteren Magneten unseres astatischen Paares mit M_1 , das des oberen mit M_2 und nennen die Kraft, welche ein Strom von 1 Amp., der den auf die Innenseite der Spiegelglasplatte geklebten Staniolring (resp. den eben erwähnten, an die Stelle der rotierenden Scheibe gestellten Drahring) durchfließt, parallel der Achse dieses Ringes auf einen Einheitspol an der Stelle von M_1 resp. M_2 ausübt, Z_1 resp. Z_2 . Wird das Magnetsystem dann durch einen Strom von der Stärke i um den Winkel g abgelenkt, so gilt offenbar die Gleichung

$$1) \quad i (M_1 Z_1 + M_2 Z_2) \cos g = (M_1 - M_2) H \sin g$$

wo H die Horizontalintensität ist.

Bezeichnen wir ebenso die Kraft, welche die geladenen rotierenden Scheiben auf einen Einheitspol am Orte des unteren resp. des oberen Magneten senkrecht zum Meridian ausüben mit Z_1 und Z_2 und nennen die bei einem Versuche beobachtete Ablenkung des Magnetsystems γ , so gilt entsprechend

$$2) \quad (M_1 Z_1 + M_2 Z_2) \cos \gamma = (M_1 - M_2) H \sin \gamma,$$

folglich

$$i = \frac{\operatorname{tg} g}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{M_1 Z_1 + M_2 Z_2}{M_1 Z_1 + M_2 Z_2}$$

Setzen wir $M_2 = M_1(1 - a)$ wo a ein echter und zwar kleiner Bruch sein wird, so können wir schreiben:

$$i = \frac{\operatorname{tg} g}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 + Z_2} \left\{ 1 - a \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) \right\}$$

Bei der Wahl der Dimensionen der in Betracht kommenden Apparateile war nun Bedacht darauf genommen, dass die mit a multiplizierte Klammergrösse höchstens den Wert $0,08$ hatte. Anderseits waren die Magnete des astatischen Paares mit Sorgfalt so gleich gemacht, dass a , wie direkte magnetometrische Messungen, die vor wie nach den Versuchen ausgeführt wurden, ergaben, kleiner als $0,002$ war. Bei der hier angestrebten resp. erreichbaren Genauigkeit darf also der Wert der grossen Klammer gleich 1 gesetzt werden. Z_1 und Z_2 lassen sich, wie im folgenden gezeigt werden wird, auf die Form bringen

$$Z_1 = \frac{P_1}{v}, \quad Z_2 = \frac{P_2}{v}$$

wo v das Verhältnis der elektrostatischen und elektromagnetischen Einheiten resp. die Lichtgeschwindigkeit bezeichnet. Für diese Grösse aufgelöst ergibt mithin die obige Gleichung

$$3) \quad v = \frac{1}{i} \frac{\operatorname{tg} g}{\operatorname{tg} \gamma} \cdot \frac{P_1 + P_2}{Z_1 + Z_2}$$

Alle im folgenden mitzuteilenden Versuche sind benutzt, um mit Hilfe dieser Gleichung die Grösse v zu berechnen.

Berechnung von Z_1 und Z_2 .

Drehungsmoment eines Kreisstromes auf das astatische Nadelpaar.

Die Ebene des Stromes falle zusammen mit der XY -Ebene, Fig. 2 S. 3, der untere Magnet liege auf der Z -Achse, habe also die Koordinaten $0, 0, c$, der obere Magnet senkrecht darüber habe die Koordination $0, b, c$. Auf einen im Punkte $0, 0, c$ befindlichen Magnetpol 1 übt der Strom von der Stärke I eine Kraft aus, deren Komponente parallel der Z -Achse sich berechnet zu

$$4) \quad Z_1 = \frac{2 \pi I^2}{(r^2 + c^2)^{3/2}}$$

wo ρ der Radius des Stromkreises ist. Entsprechend ergibt sich die Zkomponente auf einen Einheitspol im Punkte o, b, c

$$5) \quad Z_2 = \int_0^{2\pi} \frac{\rho(\rho - b \cos \alpha) d\alpha}{(\rho^2 - 2\rho b \cos \alpha + b^2 + c^2)^{3/2}}$$

Um dieses Integral auf die LEGENDRESCHEN Formen der elliptischen Integrale zurückzuführen, setzen wir

$$\alpha = \pi - 2\varphi, \quad (\rho + b)^2 + c^2 = s^2, \quad \frac{4\rho b}{s^2} = k^2, \quad \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} = \Delta$$

Dann wird

$$Z_2 = \frac{2\rho(\rho + b)}{s^3} \int_0^\pi \frac{d\varphi}{\Delta^3} - \frac{4\rho b}{s^3} \int_0^\pi \frac{\sin^2 \varphi d\varphi}{\Delta^3}.$$

Es ist

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\Delta} \right) &= \frac{\cos^2 \varphi}{\Delta^3} - \frac{\sin^2 \varphi}{\Delta} = \frac{1}{\Delta^3} + \frac{\Delta^2 - 1}{k^2 \Delta^3} - \frac{\sin^2 \varphi}{\Delta} \\ \frac{d}{d\varphi} \left(\frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\Delta} \right) &= \frac{1}{\Delta^3} \left(\frac{k^2 - 1}{k^2} \right) + \frac{\Delta}{k^2}. \end{aligned}$$

Integriert man beide Seiten zwischen 0 und π , so wird die linke Seite Null und man erhält mithin

$$\int_0^\pi \frac{d\varphi}{\Delta^3} = -\frac{1}{k^2 - 1} \int_0^\pi \frac{d\varphi}{\Delta} = -\frac{2}{k^2 - 1} E.$$

Weiter ist

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \frac{\sin^2 \varphi d\varphi}{\Delta^3} &= -\int_0^\pi \frac{1 - k^2 \sin^2 \varphi}{k^2 \Delta^3} d\varphi + \int_0^\pi \frac{d\varphi}{k^2 \Delta^3} \\ &= -\int_0^\pi \frac{d\varphi}{k^2 \Delta} + \int_0^\pi \frac{d\varphi}{k^2 \Delta^3} = -\frac{2}{k^2} K - \frac{2}{k^2(k^2 - 1)} E. \end{aligned}$$

Durch Einsetzen dieser Werte lässt sich Z_2 in die Form bringen

$$6) \quad Z_2 = \frac{2}{s^3(k^2 - 1)} [(b^2 + c^2 - \rho^2) E - (c^2 + [\rho - b]^2) K]^1.$$

¹ Nach G. WIEDEMANN, Elek. III 225 ist diese Reduktion auf die Normalform schon von SECCHI ausgeführt worden.

Berechnung von Z_1 und Z_2 .Drehungsmoment der rotierenden geladenen Scheiben auf das
astatische Nadelpaar.

Nach Formel 4 S. 7 ist die Z komponente der Kraft, mit welcher ein Kreisstrom von der Intensität i auf einen magnetischen Einheitspol im Punkte $0, 0, z$ wirkt,

$$Z_1 = \frac{2\pi\rho^2 i}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}}.$$

Bezeichnen wir die Dichte der Ladung auf der Scheibe mit ε , die Anzahl der Umdrehungen in der Sekunde mit n und mit v das Verhältnis der elektrischen Einheiten, so haben wir zu setzen

$$i = 2\pi\rho d\rho \frac{\varepsilon \cdot n}{v}$$

und erhalten dann für die von der ganzen Scheibe parallel der Z achse ausgeübte Kraft

$$7) \quad Z_1 = \frac{4\pi^2\varepsilon n}{v} \int_0^R \frac{\rho^3 d\rho}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{4\pi^2\varepsilon n}{v} \left\{ \frac{R^2 + 2z^2}{(R^2 + z^2)^{1/2}} - 2z \right\} = \frac{P_1}{v},$$

wo R der Radius der Scheibe ist.

Um die entsprechende Kraft auf einen Einheitspol im Punkte $0, b, z$ zu erhalten, gehen wir aus von der Formel 5

$$Z_2 = i \int_0^{2\pi} \frac{\rho(\rho - b \cos \alpha) d\alpha}{(\rho^2 - 2\rho b \cos \alpha + b^2 + z^2)^{3/2}}$$

setzen wieder $i = 2\pi\rho d\rho \frac{\varepsilon n}{v}$ und integrieren nach ρ zwischen den Grenzen 0 und R

$$8) \quad Z_2 = \frac{2\pi\varepsilon n}{v} \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{\rho^2(\rho - b \cos \alpha) d\rho d\alpha}{(\rho^2 - 2\rho b \cos \alpha + b^2 + z^2)^{3/2}}.$$

Es gelingt, auch dieses Integral auf die LEGENDRESCHEN Normalformen zurückzuführen. Ich verdanke die Angabe der hierzu erforderlichen Rechnungen der Freundlichkeit des Herrn Professor LÖWY hier.

Die Integration nach ρ bietet keine Schwierigkeiten und wir erhalten, wenn wir setzen

$$(R^2 - 2Rb \cos \alpha + b^2 + z^2)^{1/2} = Q.$$

$$\begin{aligned} \frac{Z_2}{2\pi \varepsilon n} &= -R^2 \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{Q} + 2 \int_0^{2\pi} Q d\alpha - \int_0^{2\pi} (b^2 + z^2)^{1/2} d\alpha \\ &\quad + 2b \int_0^{2\pi} \cos \alpha \log (R - b \cos \alpha + Q) d\alpha \\ &\quad - 2b \int_0^{2\pi} \cos \alpha \log (-b \cos \alpha + \sqrt{b^2 + z^2}) d\alpha. \end{aligned}$$

Bezeichnen wir die Integrale der Reihe nach mit A_1 bis A_5 , so erhalten wir durch die Substitution $\alpha = \pi - 2\varphi$

$$A_1 = \frac{-4R^2}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\Delta} = \frac{-4R^2}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \cdot K$$

$$\text{wo } \Delta = \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} \quad k^2 = \frac{4Rb}{(R+b)^2 + z^2}.$$

Durch dieselbe Substitution erhalten wir

$$A_2 = 8 \sqrt{(R+b)^2 + z^2} \int_0^{\pi/2} \Delta d\varphi = 8 \sqrt{(R+b)^2 + z^2} \cdot E.$$

Ganz direkt ergibt sich

$$A_3 = -4\pi \sqrt{b^2 + z^2}.$$

Nicht so leicht gestaltet sich die Auswertung von A_4 . Zunächst erhalten wir durch partielle Integration

$$A_4 = \left[2b \sin \alpha \log (R - b \cos \alpha + Q) \right]_0^{2\pi} - 2b^2 \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \alpha \left(1 + \frac{R}{Q} \right) d\alpha}{R - b \cos \alpha + Q}.$$

Das erste Glied hat den Wert Null und das zweite lässt sich schreiben

$$A_4 = 2b^2 \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \alpha \left[-b \cos \alpha + \frac{bR \cos \alpha - b^2 - z^2}{Q} \right] d\alpha}{b^2 \sin^2 \alpha + z^2}.$$

Von dem ersten Gliede dieses Ausdruckes lässt sich leicht zeigen, dass es bei der Integration den Wert Null annimmt, mithin bleibt

$$A_4 = 2b^2 \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \alpha}{Q} \frac{bR \cos \alpha - b^2 - z^2}{b^2 \sin^2 \alpha + z^2} d\alpha.$$

Indem man im Nenner $\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$ setzt und dann die Division mit $b^2 + z^2 - b^2 \cos^2 \alpha$ ausführt, erhält man

$$A_4 = 2 R b \int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha d\alpha}{Q} - 2(b^2 + z^2) \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{Q} \\ + 2b^2 \int_0^{2\pi} \left(\frac{c^2 R}{b} \cos \alpha - z^2 - \frac{z^4}{b^2} \right) \frac{d\alpha}{Q(b^2 \cos^2 \alpha - b^2 - z^2)}.$$

Durch die Substitution $\alpha = \pi - 2\varphi$ wird

$$\int_0^{2\pi} \frac{\cos \alpha d\alpha}{Q} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{\cos 2\varphi \cdot 2 d\varphi}{(R^2 + 2 R b \cos 2\varphi + b^2 + z^2)^{1/2}} \\ = 2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{(1 - 2 \sin^2 \varphi) d\varphi}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{-4 K}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \\ + \frac{8}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \int_0^{\pi/2} \frac{\sin^2 \varphi d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}.$$

Ebenso erhalten wir für das zweite der obigen Integrale

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{Q} = \frac{4 K}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}}.$$

Bei dem dritten Integrale zerlegen wir in Partialbrüche

$$2b^2 \int_0^{2\pi} \left(\frac{z^2 R}{b} \cos \alpha - z^2 - \frac{z^4}{b^2} \right) \frac{d\alpha}{Q(b^2 \cos^2 \alpha - b^2 - z^2)} = 2b^2 (\lambda_1 M + \lambda_2 N),$$

wo dann

$$2b^2 \lambda_1 = z^2 (R + \sqrt{b^2 + z^2}), \quad 2b^2 \lambda_2 = z^2 (R - \sqrt{b^2 + z^2}) \\ M = \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{Q(b \cos \alpha + \sqrt{b^2 + z^2})}, \quad N = \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{Q(b \cos \alpha - \sqrt{b^2 + z^2})}.$$

Setzt man wieder $\alpha = \pi - 2\varphi$, so lässt sich schreiben

$$M = \frac{4}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} (\sqrt{b^2 + z^2} - b)} \\ \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\left(1 + \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} - b} \sin^2 \varphi \right) \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}},$$

$$N = \frac{-4}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} \sqrt{b^2 + z^2 + b}}$$

$$\int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\left(1 - \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2 + b}} \sin^2 \varphi\right) \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}.$$

Nach ENNEPER, Elliptische Funktionen S. 179 Gleichung 14, gilt für $\varphi = \pi/2$ die Beziehung

$$0 = \frac{-k^2 \sin^2 \alpha}{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha} F(\pi/2) + \Pi\left(\cotg^2 \alpha, \frac{\pi}{2}\right) - \frac{k_1^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha} \Pi\left(-1 + k_1^2 \sin^2 \alpha, \frac{\pi}{2}\right).$$

Setzen wir unter dem Integralzeichen in M :

$$\cotg^2 \alpha = \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} - b}$$

so erhalten wir durch Benutzung dieser Relation

$$\int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\left(1 + \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} + b} \sin^2 \varphi\right) \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{k^2 \sin^2 \alpha}{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha} K$$

$$+ \frac{k_1^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha} \Pi\left(-1 + k_1^2 \sin^2 \alpha, \frac{\pi}{2}\right).$$

Nun lässt sich aber schreiben

$$\Pi\left(-1 + k_1^2 \sin^2 \alpha, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$= \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi [1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \sin^2 \varphi]}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$+ \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi [1 - k_1^2 \sin^2 \alpha] \sin^2 \varphi}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$= K + (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \int_0^{\pi/2} \frac{\sin^2 \varphi d\varphi}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \alpha) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}.$$

und da dieses letzte Integral nach ENNEPER, S. 189 1. Gleichung, den Wert hat

$$\frac{\pi}{2} \frac{[K \cdot E(\alpha, k_1) + E \cdot F(\alpha, k_1) - K \cdot F(\alpha, k_1)]}{k_1^2 \sin \alpha \cos \alpha \sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}},$$

so erhalten wir schliesslich

$$M = \frac{4 \sin \alpha}{(\sqrt{b^2 + z^2} - b) \sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \left\{ \sin \alpha \cdot K + \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}} \left[\frac{\pi}{2} - K \cdot E(\alpha, k_1) - E \cdot F(\alpha, k_1) + K \cdot F(\alpha, k_1) \right] \right\}.$$

In ganz ähnlicher Weise erhalten wir das entsprechende Integral in dem Werte für N , indem wir $\alpha = \pi - 2\varphi$ und dann

$$\frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} + b} = 1 - k_1^2 \sin^2 \varphi$$

setzen. Es wird dann

$$\begin{aligned} & \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\left(1 - \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} + b} \sin^2 \varphi\right) \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \\ &= \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \varphi) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \\ &= K + (1 - k_1^2 \sin^2 \varphi) \int_0^{\pi/2} \frac{\sin^2 \varphi d\varphi}{[1 - (1 - k_1^2 \sin^2 \varphi) \sin^2 \varphi] \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \end{aligned}$$

wofür wir nach ENNEPER S. 189 schreiben können

$$K + \frac{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \gamma}}{k_1^2 \sin \gamma \cos \gamma} \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\gamma, k_1) - E \cdot F(\gamma, k_1) + K \cdot F(\gamma, k_1) \right\}$$

so dass wir schliesslich finden

$$N = \frac{-4}{(\sqrt{b^2 + z^2} + b) \sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \left[K + \frac{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \gamma}}{k_1^2 \sin \gamma \cos \gamma} \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\gamma, k_1) - E \cdot F(\gamma, k_1) + K \cdot F(\gamma, k_1) \right\} \right].$$

Stellen wir alle erhaltenen Ausdrücke zusammen, so ergibt sich

$$\begin{aligned} A_4 &= \frac{-8Rb}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \cdot K + 4 \sqrt{(R+b)^2 + z^2} (K - E) \\ &- \frac{8(b^2 + z^2)}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \cdot K + \frac{4z^2(R + \sqrt{b^2 + z^2}) \sin \alpha}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} (\sqrt{b^2 + z^2} - b)} \\ &\quad \left[\sin \alpha \cdot K + \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}} \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\alpha, k_1) - E \cdot F(\alpha, k_1) + K \cdot F(\alpha, k_1) \right\} \right] \\ &- \frac{4z^2(R - \sqrt{b^2 + z^2})}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} (\sqrt{b^2 + z^2} + b)} \left[K + \frac{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \gamma}}{k_1^2 \sin \gamma \cos \gamma} \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\gamma, k_1) - E \cdot F(\gamma, k_1) + K \cdot F(\gamma, k_1) \right\} \right]. \end{aligned}$$

Das letzte Integral

$$A_5 = -2b \int_0^{2\pi} \cos \alpha \log(-b \cos \alpha + \sqrt{b^2 + z^2}) d\alpha$$

geht durch partielle Integration über in

$$A_5 = -2b \left[\sin \alpha \log(\sqrt{b^2 + z^2} - b \cos \alpha) \right]_0^{2\pi} \\ + 2b^2 \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2 \alpha d\alpha}{\sqrt{b^2 + z^2} - b \cos \alpha}.$$

Das erste Glied wird durch Einsetzen der Grenzen zu Null, das noch bleibende Integral lässt sich auf die Form bringen

$$A_5 = 2b \int_0^{2\pi} \cos \alpha d\alpha + 2 \int_0^{2\pi} \sqrt{b^2 + z^2} \cdot d\alpha - 2 \int_0^{2\pi} \frac{z^2 d\alpha}{\sqrt{b^2 + z^2} - b \cos \alpha},$$

so dass wir erhalten

$$A_5 = 4\pi \sqrt{b^2 + z^2} - 4\pi z.$$

Stellen wir die Werte für A_1 bis A_5 zusammen, so ergibt sich endlich

$$9) \quad Z_2 = 2\pi \frac{\varepsilon^n}{v} \cdot S = \frac{P_2}{v}.$$

$$S = 4 \sqrt{(R+b)^2 + z^2} \cdot E - \frac{4(b^2 + z^2)}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2}} \cdot K - 4\pi \cdot z \\ + \frac{4z^2(R + \sqrt{b^2 + z^2}) \sin \alpha}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} (\sqrt{b^2 + z^2} - b)} \left[\sin \alpha \cdot K + \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \alpha}} \right. \\ \left. \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\alpha, k_1) - E \cdot F(\alpha, k_1) + K \cdot F(\alpha, k_1) \right\} \right] \\ - \frac{4z^2(R - \sqrt{b^2 + z^2})}{\sqrt{(R+b)^2 + z^2} (\sqrt{b^2 + z^2} + b)} \left[K + \frac{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \gamma}}{k_1^2 \sin \gamma \cos \gamma} \right. \\ \left. \left\{ \frac{\pi}{2} - K \cdot E(\gamma, k_1) - E \cdot F(\gamma, k_1) + K \cdot F(\gamma, k_1) \right\} \right],$$

wobei

$$k^2 = \frac{4Rb}{(R+b)^2 + z^2}, \quad k^2 + k_1^2 = 1, \quad \sin \vartheta_1 = k_1, \\ \cotg^2 \alpha = \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} - b}, \quad 1 - k_1^2 \sin^2 \gamma = \frac{2b}{\sqrt{b^2 + z^2} + b}.$$

Erste Versuchsreihe.

Bei dem ersten Apparate hatten die in die Rechnung eingehenden Grössen die folgenden Werte:

Abstand der Magnete des astatischen Paares voneinander $b = 11,5$ cm.

Radius der Kreisringe für konstanten Strom $\rho = 8,25$ cm.

Radius der rotierenden Scheiben $R = 9,8$ cm.

Abstand derselben von der Ebene des Magnetsystems $z = 2,1$ cm.

Die Dicke der Luftschicht zwischen der Versilberung der Glasplatten und den rotierenden Scheiben, die variiert wurde, ist in Centimeter gegeben und mit d bezeichnet.

Das Potential, auf welches die Scheiben geladen wurden, ist in Volt angegeben und unter V aufgeführt. Die in den Formeln vorkommende Dichte der Scheibenladung ergibt sich dann $\varepsilon = \frac{V}{4 \pi d}$.

Die Tourenzahl in der Minute ist unter n gegeben. Unter g ist der Doppelausschlag in Millimeter angegeben, welcher am Magnetssystem beobachtet wurde, wenn der Strom i Amp. in den zwei erwähnten Kreisringen, welche an die Stelle der rotierenden Scheiben gebracht werden konnten, kommutiert wurde. Entsprechend unter γ die durch die Scheiben hervorgebrachte kommutierte Ablenkung.

No.	d	V	n	g	$i \times 10^4$	γ	$v \times 10^{-10}$
1	0,50	6000	4700	63,8	0,66	24,3	3,24
2	0,52	5100	5320	52,7	0,66	19,8	3,03
3	0,55	4360	5450	53,4	0,66	18,6	2,70
4	0,55	4500	5280	55,0	0,66	16,8	3,08
5	0,6	3930	5400	32,7	0,66	8,7	2,91
6	0,6	4140	5530	33,1	0,66	8,8	3,15
7	0,6	4770	6770	32,6	0,66	12,9	2,96
8	0,4	4130	6360	32,6	0,66	15,8	2,95
9	0,26	3110	7000	33,9	0,66	19,0	3,29
10	0,26	3150	6940	34,0	0,66	20,1	3,10

Mittel 3,04

Zu den vorstehenden Beobachtungen ist das Folgende zu bemerken. Um die Scheiben zu laden, wurde, da keine ausreichende Hochspannungsbatterie vorhanden war, eine Vosssche Influenzmaschine mit zwei beweglichen Platten von 50 cm Durchmesser benutzt. Dieselbe wurde durch einen kleinen Elektromotor in dauernde schnelle Rotation versetzt, und ihre Pole wurden mit der

inneren resp. äusseren Belegung einer aus sechs grossen Flaschen (40 cm hohe Belegung) bestehenden auf Paraffinklötzen gut isolierten Leydener Batterie verbunden. Die Leitung, welche zu den Kollektoren der zu ladenden rotierenden Scheiben führte, konnte mittelst eines passenden Kommutators je nach Wunsch an die äussere oder innere Belegung der Flaschenbatterie gelegt werden. Die Höhe des Potentials wurde mit einem SIEMENSschen elektrostatischen Voltmeter gemessen. Um die Batterie auf ein bestimmtes konstantes Potential laden zu können, war dem Knopfe einer der parallel geschalteten Flaschen gegenüber ein mikrometrisch verstellbarer, zur Erde abgeleiteter Spitzenkamm¹ aufgestellt. Bei dieser Anordnung zeigten jedoch die beiden Belegungen der Batterie Spannungen, die um mehrere Hundert Volt voneinander verschieden waren. Erst als sowohl von der inneren wie von der äusseren Belegung durch je einen Spitzenkamm abgesaugt wurde, gelang es, durch passende Regulierung der Entfernungen auf den Belegungen angenähert gleich hohe Potentiale zu erhalten.

Bei jedem Versuche wurde zuerst die Isolation geprüft. Die Scheiben wurden geladen, von der Flaschenbatterie abgetrennt und am Elektrometer kontrolliert, dass die Spannung längere Zeit hindurch praktisch vollkommen konstant blieb. Darauf wurden die wieder an die Flaschenbatterie angelegten Scheiben in gleichmässige aber ganz langsame Rotation (1 Umdrehung in 6 Sekunden) versetzt und festgestellt, dass weder hiebei noch beim Kommutieren der Ladung eine Ablenkung der Magnete hervorgerufen wurde. Fände ein Ausströmen der Elektrizität aus der Scheibe nach den zur Erde abgeleiteten Spiegelglasplatten hin, oder ein Fliessen der Elektrizität von dem einen Sektor nach dem andern hin statt, welches eine Ablenkung des Magnetsystems hervorzubringen vermöchte, so müsste dies auch bei langsamer Rotation sich geltend machen. Es war dies aber bei meinen Apparaten nie der Fall.

Hierauf wurden die Scheiben wieder entladen und in die gewünschte schnelle Rotation versetzt. Hierdurch fand bei diesem ersten Apparate stets eine Verlegung der Ruhelage des Magnetsystems statt, die bei den einzelnen Versuchen 20—40 mm an der Fernrohrskale betrug. Hatte das Magnetsystem nach 3—4 Minuten die neue Ruhelage eingenommen und behielt diese bei, solange die

¹ Es war dieselbe Anordnung, welche die Herren SIEVEKING und TAMM bei ihren Arbeiten im hiesigen Institute benutzt hatten. DRUDES Annalen 1900 I 299 und 1901 VI 259.

Scheiben rotierten, so wurde ein Versuch ausgeführt. Aenderte sich dagegen — was anfangs, ehe ich den später anzugebenden Grund kannte, nicht selten vorkam —, die Ruhelage des Magnetsystems nach Verlauf von vier Minuten noch weiter, so wurde der Versuch abgebrochen, auch dann, wenn diese Aenderung so gleichmässig war, dass sie aus den kommutierten Ablenkungen sich würde herausgehoben haben.

Hatte das Magnetsystem eine neue, konstante Ruhelage angenommen, so wurden die Scheiben geladen, die neue Einstellung abgelesen, die Ladung kommutiert, wieder abgelesen u. s. w. Ich lasse als Beispiel hier die Ablesungen bei dem ersten der obigen Versuche folgen.

Ruhelage bei ruhenden Scheiben 503,2.

Ruhelage bei rotierenden Scheiben 469,0.

Ablesungen:

456,9	456,8	456,6	456,6	457	456,8	457
481,1	481,5	481,0	480,8	480,7	481,3.	

Kommutierte Ablenkung im Mittel $\gamma = 24,3$.

Bei den Versuchen mit ungeraden Nummern entsprach die Rotationsrichtung der Scheiben, vom Fernrohr aus gesehen, der Uhrzeigerbewegung, bei den geraden Nummern war sie entgegengesetzt.

Mit der Anordnung der Versuche 1 bis 4 habe ich Kontrollversuche ausgeführt in der Weise, dass ich die beiden Scheiben in entgegengesetzter Richtung rotieren liess, im übrigen aber genau wie bei den andern Versuchen verfuhr. Ich habe nie eine Ablenkung erhalten, die einen Skalenteil überschritten hätte, und die minimalen Ablenkungen, die eintraten, lassen sich sehr wohl aus einer ungleichen Rotationsgeschwindigkeit oder Unsymmetrien in der Aufstellung der beiden Scheiben erklären. Wenn man bedenkt, dass in die Berechnung von v eine grosse Anzahl von Einzelmessungen eingehen, die, wie z. B. die Bestimmung von d und von z , keiner grossen Genauigkeit fähig sind, so wird man zugestehen müssen, dass die Uebereinstimmung der für v gefundenen Werte untereinander sowohl wie mit dem wahren Werte von $v = 3 \times 10^{10}$ eine durchaus genügende ist.

Ich würde es deshalb auch bei den vorstehenden Beobachtungen haben bewenden lassen, wenn nicht die Beobachtungen, wie schon erwähnt, in zwei Punkten mich unbefriedigt gelassen hätten. Der

eine Punkt war der, dass das Magnetsystem eine neue Ruhelage einnahm, wenn die Scheiben in schnelle Rotation versetzt wurden; und, was weit wichtiger, dass diese neue Ruhelage bei einigen Versuchen ganz konstant wurde, sobald die Scheiben ihre normale Geschwindigkeit erreicht hatten, bei andern dagegen fortgesetzten Aenderungen unterworfen war.

Nach langem Suchen und gar manchem vergeblichen Versuche ist es mir gelungen, diesen Punkt aufzuklären. Das Wandern der Ruhelage rührt von Thermoströmen her, die durch Warmlaufen der Achsen entstehen. Durch Anfassen mit der Hand oder durch Berühren mit einem heiss gemachten Metallstabe konnte ich die gleiche Erscheinung hervorrufen und je nach dem Teile des Apparates, den ich berührte, die Nadel nach rechts oder links ablenken. War durch absichtliches Erwärmen eines Apparateiles eine Ablenkung der Magnetnadel hervorgerufen, und liess man den Apparat jetzt ruhig stehen, so nahm die Ablenkung langsam aber ganz stetig ab. Liess man aber den Apparat laufen, oder erzeugte auf andere Weise stärkere Luftströmungen, so schwankte die Magnetnadel unausgesetzt hin und her.

Ich habe diesen Uebelstand bei dem zweiten Apparate vollständig beseitigen können dadurch, dass ich Kugellager benutzte und die allergrösste Sorgfalt auf die Ausbalancierung der rotierenden Scheiben verwendete, so dass diese tadellos liefen, gar kein Schlagen zeigten und keinen einseitigen Zug auf die Achsen ausübten. Mehr als 3—4 Versuche hintereinander konnte ich trotzdem nie mit dem Apparate anstellen, ohne dass sich wieder Spuren von Nullpunktswanderungen zeigten. Es wurden deshalb bei den neuen Versuchen meist schon nach zwei Beobachtungen die Achsen wieder nachgeschliffen und neue Kugeln eingelegt. Bei dieser Vorsichtsmassregel blieb während der Versuche die Ruhelage des Magnetsystems absolut konstant. Schliesslich habe ich es auch erreicht, dass die Verlegung des Nullpunktes beim Anlaufen der Scheiben aufhörte, und zwar einfach durch Ausprobieren. Es rührt diese Verlegung wahrscheinlich von irgend welchen geringen Unsymmetrien in der Aufstellung her. Jedenfalls wurde sie wesentlich grösser, wenn ich absichtlich die Rotationsachse etwas schräg gegen das Magnetsystem stellte, und durch vorsichtiges mikrometrisches Verstellen der Richtmagnete einerseits, durch ganz minimales Klopfen an den Lagerblöcken der Rotationsachsen andererseits konnte ich es stets erreichen, dass das Magnetsystem bei ruhenden und bei rotie-

renden ungeladenen resp. zur Erde abgeleiteten Scheiben dieselbe Ruhelage besass. Am Beobachtungsfernrohre sitzend konnte man dann nur noch an Einem das Anlaufen der Scheiben erkennen, dass nämlich, wenn diese durch eine bestimmte Geschwindigkeit hindurchgingen (schätzungsweise 30 Umdrehungen pro Sekunde), das Bild des Skalenteiles kurze Zeit etwas unscharf wurde, weil der Spiegel offenbar für kurze Zeit in eine leicht zitternde Bewegung geriet.

Der zweite Punkt, der mich nicht befriedigte, war der, dass trotz der oben erwähnten Absaugespitzen während eines Versuches hin und wieder plötzlich das Potential der negativ geladenen Scheiben bis zu 200 Volt niedriger ausfiel als wenn kommutiert, die Scheiben also positiv geladen wurden. Dass dies an der Elektrisiermaschine resp. der Flaschenbatterie und nicht an den Scheiben lag, geht deutlich daraus hervor, dass dieser Missstand fortfiel, als bei den folgenden Versuchen ein Hochspannungsakkumulator benutzt wurde.

Zweite Versuchsreihe.

Abstand der Magnete des astatischen Paares voneinander $b = 16,6$ cm. Radius der Kreisringe für konstanten Strom $\rho = 10,3$ cm. Radius der rotierenden Scheiben $R = 15,01$ cm. Die Buchstaben d, V, n, g, γ, i, v haben dieselbe Bedeutung wie oben, c ist der Abstand der Ebene eines Ringes ρ von dem Mittelpunkte des Magnet-systems, z der Abstand einer rotierenden Scheibe vom Magnet-mittelpunkte.

No.	d	V	n	c	g	$i \times 10^4$	z	γ	$\frac{v \times}{10^{-10}}$
1	0,61	2620	4000	0,9	76,6	0,67	1,87	24,0	2,68
2	0,61	3050	3750	0,9	71,6	0,67	1,87	24,6	2,84
3	0,60	2900	4750	0,9	52,6	0,67	1,87	18,9	3,24
4	0,60	2985	4575	0,9	52,5	0,66	1,87	20,4	3,00
5	0,60	3765	3575	0,9	52,7	0,67	1,87	18,3	2,98
6	0,60	2890	6200	0,9	52,5	0,67	1,87	25,9	3,06
7	1,00	4050	5500	1,025	51,4	0,66	2,395	8,9	2,97
8	1,00	4050	5500	1,025	51,4	0,67	2,395	8,7	3,05
9	1,00	4110	5900	1,025	53,4	0,66	2,395	20,3	2,98
10	1,00	4100	6050	1,025	53,5	0,67	2,395	21,0	2,95
11	1,00	3996	6050	1,00	45,0	0,67	2,375	17,0	3,19
12	1,00	4170	5980	1,00	44,5	0,67	2,375	18,3	3,04
13	0,78	4152	5500	1,00	46,8	0,69	2,375	22,0	3,01
14	0,78	4264	5550	1,00	43,0	0,67	2,375	23,1	2,82

Mittel $v 10^{-10} = 2,99$

Dass das Mittel für v fast genau mit dem wahren Werte 3×10^{10} übereinstimmt, ist natürlich nur Zufall, wie ohne weiteres aus den Abweichungen der Einzelwerte voneinander erhellt.

Die Ladung der Platten erfolgte bei diesen Versuchen wie erwähnt durch einen Hochspannungsakkumulator. Ich habe absichtlich stets mit Spannungen gearbeitet, die im Verhältniss zu der Dicke des Dielektrikums nur sehr niedrig waren, so dass schon hierdurch die Gefahr einer Ausstrahlung auf ein Minimum herabgesetzt war. Bei einigen Versuchen lag die Ladespannung für $+E$ sogar unter dem sogenannten Minimumpotential, bei welchem überhaupt erst Ausstrahlung aus Spitzen beginnen kann. Die ungeraden Nummern sind wieder mit Rotation der Scheiben im einen, die geraden mit Rotation im entgegengesetzten Sinne angestellt.

Am Ende von Versuch 6 verunglückte eine der rotierenden Scheiben und die ihr gegenüberstehende Spiegelglasscheibe und mussten durch neue ersetzt werden. Versuch 7 und 8 sind deshalb nur mit einer rotierenden Scheibe angestellt. Mit der Anordnung des Versuches No. 6 habe ich Versuche angestellt, bei denen die Scheiben in entgegengesetzter Richtung rotierten, d. h. die eine rechts, die andere links herum. Der Ausschlag blieb unter $0,5$ Skalenteil. Mit der gleichen Einstellung habe ich, während beide Scheiben in gleichem Sinne rotierten, die eine auf $+2050$, die andere auf -2050 geladen, indem die Batterie in der Mitte zur Erde geleitet wurde. Eine Scheibe allein gab $10,3$ Skalenteile, beide zusammen $0,6$ Skalenteile.

Endlich habe ich mit der Aufstellung, die bei den Versuchen 13 und 14 benutzt war, noch die folgenden Versuche ausgeführt: die Scheiben wurden, wie oben auseinandergesetzt, mit aller Sorgfalt so eingestellt, dass sie, wenn nicht geladen, weder bei langsamer noch bei schneller Rotation die Ruhelage des Magnetsystems beeinflussen. Hierauf wurden die Scheiben bei ganz langsamer Rotation, ca. eine Umdrehung in zwei Sekunden, geladen und es wurde die Einstellung des Magnetsystems an der Fernrohrskale abgelesen, dann die Geschwindigkeit gesteigert bis dieselbe ca. 90 Touren in der Sekunde betrug, und wieder die Einstellung abgelesen, hierauf wieder bei langsamer Drehung beobachtet u. s. w., so dass also, während die Scheiben rotierten, keine Aenderung der Ladung eintrat, es wurde weder entladen, noch kommutiert. Die bei diesen Versuchen erhaltenen Werte von $v \times 10^{-10}$ sind: $3,52$ $2,78$ $2,65$ $2,86$ $3,15$ $2,78$ $2,95$ $2,79$. Die Fehler, mit denen diese Werte behaftet sind,

sind ja unverkennbar grösser, als bei den früheren Messungen. Aber wenn man bedenkt, dass erstens die zu beobachtende Ablenkung nur halb so gross war, dass zweitens es sich um die Messung der einseitigen (nicht kommutierten) Ablenkung eines hochempfindlichen astatischen Nadelpaares handelt, und dass drittens bei dem abwechselnd schnell und langsam Laufenlassen der Scheiben man nie absolut genau die gleiche Geschwindigkeit erzielen kann und dass die Messung derselben bei diesen Versuchen nicht gleichzeitig mit der Messung der Ablenkung, sondern erst nach Beendigung der Versuche erfolgen musste, so wird man die Uebereinstimmung der Werte untereinander, sowie die Annäherung an den Wert 3,00 als durchaus beweisend anerkennen müssen.

Herr CRÉMIEU hatte bei seinem Apparate beobachtet, dass in dem Augenblicke, wo die rotierenden Scheiben geladen wurden resp. ihre Ladung kommutiert wurde, die Magnetnadel zuweilen starke Ausschläge zeigte. Durch die letzten Versuche glaube ich den Nachweis erbracht zu haben, dass bei meinem Apparate diese Fehlerquelle keine Rolle gespielt haben kann.

Ausser den vorstehend beschriebenen quantitativen Versuchen habe ich mit den Apparaten noch eine grosse Anzahl von Beobachtungen ausgeführt, bei denen ich bald diese, bald jene kleine Abänderung getroffen hatte; so habe ich die Hartgummischeiden sowohl versilbert, als mit Graphit eingerieben, als mit Staniol belegt, benutzt. Ich habe die Hartgummischeiden durch Glas-scheiden ersetzt etc. etc. Stets habe ich, wenn der Apparat in Ordnung war, die dem ROWLANDEffekt entsprechenden Resultate erhalten, und ich habe keinen Anhaltspunkt gefunden, das negative Resultat der CRÉMIEUSCHEN Versuche zu erklären. Unter aller Reserve möchte ich deshalb nur die Vermutung aussprechen, dass bei jenen Versuchen die störenden Einflüsse der durch die schnelle Rotation erzeugten Erschütterungen, Luftströmungen und Thermostrome die zu beobachtende Erscheinung verdeckt haben können. Es hat mich nämlich überrascht, dass die Einzelbeobachtungen, welche Herr CRÉMIEU in seiner Dissertation S. 76 und 77 und S. 93 und 94 aus den Versuchen mit dem Prüfringe (*spire témoin*) mitteilt, so wenig gut übereinstimmen, dass Abweichungen vom Mittelwerte vorkommen, die 20 bis 30% betragen. Hierbei handelt es sich aber um Versuche, bei denen die Induktionsströme gemessen werden sollen, die in einer Induktionsspule dadurch hervorgerufen werden, dass in einem rotierenden Kreisringe ein konstanter Strom

bis zu 17mal in der Sekunde unterbrochen wird. Der Umstand, dass bei diesen Versuchen, bei denen es sich also gar nicht um Konvektionströme oder um hohe Spannungen handelt, keine bessere Uebereinstimmung hat erzielt werden können, hat mich auf den Gedanken gebracht, dass vielleicht die oben genannten Erscheinungen, die direkt mit dem ROWLANDEffekt nichts zu tun haben, nicht ausreichend gewürdigt sein könnten.

Freiburg i. B., Mai 1903.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Himstedt Franz

Artikel/Article: [Quantitative Versuche über den Rowlandeffekt. 85-106](#)