Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

177 ----

## VIII.

## Ueber eine absolute Widerstandsmessung. Von F. Himstedt.

Im Jahre 1885 habe ich eine Ohmbestimmung veröffentlicht\*), deren Resultat dadurch unsicher geworden ist, dass nachträglich eine Aenderung der der Arbeit zu Grunde gelegten Etalons der S. E. festgestellt worden ist. Auch die Resultate des Herrn Roiti\*\*), welcher dieselbe Methode benutzt hat, scheinen nicht einwandsfrei zu sein, und so habe ich es für meine Pflicht gehalten, eine neue Messung durchzuführen, da zweifelsohne die Methode sehr bequem und empfehlenswerth ist, weil bei ihr nur wenige Grössen scharf bestimmt werden müssen.\*\*\*)

Um den Ueberblick zu erleichtern, glaube ich zuerst noch ein Mal kurz die Methode beschreiben zu sollen.

Der primäre Stromkreis wird gebildet aus der inducirenden Spule A (Fig. 1), einem Wi-

## I) Die Methode.



\*) F. Himstedt, Wied. Ann. XXVI, p. 547, 1885.

\*\*) Roiti, Nuov. Cim. (3) XV, p. 97, 1884.

\*\*\*) Vergl. hierüber: F. Himstedt l. c. p. 548, sowie die äusserst sorgfältige kritische Besprechung des Herrn Dorn in: "Vorschläge zu gesetzlichen Bestimmungen über elec. Maasseinheiten, nebst kritischem Berichte: Ueber den wahrscheinlichen Werth des Ohm nach den bisherigen Messungen." Berlin 1893, pg. 68.

XXX.

\_\_\_\_\_178 \_\_\_\_

derstande  $r_0$ , zu welchem ein zweiter  $w_0$  parallel geschaltet ist, einem Rheostaten  $K_0$ , dem Unterbrecher  $D_0$  und einem constanten Elemente E. Der secundäre Stromkreis besteht aus der inducirten Spule B, dem Rheostaten  $K_1$  Unterbrecher  $D_1$  Galvanometer G und einem Widerstande  $r = r_0$ . Bezeichnen wir den gesammten Widerstand des secundären Kreises mit w + r, so muss das  $w_0$  des primären Kreises gleich dem eben genannten  $w^*$ ) sein.

Wird durch den Unterbrecher  $D_0$  der primäre Strom i in der Secunde n Mal geschlossen und unterbrochen, und wird durch Regulirung des Unterbrechers  $D_1$  im secundären Kreise dafür gesorgt, dass entweder nur die Schliessungsoder nur die Oeffnungs-Inductionsströme das Galvanometer durchfliessen, so wird dessen Magnetsystem bei genügend grosser Schwingungsdauer eine constante Ablenkung  $\alpha_1$ zeigen und es besteht die Beziehung

$$G \cdot tg \alpha_1 = \frac{n \cdot i \cdot V}{r + w} \cdot \dots \cdot I$$

G Galvanometerconstante, V Potential der Inductionsrollen auf einander. Wird andererseits nun der primäre Stromkreis bei  $p_0$  und  $q_0$  von dem Widerstande  $r_0$  losgelöst und werden die Drahtleitungen  $p_0$  und  $q_0$  bei p und qan die Enden des Widerstandes r angeschlossen, so dass also r an die Stelle von  $r_0$  und der übrige Widerstand des secund. Kreises w an die Stelle von  $w_0$  getreten ist, werden endlich die Unterbrecher  $D_0$  und D angehalten und dauernd geschlossen, so fliesst durch das Galvanometer ein constanter Strom, für dessen Ablenkung  $\alpha_2$  die Beziehung besteht:

G tg 
$$\alpha_2 = \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{i}}{\mathbf{r} + \mathbf{w}}$$
 II.

Aus I und II folgt:

 $r = n \cdot V \cdot \frac{tg \alpha_2}{tg \alpha_1}$  III.

\*) Wie aus dem Folgenden leicht zu ersehen, muss nicht nothwendig  $r = r_0$  und  $w = w_0$  sein. Es genügt, wenn  $\frac{r_0 w_0}{r_0 + w_0}$  bis auf  $\frac{1}{2} \sqrt[9]{0}$  etwa gleich ist  $\frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{w}}{\mathbf{r} + \mathbf{w}}$ . \_ 179 \_

Um also r in absolutem Maasse zu finden, hat man nur V zu berechnen und n sowie tg  $\alpha_2/tg \alpha_1$  zu beobachten.

### 2) Berechnung von V.

Als primäre Spule wurde ein Solenoid benutzt, gegen dessen Länge der Radius desselben, sowie die Dimensionen der secundären Spule nur klein waren (unendlich langes Solenoid) und das mit nur einer Drahtlage bewickelt war. Für diesen Fall ergiebt sich:

IV. . . . V =  $4 \pi^2 R^2 \cdot k \cdot b (1-\gamma)$ 

R Radius des Solenoids, k die Anzahl der Windungen auf einer Längeneinheit desselben, b die Anzahl der Windungen auf der secundären Spule,  $\gamma$  ein Correctionsglied, herrührend davon, dass das Solenoid nicht wirklich unendlich lang, sondern von endlicher Länge ist. Bei den folgenden Versuchen betrug  $\gamma$  etwa 3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> des Gesammtwerthes von V.

Ich hatte bei der früheren Ohmbestimmung für  $\gamma$  einen Ausdruck in Kugelfunctionen abgeleitet; es ist mir jetzt gelungen,  $\gamma$  in eine schnell convergirende Reihe zu entwickeln, deren Glieder abwechselnd + und - Vorzeichen haben, so dass man stets leicht beurtheilen kann, wie gross der vernachlässigte Rest höchstens sein kann, wenn man die Reihe bei einem bestimmten Gliede abbricht.

Die Mittelpunkte der primären und secundären Spule mögen in O zusammenfallen (Fig. 2), ihre gemeinsame



- 180 -

Axe xx sein. Das Potential einer Kreiswindung  $K_1$  der primären Spule vom Radius R im Abstande  $x_1$  vom Mittelpunkte O auf eine Kreiswindung  $K_{11}$  der sec. Spule vom Radius  $\rho$  und im Abstande  $x_{11}$  von O ist gegeben durch

$$\begin{split} M &= \iint \int \frac{\cos \varepsilon}{r} \, ds_1 \, ds_{11} \\ \text{Da } r^2 &= R^2 + \rho^2 + (x_1 - x_{11})^2 - 2 \, R \, . \, \rho \, \cos \left(\varphi_1 - \varphi_{11}\right) \\ \varepsilon &= \varphi_1 - \varphi_{11} \, ds_1 = R \, d\varphi_1 \, ds_{11} = \rho \, d\varphi_{11} \, so \\ M &= \int_0^2 \int_0^2 \frac{R \, . \, \rho \, \cos \left(\varphi_1 - \varphi_{11}\right) \, d\varphi_1 \, d\varphi_{11}}{\left[R^2 + \rho^2 + (x_1 - x_{11})^2 - 2 \, R \, \rho \, \cos \left(\varphi_1 - \varphi_{11}\right)\right]^{1/2}} \\ M &= 4 \, \pi \int_0^{\pi} \frac{R \, . \, \rho \, \cos \psi \, d \, \psi}{\left[R^2 + \rho^2 + (x_1 - x_{11})^2 - 2 \, R \, \rho \, \cos \psi\right]^{1/2}} \end{split}$$

Durch Integration partiell nach 4 ergiebt sich

$$M = 4 \pi \int_{0}^{\pi} \frac{(R \rho)^{2} \sin^{2} \psi \, d\psi}{[R^{2} + \rho^{2} + (x_{1} - x_{11})^{2} - 2 R \rho \cos \psi]^{3/2}}$$

Besitzt das Solenoid die Länge 2 L und liegen k Windungen auf der Längeneinheit neben einander, bezeichnen wir ferner die Länge der secundären Spule mit 2 $\lambda$  und die Anzahl der Windungen auf der Längeneinheit mit  $\varkappa$ , so erhalten wir das Potentiel des Solenoids auf diejenige Windungslage der secundären Spule, welcher der Kreis K<sub>11</sub> vom Radius  $\rho$  angehört :

$$\mathbf{P} = 4 \pi \, \mathbf{k} \, \varkappa \int_{-\mathbf{L}}^{+\mathbf{L}} \int_{-\mathbf{0}}^{+\lambda} \int_{0}^{\pi} \frac{(\mathbf{R} \, \rho)^2 \sin^2 \psi \, \mathrm{d} \psi \, \mathrm{d} \mathbf{x}_1 \, \mathrm{d} \mathbf{x}_{11}}{[\mathbf{R}^2 + \rho^2 + (\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_{11})^2 - 2 \, \mathbf{R} \, \rho \, \cos \phi]^{3/2}}$$

Werden die Integrationen nach  $dx_1$  und  $dx_{11}$  ausgeführt und wird zur Abkürzung gesetzt :

 $R^2 + \rho^2 - 2 R \rho \cos \phi = m$ 

so wird  $P = 4 \pi k \varkappa \int_{\sigma}^{\pi} (\mathbf{R} \rho)^{2} \sin^{2} \psi \, d\psi \frac{2}{m} \Big\{ \sqrt{m + (\mathbf{L} + \lambda)^{2}} - \sqrt{m + (\mathbf{L} - \lambda)^{2}} \Big\}$  © Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

- 181 -

Da m klein ist sowohl gegen  $(L+\lambda)^2$  wie gegen  $(L-\lambda)^2$ , so können wir die Wurzeln entwickeln nach Potenzen von  $\frac{m}{(L+\lambda)^2}$  resp.  $\frac{m}{(L-\lambda)^2}$  und erhalten :

$$\mathbf{P} = 4 \pi \mathbf{k} \varkappa \int_{o}^{\circ} (\mathbf{R} \rho)^{2} \sin^{2} \psi \, \mathrm{d} \psi. \ \mathbf{B}.$$

$$B = \frac{4 \lambda}{m} + \frac{1}{L+\lambda} - \frac{1}{L-\lambda} - \frac{m}{4} \left( \frac{1}{(L+\lambda)^3} - \frac{1}{(L-\lambda)^3} \right)$$
$$+ \frac{m^2}{8} \left( \frac{1}{(L+\lambda)^5} - \frac{1}{(L-\lambda)^5} \right) - \frac{5 m^3}{64} \left( \frac{1}{(L+\lambda)^7} - \frac{1}{(L-\lambda)^7} \right) \cdots$$

Führt man die Integration aus, so wird

$$\mathbf{P} = 8 \,\pi^2 \,\mathbf{R}^2 \,\mathbf{k} \,\mathbf{\varkappa} \,\boldsymbol{\lambda} \,. \,\mathbf{H}$$

$$\begin{split} \mathrm{H} &= 1 \, - \, {}^{1}\!\!{}_{/2} \rho^{2} \, + \, {}^{1}\!\!{}_{/8} \, \rho^{2} \, (\rho^{2} \, + \, \mathrm{R}^{2}) \, (3 \, \mathrm{L}^{2} \, + \, \lambda^{2}) \\ &- \, {}^{1}\!\!{}_{16} \, \rho^{2} \, [(\rho^{2} \, + \, \mathrm{R}^{2})^{2} \, + \, \rho^{2}\!\!{}_{6}^{2} \mathrm{R}^{2}] \, (5 \, \mathrm{L}^{4} \, + \, 10 \, \mathrm{L}^{2} \lambda^{2} \, + \, \lambda^{4}) \\ &+ \, {}^{5}\!\!{}_{/128} \, \rho^{2} \, [(\rho^{2} \, + \, \mathrm{R}^{2})^{3} \, + \, 3 \, \rho^{2} \, \mathrm{R}^{2} \, (\rho^{2} \, + \, \mathrm{R}^{2})] \, (7 \, \mathrm{L}^{6} \, + \, 35 \, \mathrm{L}^{4} \, \lambda^{2} \\ &+ \, 21 \, \, \mathrm{L}^{2} \lambda^{4} \, + \, \lambda^{6}) \, \ldots \, . \end{split}$$

Ist  $\rho$  der mittlere Radius der secundären Spule,  $\rho + \delta$  der grösste,  $\rho - \delta$  der kleinste, so erhalten wir das Potential des Solenoids auf alle Windungen der sec. Rolle:

$$V = \frac{p}{2\delta} \int_{\rho-\delta}^{\rho+\delta} P \cdot d\rho$$

wobei angenommen ist, dass die sec. Spule p Lagen von Drahtwindungen über einander besitzt.

Berücksichtigen wir bei der Ausrechnung des Integrals, dass

$$p \lambda \varkappa = b$$

der Gesammtzahl der Windungen auf der sec. Spule ist, sowie dass

$$\pi b (\rho^2 + 1/_3 \delta^2) = F$$

der Windungsfläche der sec. Spule ist und vernachlässigen wir vom 3. Gliede an  $\delta^2$  gegen  $\rho^2$  und  $\lambda^2$  gegen  $l^2$ , so erhalten wir schliesslich : -182 -

$$V = 4 \pi^{2} R^{2} k b (1 - \gamma) \dots V$$

$$\gamma = \frac{F}{2 \pi b} \frac{1}{L^{2} - \lambda^{2}} \left\{ 1 - \frac{3}{2^{2}} \frac{\rho^{2} + R^{2}}{L^{2}} + \frac{10}{2^{4}} \frac{\rho^{4} + 3 \rho^{2} R^{2} + R^{4}}{L^{4}} - \frac{35}{2^{6}} \frac{\rho^{6} + 6 \rho^{4} R^{2} + 6 \rho^{2} R^{4} + R^{6}}{L^{6}} \dots \right\} \dots Va$$

Der Werth der vernachlässigten Glieder ist bei den später mitzutheilenden Dimensionen der benutzten Apparate kleiner als  $7.10^{-6}$ . Die Berechnung des V nach der früher mitgetheilten Formel\*) giebt in allen Fällen bis auf  $1.10^{-5}$  dieselben Resultate.

### 3) Die Grundmaasse.

Alle Längenmessungen sind bezogen auf das Normalmeter des hiesigen physikalischen Institutes, das mit dem der Normal-Aichungs-Commission verglichen war.

Zu den Zeitmessungen wurde bei den Beobachtungen im Jahre 1891 ein Marinechronometer, von Bröcking in Hamburg geliehen, benutzt, bei den Beobachtungen in den folgenden Jahren ein von Schlesicky in Frankfurt a. M. geliefertes Taschenchronometer, dessen Gang sich vorzüglich gehalten hat, wie vielfach ausgeführte Zeitbestimmungen ergeben haben.

#### 4) Das Solenoid.

Es war ursprünglich meine Absicht, das für die früheren Messungen auf eine Holzwalze gewickelte Solenoid wieder zu benutzen. Dasselbe war, in eine Kiste eingeschlossen, stets in einem nicht geheizten Raume ohne Fenster aufbewahrt. Ich war nicht wenig erstaunt, als ich das Solenoid hervorholte, zu finden, dass alle Windungen so lose waren, dass man sie mit der Hand hinund herschieben konnte.

Also diese Holzwalze, welche im Jahre 1868 zusammengeleimt und abgedreht, im Jahre 1884 neu abgeschliffen und bewickelt war, war in den sechs Jahren bis 1890 trotz vorsichtiger Aufbewahrung doch noch merklich

<sup>\*)</sup> l. c. p. 551.

183 —

zusammengeschrumpft. Den Versuch mit einer Holzwalze zu wiederholen, erschien deshalb nicht rathsam. Da ich schon früher vergeblich versucht hatte, eisenfreien Marmor in grösseren Blöcken zu erhalten, so blieb nichts übrig, als ein Solenoid auf Glas zu wickeln.

Nach vielen Umfragen und manchen vergeblichen Versuchen gelang es mir, durch das freundliche Entgegenkommen der Actiengesellschaft für Glasindustrie in Dresden zwei Glasröhren von je 110 cm Länge, c. 24 cm äusserem Durchmesser und c. 1 cm Wandstärke zu erhalten, die ganz schwach diamagnetisch waren. Die Röhren waren natürlich weder genau rund noch überall gleich dick. Dem Diener des Institutes gelang es, mit freundlicher Unterstützung des Mechanikers Schmidt, und unter meiner steten Controle, in monatelanger Arbeit, einen der Cylinder auf der Drehbank ganz vorzüglich zu schleifen.

Um den Radius zu bestimmen, verwendete ich ein Stahlband von nur 0,004 cm Dicke. Demselben war die Form gegeben, wie ich sie früher bei den zur Messung benutzten Papierstreifen gebraucht habe. DC (Fig. 3) war 2,8 cm breit. AB um etwa 1 cm kürzer als der zu messende Umfang der Glaswalze. EF war 1,2 cm breit und



konnte durch die Oeffnung bei A gezogen werden. BE war mit einer Millimetertheilung versehen. Dicht hinter A waren 10 Striche gezogen mit einem Abstande von 0,9 mm von einander. Wurde das Band um die zu messende Walze gelegt, BE durch die Oeffnung bei A gesteckt, fest angezogen und auf die Theilung AH gelegt, so konnte Letztere als Nonius benutzt werden. Um die Entfernung des ersten Theilstriches bei A von dem auf der Theilung BE benutzten Theilstriche unter möglichst -- 184 --

denselben Verhältnissen zu bestimmen, unter denen das Band bei der Umfassungsmessung benutzt war, wurde das Stahlband auf einen Glasstreifen gelegt, das Ende DC festgeklemmt und eine an EF befestigte Schnur über eine Rolle geführt und mit Gewichten belastet, der Abstand der in Frage kommenden Theilstriche dann mit dem Comparator gemessen. Bei einer Belastung mit 4 kgr ergab sich bis auf 0,01 mm derselbe Werth wie bei 2 kgr Belastung. Der Umfang des Glascylinders wurde an 22 gleichmässig über die Länge vertheilten Stellen gemessen und ergaben sich, als Mittel aus 6 Messungen die Werthe:

### 731 mm +

Für den Radius der Glaswalze ergiebt sich mithin

$$\mathrm{R}_{0} = \frac{1}{2 \pi} - \frac{1}{2} \delta$$

wo δ die Dicke des Stahlbandes gleich 0.004 cm

 $R_0 = 11,6439$  cm.

Um eine Controle für diese Messungen zu haben, wurde über die mit ihrer Axe horizontal gelegte Glaswalze ein Draht von 0,005 cm Dicke gehängt, dessen Enden Gewichte trugen, welche in Oelgefässe eintauchten. Um sicher zu sein, dass die Ebene des Drahtes senkrecht war zur Walzenaxe, waren auf der Walze in gleichmässigen Abständen mit spitzem Bleistift auf der Drehbank 30 Kreise gezogen und wurde sorgfältig darauf geachtet, dass der Draht immer auf einen solchen Kreis zu liegen kam. Der Abstand der frei herabhängenden Drahtenden wurde mit dem Kathetometer gemessen, dann die Walze um 900 gedreht und an denselben Stellen die Messung wiederholt.

Das Resultat war

$$R_0 = 11.6435$$
 cm

- 185 ---

Folglich im Mittel

 $R_0 = 11.6437$  cm.

Sehr viel Schwierigkeiten hat es verursacht, den für die Bewickelung der Walze nöthigen Draht aus eisenfreiem Kupfer bei einer Länge von über 2 km, einem Durchmesser von 0,02 cm in einem Stück und dabei gut rund zu erhalten. Ich bin den Herren Hesse Söhne. Kupferwerk in Heddernheim für ihre freundlichen Bemühungen zu grossem Danke verpflichtet.

Lord Rayleigh<sup>\*</sup>) hat in einer Besprechung meiner früheren Ohmbestimmung darauf hingewiesen, dass man die für ein unendlich langes Solenoid abgeleiteten Formeln nur dann benutzen darf, wenn die Wickelung sehr gleichmässig über das Solenoid vertheilt ist. Um so weit als möglich diese Forderung zu erfüllen, benutzte ich blanken. nicht umsponnenen Kupferdraht, und wickelte denselben mit Hülfe einer Breithaupt'schen Theilmaschine als Schraubenlinie um den Glascylinder. Der Draht lief von einer stark gebremsten Rolle D ab (Fig. 4), welche von einem Gehilfen mit der Hand nach Bedarf gedreht wurde ging über die Rollen  $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$  auf die dicht an  $A_3$  gerückte Glaswalze G: Zwischen  $A_1$  und  $A_2$  hing



Drahte, sodass dieser stets mit constanter Spannung aufeine bewegliche Rolle B mit dem Gewichte P in dem

<sup>\*)</sup> Rayleigh, Phil. Mag. (5) XXVIII, 10, 1886.

— 186 —

gewickelt wurde. A, und A, waren auf dem Schlitten der Theilmaschine befestigt. Die Axe dieser war mit der Axe der Glaswalze durch Zahnräder so verkuppelt, dass, während die Glaswalze drei Umdrehungen machte, der Schlitten der Theilmaschine um einen Theilstrich vorwärts rückte, mithin auf einen Theilstrich drei Windungen des Solenoids kamen. Obgleich die Rolle A3 eine sehr sauber gedrehte Nuth besass und sehr gut zwischen Spitzen lief, kamen bei einer Probewickelung doch kleine Unregelmässigkeiten vor. Es wurde deshalb auf dem Schlitten der Theilmaschine noch ein Gelenkarm angebracht, der an seinem Ende ein Glasstück trug, welches, durch ein Gewicht beschwert, auf dem Glascylinder schleifte. Das Glasstück konnte mit einer Mikrometerschraube parallel der Walzenaxe so verstellt werden, dass es hart neben dem Drahte schleifte, wenn dieser in richtiger Weise sich aufwickelte. Lief der Draht nicht absolut genau von A<sub>3</sub> auf die Walze, sondern suchte nach aussen auszubiegen, so wurde er von dem schleifenden Glasstück in die richtige Stellung gedrückt. Um zu verhüten, dass der Draht sich nach innen bog, also der schon liegenden vorhergehenden Windung zu nahe kam, war weiter auf dem Schlitten der Theilmaschine eine Säule aufgestellt, der Art, dass ein an ihrem oberen Ende befestigter Draht von 0,01 cm Dicke, der am anderen Ende ein Gewicht trug, zwischen der letzten und der vorletzten Windung auf der Glaswalze schleifte und so dafür sorgte, dass zwischen den beiden Windungen immer der richtige Abstand blieb. Um die Wickelung fortgesetzt zu controliren, war endlich auf dem Schlitten der Theilmaschine ein Mikroscop mit 20 facher Vergrösserung befestigt, durch welches ein Gehilfe unausgesetzt den auflaufenden Draht verfolgte. Derselbe hatte weiter die Aufgabe, sobald 10-12 neue Windungen gewickelt waren, dieselben mittelst eines feinen Haarpinsels mit einer alkoholischen Schellacklösung zu überstreichen. Durch das Eintrocknen der Lösung wurden die Draht- 187 -

windungen auf dem Glascylinder unverrückbar fest, zugleich wurde dadurch eine sehr gute Isolation gesichert.

Die Dicke des Drahtes wurde mittelst Mikroscop mit Ocularmikrometer während der Wickelung an 106 Stellen gemessen. Das Mittel ergab d = 0.022 cm. In guter Uebereinstimmung hiermit ergab eine Bestimmung des Durchmessers durch Wägung bei einem 5 m langen Drahtstücke d = 0.023 cm. Es wurde für die Rechnung der Werth d = 0.022 cm benutzt, weil dieser aus Dickenmessungen gewonnen war, welche über die ganze Länge des aufgewickelten Drahtes gleichmässig vertheilt waren. Da der Radius der nicht bewickelten Walze  $R_0 = 11,6437$  cm war, so ergiebt sich für den Radius des Solenoids

## R = 11,6547 cm.

Nachdem die Versuche mit dem Solenoid beendigt waren, wurde der Durchmesser desselben bestimmt, indem mit dem Stahlband über den Drahtwindungen der Umfang gemessen wurde. Unter Berücksichtigung der Drahtdicke ergab sich

$$R = 11,6569.$$

Die Differenz gegen den oben mitgetheilten Werth 11,6547 ist nicht grösser, als dass sie vollkommen durch die Lackschicht auf dem Drahte erklärt werden kann.

Es waren im Ganzen 3190 Windungen aufgewickelt, die Ganghöhe der Schraube an der Theilmaschine betrug 0,09099 cm. Es berechnet sich hieraus die Entfernung der Ebene der ersten Windung von der der letzten, oder die Länge des Solenoids

$$2 L = \frac{3189}{3} \cdot 0,09099 = 96,722 \text{ cm}.$$

Durch wiederholte directe Messungen mit dem Kathetometer wurde gefunden :

### 2 L = 96,705 cm.

Die gute Uebereinstimmung dieser beiden Werthe darf als Beweis für die gleichmässige Wickelung des Solenoids betrachtet werden. Dieselbe liess sich aber \_ 188 \_

noch directer darthun, indem an auf einander folgenden Stellen die Länge des Walzenstückes, welches von je 300 neben einander liegenden Windungen bedeckt war, in der Weise bestimmt wurde, dass ein Mikroscop auf dem Schlitten der Theilmaschine befestigt und auf die betreffenden Windungen eingestellt wurde. Es ergaben sich die Werthe

9,069 9,066 9,067 9,071 9,069 9,068 9,066 9,067 9,069 9,071.

Eine Uebereinstimmung, wie sie besser wohl schwer zu erreichen sein dürfte und wie sie jedenfalls ausreichend ist für die Anwendung der für das Solenoid abgeleiteten Formeln.\*)-

Der Widerstand des Solenoids betrug c. 1090 Ohm. Der Isolationswiderstand der Windungen gegen die Glaswand war grösser als  $10^7$  Ohm.

Nachdem 12 Versuche mit dem Solenoid ausgeführt waren, wurde dasselbe abgewickelt und mit neuem Draht bewickelt. Das Verfahren war das gleiche, nur wurde die Kuppelung der Walzenaxe mit der Theilmaschine jetzt so eingerichtet, dass auf die Länge eines Theilstriches nicht drei, sondern nur zwei Windungen zu liegen kamen. Alle nöthigen Messungen wurden gänzlich unabhängig von denen der ersten Wickelung durchgeführt. Die Resultate sind : Radius der leeren Walze, mit Stahlband gemessen :

 $R_0 = 11,6442$  cm.

Mit Senkeln gemessen:

 $R_0 = 11,6439$  cm.

Folglich im Mittel:

### $R_0 = 11,6440$ cm.

Der Durchmesser des aufgewickelten Drahtes, mittelst Mikroscop an 76 Stellen gemessen, wurde gefunden:

d = 0.0260 cm.

Die zur Controle ausgeführte Dickenmessung durch Wägung ergab:

d = 0.0263 cm.

\*) Vergl. F. Himstedt, Wied. Ann. XXVIII, 338, 1886.

Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

- 189 ----

# Der Radius des Solenoids wird mithin R = 11,6570 cm.

Der Radius dieses Solenoids wurde auch auf electromagnetischem Wege bestimmt und gefunden:

R = 11,6572\*)

Wie l. c. angegeben, halte ich indessen diese Bestimmung der directen Ausmessung nicht für gleichwerthig, und ich werde deshalb im Folgenden den Werth 11,657 benutzen.

Die Anzahl der Windungen betrug 2132. Mit dieser Zahl berechnet sich die Länge des Solenoids

 $2 L = \frac{2131}{2} . 0,09099 = 96,95 cm.$ 

Die directe Ausmessung mit dem Comparator ergab2 L = 96,985.

Es wurde der Versuch gemacht, auch diese Grösse auf electromagnetischem Wege zu bestimmen und gefuuden:  $2 L = 97,024^{**}$ , doch auch diese Zahl ist nicht berücksichtigt aus dem oben angeführten Grunde.

Für die Länge des von 200 Windungen bedeckten Walzenstückes ergab sich an den verschiedenen Stellen des Solenoids:

9,050 9,051 9,054 9,057 9,053 9,055 9,058 9,052 9,057 9,056.

Die Wickelung kann als sehr gleichmässig bezeichnet werden.

Der Widerstand des Solenoids betrug c. 530 Ohm. Der Isolationswiderstand war grösser als 10<sup>7</sup> Ohm.

### 5. Die secundäre Rolle.

Auch diese wurde nach den schlechten Erfahrungen mit Holz und um magnetische Einflüsse von Metallen zu vermeiden, auf Glas gewickelt. In einen Glasring von 6 cm axialer, 1,5 cm radialer Dicke wurde eine Nuth c. 3 cm breit und c. 1 cm tief eingeschliffen und in diese ein

<sup>\*)</sup> F. Himstedt, Wied. Ann. 49. 592, 1893.

<sup>\*\*\*)</sup> F. Himstedt, Wied. Ann. 49. 591, 1893.

- 190 -

schwach diamagnetischer, doppelt mit weisser Seide umsponnener Kupferdraht, der bei der Wickelung durch eine Schellacklösung gezogen wurde, in zwei Abtheilungen aufgewickelt. Der Umfang der leeren Spule und der jeder Drahtlage wurde mit dem Stahlband gemessen, die Anzahl der Windungen mittelst Zählwerk bestimmt. Die Windungszahl b, der mittlere Radius  $\rho$ , die halbe Breite  $\lambda$ , die halbe Höhe  $\delta$  wurden auf diese Weise gefunden:

1. Abtheilung	b = 399	$\rho = 12,676 \text{ cm}$
	$\lambda = 1,55$ cm	$\delta = 0,0853$ cm
1. u. 2. Abtheilung	b = 647	$\rho = 12,7337$ cm
	$\lambda = 1.55$ cm	$\delta = 0.1382 \text{ cm}^*$ ).

Um eine Controle für die gemessenen Grössen zu haben, wurde sowohl für die 1. Abtheilung wie für die ganze Spule die Windungsfläche nach der F. Kohlrausch'schen Methode bestimmt unter Benützung der früher beschriebenen Tangentenbussole.\*\*) Es wurde gefunden:

 $\rho = 12,670 \text{ und } \rho = 12,7281.$ 

Diese Werthe machen es wahrscheinlich, dass eine minimale Zusammenpressung der unteren Schichten durch die darüber gewickelten stattgefunden hat, zeigen aber auf der anderen Seite deutlich, dass keine Isolationsfehler in der Wickelung vorhanden sind. Für die Berechnung des V (pg. 182) ist die Differenz der  $\rho$  geradezu belanglos, da sie ja nur in das Correctionsglied eingehen.

Der Widerstand der 1. Abtheilung der Rolle betrug c. 109 Ohm, der beider Abtheilungen zusammen c. 179 Ohm. Der Isolationswiderstand der Drähte gegen den Glasrahmen

<sup>\*)</sup> Es muss bemerkt werden, dass  $\lambda$  ein Mittelwerth ist. Es war nicht möglich gewesen, die Nuth in dem Glasringe scharf rechteckig zu schleifen, dieselbe verjüngte sich ein wenig nach innen zu und hat dort abgerundete Ecken. Die Correction wegen  $\lambda$ (Gleichung V und Va) ist aber so unbedeutend, dass eine genauere Kenntniss von  $\lambda$  nicht erforderlich ist.

<sup>\*\*)</sup> Wied. Ann. 49. 589, 1893.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

· 191 —

war grösser als 10<sup>7</sup> Ohm. Der Coëfficient der Selbstinduction, über dessen Bestimmung später berichtet werden soll, war gefunden für eine Abtheilung

$$P = 7,432 \cdot 10^7$$
.

## Für beide Abtheilungen zusammen $P = 1,950.10^{\circ}$ .

Eine zweite secundäre Rolle wurde in derselben Weise hergestellt und gemessen, doch liess man den Draht bei der Wickelung statt durch Schellacklösung, durch eine Lösung von Paraffin in Terpentinöl gehen.

1. Abtheilung	b = 600	$\rho = 12,496 \text{ cm}$
	$\lambda = 1,44 \text{ cm}$	$\delta = 0,191 \text{ cm}$
	$P = 1,65.10^{8}$	w = 172  Ohm
1. u. 2. Abtheilung	b = 819	$\rho = 12,5725 \text{ cm}$
	$\lambda = 1,44$ cm	$\delta = 0,250$ cm
	$P = 3,075.10^{8}$	w = 230 Ohm.

Isolationswiderstand bei beiden grösser als 10<sup>7</sup> Ohm. Nach der Methode von F. Kohlrausch für die electromagnetische Bestimmung der Windungsfläche wurde gefunden:

 $\rho = 12,4977$  und  $\rho = 12,5718^*$ ).

\*) Es scheint mir nicht uninteressant, darauf hinzuweisen, wie nothwendig es ist, auf Eisenfreiheit des Drahtes sorgfältig zu achten. Als ich mich entschloss, noch eine zweite sec. Rolle zu wickeln, bestellte ich mir von demselben Drahte, den ich bei der ersten Rolle benutzt und schwach diamagnetisch gefunden hatte. Ich vergass, den nachgelieferten Draht auf Eisengehalt zu untersuchen. Die Versuche mit den beiden Rollen ergaben nun, unter sonst vollkommen gleichen Verhältnissen, Resultate, die bei der neu gewickelten constant um fast 0,2 % grösser waren, als bei der anderen. Ich habe lange Zeit vergeblich nach allen möglichen Fehlerquellen gesucht, bis mir einfiel, dass ich versäumt hatte, den Draht auf Eisengehalt zu untersuchen. Der Versuch ergab dann, dass der Draht ausgesprochen magnetisch war, er stellte sich zwischen den Polen eines Electromagneten axial und hatte eine bedeutend kürzere Schwingungsdauer, sobald der Magnet erregt wurde.

- 192 -

### 6. Der Widerstand r.

Ein Vorzug, den die hier benutzte Methode vor allen anderen Methoden besitzt, besteht darin, dass man für den in absolutem Maasse zu bestimmenden Widerstand direct eine Hgnormale oder Drahtnormale von der Grösse eines Ohm benutzen kann.

Es wurde in den secundären Kreis für r (Fig. 1) eine der Hgnormalen eingeschaltet, welche Herr Passavant auf meine Veranlassung hergestellt hat\*), und diese direct nach der oben abgeleiteten Formel  $r = n \cdot V \cdot \frac{tg \alpha_i}{tg \alpha_i}$  in absolutem Maasse bestimmt.

Für  $r_0$  (Fig. 1) wurde ein dem r möglichst gleicher Drahtwiderstand benutzt, für  $w_0$  ein Rheostat.

Bei den Versuchen wird zuerst mit der in Fig. 1 dargestellten Schaltung gearbeitet, dann werden die Drahtenden des primären Kreises po und qo von ro losgelöst und bei p und q angelegt. Soll, wie die Versuchsanordnung es verlangt, hierdurch der Widerstand des primären Kreises nicht geändert werden, so muss  $\frac{r_0 w_0}{r_0 + w_0} = \frac{r \cdot w}{r + w}$ . Dies wurde vor jedem Versuche controlirt. Die Gleichheit konnte in ausreichendem Maasse leicht durch Stöpseln im Rheostaten wo hergestellt werden. Es würde nämlich schon genügen, diese Abgleichung auf 1% genau zu machen, denn der Widerstand des primären Kreises betrug nie unter 1000 Ohm; da ro sehr nahe 1 Ohm war, so würde, wenn dieser Widerstand wirklich durch einen um 1% grösseren oder kleineren ersetzt würde, dadurch der Gesammtwiderstand des primären Kreises erst um 0,001 % geändert werden.

Bei den meisten Versuchen wurde für r die von Herrn Passavant mit  $C_3$  bezeichnete Normale benutzt, für welche er den Werth gefunden hatte :

### $C_3 = 1.01604$ S.E.

\*) Passavant: Ueber eine Reproduction der Siemens'schen Hg-Einheit. Diss. Giessen 1890. © Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

Herr Guillaume hatte die Güte, die Röhre mit den von Herrn Benoit hergestellten Normalen zu vergleichen und fand

$$C_3 = 1.01609$$
 S.E.

Bei einigen Versuchen ist für r die von Herrn Passavant mit Nr. V bezeichnete Röhre benutzt :

Nr. V = 1,18934 S.E.

Bei anderen Versuchen wurde die Normale Nr. I benutzt:

Nr. I = 0,99870 S.E.

In der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wurde Nr. I mit den dort bislang hergestellten Normalen verglichen und dafür gefunden:

Nr. I = 0,99869 S.E.\*)

Ueber die Richtigkeit der benutzten Normalen kann mithin wohl kein Zweifel sein.

Die Röhren wurden vor der Füllung mit concentrirter Salpetersäure, Alkohol und destillirtem Wasser gereinigt und dann sorgfältig getrocknet. Das benutzte Quecksilber wurde zuerst mit Chromsäure gereinigt, dann zwei Mal destillirt. Es wurden stets zwei Röhren gefüllt und controlirt, ob auch ihr Widerstandsverhältniss gleich dem von Passavant angegebenen war. Bei Röhre V, welche meistens als Vergleichsröhre diente, wurde ausserdem vier Mal im Laufe der Versuche das Gewicht der Hg-Füllung bestimmt. Eine Veränderung des Volumens der Röhre konnte nicht constatirt werden.

Die Zuleitungsdrähte p und q resp.  $p_0$  und  $q_0$  (Fig. 1), welche in die Endgefässe der Normalen eintauchten, waren sorgfältig amalgamirte Kupferdrähte von 1 cm Durchmesser. Während der Versuche standen die Normalen, in ein Bad aus Kaiseröl eingesenkt, in einem Keller von recht constanter Temperatur. Zur Messung der letzteren

<sup>\*)</sup> Die Arbeiten über Hg-normalen werden bekanntlich in der P.T.R. noch fortgesetzt und es ist deshalb der oben mitgetheilte Werth nur als vorläufiges Resultat zu bezeichnen.

- 194 --

tauchten in das Hg der Endgefässe zwei in  $\frac{1}{10}$  Grade getheilte Thermometer, deren Nullpunkte wiederholt bestimmt wurden und die ausserdem zweimal innerhalb der in Frage kommenden Intervalle auf das Sorgfältigste mit dem Normalthermometer des Institutes verglichen waren.\*)

Die Temperaturcorrection für den Widerstand des Quecksilbers wurde nach der von den Herren Kreichgauer und Jäger \*\*\*) in der P.T.R. gefundenen Formel berechnet:

wt =  $w_0 \{ 1 + 0.000875 t + 0.00000125 t^2 \}$ .

Ausser mit den Hg-normalen wurden zwei Versuche ausgeführt, bei denen die Siemens'schen Drahtnormalen 3618 und 3619 in Parallelschaltung benutzt wurden. Es handelte sich darum, für r einen Widerstand von nahe  $1/_2$  Ohm zu haben. Die Vergleichung mit den Quecksilbernormalen ergab bei 11,860:

3618	=	0.99910	S.E.	α ==	0.00037
3619	_	1.00008	S.E.	α ==	0.00036

### 7) Galvanometer.

Bei den meisten Versuchen wurde ein Galvanometer (im Folgenden mit GI bezeichnet) benutzt mit länglich gestrecktem Multiplicator. Der Rahmen, auf welchen der Draht von 0,4 mm Dicke in nur 25 Lagen von je 58-60 Windungen gewickelt war, hatte eine Breite von 3,5 cm.

Das astastische Magnetsystem war aus zwei je 5 cm langen Stücken dünner Stricknadeln von 0,15 cm Durchmesser hergestellt, nach Art der Meissner-Meyerstein'schen Galvanometer an einem zweimal rechtwinkelig gebogenen

<sup>\*)</sup> Das Normalthermometer ist von Tonnelot, aus verre dure, auf das Stickstoffthermometer, entsprechend den Messungen des Herrn Chappuis vom Jahre 1885 bezogen:

Corr.: bei 10° -0,046

 $<sup>, 20^{\</sup>circ} -0.075.$ 

<sup>\*\*)</sup> Kreichgauer und Jäger, Wied. Ann. 47. 513, 1892.

Aluminiumdrahte befestigt, und an einem sehr dünnen Quarzfaden aufgehängt. Ausser den Drahtwindungen und den Magneten mit ihrem Aluminiumbügel war an dem Galvanometer kein Metall, sondern Alles aus Holz und Glas gefertigt. Die Dämpfung der Nadeln war nur sehr gering, die Ablenkungen wurden durch Beobachtung von Umkehrpunkten des Schwingungen von 30 bis 40 Scalentheilen ausführenden Magnetsystems bestimmt. Die Schwingungsdauer betrug 16,3 Sec., der Widerstand ca. 40 Ohm. Der Selbstinductionscoëfficient wurde nach einer bei anderer Gelegenheit zu beschreibenden Anordnung experimentell bestimmt zu 0,8135. 10<sup>8</sup>.

Eine Reihe von Versuchen wurde angestellt mit einem Siemens'schen Galvanometer (G II) mit astatischen Glockenmagneten, von denen der eine in eine Kupferhülse eingeschlossen war, wodurch das System sehr nahe aperiodisch gedämpft wurde. Aufgehängt war das System an einem Quarzfaden. Die Schwingungsdauer mit Dämpfung betrug 17,8 Sec., der Widerstand ca. 120 Ohm, der Selbstinductionscoëfficient 3,073. 10<sup>s</sup>.

Endlich wurden einige wenige Versuche ausgeführt mit einem Galvanometer (G III), das wie G I Meissner-Meyerstein'scher Construction war, aber bedeutend grössere Dimensionen hatte. Die Magnete hatten 10 cm Länge, 1,1 cm Durchmesser und waren an Coconfäden aufgehängt. Die Schwingungsdauer betrug 17,5 Sec., der Widerstand ca. 55 Ohm, der Selbstinductionscoëfficient 1,609. 10<sup>8</sup>.

Der Scalenabstand betrug bei allen Versuchen mindestens 400 cm. Die Scala war eine 140 cm lange Milchglasscala von Hartmann & Braun, deren sehr geringe Theilungsfehler bestimmt waren.

Bei allen Galvanometern wurde wiederholt constatirt, dass sie keinen Ausschlag gaben, wenn Schliessungs- und Oeffnungsströme gleichzeitig durch das Galvanometer hindurchgingen, auch dann nicht, wenn das Magnetsystem durch einen in die Nähe gebrachten Magneten um 4-5° aus der Ruhelage abgelenkt war.

 $13^{*}$ 

### - 196 -

## 8) Der Disjunctor.

Der Disjunctor hatte im Wesentlichen die Einrichtung, welche ich bei der früheren Ohmbestimmung beschrieben habe, im Einzelnen sind aber an dem Apparate eine Reihe von Abänderungen vorgenommen, welche den Gebrauch nicht unwesentlich erleichtern, so dass ich glaube behaupten zu können, in dem Disjunctor jetzt einen Apparat zu besitzen, der nicht nur eine grosse Genauigkeit garantirt, sondern auch sehr leicht zu handhaben ist, der, einmal justirt, jeder Zeit zum Gebrauch fertig ist.

Auf einer mit Stellschrauben versehenen Messingplatte M (Fig. 5) erheben sich 4 Messingsäulen S, welche eine 2 cm dicke Hartgummiplatte H tragen. Die Mitte



derselben hat eine 6 cm. weite Durchbohrung, ausserdem sind in die Platte 6 circa 1 cm tiefe, 0,9 cm breite Rinnen

- 197 -

eingedreht von den Durchmessern 7 cm, 9,5 cm, 12,5 cm, 15 cm, 17,5 cm, 20 cm. Die 3. und 5. Rinne sind durch vertical eingestellte, ganz dünne Elfenbeinplättchen, jede in 24 gleiche Abtheilungen getheilt, von denen je 12 mit Hg gefüllt sind und durch seitliche Oeffnungen mit den Rinnen 2 resp. 4 communiciren. Durch diese Anordnung ist es erreicht, dass das Hg in allen 12 Abtheilungen einer Rinne gleich hoch steht. Die Rinnen 1, 2, 4 und 6 sind ganz mit Hg gefüllt. Auf der unteren Seite der Hartgummiplatte sind diesen Rinnen 1, 2, 4, 6 entsprechend vier Ringe aus Messing, 0,5 cm breit, 0,2 cm dick, aufgeschraubt. Die Schrauben, je 12 für jeden Ring, gehen durch das Hartgummi hindurch und vermitteln die Leitung zwischen dem Messingringe und dem Hg in der betreffenden Rinne. Das phonische Rad ruht mit Stellschrauben auf der Messingplatte M und trägt oben auf der Axe eine Hartgummischeibe von 5 cm Durchmesser. Auf dieser sind, von einander isolirt, zwei horizontale Messingarme befestigt, welche jeder zwei Schneiden aus ganz dünnem Kupferblech tragen. Von diesen tauchen die am ersten Arme befestigten in die Rinnen 1 und 3 und zwar bleibt die in Rinne 1 bei der Rotation des phonischen Rades stets mit dem Hg in Berührung, während die in Rinne 3 durch ganz feine, mit der Laubsäge in den Elfenbeinplättchen angebrachte kurze Schnitte hindurchschlagend, abwechselnd durch eine mit Hg gefüllte, abwechselnd durch eine leere Abtheilung hindurchgeht. Auf diese Weise wird die Leitung zwischen Rinne 1 und 3 bei jeder Umdrehung des Rades 12 mal geschlossen und unterbrochen. Ebenso bewirken die Schneiden des zweiten Armes, welche in Rinne 5 resp. 6 sich bewegen, abwechselnd die Verbindung und Unterbrechung zwischen diesen.

Um den Apparat einzustellen, wird zuerst die Hartgummiplatte H mittelst der an der Messingplatte M befindlichen Fussschrauben horizontal gestellt. Dann wird mit Hülfe der Stellschrauben am phonischen Rade die Axe dieses senkrecht gestellt. Ob dies erreicht, lässt sich sehr leicht daran erkennen, dass bei der Rotation des Rades die Kupferschneiden stets gleich tief ins Quecksilber tauchen. Endlich wird mit Hülfe der vier Druckschrauben D das Rad so gestellt, dass seine Axe genau durch die Mitte der Hartgummiplatte H geht und in dieser Stellung wird dann das Rad festgeschraubt. Damit ist der Apparat ein für alle Mal justirt. Bei neuer Aufstellung hat man nur nöthig, mit den Fussschrauben an M die Hartgummiplatte horizontal zu stellen, d. h. so, dass das Hg an allen Punkten einer Rinne gleich hoch steht. Dass die Schneiden der beiden Unterbrecher leicht gegen einander verstellt werden können, sodass man je nach Wunsch mit Schliessungs- oder Oeffnungsströmen arbeiten kann, ist wohl selbstverständlich.

Die Schwingungszahl der Stimmgabel, welche für die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades bestimmend war, konnte durch Laufgewichte innerhalb ziemlich weiter Grenzen geändert werden. Die Umdrehungszahl des Rades wurde mit einem Zählwerk Z bestimmt, das mit der Axe des Rades in Verbindung gesetzt werden konnte. Da ein Versuch durchschnittlich eine halbe Stunde dauerte, so waren immer 1000 bis 2000 Umdrehungen zu zählen. Da am Zählwerk 1/100 Umdrehung abgelesen werden konnte, liess sich die nöthige Genauigkeit leicht erreichen. Soll das phonische Rad längere Zeit hindurch laufen, so ist es vortheilhaft, den Stromkreis der Stimmgabel von dem des Rades zu trennen. Die Stimmgabel wurde durch einen, das Rad durch zwei Accumulatoren getrieben. Die Funken an den Unterbrechungsstellen habe ich so gut wie vollkommen vermieden, indem ich parallel zu jeder Unterbrechungsstelle einen Condensator von 0,5 resp. 1,0 Mikrofarad schaltete.

Ich habe den Apparat wochenlang jeden Tag während mehrerer Stunden im Gange gehabt, derselbe hat stets tadellos gearbeitet. Die Kupferschneiden, welche durch das Hg schlagen, nutzen sich natürlich ab, können dann leicht tiefer gestellt oder gegen neue ausgewechselt wer- 199 -

den. Auch empfiehlt es sich, wenn der Apparat viel benutzt wird, vielleicht alle Monat frisch gereinigtes Hg einzufüllen. Ist das Hg nämlich stark verunreinigt, so bleiben leicht Tröpfchen an den Schneiden hängen und werden mitgerissen.

Der Apparat ist nach meinen Angaben von dem hiesigen Mechaniker Gebrüder Schmidt angefertigt und kann fertig justirt auch von diesem bezogen werden.

### 9) Aufstellung der Apparate.

• Das Solenoid stand mit seiner Axe vertical auf einem Holzgestell, welches mit drei Fussschrauben auf einer direct auf das Kellergewölbe gelegten Sandsteinplatte ruhte. Durch Absuchen mit der Magnetnadel hatte ich mich überzeugt, dass in weitem Umkreise sich kein Eisen befand. Die nächsten Metalltheile waren zwei Meter von dem Solenoid entfernt. Der Abstand desselben von dem in einem anderen Zimmer aufgestellten Galvanometer betrug in Luftlinie über 6 Meter, und war eine Einwirkung des vom Strome durchflossenen Solenoids auf die Galvanometernadeln nicht nachweisbar.

Die mittelste Windung des Solenoids war gezeichnet, und von dieser wurde nach oben und nach unten die halbe Breite der zu benutzenden secundären Rolle aufgetragen, so dass letztere mittelst der Fussschrauben des sie tragenden Holzgestelles leicht und sicher so eingestellt werden konnte, dass ihr Mittelpunkt mit dem des Solenoids zusammenfiel. Zu bemerken ist übrigens, dass ein Einstellungsfehler von 0,1 cm erst einen Fehler von wenig über 0,0002  $^{0}/_{0}$  bedingen würde.

Der Disjunctor war von allen anderen Apparaten, in Luftlinie gemessen, über 18 Meter entfernt. Wurde das Solenoid, also die inducirende Rolle, aus dem primären Kreise ausgeschaltet, so konnte am Galvanometer nicht die geringste Ablenkung beobachtet werden, selbst bei einer Stromstärke im primären Kreise, die nahe 100 Mal so gross war, als die für gewöhnlich benutzte. Die Quecksilbernormale befand sich, wie schon erwähnt, in einem Kellerraume. Die ziemlich ausgedehnten Leitungen waren überall auf das Sorgfältigste isolirt. Die Räume, durch welche dieselben führten, waren alle ungeheizt. Da ein Raum, durch welchen die Leitungen führten, nicht durch Fensterläden vor dem directen Sonnenlichte geschützt werden konnte, so wurde stets nur beobachtet, wenn die Sonne diesen Raum nicht traf. Ich habe in Folge dieser Vorsicht nie Störungen durch Thermoströme gehabt. In der primären Leitung befand sich ein Commutator, dessen isolirende Theile aus Paraffin und Siegellack hergestellt waren, ein gleicher war in der secundären Leitung vor das Galvanometer geschaltet.

Die Stromquelle bildeten 3 bis 18 grosse Accumulatoren (normale Entladungsstärke 25 Amp.), die immer in drei Reihen parallel geschaltet waren, sodass also mit der electromotorischen Kraft von 1 bis 6 Elementen gearbeitet wurde. Die grösste Stromstärke im primären Kreise betrug c. 0,01 Amp. Diese kam nur bei den wenigen Versuchen mit dem oben erwähnten Galvanometer (G. III) mit schwerem Magnetsystem zur Anwendung, bei allen übrigen Versuchen war die Stromstärke kleiner als0,002 Amp.

### 10) Die Versuche.

Die einzelnen Versuche unterscheiden sich dadurch von einander, dass

- 1) zwei verschiedene Solenoide benutzt sind;
- 2) verschiedene secundäre Rollen, resp. auch vsrschiedene Abtheilungen derselben secundären Rolle zur Verwendung kamen;
- 3) die Zahl der Stromunterbrechungen pro Secunde durch den Disjunctor eine verschiedene war;
- 4) sowohl mit Schliessungs-, als mit Oeffnungs-Inductionsströmen gearbeitet wurde;
- 5) die Widerstände des primären wie des secundären Kreises durch Zusatzwiderstände in möglichst weiten Grenzen variirt wurden;

- 201 —

- 6) für die in absolutem Maasse zu bestimmenden Widerstände verschiedene Normalen benutzt wurden:
- 7) mit verschiedenen Galvanometern beobachtet wurde:
- 8) verschiedene Stromstärken verwendet wurden.

Durch diese Abänderungen der Versuche sollten hauptsächlich die folgenden Punkte klar gestellt werden:

1) Der Inductionscoëfficient des Solenoids auf die secundäre Rolle wird berechnet unter der Annahme, dass der Strom das Solenoid gleichmässig bedecke. Nun weicht jede Spule ja von dieser Annahme ab. indem streng genommen der Strom den Kern in einer Schraubenlinie umfliesst. Bei den hier benutzten Solenoiden war aber die Abweichung noch grösser dadurch, dass die Ganghöhe der Schraubenlinie grösser war, als der Durchmesser des aufgewickelten Drahtes, während sonst gewöhnlich beide sehr nahe (bis auf die Umspinnung) einander gleich sind. Es konnte deshalb die Frage aufgeworfen werden, ob für ein solches Solenoid noch die berechneten Formeln Gültigkeit haben. Da zwei Solenoide, welche bei gleicher Drahtdicke, das erste eine Ganghöhe von 0,33 cm, das zweite eine solche von 0.5 cm besassen, zu gleichen Resultaten geführt haben, wird man diesen Einwand nicht mehr erheben können.

Dass die Windungen auf den Solenoiden genügend gleichmässig vertheilt waren, um die für das Potential berechnete Formel anwendbar erscheinen zu lassen, habe ich schon oben auseinandergesetzt. Der Umstand, dass die beiden Solenoide gleiche Werthe für das Ohm ergeben haben, darf als experimentelle Bestätigung meiner Behauptung angesehen werden.

2) Da die Berechnung der Windungsfläche der secundären Spule aus den bei der Wickelung gemessenen Grössen das gleiche Resultat ergeben hatte, wie die experimentelle Bestimmung nach der Methode von F. Kohlrausch, so war es von vornherein sehr unwahrscheinlich, dass Isolationsfehler vorhanden waren; immerhin wäre es denkbar gewesen, dass die Isolation für constanten Strom, wie er dort benutzt war, ausreichend gewesen wäre, für Inductionsströme dies aber vielleicht nicht mehr war. Durch die Verwendung zweier Rollen sowie verschiedener Abtheilungen derselben Rolle ist diesem Einwande begegnet.

Nr. 3, 4 und 5 verfolgen hauptsächlich denselben Zweck. Bei den Versuchen wird der primäre Strom n Mal in der Secunde geschlossen und unterbrochen und durch den Disjunctor soll dafür gesorgt werden, dass in dem secundären Kreise entweder nur die n Schliessungsströme oder die n Oeffnungsströme durch das Galvanometer gehen, diese dann aber auch Zeit zu vollem Ablaufe finden. Will man also z. B. mit Oeffnungsströmen arbeiten, so müssen die Schneiden des Disjunctors den secundären Kreis ein klein wenig eher schliessen, ehe die Schneiden des primären Kreises diesen unterbrechen. Soll dies etwa 10 mal in der Secunde geschehen, so würde der Inductionsstrom zu seiner vollen Ausbildung also etwas weniger als 1/20 Sec., sagen wir 1/30 bis 1/25 Sec. den secundären Kreis geschlossen finden. Es fragt sich nun, genügt diese Zeit, um trotz der vorhandenen Selbstinduction den Strom vollständig ablaufen zu lassen. Schon bei meiner ersten Ohmbestimmung habe ich diesem Punkte die nöthige Beachtung geschenkt. Ich habe ein Mal aus Selbstinduction und Widerstand des Stromkreises in bekannter Weise die Zeit berechnet, innerhalb welcher der Strom bis auf einen verschwindenden Bruchtheil abgelaufen sein musste, sodann aber auch experimentell mich überzeugt, dass die vom Disjuncter gelieferte Contactdauer zum vollen Ablauf der Inductionsströme genügte.\*)

Da ich bei den Versuchen die Ueberzeugung gewann, dass diese letztere Prüfung ein ganz sicheres Urtheil über die Frage ermöglichte, so habe ich nur diese damals beschrieben, die Rechnungen aber fortgelassen, besonders auch um deswillen, weil ich die Selbstinductionscoëfficienten der Apparate z. Th. nur annähernd berechnen konnte.

\*) l. c. pag. 568.

203 —

Herr Dorn schreibt nun in dem citirten Berichte hinsichtlich dieses Punktes, nachdem er die experimentelle Prüfung anerkannt hat\*): "Ein Zweifel bleibt aber bestehen, besonders da der Selbstinductionscoëfficient des Galvanometers vielleicht grösser war, als oben angesetzt." Ich habe jetzt nachträglich auf experimentellem Wege auch den Inductionscoëfficienten des fraglichen Galvanometers bestimmt und gleich 9, 8.10<sup>s</sup> gefunden, also nicht grösser, sondern nur wenig mehr als halb so gross, wie ihn Herr Dorn mit 1,7.10<sup>9</sup> in Ansatz gebracht hat, so dass ich fest überzeugt bin, dass hieraus auch bei meiner ersten Ohmbestimmung kein Fehler hat entstehen können.

Um bei der vorliegenden Ohmbestimmung jeden Zweifel hinsichtlich dieses Punktes auszuschliessen, habe ich zunächst die Selbstinductionscoöfficienten aller benutzten Apparate experimentell bestimmt und dann die Widerstände so gewählt, dass die für den Ablauf der Inductionsströme berechnete Zeit nur einen Bruchtheil der vom Disjunctor thatsächlich gelieferten Contactdauer betrug.

Bezeichnen wir die Stromintensität im primären Kreise mit J, den in einem bestimmten Augenblicke nach der Unterbrechung von J im secundären Kreise inducirten Strom mit i, so wird bekanntlich der Integralstrom

$$\int_{0}^{\infty} i dt = \frac{J \cdot P_{1,2}}{w} = j$$

wo  $P_{1,2}$  das Potential der beiden Inductionsvallen auf einander, w der Widerstand des secundären Kreises ist. Bezeichnen wir den Selbstinductionscoëfficienten im secundären Kreise mit P, so können wir setzen :

$$i = - \frac{P}{w} \frac{di}{dt}$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergiebt sich

$$i = \frac{J P_{1,2}}{w} e^{-\frac{w}{P}t}$$

\*) Dorn l. c. pag. 72.

- 204 -

und dann wird

$$\int_{0}^{\infty} i \, \mathrm{d}t = \int_{0}^{\infty} \frac{J \cdot P_{1,2}}{P} \, \mathrm{e}^{-\frac{W}{P} t} \cdot \mathrm{d}t.$$

Bezeichnen wir mit T die Zeit, welche erforderlich ist, damit der Strom bis auf  $1.10^{-5}$  seines Werthes abgelaufen ist und schreiben :

$$\int_{0}^{\infty} i \, \mathrm{d}t = \int_{0}^{T} i \, \mathrm{d}t + \int_{T}^{\infty} i \, \mathrm{d}t,$$

so muss

$$\int_{T}^{\infty} i \, dt = \int_{T}^{\infty} \frac{J \cdot P_{1,2}}{P} e^{-\frac{W}{P}t} \, dt = \frac{J \cdot P_{1,2}}{W} e^{-\frac{W}{P}T} = j \cdot e^{-\frac{W}{P}T} = j \cdot 10^{-5}$$

Hieraus berechnet sich die für den Ablauf des Oeffnungs-Inductionsstromes bis auf  $1/10^5$  seines Werthes nöthige Zeit:

$$\mathbf{T} = 5 \cdot \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{w}} \frac{1}{\log \mathbf{e}}$$

Von den im Folgenden mitgetheilten Versuchen liegen die Verhältnisse am ungünstigsten bei Versuch Nr. 6 mit Solenoid I. Die Selbstinduction im secundären Kreise (Galvanometer und secundäre Rolle) betrug:

 $P = 1.94 \cdot 10^8 + 1.61 \cdot 10^8 = 3.55 \cdot 10^8.$ 

Der Widerstand war: w = 1079 Ohm. Mithin wird: T = 0.0038 Sec. Da bei diesem Versuche mit 10 Unterbrechungen in der Secunde gearbeitet wurde, so lieferte der Disjunctor bestimmt 0,04 bis 0,033 Sec. Contactdauer, also immer noch etwa 10 mal so viel, als für den Ablauf des Stromes erforderlich.

Bei den meisten Versuchen war das Verhältniss günstiger, so betrug bei allen Versuchen mit dem Galvanometer G I. T höchstens 0,0027 Sec., bei 11 Versuchen sogar weniger als 0,002 Sec. Bei 2 von diesen arbeitete der Disjunctor mit nur 5 Unterbrechungen in der Secunde, die Contactdauer war also ziemlich 40 mal grösser, als die für den Inductionsstrom erforderliche Zeit. Ich glaube, -205 -

aus dem Umstande, dass bei allen Versuchen die Contactsdauer am Disjunctor 10 bis 20 mal grösser war, als die zum Ablauf der Ströme erforderliche Zeit, sowie daraus, dass alle Versuche dieselben Resultate ergeben haben, trotzdem die Inductionsströme bei dem einen die doppelte Zeit erforderten wie bei den anderen, dass endlich alle Versuche sowohl mit Schliessungs- wie mit Oeffnungsströmen ausgeführt wurden und dasselbe Resultat lieferten, wird man wohl den Schluss ziehen müssen, dass in allen Fällen die Ströme die zum völligen Ablauf nöthige Zeit hatten.

Nichtsdestoweniger habe ich auch hier wieder die Prüfung durch den Versuch vorgenommen. Die Versuche 8 und 9 der zweiten Reihe unterscheiden sich dadurch von einander, dass bei 8 die Schneiden des Disjunctors möglichst günstig gestellt wurden, bei 9 hingegen so, dass die Contactdauer nur etwa noch den dritten Theil betrug; die Resultate sind die gleichen, also auch der dritte Theil der für gewöhnlich vom Disjunctor gelieferten Contactdauer genügte noch vollständig für den Ablauf der inducirten Ströme.

Nr. 6, die Anwendung verschiedener Normalen für den Widerstand r, soll zufällige Fehler in den Normalen selbst, sowie in den Uebergangswiderständen der Zu- und Ableitungen ausschliessen.

Nr. 7. Durch die Benutzung verschiedener Galvanometer sollte experimentell festgestellt werden, dass die Grösse und Form der Magnete ohne Einfluss ist und dass die Ablenkungen durch die Inductionsströme direct vergleichbar sind mit denjenigen durch den constanten Strom. Herr Dorn\*) hat den Einfluss der in den Galvanometermagneten inducirten Längs- und Quermomente durch die Rechnung bestimmt, und kommt ebenfalls zu dem Resultate, dass derselbe, besonders bei einem astatischen Nadelpaare, wie ich es ja stets benutzt habe, vollständig zu

\*) Dorn 1. c. p. 72.

-- 206 -

vernachlässigen ist. Eine weitere Bestätigung wurde in der von Lord Rayleigh vorgeschlagenen Weise gewonnen.\*) Es wurde das Magnetsystem durch einen genäherten Magneten um  $4-5^{0}$  abgelenkt und dann wurden Schliessungs- und Oeffnungsströme zusammen durch das Galvanometer geschickt. Die Nadeln zeigten keine Ablenkung.

Nr. 8. Bei meiner ersten Ohmbestimmung habe ich durch ausgedehnte Versuche \*\*) gezeigt, dass bei den schwachen zur Verwendung kommenden Strömen und bei Benutzung constanter Elemente ein Unterschied in der electromotorischen Kraft dieser nicht zu constatiren war, wenn sie constant geschlossen waren oder nur periodisch durch den Disjunctor geschlossen wurden. Ich habe deshalb diese Frage jetzt nicht von Neuem untersucht, und mich damit begnügt, drei grosse Accumulatoren in Parallelschaltung zu benutzen und die Stromstärke zu variiren.

### II) Resultate.

Die Beobachtungen verliefen in folgender Weise: Durch einen Vorversuch wurde die Schwingungszahl der Stimmgabel und damit die Rotationsgeschwindigkeit des phonischen Rades so regulirt, dass die von den Inductionsströmen hervorgebrachte Ablenkung der Galvanometernadeln bis auf wenige Tausendstel gleich der durch den constanten Strom war. Bei dem Versuche selbst wurde zuerst die Temperatur der Normalen abgelesen, dann das Zählwerk am phonischen Rade eingerückt und nun abwechselnd die Ablenkung durch Inductionsströme und die durch constanten Strom beobachtet.

Das hierbei nöthige Umlegen der Leitungen  $p_0q_0$  und pq wurde durch einen Gehilfen besorgt, so dass die Be-

<sup>\*)</sup> Lord Rayleigh, Phil. Mag. () 21, p. 10, 1886.

<sup>\*\*)</sup> l. c. p. 169\*

Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; download unter www.zobodat.at

207 -

obachtungen unmittelbar auf einander folgten und Aenderungen des Erdmagnetismus nicht in Frage kamen. Dann wurde das Zählwerk am Disjunctor ausgeschaltet und wieder die Temperatur der Normale abgelesen. Damit war die Bestimmung beendigt. Nur einmal zeigte sich in der Temperatur der Normale eine Aenderung von 0,12°, sonst blieb dieselbe stets innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler, d. h. kleiner als 0,05°.

In den folgenden Tabellen enthält die erste Verticalreihe die Nummer des Versuches, der Index a bedeutet Arbeiten mit Schliessungsströmen, b mit Oeffnungsströmen. In der zweiten bezeichnet S, dass die secundäre Rolle. deren Draht durch Schellacklösung gezogen war (pag. 190). benutzt war, und zwar nur mit der ersten Abtheilung, S1, dass beide Abtheilungen verwendet wurden. Entsprechend bezieht sich P1 und P12 auf die zweite secundäre Rolle, deren Draht durch Paraffin gezogen war. Die 3. und 4. Reihe enthalten unter wn und ws die Widerstände des primären und secundären Kreises. Bei den Versuchen 13 und 14 waren die zugeschalteten Widerstände nach Chaperon inductionsfrei gewickelt. Unter r ist die jedesmal benutzte Normale aufgeführt (pg. 192), unter t ihre Temperatur. In der folgenden Columne unter G sind die benutzten Galvanometer verzeichnet (p. 194). Ein NB. in dieser Columne bedeutet, dass das Galvanometer durch einen Richtmagneten noch weiter astasirt war. Ferner giebt n die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde, tga,/tga, das Verhältniss der Galvanometerausschläge bei Inductionsströmen und bei constantem Strom, a die Anzahl der benutzten Accumulatoren. Die letzte Reihe endlich enthält das Resultat.

208 —

Solenoid Ar. I.										
Nr.	Sec. Rolle	Wp	Ws	r	t	G	n	tga <sub>1/</sub> tga,	a	Ohm
1.	S	1095	1109	C S	3.40	G	14 0440	0.99667	1	1.06971
1a 1	$\mathcal{O}_1$	1055	1105		3 10	$G_2$	14,0340	0,00660	1	1.06900
1 b 0	e"	>>	1929	"	2 40	27	9 6785	0,999000	1	1,00200
-a 01	D <sub>11</sub>	27	1200	"	5.95	"	0,0100	1,00000	1	1,06200
20	"	"	1919	» ·	5,00	"	8,6801	1,00030		1,00217
0a 21	"	27	1414	"	3.69	"	8,6802	1,00038		1,00291
3b 1,	22	77	9170	77	3,00 3,70 N	p"a	0,0000	1,00055	1	1,00200
2D   5	77	27	1919	W F	7.95	C	10.9676	1,00055		1,06200
Ja .	77	27	1212	V	7.95	$G_2$	10,2010	1,01019	1	1,00210
ob C.	77	27	· 270	22	7.95	~"	10,2006	1,00897		1,06209
<u>5</u> p	" D	"	1170	2 15	,20	G <sub>3</sub>	10,2670	1,01017	0	1,00278
(a	$P_1$	,,	11(2	0 10	,81	$G_2$	9,4490	1,00267		1,00278
(b	>>	77	77	,, 16	5,88	>>	9,4470	1,00260 _		1,06299
								Mitt	el:	1,06271
				So	lenoi	id Ni	r. II.			
	0		1			1			1	
Nr.	Sec. Rolle	wp	W8	r	t	G	n	$tg \alpha_1/t_{\mathbb{C}} \alpha_2$	a	Ohm
-		000	1810	0	0.00		10.000			1.000-0
la	12	986	1713	C	9,80	$G_2$	13,029	0,99830	1	1,06270
- Ib	77	27	,,	:,	9,88	5 .,	13,031	0,99855	1	1,06290
$\frac{2a}{2}$	77	>>	>>	,,	10,17	,,	13,0310	0,99820		1,06286
-2b	>7	,,	"	,,,	10,16	3 .,	13,0328	6 0,99827		1,06278
- 3a	77	>>	1241	27	10,11	G <sub>3</sub>	13,0307	0,99818	6	1,06280
3b	>>	,,,		• • ,	10,11	.,	13,0290	0,99792	6	1,06266
+a	>>	1286	1568	,,	15,94	G <sub>1</sub>	13,0268	3 0,99260		1,06273
$\pm b$	17	,,	, ,,	.,	16,00	,,	13,0260	0,99252	1	1,06276
$5_{a}$	$P_{12}$	22	1619	,,	16,00	,,	10,3118	0,99572	1	1,06313
э́р	77	>>	> ? ?	,,	15,95	,,	10,3127	0,99580	1	1,06308
$-6_{a}$	,,	27	,,,	77	16,84	;,	10,3082	0,99437	1	1,06287
-6b	>>	,	27	,,	17.06	;,	10,3998	1,00304	1	1,06291
7a	27	2286	2919	;,	17,20	NB.C	$F_1 10,3981$	1,00252	1	1,06263
- 7b	27	,,	.,,	.,	17,28	BNB.G	$f_1 10,3967$	1,00269	1	1,06302
$-S_a$	$P_1$	1286	1561	;,	17.86	$G_1$	14,1584	1,00000	1	1,06286
8b	27	77	, , ,	77	17,70	) ,,	14,1597	1,00026	1	1,06288
$-9_a$	22	"	22	,,	16,92	77	14,4481	1,02154	1	1,06307
9b	22	22	,,	22	16,65	,,	14,1554	1.00116	1	1,06315
10a	27	22	,,	Nr. I	10,73	,,	13,8210	0,99937	1	1,06270
$10_{\rm b}$	72	22	,,	,,	10,79	,,	13,8283	1,00011	1	1,06299
$11_{b}$	P <sub>12</sub>	1586	2257	3619	13,52	27	10,0565	1,00014	2	1,06324
12a	22	>>	,,	(3618) 3619	13,71	, ,,	5,0331	1,00114	2	1,06280
12h					13,80		5,0322	1,00089	2	1,06276
13.	,,,	,,,		3619	13.52		10.0490	0,99907	2	1,06287
14a	S.	,,	2235		13.17		12,7391	0,99961	2	1,06259
	12			, ,,	, _ ,_ ,	. ,,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	Mitte	el:	1.06287

Als Mittel aus allen Versuchen ergiebt sich <u>1 Ohm = 1,06282 S. E.</u>

Giessen, August 1894.

## ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und</u> <u>Heilkunde</u>

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: 30

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

Artikel/Article: Ueber eine absolute Widerstandsmessung 177-208