

17. Ueber die Aichung eines ballistischen Galvanometers mittels einer Rolle von bekannter Selbstinduction; von Max Wien.

Die Aichung eines ballistischen Galvanometers geschieht gewöhnlich entweder mit Hülfe eines Condensators von bekannter Capacität oder nach der Thomson'schen Methode mit Hülfe einer langen Magnetisirungsspule mit primärer und secundärer Wickelung. Bei der Anwendung eines Condensators verursachen Leitung und Rückstandsbildung Fehler. Bei der Thomson'schen Methode muss die Windungszahl pro Längeneinheit und der Querschnitt des Solenoids genau bekannt sein. Es muss daher sehr sorgfältig und gleichmässig gewickelt werden. Bei der Messung des Durchmessers des Solenoids liegt in der Isolirung des Kupferdrahtes eine Fehlerquelle.

Die im Folgenden zu beschreibende Methode ist durchaus nichts Neues, sondern nur eine *Umkehrung der Maxwell'schen Methode zur Messung von Selbstpotentialen mittels Wheatstone'scher Brücke und ballistischem Galvanometer*. Da das Selbstpotential von Rollen sich genauer mit Wechselstrom messen lässt, so ist es vortheilhaft, umgekehrt mittels einer Rolle von bekannter Selbstinduction, z. B. einer Einheitsrolle¹⁾, ein ballistisches Galvanometer zu aichen.

Die *Theorie* ergibt sich direct aus den Maxwell'schen Gleichungen.²⁾ Im Zweige 1 einer Wheatstone'schen Brückencombination (^{1 2}_{3 4}) befinde sich eine Rolle mit dem Selbstpotential p . Die anderen Zweige sollen keine merkliche Selbstinduction besitzen. Die Widerstände der vier Brücken-
zweige seien w_1, w_2, w_3, w_4 , der des Galvanometerzweiges w_0 . Die Brücke sei im Gleichgewicht und die Stärke des constanten Stromes im Batteriezweig J . Dann ist die Electricitätsmenge, welche beim Oeffnen des Batteriezweiges durch das Galvanometer fliesst:

$$Q = \frac{J(w_3 + w_4) \cdot w_4 \cdot p}{[w_0(w_3 + w_4) + w_3(w_2 + w_4)][w_1 + w_2 + w_3 + w_4]}.$$

1) M. Wien, Wied. Ann. 58. p. 553. 1896.

2) Maxwell, Phil. Trans. (1) 155. p. 475.

Es sei $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w$, dann ist:

$$Q = \frac{J \cdot p}{4(w_0 + w)}.$$

J wird mittels eines geeigneten Strommessers bestimmt. Q kann variirt werden durch Aenderung von J , p oder w_0 , dem Widerstand des Galvanometerzweiges, wobei man gleichzeitig den eigenen Widerstand des Galvanometers eliminiren kann. Ist α der Ausschlag des Galvanometers, so ist der ballistische Reductionsfactor b gegeben durch:

$$b = \frac{J \cdot p}{4 \alpha (w_0 + w)}.$$

Bei der experimentellen Ausführung bestehen die Zweige 2, 3, 4 der Brücke aus gleichen Rheostatenwiderständen. Im Zweige 1 befindet sich die Rolle mit bekannter Selbstinduction. Der Widerstand dieses Zweiges wird durch hinzugefügten Rheostatenwiderstand und schliesslich mittels eines Platindrahtes mit Quecksilberschleifcontact genau abgeglichen. Die Stromintensität J wird an dem Strommesser abgelesen und dann der beim Oeffnen des Batteriezweiges entstehene Ausschlag des Galvanometers (α) beobachtet.

Die grösste Fehlerquelle bei der Methode liegt in Wärmewirkungen. Zur Vermeidung derselben arbeitet man am besten bei stets geschlossenem Galvanometerzweig und misst den Impulsivauschlag nur bei *Stromöffnen*, nicht bei Stromschluss oder Umkehr. Bei constantem Strom werden nach Stromschluss die verschiedenen Brückenzweige sich ungleich erwärmen, und daher ein zunächst schnelleres, dann immer langsames Wandern der Galvanometernadel zu beobachten sein. Man öffnet den Strom zur Beobachtung des Ausschlages, wenn die Nadel gerade durch den Nullpunkt — Ruhelage bei geöffnetem Batteriezweig — geht. Dies an sich bequeme Wandern darf natürlich nur sehr langsam sein, d. h. die während der Zeit des Impulsivauschlages zurückgelegte Strecke muss neben dem Ausschlag selbst zu vernachlässigen sein. Sonst ist der Strom zu stark, bez. der Draht der Widerstände oder der Inductionsrolle zu dünn.

Die Voraussetzung der Methode ist, dass der Ausschlag α ausschliesslich von der Selbstinduction der Rolle herrührt.

Man kann sich davon überzeugen, indem man die Rolle durch einen gleichen bifilaren Widerstand ersetzt, wobei beim Strom-öffnen kein merklicher Ausschlag entstehen darf.

Beispiel. Es wurde ein Sauerwald'sches Galvanometer älterer Construction nach dieser Methode geaicht. Dasselbe besass ein 4 cm langes astatisches Nadelpaar, Kupferdämpfung und einen Widerstand von 1,70 Ohm bei 19,5° C. Als Inductionsrollen wurden zwei Einheitsrollen zu 10^8 cm verwandt. Ihr genaues Selbstpotential betrug zusammen $p = 2,0022 \cdot 10^8$ cm. Die Stromstärke J wurde mit einem Siemens'schen Torsionsgalvanometer gemessen. Der Widerstand der vier Brücken-zweige w betrug je 100 Ohm. Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Aichung. J ist in Ampère, $w + w_0$ in Ohm, Q in Coulomb, α in reducirten Scalentheilen gegeben:

J variirt, $w_0 + w$ constant.				
J	$w_0 + w$	Q	α	b
0,02712	101,7	$1,334 \cdot 10^{-5}$	— 69,8	$1,916 \cdot 10^{-7}$
0,02712	101,7	$1,334 \cdot 10^{-5}$	+ 69,9	$1,914 \cdot 10^{-7}$
0,05417	101,7	$2,666 \cdot 10^{-5}$	— 139,4	$1,912 \cdot 10^{-7}$
0,05417	101,7	$2,666 \cdot 10^{-5}$	+ 139,3	$1,913 \cdot 10^{-7}$
0,08086	101,7	$3,978 \cdot 10^{-5}$	— 208,7	$1,906 \cdot 10^{-7}$
0,08086	101,7	$3,978 \cdot 10^{-5}$	+ 208,9	$1,904 \cdot 10^{-7}$

J constant, $w_0 + w$ variirt.				
	$w_0 + w$	Q	α	b
0,08086	301,7	$1,341 \cdot 10^{-5}$	— 70,2	$1,911 \cdot 10^{-7}$
0,08086	301,7	$1,341 \cdot 10^{-5}$	+ 70,3	$1,909 \cdot 10^{-7}$
0,08086	151,7	$2,667 \cdot 10^{-5}$	— 139,7	$1,909 \cdot 10^{-7}$
0,08086	151,7	$2,667 \cdot 10^{-5}$	+ 139,8	$1,908 \cdot 10^{-7}$
0,08086	101,7	$3,978 \cdot 10^{-5}$	— 209,0	$1,904 \cdot 10^{-7}$
0,08086	101,7	$3,978 \cdot 10^{-5}$	+ 209,2	$1,902 \cdot 10^{-7}$

Offenbar ist der Reductionsfactor nicht genau constant, er ist geringer für grössere Ausschläge, wie für kleinere, und für negative Ausschläge grösser wie für positive. Jedoch übersteigen die Abweichungen vom Mittelwerth kaum die Grenzen der Ablesungsfehler.

Zum Vergleich wurde das Galvanometer auch nach der *Thomson'schen Methode* geaicht. Die angewandte Hülfs-pule hatte einen Querschnitt von 11,1 cm² und 4,80 Windungen

auf 1 cm. Der Widerstand des secundären Kreises betrug 2,571 Ohm. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle gegeben:

J	Q	α	b
0,02525	1,324	— 69,8	$1,897 \cdot 10^{-7}$
0,02525	1,324	+ 69,8	$1,897 \cdot 10^{-7}$
0,05060	2,653	— 140,1	$1,894 \cdot 10^{-7}$
0,05060	2,653	+ 140,2	$1,893 \cdot 10^{-7}$
0,07689	4,032	— 213,2	$1,891 \cdot 10^{-7}$
0,07689	4,032	+ 213,6	$1,887 \cdot 10^{-7}$

Der Gang des Reductionsfactors ist derselbe, wie oben. Der absolute Betrag seines Mittelwerthes ist etwa um 7 pro mille kleiner. Die Differenz dürfte der oben erwähnten Unsicherheit bei der Bestimmung der Constanten der Hülsspule zuzuschreiben sein.

Würzburg, Phys. Inst. d. Univ., October 1897.

(Eingegangen 27. October 1897.)