

*I. Ueber thermoelectrische Eigenschaften des
Quecksilbers und der sehr verdünnten Amalgame;
von Th. Des Coudres.*

Erste Mittheilung.

Unsere Anschauungen über die Natur der Vorgänge im Dielectricum, die Ausbreitung der electrischen und magnetischen Energien und ihre gegenseitige Umsetzung haben in neuester Zeit auf Grund bahnbrechender Experimentaluntersuchungen wesentliche Aenderungen und Bereicherungen erfahren. Grosse Fortschritte hat auch gemacht die Theorie derjenigen electrischen Vorgänge im Leiter zweiter Classe, bei welchen electrische Quanta zugleich mit bestimmten stofflichen Mengen den Ort wechseln. Verhältnissmässig sehr unbestimmt und unsicher erscheinen dem gegenüber zur Zeit noch die Vorstellungen über die electrischen Vorgänge im Innern der Metalle.

Nach den bisherigen Erfahrungen sind die electrischen Eigenschaften eines inneren Punktes bei isotropen metallischen Leitern durch zwei Constanten oder vielmehr durch zwei Temperaturfunctionen charakterisierbar. Die eine ist das sogenannte specifische Leitungsvermögen (beziehungsweise die Abklingungsconstante der neueren Theorie). Durch diese Constante wird die nicht umkehrbare Verwandlung electrischer Energie in Joule'sche Wärme geregelt. Die andere Temperaturfunction bestimmt die in gewisser Weise reversibelen Umsetzungen von electrischer Energie und Wärme, welche wir unter dem Namen thermoelectrische Erscheinungen zusammenfassen. Beide Temperaturfunctionen ändern sich bekanntlich nicht nur von Metall zu Metall mit

dessen chemischer Natur, sondern sie erweisen sich auch in sehr erheblichem Maasse abhängig von der jeweiligen mechanischen Beschaffenheit des einzelnen Metallstückes und den dieselben bedingenden physikalischen Umständen. Ueber die Gesetzmässigkeiten bei den genannten Abhängigkeitsverhältnissen liegen genauere quantitative und theoretisch verwerthbare Resultate kaum vor. Mit festen Metallen erscheinen solche zur Zeit überhaupt noch nicht erzielbar, da wir nicht im Stande sind verschiedene Proben desselben festen Metalles in einem bestimmt definirbaren homogenen und isotropen Zustande herzustellen und darin zu erhalten. Aber auch an Metallen im flüssigen Zustande sind bislang Experimente über Leitungsvermögen und thermoelectrisches Verhalten weder von genügend principiellen Gesichtspunkten aus noch mit genügend feinen Messinstrumenten angestellt worden.

Die in vorliegender Arbeit gegebenen kleinen Beiträge sollen sich zunächst auf die thermoelectrischen Eigenschaften des Quecksilbers und der hinreichend verdünnten Lösungen fremder Metalle im Quecksilber beschränken. Für den Gang der Experimente dienten als Führung die drei ersten Theile von Sir William Thomson's Untersuchungen über die electrodynamischen Eigenschaften der Metalle.¹⁾ Diese drei Abschnitte behandeln 1) Die electriche Fortführung der Wärme; 2) die thermoelectrischen Umkehrungen; 3) die Wirkung von mechanischer Spannung und von Magnetisirung auf die thermoelectrischen Eigenschaften der Metalle.

Der Thomsons effect im Quecksilber ist bereits von Haga²⁾ nachgewiesen und gemessen worden. Zu einer Wiederholung des Haga'schen Experimentes wurde Verfasser veranlasst durch einen gütigen Hinweis des Herrn Geheimrath Wiedemann, dass die von Haga gewählte Versuchsanordnung nicht in jeder Beziehung einwurfsfrei erscheine. Das positive Resultat Haga's fand jedoch volle Bestätigung.

Was weiter die Uebertragung der Thomson'schen Versuche an gespannten Drähten auf flüssige Metalle angeht, so ist die einzige Spannung, welche im Innern einer Flüssig-

1) W. Thomson, *Papers* 2. p. 189. 1884; *Phil. Trans.* 146. p. 649—751. 1856.

2) Haga, *Wied. Ann.* 28. p. 179. 1886.

keit dauernd (statisch) bestehen kann, der hydrostatische Druck. Schon in Schliessungskreistheilen aus reinem Quecksilber liessen sich in der That durch Compression thermoelectromotorische Kräfte hervorrufen.

Eine Aenderung der thermoelectrischen Stellung des Quecksilbers durch magnetische Kräfte haben die bisherigen Versuche dagegen nicht erkennen lassen.

Vor Ausdehnung der Experimente auf verdünnte Amalgame mit besonderer Berücksichtigung der dort zu erwartenden thermoelectrisch neutralen Punkte erwies sich eine Hilfsuntersuchung über die Ausbreitung fremder Metalle in Quecksilber¹⁾ als wünschenswerth.

Die theoretische Verknüpfung der im Folgenden mitgetheilten Thatsachen mag erst nach vollständigem Abschlusse der Experimente im Zusammenhange dargelegt werden.

I. Wiederholung des Haga'schen Versuches über den Thomsoneffect beim Quecksilber.

Haga erhitzte ein mit den Schenkeln nach abwärts gerichtetes U-Rohr voll Quecksilber im oberen Theile, während die unteren Enden gekühlt wurden und untersuchte die Verschiebung des Temperaturgefälles an den Uebergangsstellen von Kalt und Warm, wenn ein galvanischer Strom durch das Quecksilber geschickt wurde. In der ganzen Versuchsanordnung, in den Dimensionen des Apparates, in der Construction, Isolirung und Einführung der Eisen-Neusilber-elemente für die Temperaturbestimmung wurde sich eng an die Haga'sche Arbeit²⁾ angeschlossen. Auch für die benutzten Stromstärken und für die Wahl der Galvanometerempfindlichkeit waren Haga's Angaben maassgebend. Auf sie kann darum in allen diesen Punkten verwiesen werden. Nur statt der einfachen Uförmigen Glasröhre für das Quecksilber waren 7 mm weite Röhren der aus Fig. 1 ersichtlichen Form und Grösse gesetzt worden. *a* und *b* sind die Oeffnungen für die Thermoeadeln. 1 bis 6 sind eingeschmolzene Platinelectroden. Von ihnen führten in Kautschukschläuche

1) Verh. der 63. Vers. deutscher Naturf. u. Aerzte II. Theil p. 54. Leipzig 1891. Beibl. 15. p. 331. 1891.

2) Haga, l. c.

eingeschlossene Kupferdrähte zu einer Commutations- und Umschaltvorrichtung, welche je zwei beliebige der sechs Electroden mit den Polen einer Batterie zu verbinden gestattete.

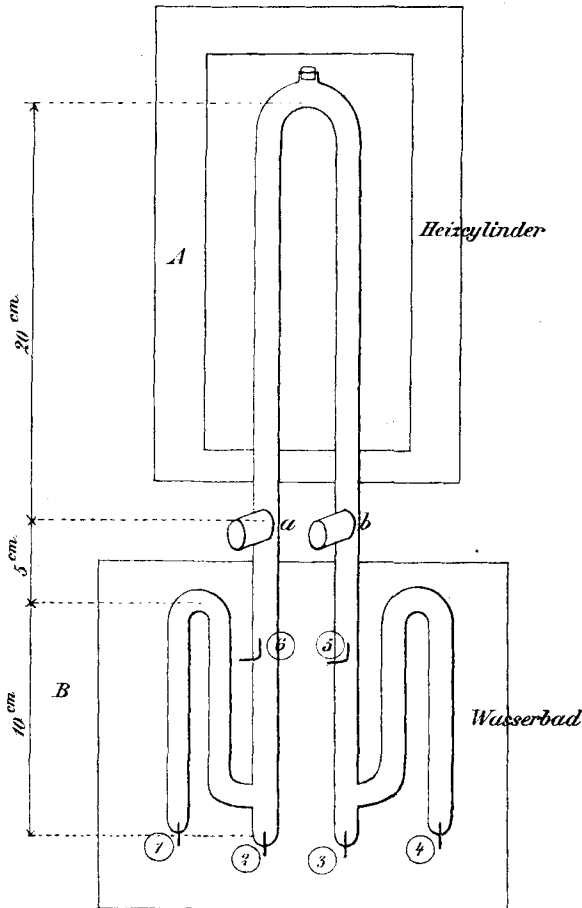


Fig. 1.

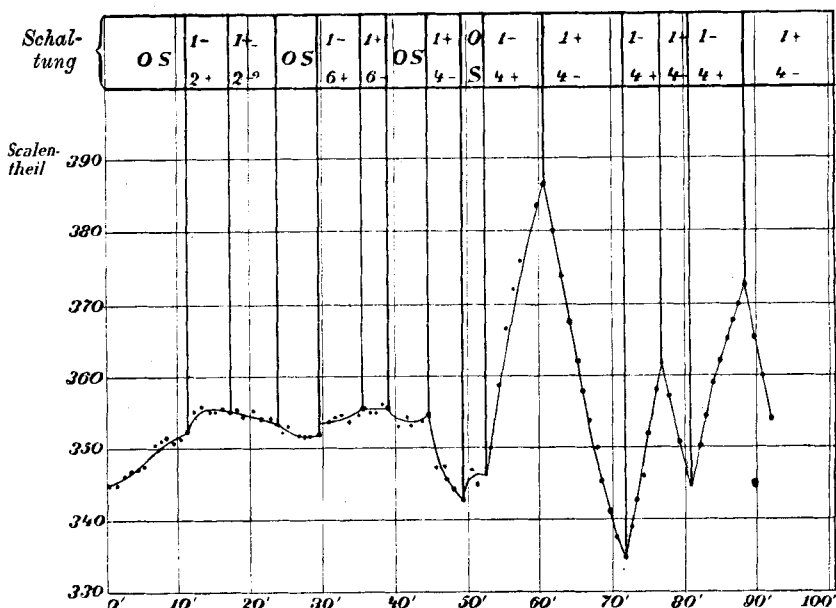
Es sollte nämlich geprüft werden, ob bei der von Haga gewählten Versuchsanordnung nicht die an den Electroden auftretenden Peltiereffecte von merklichem Einflusse auf die Temperaturdifferenzen in den Punkten *a* und *b* gewesen waren. Denken wir zum Beispiel einen Strom bei 5 ein- und bei 6 austreten, so wird die bei 6 entwickelte Peltierwärme

Platin Quecksilber sich durch Leitung nach a hin verbreiten, es wird ausserdem erwärmtes Quecksilber von 6 nach a aufsteigen, es wird endlich die Wärmeausdehnung des Quecksilbers bei 6 und die entsprechende Zusammenziehung bei 5 eine Verschiebung der gesammten Quecksilbersäule in dem U-Rohre von 6 nach 5 hin verursachen. Letzterer Vorgang würde das im Quecksilber negative Thomson'sche Phänomen vorübergehend zu gross erscheinen lassen, während die anderen beiden Störungen die vom Thomson'schen Phänomen hervorgebrachten Temperaturveränderungen in a und b verkleinern müssten. Wie schon oben erwähnt, fand aber Haga's Resultat seine volle Bestätigung.

Mehrere längere Versuchsreihen sind in der Weise durchgeführt worden, dass sich der Heizmantel A und das Kühlgefäss B (Fig. 1) bald auf derselben, bald auf verschiedener Temperatur befanden, während galvanische Ströme von verschiedener Stärke zwischen zwei beliebigen der sechs Electroden 1 bis 6 circulirten. Es zeigte sich immer, dass die vom Thomseffect herrührenden Temperaturänderungen an den Punkten a und b jedenfalls nur um weniger als 3 Proc. etwa von den Wärmevorgängen an den Electroden beeinflusst werden konnten. Auch der absolute Werth des Effectes stimmte der Grössenordnung nach mit den von Haga angegebenen Zahlen. Auf einen genaueren Vergleich musste verzichtet werden. Der Apparat war zu absoluten Messungen noch weniger geeignet als der von Haga wegen der Schwierigkeit die Stellung der Ansätze a und b zwischen der Heiz- und der Kühlvorrichtung zu verändern. Es sei darum auch abgesehen von Zahlentabellen über die Versuchsergebnisse. Die Art und Weise des Verlaufes der Experimente kann aus den folgenden beiden Diagrammen entnommen werden. Die Abscissen sind Minuten, die Ordinaten bedeuten Millimeter Spiegelgalvanometeraussschlag, das heisst der im betreffenden Zeitpunkte zwischen a und b herrschenden Temperaturdifferenz proportionale Grössen. Die Symbole in der Zeile „Schaltung“ geben an, welche der Electroden 1 bis 6 jeweilig mit dem positiven, welche mit dem negativen Pole der Batterie verbunden war. O. S. bedeutet „ohne Strom“.

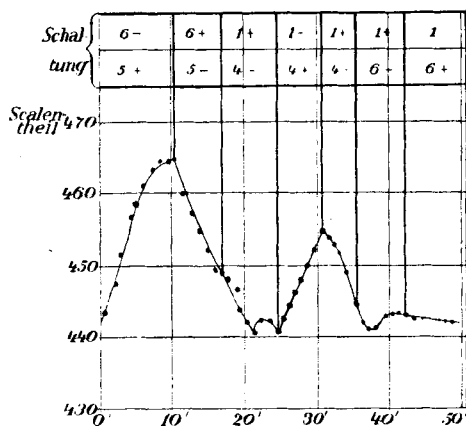
Versuchsdatum 6. Februar 1889.

Galvanometerempfindlichkeit 2,0.



Versuchsdatum 8. Februar 1889.

Galvanometerempfindlichkeit 1,7.



II. Ueber die Abhängigkeit der thermoelectrischen Stellung des Quecksilbers vom hydrostatischen Drucke.

Behufs Herstellung eines Thermoelementes aus comprimtem und nicht comprimtem Quecksilber können in isolirenden Gefässen (Glasröhren) eingeschlossene und unter verschiedenen hydrostatischen Drucken stehende Quecksilbermengen auf verschiedene Weisen leitend verbunden werden. Zunächst durch ein Zwischenstück aus einem festen Metall, z. B. durch eingeschmolzene Platindrähte. Sodann in der Weise, dass die Differenz des hydrostatischen Druckes in einer und derselben zusammenhängenden Quecksilbermenge durch deren eigenes Gewicht erzeugt wird. Endlich ist die leitende Verbindung zweier unter verschiedenem Drucke stehender Quecksilbermengen des Schliessungskreises durch eine feine Oeffnung in der trennenden Glaswand oder durch ein Capillarrohr ohne Dazwischenkunft eines zweiten Metalls herstellbar. Die Druckdifferenz muss in letzterem Falle durch eine continuirlich wirkende Vorrichtung constant erhalten werden entgegen der einen Ausgleich der Drucke anstrebenden Strömung durch die Oeffnung.

Experimente nach der zuletzt angegebenen Methode, bei welcher hydrodynamischer Druck und innere Reibung eine Rolle spielen, können nur nach vorheriger Erledigung der beiden rein statischen Methoden zu eindeutigen Resultaten führen. Die Versuchsanordnung mit eingeschmolzenen Electroden ist natürlich die bequemste zur praktischen Ausführung von Messungen. Die ersten Versuche zum Auffinden der Erscheinung wurden auf diese Weise angestellt¹⁾ und auch für die abschliessende Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Druck, Temperatur und thermoelectrischer Stellung des Quecksilbers in möglichst weiten Grenzen (Drucke bis 200 Atmosphären, Temperaturen bis in die Nähe des Siedepunktes) ist ein Apparat mit eingeschmolzenen Platindrähten construirt worden. Es erschien jedoch immerhin möglich, wenn auch nicht wahrscheinlich, dass die Einschaltung eines zweiten Metalls in den thermoelectrisch wirksamen Theil des Stromkreises bei der Kleinheit der überhaupt auftretenden electromoto-

1) Verh. d. physik. Ges. zu Berlin 9. p. 18. 1890.

rischen Kräfte Anlass zu Einwänden geben könnte. Würde etwa z. B. die Löslichkeit des Platins im Quecksilber stark vom Drucke abhängig sein, wie sie es in der That von der Temperatur ist¹⁾, und würde sich das gelöste Platin, wenn auch nur spurenweise, infolge der Capillarwirkungen rasch entlang der Oberfläche des reinen Quecksilbers ausbreiten, dann vermöchten Druckänderungen im Quecksilber die Entstehung thermoelectrischer Ströme völlig nebensächlicher Natur hervorzurufen. Jegliche derartige Einwände konnten beseitigt werden durch Versuche nach der oben an zweiter Stelle angegebenen Methode und Vergleich mit den für das entsprechende Druck- und Temperaturintervall bei Anwendung von Platinelectroden erhaltenen Zahlen.

1) Der Apparat mit communicirenden Röhren.

Das Princip des Apparates ist aus der nebenstehenden schematischen Skizze Fig. 2 ersichtlich, in welcher der Einfachheit halber nur zwei Elemente I und II angenommen sind. Die stark schraffirten Theile bedeuten Quecksilber, das in Glasröhren beziehungsweise dickwandige Kautschukschläuche eingeschlossen ist. Die verticalen Rohre *a* und *f* werden von aussen mit Wasser gekühlt; die Rohre *c* mit Dampf erhitzt. Die gekühlten Rohre *f* sollen, auch wenn die *c* erwärmt werden, eine bei *u* und *t* nahezu gleiche Temperatur gewährleisten. Der Glashahn *h* ist während der Versuche geschlossen und die directe leitende Verbindung von *i*₁ und *i*₂ aufgehoben. Zeitweiliges Oeffnen des Hahnes *h* zwischen je zwei Versuchen bewirkt Circulation des Quecksilbers im thermoelectrisch wirksamen Theile des Schliessungskreises. Der Contact der beiden Quecksilberpole *p* und *q* mit den Galvanometerdrähten geschieht unter Vermittelung eingeschmolzener Platindrähte in einem grossen Wasserbade *L*. Etwa an diesen Contactstellen oder auch im Galvanometer vorhandene electromotorische Kräfte gestattet der aus Glasröhren und vier Glashähnen gebildete Commutator *M* von den im Quecksilber auftretenden electromotorischen Kräften zu trennen. Fig. 2_b zeigt den Commutator in der bei den messenden Versuchen benutzten Ausführung. Die Verwendung einer

¹⁾ Braun, Berl. Ber. 18. p. 292. 1885.

Spur Fett an den Glashahnschliffen, gab zu nachweisbaren electromotorischen Kräften keine Veranlassung.

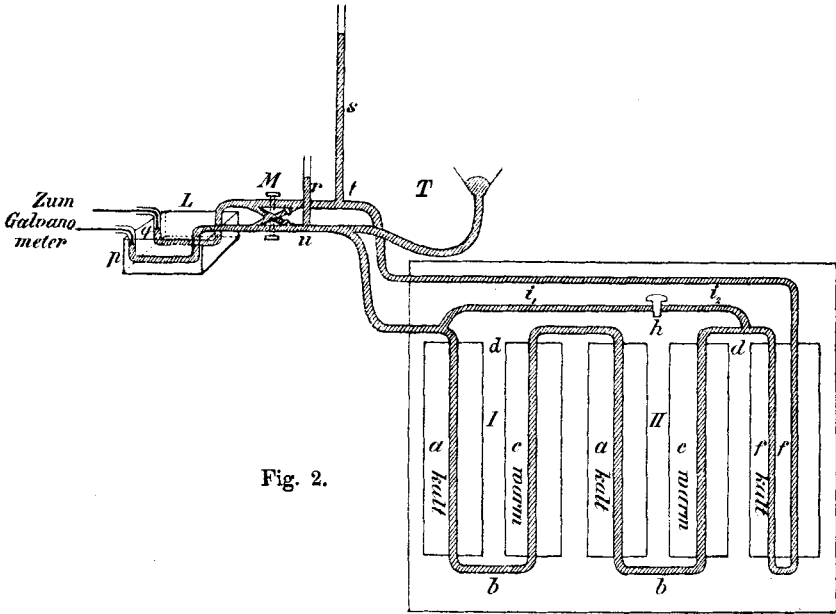


Fig. 2.

Soll der Apparat nicht nur zur qualitativen Demonstration der Thermoströme dienen, welche in den warmen Theilen von Stellen niederen zu Stellen höheren hydrostatischen Druckes fließen, sondern soll er auch quantitative Messungen in absolutem Maasse gestatten, dann erscheint es für den ersten Augenblick nothwendig, Gestalt und Dimensionen der Elemente (a, b, c, d) ermitteln zu können. Ebenso die Temperatur jedes einzelnen Rohrtheiles und seine Neigung gegen die Verticale. Zu dem Ende müssten die Elemente (a, b, c, d) in der Ausführung nach Art der Vorrich-

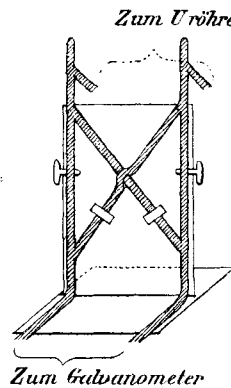


Fig. 2b.

tungen construirt werden, mit welchen man den Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers nach der Dulong-Petit'schen Methode bestimmt hat. Thatsächlich war jedoch die Kenntniss der genannten Data durch die Messung der Niveaudifferenz des Quecksilbers in den verticalen offenen Schenkeln r und s mit dem Kathetometer völlig zu umgehen.

Der für unsere Versuche charakteristische Coëfficient kann durch folgende Gleichung defnirt werden:

$$(1) \quad E = c(p_2 - p_1)(t_2 - t_1).$$

E bedeutet die thermoelectromotorische Kraft in einem Schliessungskreise, der nur aus zwei Quecksilbermengen zusammengesetzt ist, welche unter den Drucken p_1 und p_2 stehen, wenn die Temperaturen der Löthstellen t_2 und t_1 sind. E mag

in Mikrovolt, p_1, p_2 in Megadynen (für Leipzig ist eine Megadyne gleich 74,97 cm Quecksilber bei 0°) t_1, t_2 in Celsiusgraden ausgedrückt sein. Die Grösse c wird nach Analogie der Verhältnisse bei festen Metallen im allgemeinen als Funktion des mittleren Druckes $\frac{1}{2}(p_1 + p_2)$ und der mittleren Temperatur $\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ darstellbar sein.

In dem mit Quecksilber beschickten U-Rohre Fig. 3 sei der rechte Schenkel in seinem unteren Theile wärmer als der linke; oberhalb der Punkte u und v dagegen herrsche in beiden Schenkeln die Zimmertemperatur t_h . Zwei Längenelemente s_1 und s_2 in den beiden

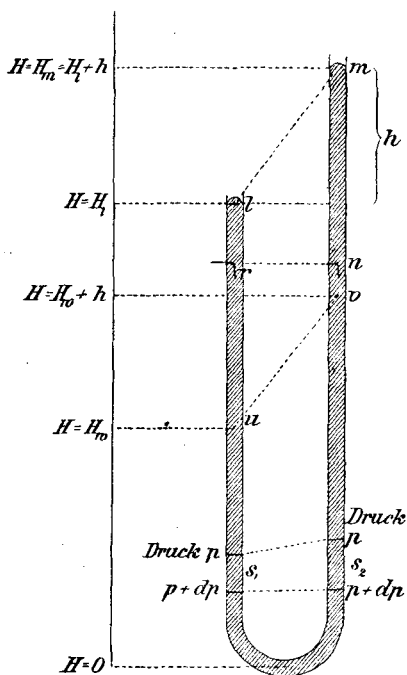


Fig. 3.

Schenkeln mögen einander in der Weise entsprechen, dass ihre oberen, beziehungsweise unteren Enden unter den gleichen hydrostatischen Drucken p resp. $p + dp$ stehen. Die

Elemente liefern dann für die Potentialdifferenzen an den Polen l und m folgenden Beitrag:

$$(2) \quad dE = c \cdot dp(t_2 - t_1) = c \cdot \frac{dH(1 - \alpha t_1)}{74,97} (t_2 - t_1).$$

dH ist der Verticalabstand der beiden Enden des Elementes s_1 in Centimetern; dp die Druckdifferenz an diesen beiden Enden; α der Wärmeausdehnungscoefficient des Quecksilbers. Die gesammte Potentialdifferenz an den beiden freien Quecksilberoberflächen beträgt demnach:

$$(3) \quad E = \frac{1}{74,97} \int_{H=0}^{H=H_l} c \cdot dH \cdot (1 - \alpha t_1) (t_2 - t_1).$$

Genau dieselbe electromotorische Kraft wird aber auch stromerzeugend wirksam, wenn statt der „correspondirenden“ Punkte l und m zwei beliebige Punkte r und n metallisch leitend verbunden werden. Nur müssen r und n höher liegen als diejenigen beiden einander entsprechenden Höhen gleichen Druckes H_w und $H_w + h$, oberhalb deren im übrigen Theile der beiden Quecksilberschenkel $t_2 = t_1 = t_h =$ der Temperatur des den Schluss zwischen r und n bildenden festen Metalles ist. In der Formel (3) kann zunächst der Factor $(1 - \alpha t_1)$ vor das Integralzeichen gesetzt werden. Der Ausdehnungscoefficient α ist nämlich äusserst klein ($0,001815$) und t_1 schwankte bei den Versuchen ohnehin nur an den Enden der verticalen Schenkel α um mehr als einige Grade. Aber auch der Coefficient c kann bei der Integration als constant betrachtet werden. Zunächst zeigen weiter unten p. 691 mitgetheilte Messungen, dass c in dem bei den Experimenten mit dem U-Röhrenapparate vorkommenden Druckintervalle vom Drucke nicht nachweisbar abhängig ist. Zum anderen hat $\frac{1}{2}(t_2 + t_1)$ für die ganze Länge der U-Röhren nahezu denselben Werth; überdies kann die Grösse c sich mit der Mitteltemperatur $\frac{1}{2}(t_2 + t_1)$ überhaupt nur langsam ändern, wie der Vergleich der Versuchsergebnisse mit Wasserdampf- und mit Alkoholdampfheizung p. 688 lehrt. Wir haben also:

$$(4) \quad E = c \cdot \frac{(1 - \alpha t_1)}{74,97} \int_{H=0}^{H=H_n} (t_2 - t_1) dH.$$

Nun ist aber die Höhe h , um welche das Quecksilber im wärmeren Schenkel unseres U-Rohres höher steht als im Schenkel 1 nach dem Principe der communicirenden Röhren:

$$(5) \quad h = \frac{\alpha}{1 - \alpha t_h} \int_{H=0}^{H=H_n} (t_2 - t_1) dh,$$

da die Temperatur der Quecksilbersäulen oberhalb H_n wie gesagt constant sein soll und t_h betragen. Aus Gleichungen (4) und (5) folgt:

$$(6) \quad c = E \cdot \frac{\alpha}{h(1 - \alpha t_h)} \cdot \frac{74,97}{(1 - \alpha t_1)}.$$

Dasselbe Resultat erhält man durch analoge Betrachtungen offenbar auch für ein complicirteres System mehrfach auf- und absteigender communicirender Röhren. Man führt hier am einfachsten eine laufende Längencoordinate ein und integrirt über den ganzen electromotorisch wirksamen Theil der Leitung in einer Richtung.

Was die technische Ausführung des bisher betrachteten Schemas angeht, so hatten die Glasröhren a , beziehungsweise c , je 34 an der Zahl 126 cm Länge und ebenso wie die übrigen Theile des Quecksilberschliessungskreises 0,45 cm lichte Weite. Sie waren mit möglichst wenig Spielraum von Messingröhren umschlossen, welche ihrerseits durch zwei Blechkästen constanter Temperatur durchgeführt waren nach Art der Röhren in den Locomotivkesseln. Die Dimensionen der beiden gleich grossen Kästen waren $120 \times 47 \times 5$ cm. In dem Blechkasten mit den Röhren a (des Schemas Fig. 2) circulirte durch sechs der Länge nach abgetheilte Züge Wasser der Leitung; im Kasten mit den Röhren c der von zwei Siedekesseln gelieferte Dampf. Beide Röhrenkästen waren durch 7 cm starke Holzklotze voneinander getrennt, mit den grossen Flächen aufeinander und auf einen kräftigen Holzrahmen geschraubt. Letzterer hing oben in einem starken Charnier an einer mit Bleigewichten fest gelegten Tischplatte und konnte in einem beliebigen Winkel gegen die Verticale geneigt werden. Der Erwärmungskasten kam dabei immer nach oben zu liegen. Die Charnieraxe fiel ungefähr mit der Nord-Südrichtung zusammen. Die Verbindungsstücke b (der Fig. 2) bestanden

aus rothem Kautschukschlauch, die Verbindungen d aus Glasröhren mit sicher verschliessbaren T-Ansätzen zur Füllung des ganzen Röhrensystemes mit Quecksilber. Mit Einschluss der Zuleitungen bis dicht an das Galvanometer fasste der Apparat über 13 kg Quecksilber. Dasselbe war nach bekannten Methoden sorgfältig gereinigt und getrocknet worden. Der grosse Umfang und das bedeutende Gewicht der beiden Kästen mit dem Röhrensysteme bedingten es, dass die Aufstellung, die Handhabung und die gelegentliche Ausbesserung des Apparates mit einigen Umständen verknüpft war.

2) Die Versuche in verticaler Stellung des Apparates mit den communicirenden Röhren und entsprechende Messungen an Elementen mit eingeschalteten Platindrähten.

Bei Messung der electromotorischen Kräfte diente als Vergleichselement ein Daniell mit concentrirten Kupfer- und Zinkvitriollösungen in getrennten Gläsern. Die Gefässe waren verbunden durch ein beiderseits mit Pergamentpapier verschlossenes und mit concentrirter Zinkvitriollösung gefülltes Heberrohr. Der Widerstand w_K des Elementes betrug 120 Ohm. Für die electromotorische Kraft K ergaben bei drei verschiedenen Füllungen mit dem Silbervoltmeter angestellte Versuche in guter Uebereinstimmung 1,061 Volt. Kitteler fand 1,059 Volt. Wir wollen setzen $K=1,06$ Volt.

Ein passender Bruchtheil dieser electromotorischen Kraft wurde in der aus Fig. 4 ersichtlichen Weise abgezweigt. Es handelt sich um eine doppelte Abzweigung. W betrug 10000 Ohm. A und B sind Widerstände, welche von Theilen eines bis 1000 Ohm reichenden Hartmann und Braun'schen Stöpselrheostatenkasten gebildet wurden. Der Abzweigungswiderstand w endlich bestand aus einem bifilar aufgerollten Stücke des einen der von den Electroden der Quecksilberleitung zum Galvanometer geführten 2 mm starken Kupferdrähte. Durch Einschluss in eine Holzbüchse wurde er vor rascheren Temperaturschwankungen geschützt. Bei den Messungen selbst entfernte sich seine Temperatur selten um mehr als einen Grad von 21°. Die Drähte des compen-

sirenden Kreises waren bei e und f (Fig. 4) an den unverletzten Hauptdraht angelöthet worden. Der Vergleich mit einem bei 18° richtigen Siemensetalon lieferte nach einer der W. Thomson'schen analogen Methode für 21° :

$$w = 0,01553 \text{ Ohm}$$

und den Temperaturcoefficienten $0,28 \text{ Proc. pro Centigrad.}$

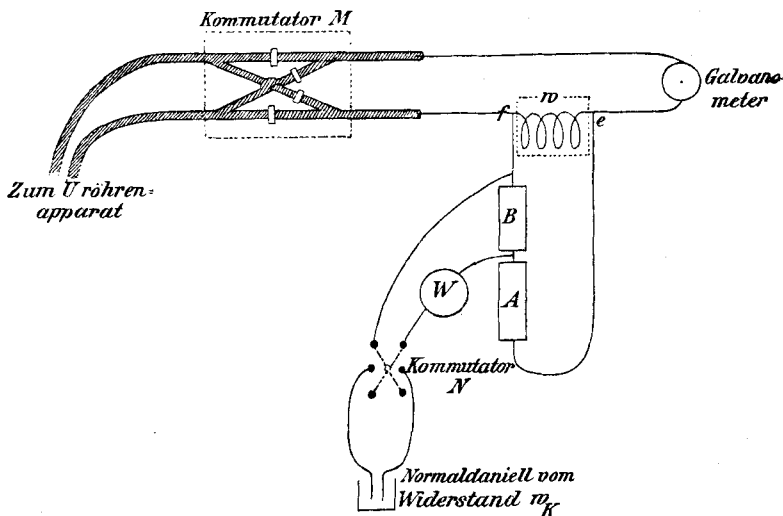


Fig. 4.

Als willkürliche Einheit der electromotorischen Kraft ist zur Vereinfachung der Rechnungen bei sämtlichen Versuchen der Werth:

$$k = \frac{w_t}{1 + 0,028(t - 21)} \cdot \frac{K}{W + w_K} = 1,627 \text{ Mikrovolt}$$

angenommen worden.

Nach jeder zur Commutation des Galvanometeraus-
schlages nöthigen Umstellung der Hähne des Commutators M
(Fig. 2) musste bis zur Ablesung der Nadeleinstellung einige
Minuten gewartet werden, um sicher zu sein, dass das Queck-
silber des Röhrensystems wieder in thermisches und hydro-
statisches Gleichgewicht gekommen war. Während dieser
Zeit erfuhr das empfindliche Carpentier'sche Zweinadel-
galvanometer ohne den dämpfenden Glimmerflügel natürlich
mehrfach zufällige Nullpunktsänderungen infolge von äusseren

magnetischen Einflüssen, von den Wärmeströmungen im Zimmer von Erschütterungen des Gebäudes. Somit war genaue Compensation auf den Ausschlag Null bei gleichzeitigem Umschalten der Commutatoren M und N (Fig. 4) nicht durchführbar. Es wurden vielmehr für ein bestimmtes A zwei Widerstände B so gewählt, dass der Galvanometerausschlag γ das Zeichen wechselte. Je nachdem der Nullpunkt mehr oder weniger schwankte, ergab das Mittel aus einer grösseren oder geringeren Anzahl (meist drei) von Einstellungen zwei zu einander gehörige Werthe des Widerstandes B und des Galvanometerausschlages γ . Diese Werthe mögen mit $B_1 \gamma_1$, $B_2 \gamma_2$ bezeichnet werden. Die gesuchte Intensität der electromotorischen Kraft in der Hauptschliessung jenseits des Glashahncommutators M ist dann:

$$E = k [1 + (t_w - 21) 0,028] \cdot \frac{\gamma_1 \frac{B_2}{A + B_2} + \gamma_2 \frac{B_1}{A + B_1}}{\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \frac{W}{W + \frac{A B_1}{A + B_1}}.$$

Als Beispiel für diese weiter unten als Compensationsbeobachtungen bezeichneten Messungen mögen einige direct aus dem Beobachtungsjournale entnommene Zahlen dienen:

Versuchsnummer 68			Datum 27. Aug. 90.	
$t_w = 21^\circ$	$t_h = 21^\circ$		$h \begin{cases} 61,8 \text{ cm} \\ 0,4 \text{ "} \end{cases}$	
$A = 400$	$B_1 = 700$	Galv.-Einstellung	$\begin{cases} 656,5 \\ \times 649,7 \\ 646,3 \end{cases}$	$\gamma_1 = - 3,3$
	$B_2 = 600$	" "	$\begin{cases} 650,1 \\ \times 545,5 \\ 651,3 \end{cases}$	$\gamma_2 = + 5,2$

Daraus $E/k = 0,606$ für $h = 61,4$.

Die Zeichen $||$ und \times geben die Commutatorstellungen an.

Praktisch noch bequemer erwies sich eine zweite Versuchsreihe. Es wurde der Widerstand A dauernd = 1000, $B = 500$ Ohm gemacht. Die vom Normaldaniell an den Punkten f und e (Fig. 4) hervorgebrachte Potentialdifferenz beträgt dann je nach der Stellung des Commutators N plus oder minus $h/3,10$, wo h immer die p. 686 definirte Grösse ist. Beobachtet wurden nun die Einstellungen des Galvanometers bei Wirksamkeit der electromotorischen Kräfte $+E$,

$-E, -E + k/3,10, -E - k/3,10, +E - k/3,10, +E + k/3,10$.
Auch von diesen Ausschlagbeobachtungen sei ein Beispiel
in extenso hergesetzt:

Für $k/3,10$ ist das Symbol Δ geschrieben.

Nr. 43.		Datum 24. Aug. 90.	
$k \left\{ \begin{array}{l} 60,8 \\ 1,5 \end{array} \right.$	$t_w = 21^0$	$+E = 620,3$	$-E + \Delta = 476,2$
		$-E = 507,0$	$+E - \Delta = 589,0$
		$-E + \Delta = 535,7$	$+E + \Delta = 650,2$

Daraus:

$$k/3,1 = \frac{59}{61,2} \left\{ \begin{array}{l} 60,4 \\ 61,2 \end{array} \right. \text{ Scalentheile, } E = \frac{113,3}{114,6} \left\{ \begin{array}{l} 113,3 \\ 114,6 \end{array} \right\} 114,0 \text{ Scalentheile.}$$

$$E/k = 0,609 \text{ für } k = 59,6.$$

Die Resultate sämtlicher bei verticaler Stellung der
Rohre a und b (Fig. 2) angestellten Versuche folgen in einer
Tabelle.

Erwärmung durch Wasserdampf.

Ausschlagsbeobachtungen.

Nr.	Datum	h in cm	$\frac{k}{3,1}$ Doppel- ausschlag	E Doppel- ausschlag	$\frac{E}{k}$
1	29. Juni	63,67	—	—	0,677
8	1. Juli	63,40	—	—	0,659
9	2. "	63,16	—	—	0,642
43	24. Aug.	59,6	60,4	114,0	0,609
44	"	60,6	59,7	114,3	0,618
45	"	60,9	57,8	112,2	0,626
46	"	61,3	58,3	111,8	0,619
47	"	61,6	58,7	109,3	0,600
48	"	62,3	64,1	114,8	0,578
49	25. Aug.	62,4	64,7	114,5	0,571
50	"	62,3	57,4	116,0	0,652
51	"	62,3	60,8	111,0	0,589

Compensationsbeobachtungen.

Nr.	Datum	h	A	B_1	γ_1	B_2	γ_2	$\frac{E}{k}$
52	25. Aug.	61,8	400	695	-2,0	550	+9,6	0,610
53	"	60,6	"	650	-1,2	550	+4,9	0,596
54	"	61,1	"	650	-3,3	500	+9,8	0,590
67	27. Aug.	61,0	"	700	-1,2	660	+3,8	0,612
68	"	61,4	"	700	-3,3	600	+5,2	0,606

Erwärmung durch Methylalkoholdampf (von 67^0 C.).

Compensationsbeobachtungen.

70	25. Aug.	36,1	1000	550	-4,6	400	+11,2	0,324
71	"	35,7	"	"	-3,7	"	+6,9	0,320

Bei den am selben Tage ausgeführten Messungen wurde zwischen je zwei Versuchen der Hahn h in Fig. 2 so lange geöffnet, bis an der Erwärmung des Rohres i (Fig. 2) zu erkennen war, dass sich die gesammte Quecksilbersäule um etwa die halbe Länge einer der Röhren a oder c verschoben hatte. Es bezweckte dies den Einfluss etwaiger mit der Zeit ausgebildeter geringer Inhomogenitäten im Quecksilber für den Endmittelwerth unschädlich zu machen. Die vereinzelte Versuchsreihe mit Methylalkoholdampf sollte nur die p. 683 vorgenommene Heraussetzung des Factors c vor das Integralzeichen hinreichend rechtfertigen. Zur genaueren Bestimmung der Abhängigkeit des Factors c von der Temperatur ist der U-Röhrenapparat offenbar nicht geeignet. Als Mittelwerth aus sämtlichen Ausschlagsbeobachtungen folgt für $h = 62,0$, $E/k = 0,620$. Jedoch werden die drei zuerst angestellten Versuche Nr. 1, 8, 9 richtiger bei Bildung des Mittels ausgeschlossen, da bei ihnen versäumt ist t_w zu notiren (die Temperatur der Kupferdrahtabzweigung) und die Zimmer-temperatur Ende Juli jedenfalls mehrere Grade unter 21° lag, während sie bei den anderen Messungen nur vernachlässigbare Schwankungen um 21° ausgeführt hat. Wir erhalten so aus den Ausschlagsbeobachtungen:

$$\begin{array}{ll} \text{bei } t_h = 21^\circ \text{ für } h = 61,5 & E/k = 0,607 \\ & h = 60,0 \quad E/k = 0,592 \end{array}$$

und damit in bester Uebereinstimmung aus den Compensationsbeobachtungen mit Wasserdampfheizung:

$$\begin{array}{ll} \text{bei } t_h = 21^\circ \text{ für } h = 61,2 & E/k = 0,603 \\ & h = 60,0 \quad E/k = 0,591 \end{array}$$

Zur Anstellung der Controlmessungen mit Elementen, bei denen das stärker und das schwächer gepresste Quecksilber durch Platindrähte verbunden war, diente eine Vorrichtung der in Fig. 5 im Verticalschnitte wiedergegebenen Art. Die Compression der Quecksilbermengen, welche thermoelectromotorisch in Wirksamkeit treten sollten, geschah hier durch besondere Quecksilberdrucksäulen unter Vermittelung eines isolirenden Zwischenmediums. Statt der beim ausgeführten Apparat vorhandenen zehn Elemente sind der Einfachheit halber in der Figur wieder nur zwei (*I* und *II*) gezeichnet.

Die stark schraffirten Glasrohrtheile beziehungsweise Gummischläuche enthalten Quecksilber, die punktierten flüssiges Paraffin. *Pt* sind eingeschmolzene Platindrähte. Im Blechkasten *A* circulirt Wasserdampf, in dem

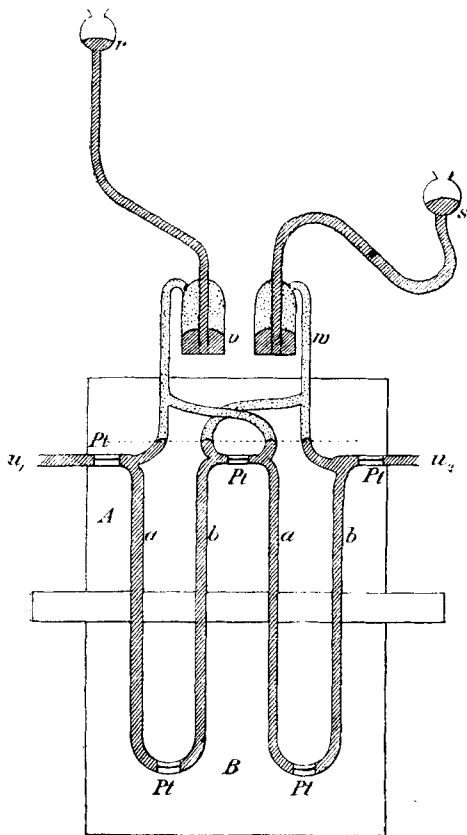


Fig. 5.

durch ein starkes Brett von ihm getrennten unteren Kasten *B* Wasserleitungswasser. Der hydrostatische Druck, welchem die Quecksilbermengen *a* beziehungsweise *b* ausgesetzt waren, konnte durch Heben und Senken der Trichter *r* und *s* an einem eisernen Stative zwischen $\frac{1}{2}$ und 2 Atmosphären etwa geändert werden. Die Druckdifferenz war dann durch:

$$\frac{D(1 - \alpha t_D)}{74,97}$$

in Megadynen gemessen, wenn *D* die Differenz der Höhen des Quecksilbers in den Trichtern *r* und *s* über den Niveaus in den Flaschen *v* und *w* bezeichnet und in Centimetern ausgedrückt ist. Die Enden *u*₁ und *u*₂ waren in der beim U-Röhrenapparate angegebenen Weise zum Galvanometer geführt. Zur Commutation des Ausschlages diente jedoch nicht der Glashahncommutator, denn auch ungeheizt war der ganze Apparat nicht einmal völlig von zufälligen electromotorischen Kräften zu befreien, sondern es wurden die Stellungen der Trichter *s* und *r* miteinander vertauscht und

so D in $-D$ verwandelt. Im Uebrigen konnte nach der oben (p. 17) angegebenen Methode der Ausschlagsbeobachtungen gearbeitet werden. Es wurde $A=1000$, $B=200$ Ohm genommen.

Eine grössere Reihe von Vorversuchen im Druckintervalle Barometerdruck -30 cm bis $+70$ cm lehrten, dass die Abweichungen von der Proportionalität zwischen electromotorischer Kraft und Druckdifferenz für den betrachteten Druckbereich unterhalb der Beobachtungsfehlergrenze liegen. Dasselbe Resultat ergibt sich aus dem Vergleiche der beiden folgenden Versuchsreihen, welche zur Bestimmung des absoluten Werthes von c angestellt waren:

Datum 29. November 1890.

$$t_w = t_D = 9^\circ \quad D = 43 \text{ cm} \quad \begin{cases} r = 118,5, & v = 117 \\ s = 74, & w = 116,5 \end{cases}$$

Nr.	0,1584 k Doppel- ausschlag	E Doppel- ausschlag
79	90,0	41,3
80	88,3	38,7
81	96,0	40,2
82	87,6	38,8

Das liefert für die Temperaturdifferenz $91,5^\circ$ bei 54° Mitteltemperatur und für $D=43$ cm, $t_D=9^\circ$ beim mittleren Drucke 54 cm Quecksilber:

$$E/k = 0,06949.$$

Die andere Versuchsreihe ergab die Zahlen:

$$t_w = t_D = 9^\circ \quad D = 43,5 \text{ cm} \quad \begin{cases} r = 161,5, & v = 118 \\ s = 117, & w = 117 \end{cases}$$

Nr.	0,1584 k Doppel- ausschlag	E Doppel- ausschlag
83	99,8	39,8
84	88,9	41,7
85	87,8	40,4
86	95,0	41,7

Also bei einer Temperaturdifferenz der Löthstellen von $91,5^\circ$ und bei 54° Mitteltemperatur für $D=43,5$ cm, $t_D=9^\circ$ und den mittleren Druck 98 cm:

$$E/k = 0,06973$$

und für $D=43$ cm: $E/k = 0,06890$.

Legen wir den Mittelwerth aus beiden Messungsreihen $E/k = 0,06920$ für $D = 43$ zu Grunde und setzen $k = 1,627$ Mikrovolt, so erhalten wir auf Grund der Definitionsgleichung des Coëfficienten c Formel (1) p. 682:

$$c = \frac{0,06920 \cdot 1,627 \cdot 74,97}{91,5 \cdot 43 (1 - 9 \cdot 0,0_{\frac{1}{2}}1815) \cdot 10} = 2,149 \cdot 10^{-4}.$$

Aus den Resultaten der Versuche mit dem U-Röhren-apparate von p. 688 andererseits $E/k = 0,592$, $h = 60$, $t_h = 21^\circ$, $t_1 = 19^\circ$ berechnet sich c nach Formel (6) p. 684:

$$c = \frac{0,592 \cdot 1,627 \cdot 74,97 \cdot 0,0_{\frac{1}{2}}1815}{60 (1 - 21 \cdot 0,0_{\frac{1}{2}}1815) (1 - 19 \cdot 0,0_{\frac{1}{2}}1815)} = 2,201 \cdot 10^{-4}.$$

Die Zahlen weichen um weniger als 2,5 Proc. voneinander ab. Eine Uebereinstimmung, wie sie bei der Verschiedenheit der Methoden, bei der Kleinheit der zur Messung kommenden electromotorischen Kräfte und im Hinblick auf die Grösse des mittleren Fehlers der Einzelmessung gar nicht besser erwartet werden konnte. Auch bei den Versuchen mit zwischengeschalteten Platindrähten rührt der auftretende Thermostrom also wesentlich, d. h. jedenfalls bis auf einige Hundertel, her von der Aenderung der thermoelectrischen Stellung des Quecksilbers mit dem hydrostatischen Drucke, und der Coëfficient c dieser Aenderung kann für die Löthstellentemperaturen 20° und 100° und für das Druckintervall $\frac{1}{2}$ bis 2 Atmosphären im Mittel nur um wenige Procente von:

$$c = 2,18 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Mikrovolt}}{\text{Megadynen} \cdot \text{Centigrade}}$$

abweichen.

3) Die Versuche in schrägen Stellungen des Apparates mit den communicirenden Röhren. Erweiterungen des Magnus'schen Experimentes über das Nichtauftreten electrischer Ströme bei der Berührung von kaltem und heissem Quecksilber.

Im Gegensatze zu der sehr befriedigenden Uebereinstimmung der bei verticaler Stellung des communicirenden Röhrenapparates erhaltenen Zahlen sowohl unter sich als mit den Ergebnissen, welche die durch Platindrähte verbundenen Quecksilberdruckelemente lieferten, haben die in mehr oder minder gegen die Verticale geneigter Stellung

ausgeführten Messungen mit dem U-Röhrenapparate durchaus nicht die erwarteten Resultate ergeben. Es seien zunächst die bei den Neigungswinkeln 47° und 28° gegen den Horizont erhaltenen Mittelwerthe hergesetzt:

Neigungswinkel	Compensationsbeobachtungen				Ausschlagbeobachtungen			
	Zahl der Beob.	h	E/k	E/k red. auf $h=600$	Zahl der Beob.	h	E/k	E/k red. auf $h=600$
47°	2	444	0,400	0,545	13	452	0,407	0,541
28°	6	280	0,161	0,345	15	280	0,197	0,422

Die Reductionen auf $h=600$ sind unter der durch die Resultate des vorigen Abschnittes gerechtfertigten Annahme $c = \text{Konstans}$ gemacht. Bei dem Neigungswinkel 47° gegen den Horizont stimmen die Mittelwerthe der Ausschlag- und Compensationsbeobachtungen noch vollständig miteinander überein. Die Abweichung $E/k = 0,54$ statt des auf Grund der Versuche in steiler Apparatstellung erwarteten $E/k = 0,59$ übersteigt aber jedenfalls schon etwas die Beobachtungsfehlergrenze. Bei Neigung des Apparates um 28° beläuft sich die Differenz der nach den beiden Methoden erhaltenen Mittelwerthe bereits auf 20 Proc. und beide Werthe bleiben weit hinter den berechneten electromotorischen Kräften zurück.

Wurden die Blechkästen mit den U-Röhren noch flacher gestellt, so hörte sehr bald jede Uebereinstimmung zwischen zwei scheinbar unter denselben Umständen angestellten Versuchen auf. Nur das blieb ausnahmslose Regel, dass die auftretenden electromotorischen Kräfte bei abnehmender Steilheit der Röhren a und c (Fig. 2) im Verhältniss zum jeweiligen h immer mehr zu klein ausfielen. Bei Winkeln von etwa 15° begannen die electromotorischen Kräfte sogar das Zeichen zu wechseln. Die folgenden Zahlen mögen als Beispiel dienen.

Datum 27. Aug. 1890. Nr. 66.

Compensationsbeobachtung.

Neigungswinkel	h	A	B_1	γ_1	B_2	γ_2	$\frac{E}{k}$
etwa 9°	111	1000	10	-10,2	200	+3,4	-0,146

Je mehr die Röhren a und c (Fig. 2) horizontaler Lage genähert wurden, um so mehr machte sich offenbar eine elec-

tromotorische Kraft fremdartiger Natur geltend, welche der von uns untersuchten thermoelectromotorischen Kraft durch Druckunterschiede entgegengerichtet war.

Dass diese Störung wirklich nichts mit unserer Haupterscheinung zu thun hatte, konnte in der Weise nachgewiesen werden, dass man die Rohre *a* und *c* erst horizontal stellte und dann den Rahmen im Charniere noch weiter drehte, sodass die Enden *b* (Fig. 2) höher als die Enden *d* zu liegen kamen und *h* negativ wurde. Die bei allen sehr flachen Stellungen negative (d. h. unseren druckthermoelectrischen Effecten entgegengerichtete) electromotorische Kraft verschwand weder noch wechselte sie das Zeichen beim Durchgange von *h* durch den Werth Null. Von einer bestimmten electromotorischen Kraft bei horizontaler Lage des Apparates konnte überhaupt nicht die Rede sein; durch die scheinbar geringfügigsten Veränderungen z. B. eine kleine Höhenverschiebung des Trichters *T* (Fig. 2) wurden schon die Galvanometerausschläge beeinflusst. Eine Störung durch hydroelectromotorische Kräfte und mangelhafte Isolation schien einigermassen ausgeschlossen, da wiederholt und zu verschiedenen Zeiten angestellte Prüfungen immer das Resultat ergaben, dass der Quecksilberkreis des Apparates in jeder beliebigen Stellung in der That die electromotorische Kraft Null lieferte, sobald alle Theile die gleiche Temperatur hatten, d. h. Wasser und Dampf in den Röhrenkästen nicht circulirten.

Leider war es nicht möglich der Ursache für die electromotorischen Kräfte in horizontaler (oder sehr flacher) Apparatstellung in der Weise nachzuspüren, dass die äusseren Versuchsbedingungen möglichst mannigfaltig und systematisch gewechselt worden wären. Das Glas, der Kautschuk und die Lothnäthe waren nämlich mittlerweile so mürbe geworden, dass die Versuche nicht weiter fortgesetzt werden konnten, zumal in flacher Lage der Kästen die gleichmässige Wasser- und Dampfirculation ohnehin Schwierigkeiten bereitet hatte.

So blieb nur der andere Weg möglich an einem kleineren und handlicheren Schliessungskreise — der des grossen Apparates hatte etwa 60 m Länge — qualitative Versuche anzustellen, unter welchen Bedingungen in einem aus reinem

Quecksilber bestehenden Schliessungskreistheile electromotorische Kräfte auftreten. Die Combination des Carpentier'schen Galvanometers mit dem Glashahn, Quecksilbercommutator gestattete in dem jenseits des Commutators liegenden Schliessungskreistheile thermoelectrische Kräfte von 0,006 Mikrovolt sicher nachzuweisen.

Zunächst wurde geprüft, ob unsymetrische und unstationäre Wärmeströmungen in flüssigem Quecksilber Thermostrome erzeugen können. Lagen die mit einem (eisenfreien) Bunsenbrenner erwärmten oder mit der Kältemischung Aether, feste Kohlensäure abgekühlten Leitertheile horizontal, so fand sich auch bei sprungweiser Querschnittsveränderung das negative Resultat von Magnus bestätigt. Weder zum Sieden bringen noch Abkühlen bis in die Nähe des Erstarrungspunktes an Stellen plötzlicher Rohrerweiterungen hatten auch nur einen Millimeter Galvanometerausschlag zur Folge. Anders sobald die Temperatur einer Stelle des Schliessungskreises unter den Gefrierpunkt des Quecksilbers erniedrigt wurde. Im Augenblicke, wo ein Querschnitt des Quecksilbers erstarrte, zeigten plötzliche Galvanometerausschläge regellos wechselnde electromotorische Kräfte an von über ein Mikrovolt Stärke. Im Gegensatze zu dem von Braun für Blei erhaltenen Resultate¹⁾ erstarrt also das Quecksilber wie die meisten übrigen Metalle in völlig anisotroper Modification. Wurden die Versuche an vertical stehenden Rohrtheilen wiederholt, so zeigte sich da zunächst bei Erwärmung längerer Strecken immer unser von den Druckdifferenzen an den beiden Regionen mit Temperaturgefälle herrührender Effect in Gestalt der erwarteten wenigen Millimeter Ausschlag. Plötzlichkeit oder Unsymetrie der Erwärmung dagegen hatte nicht den mindesten Einfluss. Auch in vertical stehenden Rohrtheilen bedingten nicht stationäre Wärmeströmungen demnach keine auf die angegebene Art nachweisbaren electromotorischen Kräfte.

Man konnte weiter daran denken, ob in den geneigten Apparatstellungen durch die ungleichmässige Erwärmung der verschiedenen Theile des Quecksilbers nicht Flüssigkeitsströ-

1) Braun, l. c. p. 290.

mungen entstanden seien, welche die störenden electromotorischen Kräfte veranlasst hätten. Es wurde demgemäss zunächst folgender Versuch angestellt. Durch Heben und Senken zweier bei *g* und *i* Figur 6 mittelst Kautschukschläuchen mündender

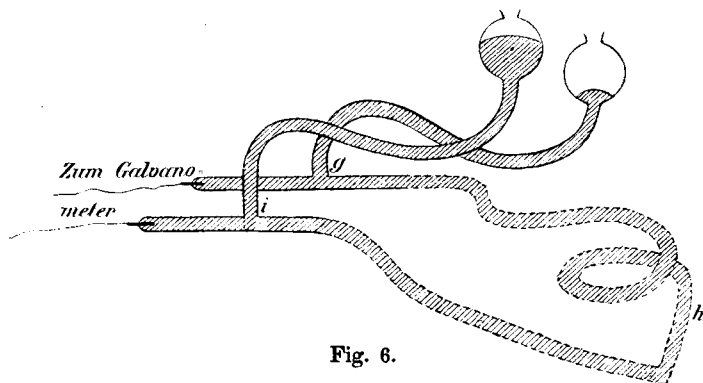


Fig. 6.

Trichter konnten in dem möglichst mannigfaltig gekrümmten Schliessungskreis theile *g i h* hydrodynamische Strömungen des Quecksilbers hervorgerufen werden. Mochte nun das Quecksilber überall dieselbe Temperatur haben oder mochte der eine Trichter mit stark (d. h. auf 70° etwa) erwärmtem Quecksilber gefüllt sein, nie konnte bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 12 cm pro Sec. eine electromotorische Kraft bemerkt werden, welche 0,006 Mikrovolt betragen hätte. Auch die convectiv im Stromkreise fortgeführte Wärme veranlasste also keinen Thermostrom von nachweisbarer Intensität.

Es schien weiter möglich, dass die in horizontaler Lage des U-Röhrenapparates auftretenden Störungen auf den Einfluss des Erdmagnetismus zurückführbar seien. Ich untersuchte darum, ob die thermoelectrische Stellung des Quecksilbers durch longitudinale oder durch transversale Magnetisirung eine nachweisbare Aenderung erfährt. Die Messungen wurden in äusserst constantem (etwa 1000 C.-G.-S. starkem) Felde eines von Daniell'schen Elementen erregten grossen Hufeisenelectromagneten ausgeführt. Von einer Beschreibung der vielfach variirten Versuchsanordnung mag abgesehen werden. Einerseits nämlich ergaben die Experimente insofern

ein negatives Resultat, als Thermostrome infolge der Magnetisirung eines Theiles der Quecksilberschliessung mit den angewandten Mitteln nicht aufzuweisen waren; andererseits können die secundären Erscheinungen, welche bei den Versuchen zu Tage traten, und welche die Ursache der störenden electromotorischen Kräfte bei horizontaler Stellung des U-Röhrenapparates klar legen, ohne jeden grösseren Apparat in der allereinfachsten Weise demonstriert werden.

Die eine Hälfte einer horizontalen mit Quecksilber gefüllten und in einem Schliessungskreise mit Spiegelgalvanometer befindlichen Glasröhre werde mit Dampf auf 100° erhalten, die andere Hälfte werde durch einen Wassermantel gekühlt. Bringt man nun in die Nähe des stärksten Temperaturgefälles den Pol eines nur mässig kräftigen Stahlmagneten, so wird das Galvanometer einen Strom anzeigen, der stundenlang constant bleiben kann. Dass dies jedoch kein durch den Magnetismus geweckter Thermostrom ist, geht daraus hervor, dass die Stromstärke mehr und mehr abnimmt, sobald das Rohr aufgerichtet wird, während die relative Lage des Magneten zum Rohre und zur Stelle des Temperatursprunges dieselbe bleibt. Bei genau verticaler Richtung des Rohres verschwindet der Strom (wenigstens falls sich das heisse Quecksilber oben befindet) und wechselt das Zeichen, falls man das Rohr weiter nach der entgegengesetzten Seite neigt, während der Magnet immer in derselben Weise fest mit ihm verbunden ist.

Die Gesetze, nach denen Stärke und Richtung unseres Stromes sich von der Lage des Magneten abhängig erwies, wenn die Röhre mit dem Quecksilber eine feste Lage behielt, liessen keinen Zweifel darüber, dass wir es mit einer Inductionswirkung des Magneten auf die an der Trennungsfläche zwischen dem warmen und dem kalten Quecksilber bestehenden Wirbel zu thun haben. Solche Wirbel mit horizontaler Drehungsaxe werden durch den specifischen Gewichtsunterschied von warmem und kaltem Quecksilber immer erzeugt werden müssen, sobald die Wärmevertheilung an der Oberfläche eine derartige ist, dass im Inneren ein gegen die Verticale geneigtes Temperaturgefälle eintritt. Die Discussion der bei cylindrischen Röhren zu

erwartenden Erscheinungen an Hand der gewöhnlichen Theorie der Magnetoinduction in körperlichen Leitern braucht wohl nicht hergesetzt zu werden. Nur daran sei erinnert, dass für den Fall eines im ganzen Schliessungskreise homogenen Magnetfeldes (wie es der Erdmagnetismus darstellt) einen in der Rohraxenrichtung verlaufenden und durch das Galvanometer nachweisbaren Inductionsstrom nur solche Wirbel erzeugen können, welche sich an gekrümmten Stellen des Rohres befinden.

Denken wir beispielsweise den einen Schenkel eines in rechtem Winkel gebogenen Rohrtheiles in Richtung der Magnetkraftlinien liegen und im Scheitel des Winkels einen um dieselbe Richtung als Axe rotirenden Wirbel, so haben wir ganz den Fall einer um die Inclinationsrichtung rotirenden Kupferkugel, deren Pole und Aequator mit Schleifcontacten nach einem Galvanometer abgeleitet sind.

Auch weitere Folgerungen aus der von uns angenommenen Erklärung der beobachteten Ströme haben sich experimentell bestätigen lassen. Bei den oben mit Apparat Figur 6 angestellten Strömungsversuchen müssen an allen scharfen Knicken des Rohres und an allen Stellen plötzlicher Querschnittsveränderungen Wirbel entstehen. Wurde nun ein kleiner Magnet in die Nähe solcher Stellen gebracht, so zeigte das Galvanometer in der That Ströme an, welche nach der bekannten Theorie der Induction bei Gleitstellen nicht erklärt werden können.

Die Beziehung zwischen den in den Röhren auftretenden electrischen Strömen und den hydrodynamischen Wirbeln muss ferner eine umkehrbare sein: selbst in dünnen Quecksilberröhren, welche von galvanischen Strömen axial durchflossen werden, müssen Wirbel auftreten, sobald sich Magnete in der Nähe befinden. Auch das liess sich durch einen einfachen Versuch zeigen. Eine Holzrinne von 1,5 m Länge und 2 mm Breite wurde mit Quecksilber gefüllt, auf den einen Pol eines grossen Electromagneten gesetzt und ein Strom durch den Quecksilberfaden geschickt. Aufgestreutes Lycopodium liess zwei sehr lang gestreckte Wirbel mit verticaler Axe erkennen.

Endlich waren ganz eigenthümliche scheinbare Wider-

standszunahmen des Quecksilbers im Magnetfelde zu erwarten als Folge der in den Wirbeln verbrauchten Energie. Auch dies haben darauf bezügliche Versuche bestätigt. Es sei auf die der physikalischen Gesellschaft zu Berlin darüber gemachte Mittheilung¹⁾ verwiesen.

Nach dem Bisherigen wird es schon ziemlich plausibel erscheinen, dass durch stationäre nicht verticale Wärme-strömungen entstandene Wirbel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus Anlass zu den in geneigter Stellung des U-Röhrenapparates so störenden electromotorischen Kräften nicht thermoelectrischen Ursprungs haben geben können. Eine nähere Betrachtung der an den etwa 90 Krümmungen des Quecksilberkreislaufes obwaltenden speciellen Verhältnisse führt zu dem Resultate, dass die vermuthete Ursache noch viel grössere electromotorische Kräfte, als thatsächlich beobachtet worden sind, zu erklären im Stande wäre.

Es verlohnt natürlich nicht auf Einzelheiten hier weiter einzugehen. Nur Folgendes sei noch angeführt: man konnte voraussehen, dass die Intensität der Inductionsströme in der Nähe der verticalen Stellung des Apparates durch Null hindurchgehen musste. Dass die störenden Ströme in verticaler Apparatstellung aber thatsächlich verschwindend klein gegen die zu messenden thermoelectrischen Kräfte gewesen zu sein scheinen, das ist ein von den Symmetrieverhältnissen des Apparates und von seiner Aufstellung herrührender glücklicher Zufall.

Schliesslich drängt es mich noch meinem hochverehrten Lehrer Hrn. Geheimrath Wiedemann meinen besten Dank auszusprechen für die Liebenswürdigkeit und Liberalität, mit welcher er mich bei den vorstehend mitgetheilten Versuchen in jeder Weise unterstützt hat.

Physik. Inst. der Univ. Leipzig, März 1891.

1) Verh. d. physik. Ges. zu Berlin 1891.