VI. Bestimmungen der Diamagnetisirungszahl des metallischen Wismuths in absolutem Maasse; von A. v. Ettingshausen.

(Aus den Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 85. mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

(Hierzu Tsf. II Fig. 6.)

Die von W. Weber¹⁾, sowie von Toepler²⁾ und mir ausgeführten Bestimmungen der oben genannten Grösse beruhten auf Vergleichen des Wismuth-Diamagnetismus mit dem Magnetismus des Eisens; da jedoch die Magnetisirungszahl des letzteren nicht nur für verschiedene Eisensorten erheblich verschiedene Werthe zeigt, sondern selbst bei einem und demselben Eisenindividuum (für ein und dieselbe Scheidekraft) unter verschiedenen Verhältnissen sehr abweichend gefunden wird³⁾, schien es wünschenswerth, eine directe Ermittlung der Diamagnetisirungszahl des Wismuths zu versuchen.

Bei den oben erwähnten Vergleichen wurden zwar Eisenstäbchen verwendet, welche sich bereits nahe an der Grenze der Magnetisirbarkeit befanden; indess stimmen auch die Angaben über das Maximum des magnetischen Moments, welches in der Masseneinheit Eisen inducirbar ist, mit einander nicht genügend überein⁴⁾, und überdies ist die Formel, nach der die Abweichung des Momentes der Eisenstäbe von dem Grenzwerte bei den Versuchen berechnet wurde, nur eine hypothetische. Da diese ungünstigen Umstände, auf welche bereits Boltzmann in seiner Abhandlung „über die auf Diamagnete wirkenden Kräfte“⁵⁾ hingewiesen hat, beim Wismuth nicht vorhanden sind, so schien es möglich, die Diamagnetisirungszahl desselben, trotz ihrer Kleinheit,

1) W. Weber, *Electrodyn. Maassbest.*, insbes. über Diamagnetismus.

2) Toepler, *Pogg. Ann.* **160.** p. 1. 1877.

3) *Wied. Ann.* **8.** p. 554. 1879.

4) W. Weber, *l. c.* p. 573; v. Waltenhofen, *Pogg. Ann.* **137.** p. 518. 1869; *Wied., Galv.* **2.** Aufl. **2.** (1) p. 405; Rowland, *Phil. Mag.* (4) **46.** p. 140. 1873; **48.** p. 321. 1874; Stefan, *Wien. Ber.* **69.** p. 165. 1874. Haubner, *Wien. Ber.* **82.** p. 771. 1880. Fromme, *Wied. Ann.* **13.** p. 695. 1881.

5) Boltzmann, *Wien. Ber.* **80.** p. 687. 1879.

auf directem Wege mit grösserer Genauigkeit ermitteln zu können, als es durch Vergleichung mit Eisen bisher der Fall war. Zu diesem Zwecke hat Boltzmann auch für einige Fälle die Wirkung berechnet, welche auf diamagnetische Körper im nicht homogenen electromagnetischen Felde einer von einem galvanischen Strom durchflossenen Drahtspirale ausgeübt werden.

Ich habe zunächst mit geringen Abänderungen die Versuche wiederholt, welche von Toepler und mir vor mehreren Jahren ausgeführt worden sind und die Messung der durch die diamagnetische Polarität hervorgebrachten Inductionswirkungen zum Zweck haben. Zur Bestimmung des absoluten diamagnetischen Moments wurden Vergleiche mit der inducirenden Wirkung eines dem Wismuth an Gestalt möglichst gleichkommenden Solenoides gemacht, welches von einem Strome bekannter Stärke durchflossen wird. Ein ähnliches Vergleichsverfahren hat, wie ich später ersah, schon H. Christie¹⁾ bei Versuchen mit dem Diamagnetometer eingeschlagen; die von ihm für Wismuth erhaltene Zahl stimmt mit der grössten der aus meinen Versuchen hervorgehenden sehr gut überein.

Eine zweite Methode besteht darin, dass man die Kraft misst, mit welcher ein diamagnetischer Körper, der nahe dem Ende einer von einem Strome durchflossenen Spirale conaxial mit dieser aufgehängt ist, aus der Spirale herausgestossen wird. Nach diesem Verfahren, bei welchem weit kleinere Mengen der untersuchten Substanz genügen, als beim ersten, habe ich für drei verschiedene Wismuthcylinder die Diamagnetisirungszahl ermittelt. Ein Cylinder (Nr. 1) war aus demselben Wismuth gegossen worden, welches vor fünf Jahren zu den oben erwähnten Versuchen gedient hatte und eisenfrei gefunden worden war; die beiden anderen Cylinder (Nr. 2 und Nr. 3) bestanden aus Wismuth, welches von zwei verschiedenen Fabriken in grösserer Quantität bezogen und mit möglichster Sorgfalt chemisch rein war dargestellt worden; namentlich wurde darauf geachtet, das Wismuth von jeder Spur einer magnetisirbaren Substanz frei zu erhalten.

1) H. Christie, Pogg. Ann. 103. p. 589. 1858.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XVII.

Man kann ferner zur Bestimmung der Diamagnetisirungszahl auch das Drehmoment messen, welches ein Cylinder im unhomogenen Magnetfelde erfährt, wenn derselbe um eine zu seiner Längsrichtung senkrechte Axe schwingt. Durch die Einwirkung der diamagnetischen Kräfte wird die Schwingungsdauer des Cylinders geändert und die Aenderung wird beobachtet. Dieses Verfahren hat Jacques eingeschlagen, um nach von Rowland berechneten Formeln für Wismuth und Kalkspath die Constanten zu bestimmen¹⁾; auch Schuhmeister²⁾ hat sich derselben Methode zur Ermittlung der Magnetisirungszahl für eine Eisenchloridlösung bedient. In dem zwischen den Polen eines Ruhmkorff'schen Electromagnetes erzeugten, unhomogenen Felde wurden die zu untersuchenden Körper in Schwingungen versetzt, wobei die Ausmessung des Feldes durch die Verschiebungen einer kleinen Inductionsrolle geschah. — Ich liess einen Wismuthcylinder im unhomogenen Felde nahe dem Ende einer Spirale schwingen und suchte die Aenderung der Schwingungsdauer zu bestimmen, wenn die Spirale von einem bekannten Strome durchflossen wurde. Die experimentelle

1) Amer. Journ. of Scien. and Arts, **18.** p.360, 1879 (Beibl. **4.** p. 291). Die daselbst für Wismuth angegebenen Zahlen stimmen mit den von mir gefundenen durchaus nicht überein, überdies ist die Zahl für Kalkspath nahe dreimal so gross, als jene für Wismuth. Prof. Rowland in Baltimore, den ich brieflich auf diesen Umstand aufmerksam machte, theilte mir mit, dass in Hrn. Jacques' Berechnungen ein Irrthum unterlaufen sei, und stellte, da die Beobachtungsdata von Jacques nicht mehr vorliegen, eine Wiederholung der Messungen und Verbesserung der Resultate in Aussicht.

2) Wien. Ber. **83.** p. 45, 1881 Schuhmeister hat für schwach magnetische und diamagnetische Substanzen absolute Bestimmungen auch dadurch ausgeführt, dass er die Anziehung oder Abstossung derselben vor den Polen eines geradlinigen, cylindrischen Electromagnetes mass; die Ausmessung des Magnetfeldes geschah wie oben angegeben. Das Verhalten der Körper vor den Polen von Magneten ist wiederholt zu quantitativen Vergleichen ihres Magnetismus und Diamagnetismus benutzt worden (s. Wied. Galv. **2.** (1) p. 684): absolute Bestimmungen erfordern die genaue Kenntniss der Beschaffenheit des Magnetfeldes, welcher Forderung bei einer Drahtspirale von bekannten Dimensionen jedenfalls in sehr vollkommener Weise genügt wird.

Bestimmung des Magnetfeldes entfällt hier, da die Gesetzmässigkeit, nach der sich das Feld verändert, bekannt ist.

Endlich kann die diamagnetische Fernwirkung ein Mittel zur Bestimmung der Diamagnetisirungszahl abgeben, und habe ich auch nach dieser vierten Methode einige Messungen ausgeführt.

Was die praktische Verwendbarkeit der verschiedenen Methoden betrifft, so ist die als „zweite“ bezeichnete den anderen weitaus überlegen. Sie erfordert keine grossen Mengen der zu untersuchenden Substanzen, und man erhält sehr sicher zu beobachtende Wirkungen. Die nach der ersten Methode ausgeführten Messungen haben zwar ebenfalls sehr gute Resultate geliefert, doch leidet diese Methode einigermaßen durch die Complicirtheit des Apparates und bedarf bedeutender Vorsicht zur Vermeidung von Fehlerquellen. Es sind meist grössere Quantitäten der diamagnetischen Substanzen nöthig, da man die Wirkung durch Vergrösserung der Scheidekraft oder durch Vermehrung der Zahl der Inductionsstösse wegen der starken Oeffnungsfunken und tertiärer Induction (bei gut leitenden Substanzen) nicht über eine gewisse Grenze steigern darf. Wenig sicher ist das dritte Verfahren, wenn man eine Spirale zur Herstellung des unhomogenen Magnetfeldes anwendet, da die Wirkung selbst bei starken Strömen nur klein und die Erwärmung der Spirale auf die Beobachtungsergebnisse von sehr störendem Einflusse ist.

Die vierte von mir angewendete Methode gibt ebenfalls nur sehr geringe Wirkungen, und sind die erhaltenen Zahlen überhaupt nur als angenähert richtig zu bezeichnen; nichtsdestoweniger stimmen die nach den beiden letzten Methoden angestellten Messungen in ihren Resultaten mit den nach den beiden ersten gefundenen recht befriedigend überein. Selbstverständlich gilt das über die Verwendbarkeit der verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Diamagnetisirungszahlen. Gesagte auch für die Magnetisirungszahlen schwach magnetischer Körper.

Bezüglich des absoluten Werthes der Zahl für Wismuth gab die zweite Methode für die drei untersuchten Proben

etwas verschiedene Werthe; die kleinste (für Nr. 3) erhaltene Zahl ist $k = 13.5 \cdot 10^{-6}$, die grösste (für Nr. 2) ist: $14.5 \cdot 10^{-6}$. Letztere ist noch merklich kleiner, als man sie bisher nach den Vergleichen mit Eisenstäbchen annahm; aus W. Weber's Inductionsversuchen¹⁾ ergibt sich $16.4 \cdot 10^{-6}$, aus den von Toepler und mir angestellten Messungen²⁾ folgt $15.1 \cdot 10^{-6}$, während sich aus Christie's Beobachtungen³⁾ als Moment der Masseneinheit Wismuth: $1.488 \cdot 10^{-6}$, daher $k = 14.6 \cdot 10^{-6}$ herausstellte.⁴⁾

Ich werde nun die nach den vier Methoden ausgeführten Messungen und erhaltenen Resultate eingehender mittheilen.

Erste Methode. Der von Toepler angegebene Differentialinductor⁵⁾ wurde unverändert beibehalten, an dem rotirenden Stromunterbrecher jedoch insofern eine Aenderung getroffen, als der Strom in den Hauptspiralen durch die Rotationsvorrichtung nicht abwechselnd in entgegengesetztem Sinne geschlossen, sondern nur einfach abwechselnd geschlossen und geöffnet wurde. Die in den gegen einander geschalteten Inductionsrollen erzeugten Ströme werden durch den auf der Rotationsaxe befestigten Commutator gleichgerichtet zum Galvanometer geleitet. Die Constanz der Rotationsgeschwindigkeit wird auf die l. c. p. 7 angegebene Weise controlirt.

Zur Messung der rasch folgenden Inductionsströme benutzte ich eine Spiegelbussole nach Wiedemann, deren leichter (mit Kupferdämpfer umgebener) Ringmagnet durch genäherte Magnetstäbe stark astasirt ist, sodass er fast aperiodisch schwingt. Nachdem die Wirkungen der beiden Inductionsrollen möglichst genau gegen einander abgeglichen sind, beobachtet man die Veränderung der Ruhelage am Galvanometer infolge des Einschiebens eines cylindrischen Wismuthkörpers in eine der Inductionsrollen, während durch die

1) l. c. p. 523.

2) l. c. p. 25.

3) l. c. p. 609.

4) Die Zahl k ist, wie bei Boltzmann, positiv eingeführt; das diamagnetische Moment der Volumeinheit bei der magnetisirenden Kraft 1 ist also mit $-k$ zu bezeichnen.

5) l. c. p. 2.

Hauptrollen des Inductors eine Strom von der Intensität i (nach abs. Maasse) fliesst. Sodann wird der Strom in den Hauptrollen dauernd unterbrochen und ein Solenoid von genau bekannter Windungsfläche, welches einen Cylinder von sehr nahe gleichen Dimensionen, wie das Wismuth, bildet, an Stelle des letzteren in die Inductionsrolle gebracht. Fliesst nun durch das Solenoid ein Strom von der absoluten Intensität i' , und wird derselbe genau ebenso oft geschlossen und unterbrochen, wie früher der Strom i in den Hauptrollen, werden endlich die dabei in der Inductionsrolle entstandenen Ströme wieder gleichgerichtet zum Galvanometer geleitet, so ist dadurch das diamagnetische Moment des Wismuthcylinders in absolutem Maasse bestimmt.

Sei v das Volumen des Wismuths, X die Scheidekraft in der Hauptrolle, k die Diamagnetisirungszahl, so ist die am Galvanometer durch die einander folgenden Inductionsströme hervorgerufene Ausweichung A dem Moment des Wismuths proportional; ferner ist $X = Ci$, wo C einen aus den Dimensionen der Hauptrolle oder durch Versuche zu bestimmenden Factor bedeutet. Um allzustarke Funken am Quecksilberunterbrecher zu verhüten, musste vor die Hauptrollen eine Nebenschliessung n aus zickzackförmig gespanntem Kupferdraht gelegt werden: ist w der Widerstand der beiden Hauptrollen zusammen, und wird $n/(n + w) = c$ gesetzt, so ist $i = Rc\alpha/2d$, unter R den Reductionsfactor der Tangentenbussole (mit Spiegelablesung und starkem Dämpfer), die den Strom i misst, auf electromagnetisches Maass verstanden: α ist die (reducirte) Ablenkung der Nadel der Bussole in Scalentheilen, d die ebenso gemessene Distanz der Scala vom Spiegel. Umschliessen ferner die Windungen des Solenoides zusammen die Fläche F , heisst A' die Ausweichung der Galvanometernadel infolge der Inductionsströme, welche von dem entstehenden und verschwindenden Solenoidstrom i' herühren, und wird dieser an der Tangentenbussole, deren Reductionsfactor jetzt R' heissen möge, gemessen, so ist $i' = R'\alpha'/2d$, wo α' die Ablenkung in Scalentheilen; es ist dann:

$$(1) \quad k = \frac{F}{Cev} \frac{R' \alpha' A}{R \alpha A'}.$$

Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Anzahl der Inductionsstösse, welche in der Zeiteinheit auf die Galvanometernadel zur Wirksamkeit gelangen, beim Wismuth und beim Solenoid genau die gleiche sei; dieser Anforderung entspricht aber der durch den Helmholtz'schen electromagnetischen Motor (unter Einschaltung eines Schwungrades) getriebene Rotationscommutator — wie die Beobachtungen zeigten — in vollkommen befriedigender Weise.

Der bei den Versuchen gebrauchte Cylinder war aus einer durch Zusammenschmelzen mehrerer grösserer Stücke von verschiedenem Wismuth erhaltenen Masse gegossen; er hat eine Länge von 17,5 cm, sein Volumen ist 95,460 ccm, daher der Durchmesser = 2,63 cm; seine Dichte $\sigma = 9,81$. Das zum Vergleich verwendete Solenoid besteht aus einer Lage dünnen, sehr gut umspinnenen Kupferdrahtes, der auf einem Glasrohr in 511 Windungen aufgewickelt ist; dasselbe hat eine Länge von 17,35 cm und einen Durchmesser von nahe 2,75 cm: die aus der Drahtlänge berechnete Fläche ergab sich $F = 303 \text{ } 0,3 \text{ qcm}$. Der Widerstand des Nebenschliessungsdrahtes betrug $n = 12,90 \text{ S.-E.}$, jener der Hauptrollen sammt Zuleitungsdrähten von den Verzweigungsstellen $w = 4,09 \text{ S.-E.}$, daher $c = 0,7593$.

Was den Factor C betrifft, so ergibt sich derselbe für Punkte, welche auf der Axe der Spirale nahe der Mitte derselben liegen, aus den Dimensionen der Rolle, Länge $l = 42 \text{ cm}$, innerer Halbmesser $\beta = 4,5 \text{ cm}$, äusserer Halbmesser $b = 8,51 \text{ cm}$, Gesamtzahl der Windungen $n = 1476$, nach der Formel:

$$C = \frac{2n\pi}{b-\beta} \log \frac{b + \sqrt{\frac{l^2}{4} + b^2}}{\beta + \sqrt{\frac{l^2}{4} + \beta^2}} = 421,2^1)$$

Da die Länge des Wismuths bedeutend ist, und an den von der Mitte der Spirale entfernten Stellen der Axe eine kleinere Scheidekraft herrscht, als sie nach der Gleichung

1) Innerer und äusserer Durchmesser sind Pogg. Ann. **160**. p. 20. 1877. etwas fehlerhaft angegeben, nach jenen Daten wäre $C = 423,3$.

chung $X = Ci$ mit dem angeführten Werthe von C erhalten wird, so schien es mir am besten, den Factor ebenfalls durch Versuche zu bestimmen, indem ich das in der Rolle befindliche Solenoid mit einem Meyerstein'schen Galvanometer verband, das einen Magnet von grossem Trägheitsmoment besitzt. Durch die Hauptrolle wurde ein Strom von bekannter Stärke geleitet, und man beobachtete den Inductionsstrom, der im Solenoide bei Umkehrung der Stromrichtung der Hauptrolle inducirt wurde. So ergab sich:

$$C = 410,9.$$

Endlich ist noch das Verhältniss der Reductionsfactoren R'/R zu bestimmen; die Tangentenbussole besitzt einen in ein kreisförmiges Brett eingelassenen dicken Drahtkreis von etwa 40 cm Durchmesser; neben demselben ist eine Lage von 36 Windungen aufgewickelt. Der kreisrunde Magnetspiegel (2 cm Durchmesser) befindet sich in der Axe des Drahtringes in einer Entfernung, welche dem halben Radius des Ringes gleichkommt. Ein zweiter Drahtkreis ist in grösserer Entfernung von der Nadel angebracht, während in der Nähe derselben eine Multiplicatorrolle von 120 Windungen fest aufgestellt ist: durch jeden der Kreise und Multiplicatoren können die Ströme geleitet werden. Die Verhältnisse zwischen den Reductionsfactoren lassen sich dabei mit grosser Genauigkeit ermitteln, und wurden wiederholt Vergleichen ausgeführt; es ist dadurch auf bequeme Art möglich, Ströme von sehr verschiedener Intensität mit demselben Instrument zu messen. Da der Reductionsfactor auf electromagnetisches Strommaass für den einen dicken Draht-ring genau bekannt ist, so sind auch alle anderen mit der Bussole gemachten Strommessungen leicht auf absolutes Maass reducirbar. Für den vorliegenden Fall genügt die Kenntniss des Verhältnisses der Reductionsfactoren; es war $R/R' = 2426,4$.

Ich habe anfänglich die Beobachtungen auf andere Art auszuführen versucht. Als Stromunterbrecher nahm ich eine electromagnetisch angeregte Stimmgabel, an deren einer Zinke ein Drahtbügel befestigt war, der beim Schwingen der Gabel in Quecksilbernäpfchen tauchte und dadurch die

Schliessung und Oeffnung des Hauptstromes besorgte. Eine zweite, mit der ersten gleichgestimmte Gabel schloss und öffnete in ähnlicher Weise die Leitung der Inductionsrollen. Diese zweite Gabel, deren Zinken magnetisirt sind, wird durch denselben galvanischen Strom in Bewegung erhalten den die erste Gabel selbstthätig unterbricht; es stellt sich dann zwischen den Bewegungen der Gabeln eine constante Phasendifferenz ein, welche sich durch vorsichtige Verstimmung einer Gabel auf etwa ein Viertel einer Ganzschwingung bringen lässt.¹⁾ Stellt man die Näpfchen derart, dass die Bügel nahe in der Ruhelage der Zinken ins Quecksilber tauchen, so gelangen (je nach der Stromesrichtung in den Electromagneten der zweiten Gabel) entweder nur die Schliessungs- oder nur die Oeffnungsströme zum Galvanometer. Da die Anzahl der Inductionsstösse in der Zeiteinheit hierbei ziemlich gross ist — die Stimmgabeln machten 32 Schwingungen in der Secunde (Ut_{-1}) —. so konnten schon mit kleineren Wismuthmassen und geringen Scheidekräften bedeutende Ablenkungen der Galvanometernadel erwartet werden. In der That waren unter Anwendung eines Bunsenelementes bereits sehr merkliche Inductionswirkungen beim Einlegen eines kurzen Wismuthstückes in eine der Inductionsrollen zu beobachten; indess ergaben sich aus der Vergleichung mit dem Solenoid bei verschiedenen Versuchen sehr abweichende und auffallend grosse Werthe für k .

Ebensowenig führte ein anderes Verfahren zum Ziele, bei dem ich beide Gabeln, sowohl die der Hauptstromleitung, als auch jene der Inductionsleitung unabhängig voneinander betrieb, aber den beiden Gabeln eine solche Verstimmung gegeneinander gab, dass die mittelst Spaltschirmen, welche an einer Gabel angebracht waren, beobachtete stroboskopische Bewegung der anderen etwa 10 bis 15 Secunden dauerte. Man erhält dann, wie leicht ersichtlich, entsprechend der Periode der stroboskopischen Bewegung Schwingungen der (stark gedämpften) Galvanometernadel mit constanten Umkehrpunkten, da während einer stroboskopischen Schwingung einmal nur

1) Pogg. Ann. 159. p. 60. 1876.

die Oeffnungs-, dann nur die Schliessungsströme aufs Galvanometer übertragen werden. Es war wegen der stets vorhandenen kleinen Abweichung von der vollständigen Compensation der beiden Inductionsrollen natürlich auch ein Schwingungsbogen der Galvanometernadel zu beobachten, wenn kein Wismuth eingelegt war; dieser Bogen wurde durch Einschieben des Wismuths verändert. Die für k erhaltenen Werthe variirten wieder bei Anwendung verschieden starker Primärströme und waren weit grösser, als sich nach den älteren Beobachtungen erwarten liess. Die Inductionsströme, welche das Solenoid lieferte, ergaben dagegen vollkommene Proportionalität mit der Intensität der durch das Solenoid geleiteten Ströme.

Es kann also die Ursache der Abweichungen nur im Wismuth selbst gesucht werden, und in der That sind es die in der Wismuthmasse entstehenden Ströme, welche in der umgebenden Spirale abwechselnd gerichtete tertiäre Ströme (Inductionsströme zweiter Ordnung) hervorrufen, die in der kurzen Zeit der Schliessung der Inductionsleitung noch nicht vollkommen abgelaufen sind. Bei den rasch aufeinander folgenden Schliessungen und Unterbrechungen des Stromes in den Hauptspiralen, wie es bei Anwendung der Stimmgabeln der Fall ist, können die tertiären Ströme in der Inductionsleitung, obwohl sie galvanometrisch gleichwerthig sind, eine Wirkung auf die Nadel haben, da ein Theil dieser Ströme wegen Unterbrechung der Leitung nicht zur Ausgleichung gelangt. Bei den mit dem rotirenden Commutator¹⁾ angestellten Versuchen hat sich ein derartiger Einfluss nicht bemerkbar gemacht; es wurden dort auch stets so kleine Rotationsgeschwindigkeiten angewendet, dass eine Speiche der Galvanometerleitung etwa $\frac{1}{4}$ Secunde nach jedem Inductionsstoss noch im Quecksilber ihres Troges blieb: das Vorhandensein der tertiären Ströme zeigte sich aber bei den Versuchen mit der Probespirale und dem massiven Kupfercylinder²⁾ an dem Zittern der Galvanometernadel.³⁾

1) Toepler, Pogg. Ann. **160**. p. 3. 1877.

2) l. c. p. 13 und 14.

3) Faraday, Exp. Res. **23**. Pogg. Ann. **82**. p. 75. 1851. Auf der Wirkung

Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass sowohl beim Entstehen als beim Verschwinden des Hauptstromes die tertiären Ströme, wenn sie nicht vollständig zur Ausgleichung gelangen, in demselben Sinne wirken, wie der entstehende, resp. verschwindende Diamagnetismus, und somit erklärt sich, warum die Versuche mit den Stimmgabeln die Zahl k stets zu gross ergaben.

Ich musste daher zur Anwendung des rotirenden Quecksilberunterbrechers zurückkehren und überdies durch Versuche die Grenze feststellen, bis zu welcher die Geschwindigkeit der Rotation gesteigert werden darf, ohne dass dadurch zu Fehlern Veranlassung gegeben wird. Am zweckmässigsten schien dazu die Anwendung einer Probespirale zu sein — wie sie auch bei den früheren Versuchen gebraucht wurde —, welche in die eine der Inductionsrollen eingelegt und abwechselnd geöffnet oder geschlossen wird. Die Probespirale bestand aus dickem Kupferdraht und hatte gegen 1200 Windungen von etwa 3 cm mittlerem Durchmesser. Zunächst wurde mit derselben die Galvanometerwirkung der bei Oeffnung des Primärstromes entstehenden tertiären Ströme beobachtet, wenn die Inductionsleitung nach Unterbrechung des Primärstromes nur eine gewisse kurze Zeit hindurch geschlossen blieb. Die Schliessung und Unterbrechung des Primärstromes erfolgt in bekannter Weise dadurch, dass die Speichen eines rotirenden, dreizackigen Sternes durch das

der Induction zweiter Ordnung beruhen auch die interessanten Anwendungen, welche D. E. Hughes und Chandler Roberts von der von ersterem erfundenen „Inductionswage“ gemacht haben. Phil. Mag. (5) 8. p. 50, 57 u. 551. 1879 (Beibl. 3. p. 647. 4. p. 138 u. 481). Ersetzt man nämlich das Galvanometer in der Leitung der Inductionsrollen durch ein Telephon, so vernimmt man in demselben keinen Laut bei durch ein Mikrophon verursachten Schwankungen der Intensität des Hauptstromes, wenn die Wirkungen der Inductionsrollen gegeneinander vollkommen abgeglichen sind. Nähert man aber der einen Rolle einen leitenden Körper, in dem Inductionsströme entstehen können, so erregt dieser tertiäre Ströme in den Inductionsrollen entsprechend seiner Masse und seinem Leitungsvermögen, und es werden daher jetzt die Schwankungen des Hauptstromes vernehmbar. (O. J. Lodge, Phil. Mag. (5) 10. p. 123. 1880. Beibl. 4. p. 293.)

Quecksilber eines untergestellten Troges hindurchgehen; die Leitung von den Inductionsrollen zum Galvanometer wird durch einen zweiten ähnlichen Stern vermittelt. Es wird nun dieser zweite Stern an der Rotationsaxe so gestellt, dass eine Speiche desselben sich im Quecksilber befindet, wenn die entsprechende Speiche der Primärleitung ihr Quecksilber verlässt, und zugleich wird an einem auf der Axe befestigten Gradbogen der Winkelweg abgelesen, den die Sternspeiche der Inductionsleitung im Quecksilber zurücklegt, nachdem die Primärleitung unterbrochen worden ist. Hieraus und aus der bekannten Rotationsgeschwindigkeit der Axe findet sich die Zeit, durch welche die Inductionsleitung nach Unterbrechung des Hauptstromes noch geschlossen bleibt. Die Axe rotirte dabei stets langsam, sodass sie nur etwa zwei Umdrehungen in der Secunde machte. An einem Meyerstein'schen Galvanometer wurden nun die Scalena-
 blenkungen s bestimmt, welche eintraten, wenn die Probespirale geschlossen wurde, wobei die Zeitdauer ϑ der Schliessung der Inductionsleitung verschieden lang gewählt wurde. Es war für:

ϑ :	0,010,	0,030,	0,059,	0,12 Sec.
s :	357,	93,	38,	1.

Nach etwas mehr als 0,1 Secunde sind also die durch die Probespirale erzeugten, tertiären Ströme so gut wie vollständig abgelaufen; der Primärstrom war dabei von drei Bunsenelementen geliefert, vor den Hauptrollen befand sich die Nebenschliessung n .

In ähnlicher Weise konnte die Dauer der tertiären Ströme dadurch gefunden werden, dass man die Contactspeiche der Inductionsleitung erst nach Unterbrechung des Primärstromes in das Quecksilber ihres Troges eintreten liess; unter ϑ' ist die Zeit angegeben, welche nach der Oeffnung des Hauptstromes bis zur Schliessung der Inductionsleitung verfliesst, unter s' die entsprechenden Scalena-
 ablenkungen: letztere waren jetzt entgegengesetzt jenen im früheren Falle (bei gleicher Richtung des Hauptstromes), da nun die Wirkung des zweiten Theiles des tertiären Stromes überwog.

ϑ' : 0,0096, 0,024, 0,036 Sec.

s' : 395, 49, 10.

Für die bei Schliessung des Hauptstromes entstandenen tertiären Ströme ergaben die Beobachtungen folgende Werthe von ϑ und s :

ϑ : 0,033, 0,060, 0,078, 0,11 Sec.

s : 41, 11, 6, 0.

Wurde dagegen die Inductionsleitung um eine Zeit ϑ' später als der Primärstrom geschlossen, so war für:

ϑ' : 0,040, 0,053, 0,069, 0,098 Sec.

s' : 22, 10, 5, $\frac{1}{2}$.

Aus diesen vorläufigen Versuchen ergibt sich, dass bei den angewandten Stromstärken die tertiären, durch die Probespirale in der sie umgebenden Inductionsrolle erregten Ströme sowohl bei Schliessung als auch bei der Oeffnung des Primärstromes in der Zeit von $\frac{1}{10}$ Secunde nahe vollständig abgelaufen sind. Wurde an Stelle der Probespirale ein massiver Kupfercylinder (Länge 16 cm, Durchmesser 2 cm) genommen, so war die Wirkung nur etwa $\frac{1}{10}$ von jener; da nun die im Wismuth entstehenden Ströme jedenfalls noch weit schwächer wirken (vielleicht aber etwas länger dauern), so wird man bei den diamagnetischen Inductionsversuchen den Stromunterbrecher noch mit einer Geschwindigkeit rotiren lassen dürfen, bei der acht bis neun Inductionsstösse in der Secunde aufs Galvanometer gelangen. Die Wirkung eines massiven Wismuthcylinders darf nicht durch weitere Vermehrung der Zahl der Inductionsstösse gesteigert werden, auch die Stärke des Primärstromes darf wegen der trotz Nebenschliessung auftretenden Unterbrechungsfunken eine gewisse Grenze nicht überschreiten; es musste daher eine grosse Wismuthmenge angewendet werden, um mit Sicherheit messbare Ausweichungen am Galvanometer zu erhalten.

Ich erlaube mir, hier noch einer Versuchsreihe mit der Probespirale Erwähnung zu thun, bei der die tertiären Ströme für verschiedene Intensitäten des primären Stromes beobachtet wurden; der Stromunterbrecher rotirte dabei stets mit gleicher Geschwindigkeit (etwa sieben Stösse pro Secunde). Es wirkten sowohl die Oeffnungen als die Schliessungen des primären Stromes inducirend, und durch den Galvanometer-

commutator gelangten die tertiären Strompaare insofern in gleicher Weise zum Galvanometer, dass in jedem Paare die Aufeinanderfolge der beiden tertiären Ströme die gleiche war. Die Sternspeichen des Commutators verliessen jedoch natürlich das Quecksilber, bevor noch die tertiären Ströme vollständig abgelaufen waren. Als die Stärke des Primärstromes im Verhältniss 100:193:280:360 zunahm, wuchsen die durch die tertiären Ströme entstandenen Galvanometerablenkungen im Verhältniss 100:195:258:329; das Zurückbleiben der Wirkungen deutet auf den ungleichen zeitlichen Verlauf hin, den die tertiären Ströme bei verschiedener Intensität des Primärstromes haben.

Ausserdem habe ich noch geprüft, ob innerhalb der bei den Versuchen zur Anwendung gelangenden Rotationsgeschwindigkeiten des Stromunterbrechers Proportionalität zwischen dieser Geschwindigkeit und der Galvanometerwirkung stattfindet. Jeder Versuch wurde sechs- bis siebenmal wiederholt, indem der Wismuthcylinder abwechselnd in seine Inductionsrolle gelegt und wieder herausgezogen wurde, wobei man jedesmal den Galvanometerstand notirte; in derselben Weise wird der Versuch sodann bei entgegengesetzter Richtung des Hauptstromes ausgeführt. So erhielt man die in der folgenden Tabelle mitgetheilten Resultate. A ist die Ausweichung der Galvanometernadel, hervorgerufen durch das Wismuth; z die Anzahl der Inductionsstösse in der Secunde, die bei jedem Versuch mehrmals bestimmt wurde; α bedeutet die Ablenkung an der Tangentenbussole (R) für den Primärstrom (i), die vor und nach jedem Versuch abgelesen wird, während die Quecksilbertröge des Unterbrechers dauernd überbrückt sind; unter A_1 sind endlich die auf gleiche Stromstärke ($\alpha = 280,0$) reducirten Ausweichungen verstanden. Der Primärstrom rührte von zwölf Bunsen'schen Elementen her.

Nr.	A	z	α	A_1	Verhältniss der A_1	Verhältniss der z
1	18,34	2,562	280,0	18,34	32,3	32,1
2	30,8	4,602	271,8	31,7	55,8	57,6
3	39,5	5,824	268,2	41,2	72,5	72,9
4	53,6	7,986	264,2	56,8	100,0	100,0

Zur weiteren Controle, dass die beobachteten Wirkungen von tertiären Strömen unbeeinflusst sind, wurde jedesmal auch der massive Kupferstab in die Inductionsrolle eingelegt; es waren dabei ausser den Zuckungen stets nur kleine Ausweichungen der Galvanometernadel, und zwar entgegengesetzt jenen beim Wismuth zu bemerken, welche wohl einem geringen Eisengehalt des Kupfers zuzuschreiben sein dürften.

Die Vergleichen mit dem Solenoid sind so ausgeführt worden, dass vor und nach den Versuchen mit dem Wismuth das Solenoid in die Inductionsrolle genau an die Stelle des Wismuths gebracht, der Strom i' durch Ueberbrückung am Unterbrecher geschlossen und seine Stärke an der Tangentenbussole (R') gemessen wurde. Sodann wird nach weggenommener Ueberbrückung die Wirkung des Solenoids mehrmals beobachtet, indem die Ablenkungen der Galvanometernadel sowohl bei entgegengesetzten Richtungen des Stromes i' , als auch mit Anwendung eines vor dem Galvanometer befindlichen Commutators gemessen wurden; während eines solchen Vergleiches rotirte der Stromunterbrecher fortwährend, ohne angehalten zu werden; seine Geschwindigkeit wurde wiederholt auf die bekannte Weise bestimmt.

In der folgenden Tabelle sind einige der erhaltenen Resultate zusammengestellt; A , α , A' , α' und k haben die Bedeutung wie in der Formel (1). Es ist $k = 41,39 \cdot 10^{-6} A\alpha'/A'\alpha$. Unter z ist noch die Zahl der Inductionsstösse pro Secunde angegeben.

Nr.	A	α	A'	α'	z	k
1	23,5	212,8	127,4	377,5	} 6,55	$13,72 \cdot 10^{-6}$
2 ¹⁾	64,8	214,0	457,8	482,9		39
3	45,4	246,1	217,8	380,9	} 7,22	53
4	53,05	284,5	216,5	379,2		69

Bei einer anderen Reihe von Messungen war zur Bestimmung der Stromstärken i' der weniger empfindliche Multiplicator der Tangentenbussole angewendet; es war nun $R/R' = 306,99$, daher ist $k = 331,4 \times 10^{-6} A\alpha'/A'\alpha$.

1) Galvanometer sehr stark astasirt.

Nr.	A	α	A'	α'	z	k
6	23,5	212,8	170,5	64,4	} 6,55	13,82.10 ⁻⁶
7	23,16	214,6	200,0	75,6		52
8 ¹⁾	57,0	213,0	403,8	61,1		35

Mittel aus beiden Reihen: $k = 13,57 \times 10^{-6}$.

Zweite Methode. Zur Messung der Wirkung einer cylindrischen, von einem Strome durchflossenen Spirale auf einen conaxialen diamagnetischen Cylinder verwendete ich eine grosse Rolle aus sehr gut isolirtem, 0,25 cm dickem Kupferdraht, dieselbe hat eine Länge von $l = 49,7$ cm und besteht im ganzen aus 2303 Windungen in 13 Lagen. Der Radius der innersten Lage ist 3,29 cm, jener der äussersten 6,23 cm; man kann den Strom durch jede beliebige Zahl von Lagen hindurchsenden. Die Wismuthcylinder W waren mit Coconfäden c an dem einen Arme des rechtwinklig gebogenen Glasstäbchens G aufgehangen, welches mit seinem anderen Arme auf einen leichten Holzbalken H aufgeklebt ist (Fig. 6); das ganze System hängt an einem dünnen, ca. 30 cm langen Neusilberdraht d , und ein Gegengewicht p aus Messing ist so angebracht, dass Balken und Wismuthcylinder in horizontalen Ebenen schwingen.

Wenn die Spirale aus einer einzigen Lage von Windungen vom Radius b besteht und N die Anzahl der Windungen auf die Längeneinheit bedeutet, so wird ein Wismuthcylinder, dessen Radius ρ ist und der sich in solcher Lage conaxial zur Spirale befindet, dass das aus der Spirale herausragende Stück n desselben dem in der Spirale befindlichen m gleich ist, mit einer Kraft ξ aus der Spirale herausgestossen, welche gegeben ist durch:

$$\xi = \frac{8\pi^3 k N^2 i^2 \rho^2 m}{\sqrt{b^2 + m^2}} \left[1 + \frac{3\rho^2 b^2}{8(b^2 + m^2)^2} - \frac{b^2(l^2 + m^2)}{2(l^2 - m^2)^2} - \frac{b^2 l \sqrt{b^2 + m^2}}{(l^2 - m^2)^2} \right]^2,$$

k ist wieder die Diamagnetisirungszahl des Wismuths, i die Stromstärke in der Spirale nach electromagnetischem Maasse. Es wird dabei noch vorausgesetzt, dass das Wis-

1) Galvanometer sehr stark astasirt.

2) Boltzmann, l. c. p. 703, Formel (18), (19) und (20).

muthstübchen so dünn und die Spirale so lang sei, dass in der Klammer Glieder von der Ordnung $\varrho^4 b^2 / (b^2 + m^2)^3$, ferner von der Ordnung b^4 / l^4 und $\varrho^2 b^4 / l^2 (b^2 + m^2)^2$ bereits vernachlässigt werden können.

Um die Wirkung für den Fall zu erhalten, dass die Spirale aus ν Lagen von Windungen besteht, wobei der Radius der innersten Lage = β , jener der äussersten = b sei, habe ich die Kraft nach der Formel:

$$\bar{\xi} = \beta - b \int_{\beta}^b \xi db$$

gerechnet; man erhält dadurch:

$$\bar{\xi} = \frac{8\pi^3 k N^2 \nu^2 i^2 \varrho^2 m}{b - \beta} \left[\log \frac{b + \sqrt{b^2 + m^2}}{\beta + \sqrt{\beta^2 + m^2}} + \frac{\varrho^2}{8m^2} \left(\frac{b^3}{\sqrt{b^2 + m^2}^3} - \frac{\beta^3}{\sqrt{\beta^2 + m^2}^3} \right) \right. \\ \left. - \frac{l^2 + m^2}{4(l^2 + m^2)^2} \left(b\sqrt{b^2 + m^2} - \beta\sqrt{\beta^2 + m^2} - m^2 \log \frac{b + \sqrt{b^2 + m^2}}{\beta + \sqrt{\beta^2 + m^2}} \right) - \frac{l(b^3 - \beta^3)}{3(l^2 - m^2)^2} \right],$$

oder kürzer: $\bar{\xi} = \gamma k i^2 [\varepsilon + \zeta - \eta - \vartheta]$,

wo γ , ε , ζ , η und ϑ leicht ersichtliche Bedeutungen haben.¹⁾

Das Drehmoment, welches die Spirale auf den Balken übt, ist $\bar{\xi}s$, wenn s die Länge des Hebelarmes bedeutet, an dem die Kraft $\bar{\xi}$ angreift. Dasselbe bewirkt eine Ablenkung des Balkens aus seiner Lage um einen Winkel φ , und es gilt $\bar{\xi}s = D\varphi$, wo D das von der Torsion des Aufhängedrahtes herrührende Moment ausdrückt: letzteres ist durch Schwin-

1) Es hat übrigens Boltzmann später untersucht, inwieweit eine genaue Formel für die aus vielen Lagen bestehende Spirale sich von der obigen, bei der Rechnung verwendeten unterscheidet (Wien. Ber. 83. p. 576. 1881), und gefunden, dass unter den gemachten Voraussetzungen nur der als drittes Glied in der Klammer stehende Ausdruck (η) etwas anders ausfällt. Der Unterschied der beiden Werthe ist sehr nahe $(b - \beta)(l^2 + m^2)b_1^2 / (3(l^2 - m^2)^2 \sqrt{b_1^2 + m^2})$, wobei $b_1 = \frac{1}{2}(b + \beta)$, und zwar ist der Absolutwerth des Ausdrucks in der genäherten Formel um diesen Unterschied zu gross. Die numerische Berechnung eines Falles zeigte, dass der Werth von k unter Anwendung der genauen Formel sich um etwa $\frac{1}{3}\%$ kleiner ergibt, als er nach der obigen Näherungsformel sich herausstellt; da die Grenzen der Beobachtungsfehler jedoch erheblich grösser sind, so habe ich die bereits nach der genäherten Formel gerechneten Werthe für k beibehalten.

gungsdauer T und Trägheitsmoment K gegeben, $D = \pi^2 K / T^2$, daher:

$$\bar{\xi}s = \frac{\pi^2 K}{T^2} \varphi.$$

Die Bestimmung von φ geschah mit Hülfe eines nahe der Drehaxe am Balken befestigten Spiegels; heisst δ die Distanz der Scala vom Spiegel und A die auf den Bogen reducirte Anzahl der Scalentheile, um welche die Ruhelage des Balkens verschoben wird, so hat man $\varphi = A/2\delta$. Die Messung der Stromstärke i wird an der entfernt von der Rolle aufgestellten Spiegeltangentenbussole (Reductionsfactor auf absolutes magnetisches Maass = R) vorgenommen; ist die auf die Tangente des Winkels reducirte Scalenableitung α und d wie früher die Scalendistanz, also $i = R\alpha/2d$, so ergibt sich:

$$\frac{R^2 \alpha^2}{4d^2} \gamma k s (\varepsilon + \zeta - \eta - \vartheta) = \frac{\pi^2 K}{T^2} \cdot \frac{A}{2\delta},$$

und daraus mit Rücksicht auf die Bedeutung von γ :

$$(2) \quad k = \frac{K(b-\beta)}{4\pi N^2 \nu^2 \varrho^2 m s R^2 (\varepsilon + \zeta - \eta - \vartheta)} \frac{d^2}{\delta} \cdot \frac{A}{\alpha^2 T^2} = f \frac{A}{\alpha^2 T^2},$$

wo f ein durch die Dimensionen des Wismuths, der Spirale und des Aufhängesystems bestimmter Factor ist. Die Formel (2) gilt für den Fall, dass die Mitte des Wismuthcylinders in der abgelenkten Lage des Balkens mit dem Ende der Spirale zusammenfalle. Um dies bei den Versuchen mit Sicherheit zu erreichen, war (einigermassen ähnlich wie bei G. Wiedemann's Versuchen¹⁾, der Torsionskopf der Aufhängevorrichtung durch eine Mikrometerschraube mit Trommeltheilung drehbar und dadurch leicht zu erzielen, dass bei abgelenktem Balken nahe derselbe Theilstrich der Scala gespiegelt wurde, welcher am Fernrohr erschien, wenn die Wismuthmitte gerade mit dem Spiralende zusammenfiel; zur Erkennung dieser Lage des Cylinders diente eine kleine, auf Papier gezeichnete Scala, die nahe dem Wismuthstabe am Spiralenende passend befestigt war. Die Aufhängevorrichtung ist in ein horizontales Brett eingelassen, welches von zwei

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. 126. p. 1. 1865.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XVII.

starken Säulen getragen wird; die Säulen selbst sind an die Tischplatte festgeschraubt.

Weil bei der Bestimmung des Trägheitsmomentes nach der Gauss'schen Methode die Schwingungsdauer des Balkens mit angehängten Gewichten sehr gross ausfiel, war unterhalb des Balkens an einem in seiner verlängerten Drehaxe befindlichen Stift noch ein Messingschiffchen zur Aufnahme eines cylindrischen Magnetes angebracht. Bei der Bestimmung des Trägheitsmomentes wird der Magnet in das Schiffchen eingelegt, und sein aus den Dimensionen berechnetes Trägheitsmoment wird dann von dem Gesamtmoment in Abzug gebracht.

Um die infolge der Erwärmung der Rolle entstehenden Luftströmungen unschädlich zu machen, war folgende Einrichtung getroffen. In das Innere des Messingrohrs, auf welches die Rolle gewickelt ist, ist eine kurze, doppelwandige, an einem Ende verschlossene Pappröhre eingeschoben; ein Pappkasten mit entsprechenden Glaswänden, um die Bewegung des Balkens zu beobachten, umgibt ferner den Balken seiner ganzen Länge nach und schliesst an die Pappröhre an; oben hat der Kasten eine kleine Oeffnung, um den Aufhängedraht hindurchzulassen. Endlich steht die Rolle sammt der Aufhängevorrichtung noch unter einem grossen Kasten mit Glaswänden, von denen die dem Beobachtungsfernrohr zugewendete aus Spiegelglas besteht. Die Verschiebungen, welche der Balken beim Hindurchleiten eines Stromes durch die Rolle zeigte, erfolgten nun auch mit grosser Regelmässigkeit, während sich ohne die erwähnten Vorsichtsmassregeln der störende Einfluss der Erwärmung der Rolle sehr bemerkbar machte.

Bei jedem Versuch wird durch eine vorläufige Bestimmung ungefähr die Grösse der Verschiebung der Ruhelage des Balkens ermittelt und dann mit der Schraube am Torsionskopfe der Aufhängung dem Balken eine solche Stellung gegeben, dass die Wismuthmitte in der abgelenkten Lage des Balkens ziemlich genau in die Endfläche der Spirale fällt. Sodann wird eine Bestimmung der Schwingungsdauer des Balkens ausgeführt; diese geschieht durch electriche

Registrirung der Durchgänge durch die Ruhelage, während auf dem Papierstreifen des Registrirapparates zugleich die Secundenmarken einer astronomischen Uhr verzeichnet werden. Nachdem die Stärke des die Rolle durchfliessenden Stromes i gemessen ist, bestimmt man aus mehreren Umkehrpunkten die Ruhelagen des Balkens abwechselnd bei offenem und geschlossenem Stromkreise; auch werden zuweilen Versuche bei entgegengesetzter Stromrichtung gemacht; schliesslich wird die Stromstärke nochmals gemessen.

Ich gebe zunächst ein vollständiges Protocoll einer solchen Versuchsreihe:

Wismuth Nr. 1; Länge $\lambda = 2m = 9,5$ cm., Durchmesser $2\rho = 0,965$ cm., Dichte $\sigma = 9,813$, die Mitte des Cylinders befindet sich in der Endfläche der Spirale, wenn die Zahl 550 der Scala am Fadenkreuze des Fernrohrs erscheint. Der Strom wird von acht Bunsenelementen geliefert und durchfliesst sämtliche Drahtlagen der Rolle. Schwingungsdauer $T = 55,79$ Sec.; Ausweichung der Nadel der Tangentenbussole: 156,4 Scalenstriche. Die Ruhelagen des Balkens, bei offenem (o) und geschlossenem (g) Strome sind bei den Zahlen:

o :	443,4	444,8	446,2	447,3	448,8
g :	550,0	551,6	553,0	554,5.	

Die Ruhelage bei offenem Strom verschiebt sich allmählich (wohl in Folge elastischer Nachwirkung), aber ziemlich regelmässig; nimmt man daher das Mittel je zweier auf einander folgenden Ruhelagen bei offenem Strom und verbindet es mit dem dazwischenliegenden Werthe derselben bei geschlossenem Strom, so erhält man die Verschiebungen:

$$105,9, 106,1, 106,3, 106,5.$$

Die nochmalige Strommessung gibt 156,9 Scalenth. Ausweichung. Nun war die Scalendistanz an der Tangentenbussole $d = 1932$, jene beim Wismuth $\delta = 3411$ Scalentheile, die Mittelwerthe von α und A reduciren sich daher mit Rücksicht auf jene Distanzen auf $A = 106,09$, $\alpha = 156,4$ und es ist:

$$\frac{A}{\alpha^2 T^2} = 1,393 \cdot 10^{-6}.$$

In gleicher Weise sind die Beobachtungen bei anderen Stromstärken angestellt, jedesmal wurden sämtliche 13 Lagen der Rolle verwendet; die nachstehende Tafel gibt die erhaltenen Resultate.

Nr.	Zahl der Bunsen-elemente	T	A	a	$\frac{A}{a^2 T^2}$
1	2	55,82	8,94	45,10	$1,392 \cdot 10^{-6}$
2	3	55,82	19,18	66,55	1,390
3	4	55,79	32,59	87,14	1,378
4	8	55,79	106,09	156,4	1,393
5	12	55,69	212,4	223,8	1,367

Bei den folgenden Angaben sind stets Centimeter, Gramm und Secunde als Einheiten zu Grunde gelegt.

Das Trägheitsmoment des Balkens mit dem Wismuth wurde $K = 52591$ gefunden; die Länge des Hebelarmes ist $s = 22,11$, der Reductionsfactor der Tangentenbusssole $R = 7,631$, $Nv = 2303/49,7 = 46,336$; mit Rücksicht auf die oben angegebenen Werthe von m , ρ , b , β und l , ferner von d und δ berechnet sich der Factor $f = 10,108$ und damit ergeben die Versuche:

Nr.	k	X	Nr.	k	X
1	$14,07 \cdot 10^{-6}$	25,8	4	$14,08 \cdot 10^{-6}$	89,5
2	14,06	38,1	5	13,82	128,0
3	13,93	49,9			

Mittel $k = 13,99 \cdot 10^{-6}$.¹⁾

1) Aus den Messungen der diamagnetelectrischen Induction ergab sich für dasselbe Wismuth das Moment der Masseneinheit durch die Scheidekraft 1 hervorgerufen: $\frac{1}{v \cdot 10^{11}} = 1,492 \cdot 10^{-6}$ (l. c. p. 25. 1877). Wie oben (p. 278 Anm.) angegeben wurde, ist damals die Scheidekraft in der Rolle (134,3) etwas zu gross berechnet worden, sie betrug nur 130,4. Mit Rücksicht hierauf ergibt sich aus den älteren Beobachtungen für die Masseneinheit Wismuth die Zahl $1,535 \times 10^{-6}$ und für die Volumeneinheit (Dichte 9,81) $k = 15,05 \cdot 10^{-6}$. Nimmt man dagegen den aus den obigen Versuchen hervorgehenden Werth $k = 13,99 \times 10^{-6}$ als richtig an, so folgt umgekehrt die Grösse m (Moment der Masseneinheit des Eisenellipsoides bei der Scheidekraft 130,4) der Werth 209,1; rechnet man hieraus c (Maximum des Moments eines Gramms Eisens), so findet man 215,7, was mit dem v. Waltenhofen (Pogg. Ann. 137. p. 529. 1869) als Mittel aus den Beobachtungen verschiedener Forscher angegebenen Werth 212,5 C. G. S. nahe übereinstimmt. (S. auch J. Haubner, Wien. Ber. 82. p. 771. 1880. C. Fromme, Wied. Ann. 13. p. 695. 1881.

Unter X ist noch die „mittlere Scheidekraft“ angeführt, gemessen in den angegebenen Einheiten, d. i. die Grösse der Scheidekraft, welche in der Endfläche der Rolle in der Axe derselben herrscht; die Berechnung hat hier nach der Formel:

$$X = \frac{2\pi N r l i}{b - \beta} \log \frac{b + \sqrt{l^2 + b^2}}{\beta + \sqrt{l^2 + \beta^2}} = 289,7 i$$

zu geschehen.

Ich theile weiter die Resultate mit, welche sich bei Versuchen mit zwei anderen Wismuthcylindern Nr. 2 und Nr. 3 herausstellten. An dem Apparate war insofern eine kleine Veränderung vorgenommen, als der an dem Balken befestigte Glasstab, welcher die Wismuthcylinder trägt, unter spitzem Winkel derart gebogen worden war, dass bei einer kleinen Drehung des Balkens die Axe des Cylinders sich möglichst genau in der Axe der Drahtrolle verschob; es fiel also die Drehungsaxe des Balkens in die durch die Endfläche der Rolle gelegte Ebene. Der Drahtling an der Tangentenbussole, den der Strom i durchfloss, war etwas entfernter von der Nadel aufgestellt, als bei den früheren Messungen, der Reductionsfactor war $R = 7,969$. Es wurden ferner die Drahtlagen der Rolle in verschiedener Zahl angewendet, indem entweder nur die innerste oder die drei innersten Lagen ausgeschaltet waren.

Wismuth Nr. 2; Länge 9,95 cm, Durchmesser 0,834 cm, Dichte 9,820.

Nr.	Zahl der Elemente	Zahl der Drahtlagen	T	A	α	$\frac{A}{\alpha^2 T^2}$
1	6	13	47,34	36,97	121,1	$1,125 \cdot 10^{-6}$
2	10	13	47,34	87,90	186,9	1,123
3	10	12	47,41	76,95	190,2	0,946
4	6	10	47,33	29,17	141,2	0,653
5	10	10	47,33	66,70	215,2	0,648

Es war $K = 37693$, $s = 21,22$, $d = 1957$, $\delta = 2458$. Für die Versuche Nr. 1 und 2 berechnet sich $f = 12,833$, für Nr. 3 ist $f = 15,333$, endlich für Nr. 4 und 5 folgt $f = 22,667$; damit ergeben sich folgende Werthe:

Nr.	k	X	Nr.	k	X
1	$14,44 \times 10^{-6}$	71,4	4	$14,80 \cdot 10^{-6}$	64,1
2	14,41	110,2	5	14,57	97,8
3	14,50	103,8			

Mittel $k = 14,54 \cdot 10^{-6}$.

Wismuth Nr. 3; Länge 9,95 cm, Durchmesser 0,835 cm, Dichte 9,818. Zahl der verwendeten Drahtlagen 12, Mittel der Schwingungsdauer vor und nach den Versuchen 43,53 Sec.

Nr.	Zahl der Elemente	A	α	$\frac{A}{\alpha^2 T^2}$
1	4	10,62	88,61	$0,7135 \cdot 10^{-6}$
2	6	21,07	125,0	0,7114
3	8	31,55	153,1	0,7104
4	10	46,22	185,8	0,7066

Der Factor f ergibt sich = 18,974 und damit folgt:

Nr.	k	X	Nr.	k	X
1	$13,54 \cdot 10^{-6}$	39,2	3	$13,48 \cdot 10^{-6}$	67,6
2	13,50	55,2	4	13,41	82,2

Mittel $k = 13,48 \cdot 10^{-6}$.

Die Differenzen, welche die Werthe k für die drei verschiedenen Wismuthcylinder zeigen, sind sehr merklich; man könnte vermuthen, dass die Beobachtungsfehler, namentlich die Unsicherheit in der Bestimmung der Trägheitsmomente die Unterschiede von k verursacht haben. Dagegen scheint aber der folgende Umstand zu sprechen: Der Neusilberdraht, an dem der Balken hing, war bei den Versuchen mit Wismuth Nr. 1 und Nr. 2, obwohl sie zu verschiedenen Zeiten gemacht wurden, derselbe, es muss daher das statische Directionsmoment D der Torsionskraft des Drahtes sehr nahe dasselbe sein. Berechnet man mit den oben angegebenen Werthen der Trägheitsmomente und dem Mittelwerthe der Schwingungsdauer jenes Moment D , so erhält man für dasselbe 166,8 und 168,0, welche Werthe so gut übereinstimmen, dass bedeutende Fehler bei den Bestimmungen der K wohl ausgeschlossen sind. Es dürfte vielmehr die Verschie-

denheit von k in der Beschaffenheit der verwendeten Wismuthcylinder ihren Grund haben.¹⁾

Ich habe endlich auch aus derselben Wismuthmasse, aus welcher der bei den Inductionsversuchen (erste Methode) gebrauchte grosse Cylinder gegossen worden war, noch eine kleine Stange hergestellt und nach der zweiten Methode untersucht. Die Dimensionen des kleinen Cylinders waren: Länge 7,28 cm, Durchmesser 1,001 cm, Dichte 9,814. Trägheitsmoment $K = 38960$, der Factor f berechnete sich zu 16,83. Zwei Versuchsreihen ergaben folgende Resultate: $T = 44,89$ Sec.

Zahl der Elemente	A	α	$\frac{A}{\alpha^2 T^2}$	k	X
6	27,12	126,6	$0,8397 \cdot 10^{-6}$	$14,13 \cdot 10^{-6}$	55,9
9	52,50	176,4	0,8373	14,09	78,0

Das Mittel der beiden Werthe $k = 14,11 \cdot 10^{-6}$ weicht von dem nach der ersten Methode gefundenen (13,57) allerdings um nahe 4 Proc. ab, doch kann die Uebereinstimmung der auf zwei voneinander gänzlich verschiedenen Wegen erhaltenen Resultate immerhin eine gute genannt werden.²⁾

Selbstverständlich wurde auch untersucht, ob eine Einwirkung der vom Strom durchflossenen Rolle auf die Aufhängevorrichtung allein vorhanden sei. Bei schwächeren Strömen zeigte sich keine bemerkbare Wirkung; erst bei Anwendung eines Stromes von zehn Bunsenelementen, der sämtliche Lagen der Rolle durchfloss, war eine kleine Bewegung des Balkens zu sehen: sie betrug etwa 0,8 Theilstriche der Scala, und zwar wurde der Balken gegen die

1) Hr. Assistent Hinteregger hatte die Güte, Proben des Metalls, aus den die drei Cylinder hergestellt waren, auf ihren Eisengehalt zu untersuchen; er fand in allen drei Wismuthproben Spuren von Eisen, durch ein Titirverfahren mit übermangansauerm Kali ergaben sich die Eisengehalte zwischen 0,02 und 0,05 Proc., doch hat das Wismuth mit dem stärksten Eisengehalt (Nr. 1) nicht die kleinste Diamagnetisirungszahl.

2) Bei diesen Versuchen und jenen mit Wismuth Nr. 3 war ein anderer Neusilberdraht verwendet, als bei Nr. 1 und Nr. 2; rechnet man D für diesen Draht aus K und T , so findet man 191,2 und 191,4 also wieder sehr gute Uebereinstimmung.

Spirale hingezogen, Es wären daher die bei grossen Scheidekräften (etwa von $X=90$ angefangen) gefundenen Ablenkungen A etwas zu klein beobachtet worden; indess ist der Betrag, um den die Ablenkungen zu vergrössern wären, so unbedeutend, dass er innerhalb der Fehlergrenzen der Messungen liegt und daher füglich vernachlässigt werden kann.

Dritte Methode. In der zweiten, bereits oben erwähnten Abhandlung Boltzmann's ist das Drehungsmoment berechnet, welches eine Spirale von grosser Länge auf einen nahe ihrem Ende befindlichen und nahe conaxialen diamagnetischen Cylinder ausübt. Haben ρ , b , λ , N , i und h dieselben Bedeutungen wie früher, und ist h die Entfernung der Wismuthmitte von der Endfläche der Spirale, so findet Boltzmann für das Drehmoment, welches den Winkel α (zwischen der Axe des Cylinders und der Spiralaxe) zu vergrössern sucht, den Ausdruck:

$$M = -2\pi^3 k N^2 i^2 \rho^2 b^2 \alpha F(h),$$

$$\text{worin: } F(h) = \left[\frac{b^2 - 2h(h+u)}{b^2 \sqrt{w}} - \frac{b^2 - h^2}{1 w^3} + \frac{2h(h+u)^3}{b^2 \sqrt{w^3}} + \frac{2h}{w} \right. \\ + \frac{(9h^2 - 13b^2)(h+u)}{16b^2 w} - \frac{5b^2 h}{4w^2} - \frac{5(h^2 - b^2)(h+u)}{8w^2} \\ \left. + \frac{3(3h^2 + b^2)}{16b^3} \arctan \frac{h+u}{b} \right]_{u=-\frac{\lambda}{2}}^{u=+\frac{\lambda}{2}}$$

$$w = b^2 + (h+u)^2 \quad (\text{l. c. p. 585, Formel 28}).$$

Für den Fall, dass die Spirale aus ν Lagen besteht, soll angenommen werden, dass man statt der den verschiedenen Lagen entsprechenden Werthe von b deren Mittelwerth setzen dürfe. N bedeutet natürlich dann die auf die Längeneinheit entfallende Windungszahl der ganzen Spirale. Es sei der Cylinder in seiner Mitte so aufgehängt, dass er in horizontaler Ebene schwingt, und es falle seine Ruhelage mit der Axe der Rolle zusammen, so wird durch die Wirkung der vom Strome durchflossenen Rolle die Schwingungsdauer des Cylinders vergrössert; heisst dieselbe, wenn kein Strom durch die Rolle fliesst, T und ϑ die kleine Aenderung der Schwingungsdauer beim Strome i , K das Trägheits-

moment des Cylinders bezogen auf die Aufhängungsaxe, so folgt zur Bestimmung von k die Gleichung:

$$(3) \quad k = - \frac{K}{\pi N^2 \rho^2 b^3 F(\lambda)} \cdot \frac{\vartheta}{i^2 T^3} \left(1 - \frac{3\vartheta}{2T} \right).$$

Ein Wismuthcylinder von der Länge $\lambda = 10,09$ cm und dem Durchmesser $2\rho = 0,702$ cm wurde an Coconfäden bifilar vor dem Ende der bei den vorigen Versuchen (zweite Methode) gebrauchten Rolle aufgehängt, sodass in der Ruhelage seine Axe in die Spiralaxe fiel. Um seine Schwingungsdauer bestimmen zu können, sind an seinen beiden Endflächen kurze, feine Glasfäden mit Schellack angekittet, und ein Fernrohr ist derart eingestellt, dass sich die Bilder der Glasfäden genau decken, wenn der Cylinder sich in der Ruhelage befindet; es werden dann, wenn der Cylinder schwingt, auf electrischem Wege die Momente registriert, in denen die Bilder der Glasfäden sich kreuzen. Solche Beobachtungen werden nun abwechselnd bei offenem und geschlossenem Stromkreise ausgeführt, ohne dass dabei das Wismuth von neuem zum Schwingen angeregt wird; die einzelne Beobachtung einer Schwingungsdauer erforderte eine Zeit von circa zwölf Minuten. Indem dann die Differenzen zwischen den bei geschlossener und offener Kette erhaltenen Werthen genommen werden, ergeben sich wegen der Abnahme der Schwingungsweite abwechselnd grössere und kleinere Werthe für ϑ ; die Mittel aus je zwei auf einander folgenden Werthen weichen meist nur wenig voneinander ab und zeigen die Wirkung der vom Strom durchflossenen Rolle auf das Wismuth an. Um Störungen durch die Erwärmungen der Rolle möglichst hintanzuhalten, befindet sich der schwingende Cylinder in einer doppelwandigen Röhre, die beiderseits mit Glasplatten verschlossen ist und oben einen Schlitz hat, um die Aufhängefäden hindurchzulassen; die Röhre ragte bei den ersten Versuchen zum Theil ins Innere der Rolle hinein. Neben das Wismuth war in die Röhre die Kugel eines Thermometers gebracht, und dieses zeigte, dass in der Zeit einer Versuchsreihe die Temperatur im Innern allmählich um 3–4 Grade stieg. Ueber die Rolle und die Aufhängevorrichtung war wieder der grosse Glaskasten gestellt.

Bei verschiedenen Entfernungen (h) der Wismuthmitte von der Endfläche der Rolle wurden Beobachtungen gemacht, desgleichen jedesmal bei verschiedenen Stromstärken (i). Dabei floss der Strom durch die acht äusseren Lagen der Rolle, welche eine Gesamtzahl von 1412 Windungen haben, sodass $N = 1412/49,7 = 28,41$ zu setzen ist; der mittlere Radius ist $b = 5,37$ cm.

Obwohl nun die bei demselben h erhaltenen Werthe von k verhältnissmässig gut übereinstimmten, ergab sich k aus den bei verschiedenen h gemachten Beobachtungen sehr abweichend. Je kleiner h war, je grösser also der in die Rolle hineinragende Theil des Cylinders war, um so grösser wurde k gefunden.¹⁾

Da es nicht wahrscheinlich schien, dass die geringe, allmähliche Temperaturerhöhung von so bedeutendem Einflusse sei, so konnte die Richtigkeit der bei der Berechnung zu Grunde gelegten Formel in Zweifel gezogen werden. Ich habe deshalb versucht, die Formel für das Drehungsmoment auf einem anderen Wege zu berechnen, der von dem von Boltzmann eingeschlagenen vollkommen verschieden ist. Ich gebrauchte dazu die von Stefan²⁾ angewandte Methode, indem ich das Potential der vom Strom durchflossenen Spirale auf einen in ihrer Axe befindlichen Punkt in der Form:

$$U = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + A_3 x^3 + \dots$$

darstellte. Der Anfangspunkt der Coordinaten liege in der Wismuthmitte, also in der Axe der Spirale im Abstände h vom Ende derselben, und die X -Axe falle mit der Spiralenaxe zusammen. Es ist dann für eine Spirale von der Länge l :

$$U = 2\pi Ni[l - \sqrt{b^2 + (l + h + x)^2} + \sqrt{b^2 + (h + x)^2}].$$

Entwickelt man diesen Ausdruck unter der Voraussetzung, dass l gegen b gross ist, nach Potenzen von x , so ergeben sich für die Coëfficienten die Werthe:

1) Für $h = 1,8$ cm folgte k fast doppelt so gross, als für $h = 5$; in letzterem Falle fiel das Ende des Cylinders mit der Endfläche der Rolle zusammen, sodass sich das Wismuth ausserhalb der Rolle befand, die den Cylinder umgebende Röhre war aber dabei in den Innenraum der Spirale eingeschoben.

2) Schuhmeister, Wien. Ber. 83. p. 46. 1881.

$$A_1 = -2\pi Ni \frac{e-h}{e}, \quad A_2 = 2\pi Ni \frac{b^2}{2e^3}, \quad A_3 = -2\pi Ni \frac{b^2 h}{2e^5},$$

$$A_4 = 2\pi Ni \frac{b^3(4h^2-b^2)}{8e^7}, \quad A_5 = -2\pi Ni \frac{b^2 h(4h^2-3b^2)}{8e^9}, \quad \text{etc.,}$$

wo $e^2 = b^2 + h^2$.

Für einen ausserhalb der Axe im Abstände a von derselben befindlichen Punkt ist sodann das Potential (l. c. p. 47):

$$V = A_0 + A_1 x + A_2 \left(x^2 - \frac{a^2}{2}\right) + A_3 \left(x^3 - \frac{3}{2} x a^2\right) \\ + A_4 \left(x^4 - 3x^2 a^2 + \frac{3}{2} a^4\right) + \dots$$

Um das Drehungsmoment M zu finden, welches auf einen schwingenden diamagnetischen Körper ausgeübt wird, dessen Drehungsaxe in die Z -Axe des Coordinatensystems fällt, hat man zu bilden:

$$M = \frac{k}{2} \iiint \left\{ y \frac{d}{dx} \left[\left(\frac{dV}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dV}{da} \right)^2 \right] - x \frac{d}{dy} \left[\left(\frac{dV}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dV}{da} \right)^2 \right] \right\} dx dy dz;$$

die Integrationsgrenzen sind durch die Dimensionen des Körpers bestimmt. Für einen cylindrischen Körper, dessen Radius ρ klein im Vergleich zu seiner Länge λ ist, und dessen Axe mit der Axe der Spirale den kleinen Winkel α bildet, erhält man:

$$M = k \frac{\pi \rho^2 \lambda^3}{4} \alpha [3A_1 A_3 + A_2^2 + (9A_3^2 + 22A_2 A_4 + 25A_1 A_5) \frac{\lambda^2}{10} + \dots];$$

setzt man darin für die Coëfficienten ihre oben angegebenen Werthe, so folgt:

$$M = k \frac{\pi N^2 i^2 b^2 \rho^2 \lambda^3}{4e^5} \alpha \left[6h + \frac{b^2 - 6h^2}{e} \right. \\ \left. - \frac{\lambda^2}{20e^4} \left(25h(3b^2 - 4h^2) + \frac{11b^4 - 137b^2 h^2 + 100h^4}{e} \right) + \dots \right]$$

Dieser Ausdruck des Drehmoments, der für den Fall, wo λ gegen e nicht gross ist, verwendet werden kann, ist in vollständiger Uebereinstimmung mit demjenigen, den man aus Boltzmann's Formel (p. 296) erhält, wenn man daselbst nach Potenzen von λ entwickelt und bei den Gliedern mit λ^5 stehen bleibt.

Da hiernach die Formel bestätigt erscheint, so müssen die Abweichungen in den Werthen von k , welche die Beobachtungen bei verschiedenen h ergeben, dem Einfluss der

Temperatur zugeschrieben werden; es bleibt dabei bemerkenswerth, dass die Wirkung verhältnissmässig rasch beim Schliessen des Stromes auftritt und beim Oeffnen wieder bald verschwindet. Jedenfalls sind die Abweichungen nicht aus der Veränderung des Trägheitsmoments infolge der Temperaturerhöhung des Wismuths zu erklären, natürlich auch nicht aus der Aenderung der Bifilarkraft, sondern vermuthlich aus der Veränderung der Torsionskraft der Coconfäden.¹⁾

Der Verlauf der Function $F(h)$ für die oben angegebenen Dimensionen der Spirale und des Wismuthcylinders ist aus folgender Zusammenstellung zu ersehen:

h	$F(h)$	h	$F(h)$
0	-0,0366	35	-0,1083
9	640	40	1072
18	869	50	968
30	1048	88	248

Ich habe auch einige Beobachtungen angestellt, wo sich das Wismuth sammt der Röhre ganz ausserhalb der Spirale befand und überdies noch zwischen der Spirale und dem Schwingungskästchen des Cylinders eine Glasplatte aufgestellt war. h hatte in diesem Falle den Werth 88; hier konnte der Temperatureinfluss jedenfalls nur noch sehr gering sein, freilich ist aber auch die Veränderung der Schwingungsdauer sehr klein, und sind deshalb die erhaltenen Resultate mit verhältnissmässig grossen Beobachtungsfehlern behaftet. Ich beschränke mich daher auf die Mittheilung zweier Versuchsreihen, die bei verschiedenen Schwingungsdauern ausgeführt wurden.

Für die mittlere Schwingungsdauer $T = 37,543$ ergab sich bei der Stromstärke $i = 0,3362$ (sechs Bunsen's) als Mittel von vier Werthen $\vartheta = 0,061$; bei einer Wiederholung der Beobachtung war $T = 37,570$, $i = 0,3428$, $\vartheta = 0,064$; mit den Mittelwerthen von T , i und ϑ ist $\vartheta/i^2 T^3 = 10,2 \cdot 10^{-6}$.

1) Von der Richtigkeit dieser Annahme habe ich mich nachträglich durch besondere Versuche überzeugt.

Bei einer grösseren Schwingungsdauer $T = 49,88$ und der Stromstärke $i = 0,340$ war im Mittel $\vartheta = 0,155$, somit $\vartheta/i^2 T^3 = 10,8 \cdot 10^{-6}$.

Das Trägheitsmoment des Wismuthcylinders, aus seinen Dimensionen berechnet, ist $K = 326,6$, damit folgt:

$$\frac{K}{\pi N^2 \rho^2 b^2 F(k=88)} = -1,4630,$$

und für: $\frac{\vartheta}{i^2 T^3} = 10,5 \cdot 10^{-6},$

ergibt sich: $k = 15,3 \cdot 10^{-6}.$

In Anbetracht der Kleinheit der Wirkung ist die Uebereinstimmung des Werthes von k mit den nach den beiden ersten Methoden gefundenen befriedigend. Eine Verstärkung der Wirkung durch Vergrösserung der Stromstärke schien mir ohne erheblichen Vorthail, da die Erwärmung der Rolle ebenfalls (prop. mit i^2) zunimmt; auch für diamagnetische Körper von kleinerer Dichte als Wismuth werden die Verhältnisse kaum erheblich günstiger sein. Es kann daher diese Methode wohl nur unter Anwendung kräftiger Electromagnete, wie sie bei den Versuchen von Jacques und Schuhmeister benutzt wurden¹⁾, genaue Resultate ergeben, vorausgesetzt, dass für die Abhaltung der Erwärmung ausreichend Sorge getragen wird.

Vierte Methode. Bei dieser habe ich versucht, durch directe Messung der Fernwirkung des diamagnetisirten Wismuths die Zahl k zu ermitteln. Die Anordnung des Versuchs ist im wesentlichen dieselbe wie bei W. Weber²⁾ zur Nachweisung der diamagnetischen Polarität. Ein kurzer Wismuthcylinder wird zwischen zwei starke Magnetpole gebracht und die Einwirkung beobachtet, welche dadurch auf eine in der Nähe aufgehängte Magnetometernadel hervorgerufen wird. Die Scheidekraft X zwischen den Magnetpolen

1) In der Mitte zwischen den Polen des von Schuhmeister angewendeten Electromagnets war die magnetisirende Kraft (gegeben durch den Coëfficienten A_1) bei Erregung durch ein Bunsenelement etwa $4\frac{1}{4}$, bei Erregung durch sechs Bunsen aber fast 30mal so gross, als bei den obigen Versuchen für die Stelle der Wismuthmitte.

2) W. Weber, Pogg. Ann. 73. p. 241. 1848.

wird durch den Inductionsstrom bestimmt, der in einer dem Wismuth an Grösse nahe gleichen Drahtrolle beim Umdrehen derselben im Magnetfeld oder Herausbewegen aus dem Felde entsteht. Das Drehmoment der Magnetpole auf die Nadel ist durch einen von der Seite genäherten Magnetstab compensirt, und das zwischen die Pole gebrachte Wismuth befindet sich gegen die Nadel in der ersten Hauptlage. Bezeichnen wir wieder mit λ die Länge, mit 2ρ die Dicke des Wismuthcylinders, sei ferner H' die Grösse der an der Stelle der Magnetometernadel herrschenden magnetischen Richtkraft, θ das Torsionsverhältniss des Aufhängefadens und φ der Ablenkungswinkel der Nadel beim Einbringen des Wismuths zwischen die Pole, endlich r die Entfernung der Wismuthmitte von der Nadel, so ist:

$$(4) \quad k = \frac{H' (1 + \theta) \cdot \varphi}{X \varphi^2 \pi \left[\frac{1}{\left(r - \frac{\lambda}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{\lambda}{2}\right)^2} \right]};$$

dabei muss die Länge der Magnetometernadel klein sein gegen r .

H' wurde bestimmt entweder durch Vergleichung der Schwingungsdauer der Nadel beim Versuche mit jener, welche unter Einwirkung der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus herrscht, oder durch Vergleichung der Ablenkungen, welche ein stets in dieselbe Lage zur Nadel gebrachter Magnetstab in beiden Fällen hervorruft. Die Magnetometernadel, deren Länge 1,8 cm war, befand sich in einem gut verschlossenen Glaskasten und trug einen Spiegel; ihre Schwingungen waren durch eine kleine in Wasser tauchende Fahne gedämpft. Man beobachtete sowohl direct aus Umkehrpunkten die vom Wismuth bewirkten Ablenkungen der Magnetnadel, als auch die Schwingungsbogen, welche entstanden, wenn das Wismuth im Rhythmus der Nadelschwingungen zwischen die Magnetpole gebracht und wieder entfernt wurde; aus diesen lässt sich mit dem beobachteten Decrement der Schwingungen die Ablenkung A nach der Formel:

$$A = g^{\frac{x-1}{x+1}}$$

berechnen, wo g der Multiplicationsgrenzbogen, α das Dämpfungsverhältniss ist¹⁾:

Die Magnete, zwei breite, sehr stark magnetisirte Stahl-lamellen von van Wetteren, waren auf einer Eisenplatte vertical befestigt, sodass sie mit dieser einen Hufeisenmagnet bildeten. Die Verbindungslinie ihrer Pole stand, wie erwähnt, senkrecht zum magnetischen Meridian und traf verlängert die kleine Magnetometernadel. Der Wismuthcylinder war bifilar an der Zimmerdecke aufgehängt und konnte mit Hülfe eines über eine Rolle laufenden Fadens leicht zwischen die Magnetpole gebracht oder entfernt werden.

Versuch 1. Länge des Wismuths $\lambda = 6,0$ cm, Durchmesser $2\rho = 1,4$ cm, Entfernung der Wismuthmitte von der Nadel $r = 17,0$ cm, Schwingungsdauer t der Nadel unter Einfluss der Horizontalcomponente (H): 3,50, Schwingungsdauer beim Versuch $t' = 3,79$ Sec.; daher $H' = H(t^2/t'^2) = 0,181$, da $H = 0,213$; θ ist verschwindend. An einer im Abstände $d = 4360$ vom Spiegel aufgestellten Scala gemessen, ergaben sich die Mittelwerthe aus drei Versuchsreihen $A = 0,96, 0,90, 0,94$ Scsth.; die durch Multiplication erhaltenen Grenzbogen waren bei zwei Versuchen $g = 9,29$ und $8,86$ Scsth., woraus sich mit $\alpha = 1,215$ die Werthe $A = 0,90$ und $0,86$ ergeben. Die Scheidekraft zwischen den Magnetpolen, deren Distanz etwa 9 cm betrug, war $X = 90,1$; daraus folgt:

$$k = 13,1 \cdot 10^{-6}.$$

Versuch 2. Mit einem anderen Wismuthcylinder von demselben Durchmesser, aber nur 2,3 cm Länge, wurde in ähnlicher Weise beobachtet; die Magnetlamellen hatten nur etwa 3 cm Abstand voneinander, und das Magnetfeld zwischen den Polen, in dem die Scheidekraft $X = 210$ herrschte, war bis auf etwa 3% homogen. Die Grösse der magnetischen Richtkraft H' wurde aus der Ablenkung bestimmt, die ein Magnetstab bewirkte, der in eine bestimmte Entfer-

1) Bei der gewöhnlichen Multiplicationsmethode, wo die Richtung der ablenkenden Kraft im Rhythmus der Nadelschwingungen umgekehrt wird, steht der Grenzbogen G mit der Ablenkung A bekanntlich in der Beziehung $A = (G/2) \cdot (\alpha - 1)/(\alpha + 1)$.

nung von der Nadel in die zweite Hauptlage gebracht wurde; diese Ablenkung war beim Versuch 26,9 Scalentheile, während dieselbe 70,0 Sc. betrug, wenn die Magnetometernadel durch die horizontale Erdkraft gerichtet wurde; es ist also $H' = 0,213 (70,0/26,9) = 0,554$. Die Ablenkungen durch das Wismuth bei der Entfernung $r = 9,7$ cm ergaben sich in vier Versuchsreihen, auf die oben erwähnten Weisen bestimmt, $A = 1,43, 1,45, 1,41, 1,48$ Sc., wonach der Werth $k = 13,6 \cdot 10^{-6}$ hervorgeht.

Es sind in neuerer Zeit über die Magnetisirungsfähigkeit wässeriger Lösungen von Eisenchlorid mehrere Bestimmungen¹⁾ gemacht worden; Silow zog aus seinen Untersuchungen, bei denen schwache Scheidekräfte zur Anwendung kamen, den Schluss, dass die Lösungen — ebenso wie das Eisen selbst — eine mit der Scheidekraft veränderliche Magnetisirungszahl besitzen. Ich habe nach der oben als „zweite“ angeführten Methode auch einige Versuche mit einer Eisenchloridlösung angestellt; dieselbe befand sich in einem cylindrischen Glasröhrchen, welches gerade so, wie die Wismuthcylinder, an dem am Ende des Holzbalkens befestigten Glasstäbchen aufgehängt wurde (s. p. 287). Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit, welche schwach sauer reagirte, war 1,48, die Länge des Glasröhrchens $2m = 10,24$, sein innerer Durchmesser $2\rho = 0,714$ cm. In der nachstehenden Tabelle sind die erhaltenen Resultate zusammengestellt, wobei die Buchstaben dieselbe Bedeutung haben wie früher (p. 292).

T vor den Versuchen = 26,80,

nach „ „ = 26,75 Sec..

Zahl der Elemente	A	α	k	X
1	6,40	25,55	$59,1 \cdot 10^{-6}$	14,2
2	23,78	50,2	56,9	27,9
3	49,7	72,9	56,4	40,5
4	86,1	95,7	56,7	53,2
6	179,7	138,6	56,4	77,0

1) Silow, Wied. Ann. 1. p. 481. 1877; Bull. de Moscou 53. p. 398. Beibl. 3. p. 810. 1879; Wied. Ann. 11. p. 324. 1880. Borgmann, Journ. der Petersb. phys. Ges. 10. p. 129. Beibl. 3. p. 812. 1879. Schuhmeister l. c.

Es ist: $k = 4,327 \frac{A}{\alpha^2 T^2}.$

Da bei Anwendung eines einzigen Elementes die Ausweichung A nur wenige Scalentheile beträgt, so ist die Bestimmung von k aus dieser Beobachtung unsicher. Es scheint demnach die Magnetisirungszahl k bei den angewandten Scheidekräften X constant zu sein.¹⁾ Der obige Werth ist etwas grösser als der von Borgmann aus Versuchen mit Flüssigkeitsringen nach der zuerst von Stoletow²⁾ angewandten Methode bei grossen magnetisirenden Kräften erhaltene ($49 \cdot 10^{-6}$), während Schuhmeister für seine untersuchte Lösung (Dichte 1,395) aus Schwingungsbeobachtungen zwischen Magnetenpolen im Mittel $35 \cdot 10^{-6}$ fand.

VII. *Ueber das Funkeln der Sterne und die Scintillation überhaupt; von Karl Exner.*

(Aus dem 84. Bde. der k. Akad. d. Wiss. zu Wien. II. Abth. Dec.-Heft. vom 17. Nov. 1881; mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

Der Verfasser wurde durch seine Studien über die Scintillation dahin geführt, jene Theorie für richtig zu halten, welche die Erscheinungen der Scintillation lediglich auf die Brechungen der Strahlen in der Atmosphäre zurückführt. und welche schon von Huygens, Newton, Young und Biot für richtig gehalten wurde.

Den Ausgangspunkt fand der Verfasser in den Erscheinungen, welche in Arago's Scintillometer wahrgenommen werden.

Eine von einem unendlich entfernten Lichtpunkte kommende Planwelle verwandelt sich beim Durchgange durch die Objectivlinse eines Fernrohrs in eine sphärische concave Welle. Von irgend einer Ebene, auf welche das Ocular ein-

1) Nachschrift. Man sehe die unterdessen in Wied. Ann. 15. p. 225 u. p. 247. 1882 erschienenen Abhandlungen von H. W. Eaton und P. Silow. Die Tabelle auf p. 304 ist etwas ausführlicher als in den Wien. Ber. 85.

2) Stoletow, Pogg. Ann. 146. p. 439. 1872.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XVII.

Fig. 3.

Fig. 6.

Fig. 4.

A Anzahl der verschobenen Interferenzstreifen.

T Zeit, die zur Verschiebung von 60 Streifen erforderlich ist.

Curven I, II, III beziehen sich auf die Querschnitte 10.0, 20.1, 35.2.

k Diffusionscoefficient von Kohlensäure Luft bei 751.6 Druck u. 19.0 °C.

p Partialdruck der Kohlensäure in Bruchtheilen des Gesamtdruckes.

Curven I, II, III beziehen sich auf die Querschnitte 10.0, 20.1, 35.2.