schen Strom zweiter Ordnung liefern. Aus dem negativen Resultate der Versuche folgt, dass, wenn man das Hall'sche Phänomen aus einer directen Wirkung des Magnetismus auf die strömende Electricität erklären will, zu den oben gemachten Annahmen noch die hinzutreten muss, dass jedes Fliessen von Electricität, wobei nicht gleiche Mengen positiver nach der einen und negativer nach der anderen Richtung strömen, in metallischen Leitern überhaupt nicht zu Stande kommt.

VI. *Ueber die Leitungsfähigkeit des Vacuums;* *von A. Foeppl.*

§ 1. Die Erscheinungen der electrischen Leitung in den Metallen und Electrolyten, welche man als Leiter erster und solche zweiter Classe zu bezeichnen pflegt, sind seit langer Zeit wohlbekannt. Dagegen ist es unseren Tagen vorbehalten geblieben, die Gesetze der Electricitätsleitung in den Gasen, welche eine dritte Classe von Leitern bilden, näher zu erforschen.

Durch die sorgfältigen Untersuchungen, welche in den letzten Jahren und Jahrzehnten von befähigten Experimentatoren und mit den vollkommensten Hilfsmitteln über die Gasentladungen ausgeführt wurden (u. a. erinnere ich an die Arbeiten von Hittorf, G. Wiedemann, E. Wiedemann, Goldstein), ist diese Aufgabe ihrer Lösung um vieles näher gerückt worden. Trotzdem lässt sich bisher noch nicht einmal sagen, dass sich die theoretischen Anschauungen schon so weit abgeklärt hätten, dass sie alle nach einem gemeinsamen Gesichtspunkte convergiren. Vielmehr besteht noch der lebhafteste Widerstreit der Meinungen in den wesentlichsten Punkten.

Einer der wichtigsten dieser Punkte scheint mir die Frage nach der Leitungsfähigkeit des Vacuums zu sein. Ein Vacuum in strengem Sinne vermögen wir allerdings mit unseren Mitteln nicht herzustellen, und es dürfte selbst zu be-

zweifeln sein, ob der interplanetare Raum als solches aufzufassen ist. Das Vacuum kann für uns daher nur ein Grenzbegriff sein. Logischer Weise kann man darum bei einer Discussion über physikalische Fragen dem Vacuum nur solche Eigenschaften beilegen, die ein Raum bei fortschreitender Evacuierung als Grenzzustand einer vorausgehenden continuirlichen Folge von Zwischenzuständen erkennen lässt. In diesem Sinne ist auch ohne Zweifel jede Aeusserung der seitherigen Discussion über die Leitung des Vacuums aufzufassen.

Von mehreren Seiten, insbesondere von Edlund und Goldstein, ist die Behauptung ausgesprochen worden, dass das Vacuum ein guter Leiter sei, welche Thatsache nur verschleiert werde entweder durch eine Polarisirung der Electroden oder durch einen Uebergangswiderstand zwischen diesen und den verdünnten Gasen in den Geissler'schen Röhren. Von Edlund wird zur Begründung dieser Behauptung namentlich darauf hingewiesen, dass durch Induction (oder Influenz?) in einer stark evacuirten Röhre noch Lichterscheinungen hervorgerufen werden können, wenn durch Electroden eine Entladung durch dieselbe nicht mehr geleitet werden kann. Indessen habe ich in der ganzen einschlägigen Literatur keinen Hinweis darauf finden können, dass in einem Vacuum jemals eine electriche Strömung beobachtet worden wäre, die auf eine Voltainduction oder Magnetinduction zurückgeführt werden könnte.

§ 2. Das sicherste Verfahren, die electriche Leitungsfähigkeit eines Mediums unabhängig von allen secundären Vorgängen zu studiren, dürfte darin bestehen, aus der betreffenden Substanz einen homogenen, geschlossenen Stromkreis zu bilden und den Verlauf eines Stromes innerhalb desselben zu beobachten. Zur Erregung von Strömen in diesem homogenen Stromkreise kennt die Physik unserer Tage nur ein Mittel: die Induction.

Diese Methode, die electriche Leitungsfähigkeit eines Mediums durch die Beobachtung des in einem homogenen Stromkreise inducirten Stromes zu bestimmen, scheint bisher weder angewendet noch vorgeschlagen worden zu sein. Ich verspreche mir von der Anwendung derselben noch manche

wichtige Aufschlüsse. In dieser Hinsicht möchte ich nur auf die folgende interessante Frage hinweisen.

Man denke sich etwa aus verdünnter Schwefelsäure, die in geeignet geformte Röhren aus isolirendem Material (Glas) eingefüllt ist, einen geschlossenen homogenen Stromkreis gebildet, in dem durch Induction ein Strom in bestimmter Richtung hervorgerufen wird. Es entsteht nun die Frage: 1) ob unter solchen Umständen die Electrolyte überhaupt leiten, 2) wenn sie leiten, ob sie sich hierbei wie metallische Leiter verhalten, oder ob eine Electrolyse ohne Electroden möglich ist, 3) an welchen Stellen sich die Ionen im letzteren Falle abscheiden.

§ 3. Der soeben geschilderte Ideengang liegt auch einigen Versuchen zu Grunde, welche ich über die Leitungsfähigkeit verdünnter Gase mit gütiger Bewilligung und zum Theil auf die directe Veranlassung und mit Unterstützung des Hrn. G. Wiedemann im physikalisch-chemischen Institute der Universität Leipzig gegen Ende des Jahres 1886 ausgeführt habe.

Zur Zusammenstellung des geschlossenen homogenen Vacuumstromkreises verwendete ich ausser geraden Verbindungsstücken zwei Spiralen aus Glasröhren, welche aus der kunstgeübten Hand des Glasbläfers Götze in Leipzig hervorgegangen sind. Zur Evacuierung diente eine Töpler'sche Quecksilberluftpumpe, welche die Herstellung so starker Verdünnungen gestattete, dass die Röhren in der Hauptsache nur noch Quecksilberdampf enthielten. Der Inhalt des festen Glasgefässes der Pumpe, welches etwa 750 ccm Volumen hat, reducirte sich zuletzt beim Hube der Pumpe, als dieser Gasinhalt durch das aufsteigende Quecksilber in das nach aussen führende Rohr gedrängt war, oft schon in den oberen Theilen dieses Rohres zu einer kleinen Luftperle, welche an den Wänden des Rohres hängen blieb und nicht weiter ausgetrieben werden konnte.

Für das Auftreten oder Fehlen eines Inductionsstromes in dem Vacuumstromkreise lassen sich mehrere Kriterien angeben. In der That müsste ein solcher Strom erstens magnetische Kräfte ausüben und liesse sich also durch die Be-

obachtung einer Magnetnadel erkennen. Zweitens müssten nach dem Joule'schen Gesetze Erwärmungen auftreten, die auf verschiedene Art nachgewiesen werden könnten. Drittens ist es mindestens sehr wahrscheinlich, dass er von einem Lichtphänomene begleitet wäre. Wenigstens haben bei allen bisherigen Versuchen Ströme von oft sehr geringer Intensität, welche durch eine Geissler'sche Röhre gingen, ein, wenn auch manchmal nur schwaches Leuchten derselben hervorgebracht.

Von diesen Kriterien ist das letztgenannte weitaus das empfindlichste. Da es indessen nicht ganz einwandfrei ist, habe ich bei den meisten Versuchen das erste mit zur Hülfe genommen. Dagegen habe ich das zweite nicht benutzt.

§ 4. Die Spiralen, welche ich zu den Versuchen verwendete, hatten folgende Dimensionen. Zunächst stand mir eine Spirale aus Kupferdraht zur Verfügung, welche zu einem Electromagnet gehört, der zur Nachweisung der Drehung der Polarisationssebene des Lichtes dient. Diese Spirale bildet einen Hohlcyylinder von 7,1 cm innerem und 15,3 cm äusserem Durchmesser und 24,0 cm Höhe. Sie wird gebildet aus 12 Lagen von je 72 Windungen eines ohne die isolirende Hülle 0,22 cm starken Kupferdrahtes. Die Enden dieses Drahtes waren in Verbindung gebracht mit den Electroden einer galvanischen Säule, welche bei den meisten Versuchen aus 4 bis 6 Bunsen'schen Elementen von den üblichen Dimensionen, in einem Falle aus 35 Accumulatorzellen zusammengestellt war. In den ersterwähnten Fällen betrug die Stärke des die Spirale durchfliessenden primären Stromes nahezu 1 Amp., im letzten 22,5 Amp.

In den cylindrischen Hohlraum dieser Spirale, welche kurz die Spirale *A* genannt werden soll, passte die grössere der beiden Glasspiralen, die mit *B* bezeichnet werden möge. Die Spirale *B* war aus Glasröhren von 0,7 cm äusserem und 0,42 cm innerem Durchmesser aus einem Stücke hergestellt. Sie besitzt 2 Windungslagen von je 18 Windungen. Der äussere Durchmesser der ganzen Spirale beträgt 6,7 cm, der mittlere Durchmesser der äusseren Windungen somit 6,0 cm; der mittlere Durchmesser der inneren Windungen 4,0 cm;

der verbleibende cylindrische Hohlraum hat einen Durchmesser von 3,3 cm. Bei einigen Versuchen wurde der letztere durch ein Bündel ausgeglühten Eisendrahtes ausgefüllt.

An die beiden Enden der Spirale *B* waren Schliffe angeblasen.

Die Spiralen *A* und *B* waren bei allen Versuchen so aufgestellt, dass die gemeinsame Axe derselben senkrecht stand. Sollte das Auftreten eines Inductionsstromes durch Beobachtung einer Magnetnadel geprüft werden, so gingen von den Endschliffen der Spirale *B* aus zwei im wesentlichen horizontal verlaufende Verbindungsröhren nach den Endschliffen einer anderen Spirale *C*. Die letztere war aus einem Glasrohre derselben Art und mit denselben Windungsdurchmessern hergestellt wie *B*, hatte aber nur den dritten Theil der Länge jener, sodass sie in 2 Windungslagen zusammen 12 Windungen besass. Die Spirale *C* war mit horizontal gerichteter Axe so aufgestellt, dass die Windungsebenen (ungefähr) in den magnetischen Meridian fielen. Von einem hölzernen Stative hing senkrecht über der Mitte der Spirale *C* ein Coconfaden herab, der durch die Zwischenräume der beiden Windungslagen (infolge absichtlich an dieser Stelle angebrachter geringer Ausbiegungen) mit genügendem Spielraum hindurchging und einen in dem cylindrischen Hohlraum der Spirale *C* schwingenden Magnetspiegel (derselbe gehörte zu einem Wiedemann'schen Galvanometer) trug. Zum Schutz gegen Luftströmungen wurden Glasplatten und Papierstücke zu einem Gehäuse um die Spirale *C* vereinigt. Zur Dämpfung der Magnetschwingungen war ein Stück starkes Kupferblech, in cylindrischer Form zusammengebogen, in den Hohlraum der Spirale *C* hereingelegt worden, sodass nur ein geringer Spielraum zwischen dem Rande des Magnets und dem Bleche verblieb. Die Beobachtung des Magnets geschah in der gewöhnlichen Weise mit Hülfe von Fernrohr und Scala.

Von den beiden Verbindungsröhren, welche die Endschliffe der Spiralen *B* und *C* miteinander verbanden, hatte die eine eine Abzweigung nach der Pumpe, welche sich durch einen Hahn absperren liess. Durch einen anderen Hahn konnte

man ausserdem den geschlossenen Vacuumstromkreis an dieser Stelle unterbrechen.

Die Spiralen *A* und *B* einerseits und die Spirale *C* andererseits hatten eine horizontale Entfernung voneinander, die etwa 240 cm betrug. Um die magnetische Wirkung des in *A* kreisenden primären Stromes, resp. des in der Höhlung von *B* befindlichen Eisendrahtbündels zu compensiren, war in den primären Stromkreis eine zweite Rolle von wenig Windungen eines starken Drahtes eingefügt, die so lange verschoben wurde, bis der primäre Strom keine wahrnehmbare Wirkung mehr auf den Magnet ausübte.

§ 5. Alle Versuche, die ich mit dem Vacuumstromkreise anstellte, fielen insofern negativ aus, als es mir in keinem Falle gelang, einen Inductionsstrom nachzuweisen.

Ein solcher hätte aber auftreten müssen beim Unterbrechen und Umkehren des primären Stromes in der Spirale *A*, das durch ein Gyrotrop, und zwar (nach der sog. Multiplicationsmethode) in Zwischenräumen erfolgte, die der Schwingungsdauer des Magnets entsprachen.

Es trat hierbei gar keine Bewegung des Magnets ein, wenn die oben erwähnte Compensationsrolle ihre richtige Lage hatte; traf dies nicht ganz zu, so blieb der Gang der Schwingungen des Magnets derselbe, ob man durch den früher erwähnten Hahn die Vacuumstromleitung unterbrach oder geschlossen hielt.

Der Versuch wurde sehr häufig wiederholt bei den verschiedensten Drucken, von einigen Centimetern Quecksilbersäule an bis zu den niedrigst erreichbaren. Dagegen überschritt die Stärke des primären Stromes in keinem Falle die von etwa 1 Amp., weil ein ausgiebigerer Electromotor nicht im Besitze des physikalisch-chemischen Institutes ist, und der Transport des ganzen Apparates nach einem anderen Locale nicht wohl durchführbar war.

Zur Controle und zum Zwecke des Vergleiches war es erwünscht, in einem metallischen Stromkreise unter den gleichen Versuchsbedingungen, wie sie für den Vacuumstromkreis bestanden, einen Inductionsstrom zu erregen und dessen Intensität festzustellen. Die vortheilhafteste Anordnung hätte

in diesem Falle darin bestanden, die Glasspiralen und Verbindungsrohren an ihrem Platze zu lassen und sie mit Quecksilber zu füllen. Doch schien dies zu umständlich und für den Bestand der immerhin sehr zerbrechlichen Glasrohrleitung zu gefährlich. Ich nahm daher anstatt dessen einen Kupferdraht.

Schon während die Glasrohrleitung zusammengesetzt war, hatte ich eine solche Kupferdrahtleitung neben jener angebracht, um eine fortwährende Controle zu haben. Das Eisendrahtbündel, welches gewöhnlich in dem Hohlraume der Spirale *B* steckte; war mit 36 Windungen eines mittelstarken Kupferdrahtes umgeben, dessen Enden durch Klemmschrauben mit einer weiteren Leitung in Verbindung waren, die überall parallel zur Glasleitung lief. Allerdings war die aus 12 Windungen (wie bei Spirale *C*) gebildete Spirale in ziemlich grossem Abstände von dem Magnet (etwa 20 cm) und in schräg seitlicher Lage angebracht, sodass ein directer zahlenmässiger Vergleich hier nicht wohl möglich war. Es sei erwähnt, dass ein einmaliges Unterbrechen des primären Stromes, wenn die Drahtleitung geschlossen war, einen Inductionsstoss hervorrief, der dem Magnet einen Ausschlag von 14 bis 20 Scalentheilen gab. Die Differenz in diesen Zahlen ist hauptsächlich auf die wenig fixirte und zuweilen etwas veränderte Lage der Hilfsdrahtleitung zurückzuführen.

Nach Auseinandernahme der Vacuumleitung wiederholte ich dann den Versuch mit einem 0,20 cm starken Kupferdrahte, dessen Form und Lage soviel als möglich in Uebereinstimmung gebracht wurde mit derjenigen, welche vorher die Glasröhren eingenommen hatten.

In diesem Falle wurde nach drei- bis viermaligem Commutiren der Magnet über die Lage des labilen Gleichgewichts hinausgeworfen, während unter gleichen Umständen die Vacuumleitung gar keinen Einfluss auf den Magnet erkennen liess.

§ 6. Schon bei den vorstehend beschriebenen Versuchen wurde fortwährend darauf geachtet, ob etwa eine Lichterscheinung in der Vacuumleitung wahrzunehmen sei. Um die Bedingungen für das Auftreten einer solchen günstiger zu gestalten, wurde alsdann bei einer neuen Versuchsreihe

die Spirale *C* ganz weggelassen und die Spirale *B* durch ein ganz kurzes Verbindungsrohr zwischen den beiden Endschliffen in sich geschlossen, die Länge der gesamten Leitung dadurch also ohne Einbusse an der electromotorischen Kraft erheblich verringert.

Auch wurde bei einigen Versuchen die Spirale *B* ersetzt durch ein einfaches cylindrisches Glasgefäß, das in den Hohlraum der Spirale *A* passte.

Selbstverständlich wurde wieder bei den verschiedensten Drucken beobachtet, ohne dass indessen ein Leuchten der Spirale oder des Glascyinders wahrzunehmen gewesen wäre. Besondere chemische Hilfsmittel (lichtempfindliche Platten) zum Erkennen des Leuchtens wurden indessen nicht verwendet.

Durch die liebenswürdige Bereitwilligkeit des Hrn. Julius Kalb in Leipzig, der mir in seiner electrotechnischen Werkstätte eine Accumulatorenbatterie von 35 Elementen zur Verfügung stellte, war es mir ermöglicht, diesen Versuch noch mit grösserer electromotorischer Kraft zu wiederholen. Die kurz geschlossene Spirale *B* wurde zu diesem Zwecke ebenso wie das erwähnte cylindrische Glasgefäß evacuirt und abgeschmolzen, da ein Transport der Luftpumpe nicht thunlich erschien. Die Spirale *B* wurde auf einen Druck von etwa 1,5 mm Quecksilbersäule gebracht, welcher ungefähr demjenigen entspricht, welcher bei einer gewöhnlichen Geissler'schen Röhre der Entladung den geringsten Widerstand entgegensetzt. Das cylindrische Glasgefäß dagegen wurde soweit evacuirt, als sich dies mit der vorzüglich arbeitenden Pumpe erreichen liess. Die Stärke des durch die Spirale *A* gehenden primären Stromes betrug in diesem Falle, wie bereits oben bemerkt, 22,5 Amp. und wurde an einem in die Leitung des Hrn. Kalb eingefügten Galvanometer abgelesen. Die Stromunterbrechung geschah durch schnelles Herausziehen eines Verbindungsdrahtes aus einem Quecksilbernäpfe. Auch hier konnte ich keine Lichterscheinung wahrnehmen.

Hrn. Julius Kalb möchte ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank für sein zuvorkommendes Eingehen auf meine Wünsche aussprechen.

§ 7. Nach dieser Beschreibung meiner Versuche möchte ich zu einer Darlegung der Schlüsse übergehen, welche sich nach meiner Ansicht aus denselben ziehen lassen.

Sieht man die stark verdünnten Gase als Dielectrica an, die sich in einem gewissen Zwangszustande befinden, der bei seiner Steigerung zu einem plötzlichen, die Entladung darstellenden Bruche führt, wie dies etwa nach Maxwell's Theorie auszuführen wäre, so können die oben geschilderten Versuchsergebnisse nicht überraschen. In der That ist in diesem Falle nur die local inducirte electromotorische Kraft und nicht das Linienintegral derselben längs des Bogens der Spirale *B* zur Theorie des Versuches heranzuziehen.

Es ist aber nicht zu verkennen, dass sich jene Theorie (ohne modificirende Zusätze, die etwa die bestehenden Widersprüche beseitigen könnten) nur schwer mit den bis dahin bekannten Thatsachen vereinigen lässt. Namentlich lassen sich die nach Hittorf bei Verwendung einer galvanischen Säule als Electromotor in den Geissler'schen Röhren auftretenden continuirlichen Entladungen nach der rein dielectrischen Theorie kaum construiren.

Die Beobachtung, dass bei den für die gewöhnliche Entladung günstigsten Drucken die Länge der Röhren innerhalb sehr weiter Grenzen ohne merklichen Einfluss auf das zur Entladung erforderliche Potential ist, dass ferner nach Hittorf bei derselben Röhre mit wachsender Stromintensität die Leitungsfähigkeit zunimmt, was sich wiederum dahin ausdrücken lässt, dass sich die Potentialdifferenz beider Electroden unter allen Umständen auf einer nahezu constanten Höhe erhält, — dies alles legte die Analogie der Electricitätsleitung in den Gasen mit jener in den Electrolyten sehr nahe.

Wenn nun aus diesen Betrachtungen der Schluss gezogen wird, dass die verdünnten Gase, resp. das Vacuum an sich gute Leiter seien, so wird es vor allem nöthig sein, diesen Begriff des guten Leiters zunächst etwas näher zu definiren.

Der Begriff der Leitungsfähigkeit der Leiter erster und zweiter Classe ist auf das engste verknüpft mit dem Ohm's-

schen Gesetze. Wenn nun ohne weitere Definition dieser Bezeichnung das Vacuum zu den guten Leitern gerechnet wird, so scheint mir darin implicite die Voraussetzung enthalten zu sein, dass auch für diese Leiter dritter Classe das Ohm'sche Gesetz Gültigkeit habe.

Unter Leitungsfähigkeit hat man in der That seither nie etwas anderes verstanden, als das Verhältniss der Stromintensität zu dem Potentialgefälle in der betreffenden Richtung. Die Gleichung:

$$(1) \quad w = \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

worin w die spezifische Stromintensität in der Richtung der Z -Axe bedeutet, ist als die Definition der spezifischen Leitungsfähigkeit λ zu betrachten.

Diese Definitionsgleichung sagt vor allem aus, dass auch das geringste Potentialgefälle $\partial \varphi / \partial z$ eine ihm proportionale Strömung hervorruft. Soll nun mit der Behauptung, dass das Vacuum ein Leiter sei, gesagt werden, dass die Gl. (1) für dasselbe erfüllt sei, so muss man schliessen, dass bei meinen Versuchen der Vacuumstromkreis von einem Strome durchzogen wurde, dessen Intensität gleich ist dem Linienintegrale der electromotorischen Kraft dividirt durch den Gesamtwiderstand der Leitung (im Ohm'schen Sinne).

Man könnte ja freilich dem Begriffe der Leitungsfähigkeit der Gase nachträglich einen anderen Sinn unterlegen und etwa sagen, die Gl. (1) sei hier zu ersetzen durch die Definitionsgleichung:

$$(2) \quad w = \lambda \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} - a \right),$$

worin die Grösse a etwa das Maximum der dielectricischen Polarisation vorstellt. Integriert man dieselbe über einen linearen geschlossenen Stromkreis, so würde man ein modificirtes Ohm'sches Gesetz erhalten:

$$(3) \quad E = JR + al,$$

worin l die Länge der Leitung bedeutet.

Für die gewöhnliche Entladung in den Geissler'schen Röhren wäre auf der rechten Seite von Gl. (3) dann noch ein von der Länge l unabhängiges Glied zuzufügen, das die

Polarisation der Electroden (resp. den Uebergangswiderstand) darstellt.

Natürlich liesse sich auch noch in anderer Weise, als dies durch Gl. (2) geschehen ist, dem Begriffe der Leitungsfähigkeit ein anderer Sinn unterlegen, als er bisher allein damit verbunden wurde. Ich muss mich aber hier darauf beschränken, zu prüfen, inwiefern man berechtigt ist, das Vacuum als einen Leiter im gewöhnlichen Sinne anzusehen.

§ 8. Den Inductionscoëfficienten der beiden Spiralen *A* und *B* aufeinander, also das bestimmte Integral:

$$Q = \iint \frac{ds ds_1}{r} \cos \varepsilon$$

habe ich durch Rechnung zu 270 000 cm ermittelt. Bei der Ausführung dieser Rechnung führte ich die Integrationen nach der Cylinderaxe durch gewöhnliche Quadraturen, die übrigen Integrationen durch ein sehr bequemes, graphisches Verfahren aus, das verhältnissmässig schnell zum Ziele führt. Die electromotorische Kraft der Induction in dem Vacuumstromkreise, also der Werth $Q.(dJ/dt)$, lässt sich nur sehr approximativ angeben, da weder die Gesamtdauer des Oeffnungsfunkens der primären Säule, noch viel weniger aber das Aenderungsgesetz von *J* in dieser Zeit genau bekannt sind. Nach der von G. Wiedemann gegebenen Zusammenstellung¹⁾ der Versuche über die Dauer der Entladungsfunken beträgt diese im allgemeinen ein geringes Vielfaches von ein Milliontel Secunde, nach einem Beobachter (Ogden Rood) nur einen Bruchtheil dieser Zeit. Dabei zeigt sich, dass bei der Entladung einer Batterie die Zeitdauer zunimmt mit der Capacität derselben und mit der Schlagweite. Der hier vorliegende Fall wird sich in Parallele stellen lassen mit der Entladung einer Batterie von geringer Capacität und sehr geringer Schlagweite.

Ungefähr (freilich nur der Grössenordnung nach) wird man daher annehmen dürfen, dass das Maximum der Intensitätsänderung des primären Stromes beim Oeffnen so gross ist, dass ein Milliontel Secunde zum Verschwinden dieses

1) G. Wiedemann, Electricität. 4. p. 754. 1885.

Stromes genügen würde, wenn die Aenderung fortwährend die gleiche Grösse behielte. Dabei ist zu beachten, dass in dem Ausdrucke $Q \cdot (dJ/dt)$ der inducirende Einfluss des Eisendrahtbündels nicht mit in Rechnung gestellt ist, was sich damit rechtfertigen dürfte, dass der Eisenkern andererseits das Verschwinden des primären Stromes verzögern wird. Im übrigen dürfte sich die für die Intensitätsänderung gemachte Annahme auch im allgemeinen im Einklang befinden mit den Erfahrungen, welche man mit gewöhnlichen Inductorien macht.

Das Maximum der in dem Vacuumkreise inducirten electromotorischen Kraft wird sich hiernach setzen lassen gleich $270\,000 \cdot 0,1 \cdot 10^6 = 270 \cdot 10^8$ C.-G.-S.-Einheiten oder gleich 270 Volt, wenn der primäre Strom die Stärke von 1 Amp. hatte, und höher als 5000 Volt für den Versuch, bei welchem der primäre Strom durch die Accumulatorbatterie geliefert wurde.

Diese Zahlen sind so hoch, dass auch eine Aenderung hinsichtlich der für dJ/dt gemachten Annahme innerhalb der zulässig erscheinenden Grenzen jeden Zweifel darüber ausschliesst, dass ein deutlich wahrnehmbares Leuchten durch Volta- resp. Magnet-Induction in einem homogenen Vacuumstromkreise nicht hervorgerufen werden kann.

§ 9. Einen sichereren Anhalt erhält man durch den Vergleich des Integralstromes mit derjenigen Electricitätsmenge, welche bei den bisherigen Versuchen mit Geissler'schen Röhren bei einmaligem Durchgange diese zu hellem Leuchten brachte.

Nun ist die grösste Electricitätsmenge, welche von einer Töpler'schen Influenzmaschine mit 20 Scheiben geliefert werden kann, gleich $81 \cdot 10^{-4}$ Weber'schen Intensitätseinheiten oder gleich $81 \cdot 10^{-6}$ C.-G.-S.-Einheiten.¹⁾

Bei den quantitativen Versuchen von E. Wiedemann²⁾ wurde ein Strom von rund $6 \cdot 10^{-4}$ Dan.-Siemens oder $72 \cdot 10^{-6}$ C.-G.-S.-Einheiten beobachtet, was mit der erstgenannten Zahl ungefähr übereinstimmt. Dabei wurden bis

1) G. Wiedemann, l. c. 2. p. 227.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10. p. 229. 1880.

zu 144 000 Entladungen in der Minute im rotirenden Spiegel beobachtet. Die Electricitätsmenge, welche einer Entladung entspricht, wäre hiernach etwa gleich $3 \cdot 10^{-8}$ Einheiten des electromagnetischen C.-G.-S.-Systems zu setzen. Da das Rohr, wie sich im rotirenden Spiegel zeigt, nach jeder Entladung wieder ganz dunkel wird, würde also auch ein einmaliger Durchgang dieser Electricitätsmenge eine Lichterscheinung hervorbringen können.

Dabei ist zu beachten, dass auch ein Inductionsstrom in sehr kurzer Zeit abläuft, sodass sich kaum einwenden lässt, dass bei gleicher Quantität doch die Maximalintensität geringer wäre, als bei jenen Entladungen. Es geht dies auch schon aus den oben berechneten grossen electromotorischen Kräften hervor.

Bezeichnet man den Gesamtwiderstand des Vacuumstromkreises im Ohm'schen Sinne mit R , so würde, wenn sich das Vacuum als Leiter ansehen liesse, das Zeitintegral des Inductionsstromes gleich $QJ:R$ zu setzen sein. Also müsste:

$$\frac{270\,000 \cdot 2,25}{R} < 3 \cdot 10^{-8}$$

sein, woraus sich $R > 20250$ Ohm berechnet.

Die Gesamtrohrlänge betrug für die kurz geschlossene Spirale B etwa 620 cm. Mit Quecksilber gefüllt, würde die Leitung bei 0,42 cm Durchmesser 0,448 Q. E. oder 0,422 Ohm Widerstand darbieten. Der specifische Widerstand des Vacuums ist also mindestens 48 000 mal so hoch zu setzen, als derjenige des Quecksilbers, oder nahezu 3 Millionen mal höher als derjenige des Kupfers.

§ 10. Um noch eine Zahlenangabe machen zu können, welche von dem Kriterium der Lichterscheinung unabhängig ist, gehe ich auf die mit der Magnetonadel ausgeführten Versuche zurück. Der Vergleich der Leitungsfähigkeit des Vacuums mit jener des Kupfers gestaltet sich hier sehr einfach, wenn auch die Art der Ausführung meiner Versuche nur approximative Werthe anzugeben gestattet.

Nach mehrmaligem Commutiren brachte der Vacuumstromkreis keine Ablenkung des Magnets hervor, während

der Kupferstromkreis den Magnet herumwarf. Jedenfalls hatte der Inductionsstrom in letzterem Falle eine mindestens 1000 mal grössere Intensität als im ersteren. Mit Rücksicht auf die Draht- und Röhrendurchmesser (0,2 und 0,42 cm) ist hiernach auf Grund dieses Versuches die Leitungsfähigkeit des Vacuums (bis zu den höchsten Verdünnungen) mehr als 4400 mal geringer zu setzen, als diejenige des Kupfers.

Auch diese Zahl ist hoch genug, um einen Vergleich des Vacuums mit gut leitenden Metallen auszuschliessen.

Nach alledem dürfte durch die oben beschriebenen Versuche der Nachweis erbracht sein, dass sich die Goldstein-Edlund'sche Ansicht, dass das Vacuum an sich ein guter Leiter sei, nicht weiter aufrecht erhalten lässt.

Hrn. Professor G. Wiedemann möchte ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen, sowohl für die vielfache Anregung, welche ich im Gespräche mit ihm über die hier abgehandelten Dinge empfing, als auch für die freundliche Erlaubniss, meine Versuche mit den Mitteln des seiner Leitung unterstellten Institutes durchführen zu dürfen.

Nachtrag.

Die in dem vorstehenden Aufsätze beschriebenen Versuche wurden bereits vor Jahresfrist ausgeführt, bisher aber nicht veröffentlicht, weil es wünschenswerth erschien, dieselben vorher noch nach einigen Richtungen hin zu vervollständigen. Nachdem mir aber so lange Zeit hindurch äussere Gründe hindernd in den Weg traten, welche mich nicht zu einer Weiterführung der Versuche gelangen liessen, glaubte ich, die Veröffentlichung nicht weiter hinausschieben zu sollen.

Es möge mir noch die Bemerkung gestattet sein, dass ich in einer späteren Abhandlung auf die aus meinen Versuchsergebnissen zu ziehenden Schlüsse noch weiter einzugehen beabsichtige.

Leipzig, im December 1887.