**7. Eine einfache Art, empfindliche
Wechselstromentladungen eines Inductoriums
in einer Vacuumröhre zu trennen;
von Rudolf Hildebrand.**

Bisher ist meines Wissens nach dem Vorgange Plücker's und Anderer nur der Electromagnet benutzt worden, um die in Vacuumröhren auftretenden Wechselstromentladungen zu trennen. In der folgenden Arbeit hoffe ich den Beweis erbracht zu haben, dass auch in geeigneter Weise benutzte benachbarte Leiter im Stande sind, denselben Dienst zu leisten, wenn man dafür sorgt, dass die Entladungen in den Röhren „empfindlich“ sind, d. h. durch Annäherung isolirter Leiter einer gewissen Capacität oder kleinerer, abgeleiteter Leiter eine Ablenkung von ihrer Bahn in der Röhre zu erfahren scheinen. Die Voraussetzung für den Eintritt dieser Empfindlichkeit ist die Einschaltung einer Luftfunkenstrecke zwischen Electricitätsquelle und dem einen Röhrenende, welche bewirkt, dass, unter Annahme nur einseitigen Electricitätsstromes (d. h. unter Ausschluss von Wechselströmen) und Ableitung des Röhrenendes ohne Funkenstrecke, nur die positive Electricität nach Erreichung eines gewissen Potentials an der Unterbrechungsstelle discontinuirlich die Röhre durchsetzt, wenn die Funkenstrecke auf der positiven Seite der Röhre eingeschaltet ist, während bei Einschaltung der Funkenstrecke auf der negativen Seite der Röhre, nur die negative Electricität durch die Röhre hindurchgeht.¹⁾

Als Vacuumröhre diente ein 50 cm langes Rohr von 4,5 cm Weite mit Platindrahaelectroden an den Enden. Wurde der ohne Flaschen erhaltene Strom einer Influenzmaschine in die Röhre geleitet, so waren vier von einander verschiedene charakteristische Fälle zu unterscheiden, wenn die Röhre auf zwei Holzklötzchen auf dem Tische ruhte, der in der Länge

1) W. Spottiswoode u. F. Moulton, Phil. Trans. p. 209. 1879;
G. Wiedemann, Electricität, p. 518 ff.; Beibl. 8. p. 64. 1884.

der Röhre mit einem Stanniolblatte bedeckt war. War die Funkenstrecke an dem positiven Ende der Röhre eingeschaltet, so erschien der Lichtstreifen in der Röhre von der Eintrittsstelle des positiven Stromes aus von der Unterlage abgestossen, nur am anderen Ende des Stanniolblattes zeigte er eine scharfe Krümmung nach unten, die aber verschwand, wenn das Stanniolblatt an dieser Stelle ableitend berührt wurde. Wurden die Entladungen der positiven Ströme gleichzeitig in das Stanniolblatt geleitet, so wendete sich der Lichtstreifen nach unten und erschien von der Unterlage angezogen.

Wurde die Funkenstrecke auf der negativen Seite der Röhre angeordnet, so erschien die Lichtsäule zunächst auch nach unten gezogen, während sie sich nach oben wendete, sobald die negativen Entladungen zugleich in die Stanniolunterlage geleitet wurden. Strömt freie positive oder negative Electricität durch die Röhre, so bewirkt sie, solange das Stanniolblatt nicht mit der die Electricität in der Röhre liefernden Electrode verbunden ist, Vertheilung im Stanniolblatt, entgegengesetzte Electricität wird gebunden, wirkt vertheilend zurück auf die Innenseite der Glaswand und bindet hier Electricität, gleichnamig zu der in der Röhre, während entgegengesetzte von der Röhrenwand abströmt. Ist nun diese von der Röhrenwand im Innern abströmende Electricität negativ, so bildet sie einen dunklen Raum aus. Die dem Stanniolblatt zugewendete Seite der Röhre ist dann als secundäre Kathode zu betrachten, deren dunkler Raum abstossend auf die Lichtsäule der Röhre wirkt. Wird positive Electricität an der Innenwand frei, so strömt diese ohne Ausbildung des dunklen Raumes von der Innenwand ab.

Ist in den beiden anderen Fällen die Stanniolunterlage synchron und gleichnamig mit den Röhrentladungen geladen, so bildet sich wieder, falls diese Ladungen negativ sind, längs der Röhre nach der Stanniolunterlage zu ein dunkler Raum aus, der die leuchtende Säule im Innern der Röhre nach oben drängt. Ist die Röhrentladung und daher auch die Stanniolunterlage positiv, so strömt frei gewordene positive Electricität von der unteren inneren Röhrenwand ab und wegen der Beseitigung des dunklen Raumes erscheint nun die positive Lichtsäule nach unten gezogen.

Diese im Princip von Spottiswoode und Moulton¹⁾ ebenfalls beschriebenen und von ihnen erklärten Fälle reichen hin, den Trennungsvorgang zu erklären, den man, falls Wechselströme die Röhre durchsetzen, leicht herbeiführen kann.

Werden bei einfachem Stromkreise vor beiden Röhrenden Funkenstrecken eingeschaltet, so begegnen sich die Entladungen verschiedenen Vorzeichens in der Mitte der Röhre, welche Stelle dann unempfindlich ist.²⁾ Ich leitete nun die mittels eines kleinen Inductoriums von 3—4 cm Funkenstrecke erhaltenen Wechselströme nach halb handgrossen Metallplatten, die in ihren Entfernungen von den Enden der Vacuumröhre leicht verstellt werden konnten und senkrecht zur Längsaxe der Röhre standen. Solange die Platten in Berührung mit den Röhrenelectroden waren, zeigten sich die bekannten hin- und hervibrirenden Entladungen der Wechselströme ohne „empfindlich“ zu sein. Wurden aber beide Platten abgerückt,

Fig. 1. ⁴⁾

so erschien ein empfindliches Lichtband in der Röhre, die Weite desselben nicht erfüllend, mit einer fast unempfindlichen Stelle in der Mitte. Das Lichtband blieb auch bestehen, wenn kein Funkenübergang zwischen den Platten und den Röhrenelectroden zu bemerken war.³⁾

Es gingen jetzt abwechselnd von beiden Electroden aus positive und negative Entladungen, sowohl der Oeffnungs- als auch der Schliessungsströme ins Innere der Röhre und trafen sich in der Mitte. Solange die Röhre entfernt von Leitern grösserer Capacität an Seidenfäden in der Luft schwebte, zeigte sich die Lichtsäule ziemlich scharf umgrenzt in der Mitte der Röhre, zwischen sich und den Innenwänden einen Abstand lassend.

1) W. Spottiswoode u. F. Moulton, Phil. Trans. p. 165 ff. 1879; p. 561 ff. 1880; Wiedemann, Beibl. 8. p. 64 ff. 1884.

2) W. Spottiswoode u. F. Moulton, l. c. p. 210. 1879.

3) Vgl. E. Wiedemann u. Ebert, Wied. Ann. 50. p. 39. 1893.

4) Die Vorzeichen an den Röhrenden gelten dem Oeffnungsstrom.

Lag aber die Röhre auf der Tischplatte, so war durch geeignete Entfernung der Metallplatten von den Röhrelectroden leicht die in Fig. 1 dargestellte Erscheinung zu erhalten.

Das Lichtband *a* lag schlangenförmig in der Röhre, links nach oben, rechts nach unten gezogen. Die Erscheinung wurde noch klarer, wenn die Tischplatte in der Ausdehnung der Röhre mit einem Stanniolblatt belegt war, die Röhre aber auf zwei 3 cm hohen Holzklötzchen ruhte. Dann änderten sich mit der Verschiebung der Holzunterlagen in gewissen Grenzen deutlich die Stellen der stärksten Anziehung und Abstoßung, die sich eben an den Unterstützungsstellen befanden. Ausser dem Lichtbande *a* zeigten sich an beiden Electroden noch schwächere Lichterscheinungen, die in Fig. 1 mit *b* und *c* bezeichnet sind. Die Erscheinung bei *c* schien schwaches Kathodenglimmlicht zu sein und änderte ihr Aussehen nicht, wenn sich das Lichtband *a* bewegte. Deutlich konnte man

Fig. 2.

sehen, wie sich bei Annäherung und Entfernung der Hand des Beobachters das Lichtband an der linken Grenze dieses Nebels her- und hinbewegte, während der Nebel selbst unverändert blieb (Fig. 2). Der Lichtschein bei *b* schien aber

im wesentlichen aus einer dem Lichtbande *a* gleichartigen Erscheinung zu bestehen, war nur durchsichtiger als diese und von ihr durch einen dunkeln Streifen getrennt, erschien auch bei völliger Dunkelheit des Zimmers von bedeutender Ausdehnung.

Wurde nun ein Leiter grösserer Capacität oder ein kleiner nach der Erde abgeleiteter Leiter, etwa ein an einer Glasstange befindliches Stückchen Blech, welches mit Draht nach der Erde abgeleitet war, der Röhre von oben genähert, so wurde auf der linken Seite die Lichtsäule *a* nach unten gedrängt, während *b* nach oben ging. Auf der rechten Seite hingegen wurde bei der Annäherung des Leiters von oben die Lichtsäule *a* nach oben gezogen, wenn auch nicht so stark, als bei gleichem Abstände von der Röhre, das linksseitige Band nach unten gestossen erschien. Hielt der Beobachter den Unterarm oder ein eisernes Lineal über die Röhre, so kehrte sich das Lichtband *a* gerade um, wie die gestrichelte Linie *a'* in Fig. 1

darstellt. Brachte ich meine Hand in die Mitte der Röhre in deren Nähe, so zeigte das Lichtband *a* die in Fig. 3 dargestellte Erscheinung.

Es bildete sich in der Mitte links ein Thal, rechts ein Berg aus, so dass das Lichtband nun wie eine Curve mit drei Wendepunkten aussah.

Die Erklärung dieser Erscheinungen mit Hülfe der im Eingange dieser Arbeit erwähnten Fälle von Influenzrückwirkungen seitens benachbarter Leiter auf die Lichtsäule der Entladungen in der Röhre ist nicht schwer.

Links verursacht die eintretende positive Entladung des Oeffnungsstromes eine solche Vertheilung, dass negative, rechts

Fig. 3.

bewirkt die gleichzeitig eintretende negative Entladung desselben Stromes eine Vertheilung, dass positive Electricität von

Fig. 4.

der Innenwand abströmt. Das bewirkt zunächst ein Abdrängen der positiven Entladung von der Unterlage links und eine scheinbare Anziehung rechts. Die hierbei in der Unterlage frei werdenden entgegengesetzten Electricitäten gleichen sich in der Röhrenmitte aus, was aus folgendem Versuche hervorgeht. Benutzt man nur die Oeffnungsentladungen und legt statt *eines* Stanniolblattes deren *zwei* unter die Röhre, sodass sich diese Blätter in der Mitte der Röhrenlänge etwa um 2 cm gegenüberstehen, so zeigt sich das in Fig. 4 dargestellte Bild.

Es hat sich auf dem rechten Ende des linken Stanniolblattes offenbar positive, auf dem linken Ende des rechten Blattes negative Electricität angesammelt. Die angesammelten Electricitäten gleichen sich sofort aus, wenn man die einander zugekehrten Enden der Stanniolblätter durch eine kleine Draht-

brücke verbindet, und es erscheint wieder ein Lichtband von der Gestalt des Bandes *a* in Fig. 1.

Tritt nun nach Ablauf einer Oeffnungsentladung die Schliessungsentladung ein, so findet sie noch die von der Oeffnungsentladung zurückgelassene Influenzwirkung vor, so dass rechts die positive Entladung des Schliessungsstromes nach unten gezogen wird, links die entsprechende negative Entladung nach oben abgedrängt wird, d. h. der Schliessungsstrom ist genöthigt den gleichen Weg zu nehmen, den der Oeffnungsstrom nahm, die von den Schliessungsströmen ausgeübte Influenz ist aber nicht im Stande, diejenige der Oeffnungsströme auszugleichen.

Liess ich während des Durchganges der Wechselströme aus der Kathodenplatte der Oeffnungsströme Entladungen in meine Hand treten, so hatte das Auge den Eindruck, als ob

Fig. 5.

der rechte Theil des Lichtbandes *a* in Fig. 1 aus seiner Lage wiche und mit dem linken Theile zusammen ein nach oben convexes Band bildete, wie es in Fig. 5 dargestellt ist, wobei die gestrichelte Linie den ursprünglichen Verlauf bezeichnet. Die Entladung zeigte sich als eine unipolare positive, vom Oeffnungsstrom herrührend, ein isolirt angefasstes nach der Erde abgeleitetes Kupferblech stiess sie in ihrer ganzen Länge ab, noch stärker aber meine andere freie Hand, die immer mit Entstehung der positiven unipolaren Entladung negativ geladen war.

Nachdem die in Fig. 1 dargestellte Erscheinung wieder hergestellt war, leitete ich durch directe Berührung Entladungen aus der Anodenplatte der Oeffnungsströme in meinen Körper. Das Lichtband änderte dabei sein Aussehen wenig, es erschien nur etwas breiter und mehr in der Röhrenmitte, eine Folge der verursachten Schwächung der positiven Entladungen der Oeffnungsströme. Kam dann die bisher noch freie Hand in die Nähe der Röhre, so spaltete sich an dieser Stelle das Lichtband deutlich in zwei durch Dunkelheit getrennte Streifen,

wie es in Fig. 6 angedeutet ist. Hielt ich ein eisernes Lineal oder den Unterarm über die Röhre, so ging die Theilung durch die ganze Röhre hindurch (Fig. 7). Wurde die freie Hand über die Mitte der Röhre hinaus nahe nach der rechten Seite gebracht, so erlosch der Streifen *a* sehr leicht, und es blieb nur der Streifen *b* übrig, während rechts von der Hand, nach der negativen Electrode der Oeffnungsströme zu, ziemlich gleichmässige Helle herrschte. In diesem Falle fand der

Fig. 6.

Electricitätsausgleich zwischen dem negativen Impulse des Oeffnungsstromes nach der positiv geladenen Hand an der be-

Fig. 7.

treffenden Stelle der Röhrenwandung statt, sodass der positive Theil der Oeffnungsentladung in der Röhre erlosch und nur

Fig. 8.

der von den Schliessungsströmen unterhaltene Theil *b* übrig blieb (Fig. 8).

Die ganze Theilungserscheinung ist völlig erklärlich, da die der Röhre genäherte Hand infolge des Contactes der anderen Hand mit der Entladungsplatte mit der Entstehung der Oeffnungsentladung positiv, mit der Bildung der Schliessungsentladung aber negativ geladen ist, wobei die Wahrscheinlichkeit vorliegt, dass der Streifen *b* wegen der Schwächung der negativen Entladung des Schliessungsstromes nur die unipolare positive Entladung enthält.

Besonders gut gelang die Theilung, wenn nur die negative Electrodenplatte in der Nähe des einen Endes der Röhre

gelassen wurde, die positive Klemme aber ohne Ableitung blieb. Unter diesen Umständen erschien zunächst gewöhnlich in der Röhre überhaupt kein Licht. Es leuchtete aber sofort auf, wenn mein Körper durch eine Hand in Contact mit der positiven Klemme der Oeffnungsströme gesetzt wurde. Brachte ich dann die noch freie Hand der Länge nach in die Nähe der Röhre, so zeigte sich die Theilung in schönster Art, jedoch unter Auftreten von Kuppen und Schichtenbildung (Fig. 9).

Die Kuppen der Schichten der von der Hand bez. dem Unterarm angezogenen Lichtsäule a zeigten die convexe Seite nach ihrer negativen Electrode hin gerichtet, ebenso erwies sich die abgestossene Säule der Schliessungsentladungen. Von welcher Seite her die Hand in die Nähe der Röhre kam, immer zeigte sich dieselbe Erscheinung. Dabei war auf beiden Seiten bei c und c' deutliches Glimmlicht zu sehen, das von den zukommend erscheinenden Lichtsäulen durch die dunkeln Räume d und d' getrennt war.

Fig. 9.

Deutliche Theilung der Lichtsäule in der Röhre trat auch ein, wenn bei geeigneter Entfernung der einen Zuleitungsplatte von einer Röhrenelectrode die andere Klemme des Inductoriums mit der Erde (Wasserleitung) verbunden war, und dann Entladungen aus der Zuleitungsplatte in einen angehöhten Leiter geführt wurden. In diesem Falle sind es offenbar die momentan hintereinander entstehenden unipolaren Entladungen verschiedenen Vorzeichens der isolirten Klemme des Inductoriums, die von den synchronen Ladungen gleichen Vorzeichens angezogen, bez. abgestossen erscheinen. Wurde z. B. die eine Hand benutzt, die Entladungen in das unter dem Klötzchen auf dem Tische liegende Stanniolblatt zu leiten, so trat sofort die Theilung ein, die durch Annäherung der anderen Hand von oben nacheinander ganz oder theilweise wieder aufgehoben werden konnte.

Auch der äquatorial zur Röhre gestellte, mit Polschuhen versehene Electromagnet theilte in der bekannten Weise die

aus den Wechselstromentladungen bestehende empfindliche Lichtsäule. Lag die Röhre auf Holzklötzchen, und war der Tisch mit einem Stanniolblatte bedeckt, so konnte bei entsprechender Stromschaltung im Electromagnet die von dem Electromagnet hervorgerufene Theilung dadurch durch die ganze Röhre ausgedehnt werden, dass z. B. die vom Electromagneten nach unten gedrängte Entladungserscheinung der Oeffnungsströme durch directe Einführung der betreffenden Klemmentladung in das Stanniolblatt von diesem angezogen, die Entladungserscheinung der Schliessungsströme abgestossen wurde. Durch umgekehrtes Verfahren in Bezug auf die Einführung der Klemmentladungen in das Stanniolblatt war es möglich, die vom Electromagneten hervorgerufene Theilung wesentlich einzuschränken.

Einfluss eines bewegten und geladenen Glas- oder Harzstabes.

Ein geriebener Glas- oder Harzstab übte auf die empfindliche Lichtsäule in der Röhre, solange er in Ruhe war, keinen merklichen Einfluss aus. Anders verhielt es sich, wenn der durch Reibung geladene Stab lebhaft nach der Röhre hin oder von ihr weg bewegt wurde. Ein geladener Glasstab zog die Lichtsäule der Wechselströme, wie auch die unipolare Entladung der positiven Oeffnungsströme lebhaft an, solange er nach der Röhre hin bewegt wurde. Je grösser die Geschwindigkeit des Stabes war, um so stärker war die Anziehung der Lichtsäule. Der rasch von der Röhre entfernte Stab schien hingegen die Lichtsäule nach sich zu ziehen. Gerade entgegengesetzt, nur noch klarer ausgeprägt, war die Einwirkung des bewegten, geladenen Harzstabes. Dabei verhielt sich die Lichtsäule wie ein elastischer, gespannter Faden. Sie kehrte, wenn die Bewegung des Glas- oder Harzstabes aufhörte, nicht sofort in ihre Gewichtslage zurück, sondern schnellte stets erst etwas über diese hinaus, bevor sie zur Ruhe kam, sodass man, namentlich bei Benutzung des geladenen Harzstabes den Eindruck einer geschlagenen schwingenden Saite hatte. Bei einer parallel zur Röhrenaxe ausgeführten Bewegung des Harzstabes kam die ganze Lichtsäule in eine wellenförmig fortlaufende Bewegung, wobei sich vor dem Stabe ein Thal, hinter ihm ein Berg bildete.

Offenbar bewirkt das in Bezug auf die innere Glaswand rasch wachsende Potential des genäherten Glasstabes eine Bindung negativer Electricität auf dem zunächst gelegenen Theile der Innenwand der Röhre und das Freiwerden einer gleichen Menge positiver Electricität, die dann nach dem Röhreninnern abströmt und, die scheinbare Anziehung der Lichtsäule nach sich zieht. Entfernt sich der Glasstab, so bewirkt das in Bezug auf die innere Röhrenwand rasch abnehmende Potential ein Freiwerden von negativer Electricität, die nach der Röhre abströmt und einen dunkeln Raum bildend, die Lichtsäule von der Glaswand abdrängt. Entsprechend erklärt sich die Wirkung des geladenen Harzstabes. Die vor eintretender Ruhe bemerkbaren Schwingungen der Lichtsäule lassen auf eine oscillatorische Ausgleichung des Gleichgewichtszustandes der electricischen Spannung der Glaswände im Innern der Röhre schliessen.

Diese überaus deutlichen Erscheinungen konnten aber nur beobachtet werden, wenn das Inductorium die Electricitätsquelle war. Lieferte die Influenzmaschine die Electricität, so ist es mir nicht gelungen, eine Ablenkung der Lichtsäule durch geladene Glas- und Harzstäbe zu erzielen.

Leipzig, im Juli 1896.