

Ueber elektrische Entladungen.

2. Abhandlung.

Von E. Wiedemann und H. Ebert.

Die Untersuchung wurde mit Unterstützung des Elisabeth Thompson Science Fund in Boston ausgeführt ¹⁾.

A. Einleitung²⁾.

1) In unserer vorigen Mitteilung haben wir versucht zu zeigen, wie unter der Annahme, dass sich der Elektrizitätsausgleich in einer Entladungsröhre in oscillatorischer Weise vollzieht, sich eine grosse Anzahl von Erscheinungen erklären lässt. Wir haben auch die Berechtigung der Grundannahme näher zu beweisen gesucht.

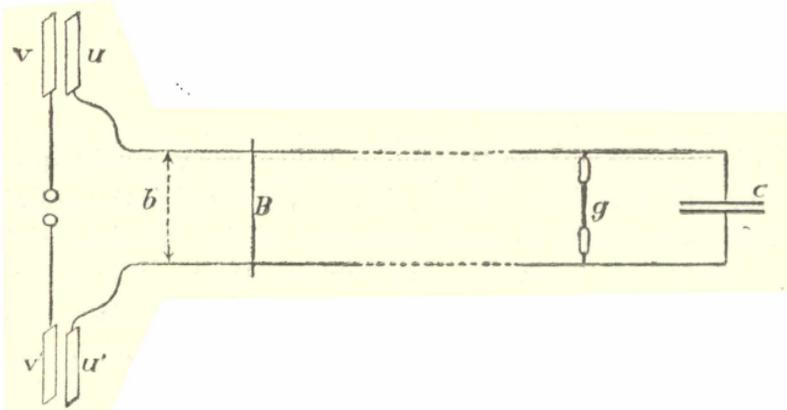
Um tiefer in die Theorie der Vorgänge einzudringen, war es aber nötig, die Erscheinungen unter den denkbar einfachsten und übersichtlichsten Bedingungen näher zu studieren d. h. zu untersuchen, welche Erscheinungen eintreten, wenn man ein Gas der Einwirkung elektrischer Oscillationen von ganz bestimmter Schwingungsdauer aussetzt, und zwar ohne das Dazwischentreten von Elektoden, durch die dem Gase die Oscillationen zugeführt werden, da sich dadurch die Phänomene complicieren. Eine derartige Untersuchung wird nach den Arbeiten von Hertz, Lecher, Cohn und Heerwagen u. a. über elektrische Schwingungen möglich, vor allem durch den Nachweis, dass man aus dem ganzen Komplex von Schwingungen, welche bei der Entladung eines Kondensators in benachbarten Dräthen angeregt

1) Wir benutzen diese Gelegenheit, um den Verwaltern der obigen Stiftung, für ihre uns erwiesene grosse Liberalität, unsern allerbesten Dank auszusprechen.

2) Wir haben uns auch in dieser vorläufigen Notiz noch auf das notwendigste beschränken zu sollen geglaubt, besonders bei der Beschreibung der Phänomene, da diese ohne zahlreiche Figuren doch nur schwer verständlich wären. Wir denken die neu beobachteten Erscheinungen bald in der vollständigen Arbeit genauer behandeln zu können.

werden, Oscillationen von ganz bestimmter Schwingungsdauer dadurch ausscheiden kann, dass man das Phänomen der elektrischen Resonanz zu Hilfe nimmt.

2) Die Anordnung des Apparates war im Wesentlichen die von L e c h e r angegebene mit einigen kleinen Modifikationen (vergl. die Figur); in derselben ist eine Geissler'sche Röhre g gewöhnlicher Form nur als Schema gezeichnet; gewöhnlich lagen die zu untersuchenden elektrodenlosen gasverdünnten Räume dem Endkondensator c viel näher als g .



Die Platten v und u , sowie v' und u' bilden zusammen den primären Kondensator, v und v' sind durch Dräthe mit den Polen einer Influenzmaschine mit 20 Scheiben verbunden. In Hülsen, die auf der Rückseite von v und v' angebracht sind, verschieben sich Messingstangen von 0.5 cm Durchmesser, die an ihren Enden Messingkugeln von 3 cm Durchmesser tragen; an die Platten u und u' sind 0.1 cm dicke Kupferdräthe angesetzt (mit Folgenden als Zuleitungsdräthe bezeichnet), die in einer Entfernung von 12 bis 13 m an dem Endkondensator c endigen. Ihr gegenseitiger Abstand betrug 30 cm. Die Platten des Kondensators c hatten gewöhnlich einen Radius von 7.6 cm, ihr Abstand konnte beliebig messbar verändert werden.

Sollten die Erscheinungen untersucht werden, die in Entladungsröhren auftreten, wenn dieselben zwischen die Platten des Endkondensators gebracht sind und sollte die Verteilung des Lichts in Richtungen senkrecht zu Axe des Endkondensators ermittelt werden, so wurden die massiven Platten desselben durch ebene Drahtnetze ersetzt, die auf Messingringe von 7,6 cm Radius aufgelötet waren.

In einzelnen Fällen waren die Kondensatorplatten bez. -Netze

in ihrer Mitte durchbohrt um Röhren etc. axial hindurchführen zu können.

3) Im Allgemeinen wurden die zu untersuchenden Räume vor den Kondensatorplatten so aufgestellt, dass z. Bsp. die Axe von Röhren parallel der Kondensatoraxe lag, oder sie wurden zwischen die Kondensatorplatten gebracht.

Die zu untersuchenden Entladungsröhren waren entweder bei einem bestimmten Druck des Gases von der Pumpe abgeschmolzen oder blieben an der Pumpe, um bei verschiedenen Drucken untersucht zu werden.

Durch Annähern und Entfernen der Platten des Kondensators an das Entladungsrohr konnte die Stärke der wirkenden Oscillationen verändert werden, ferner durch Aenderung der primären Funkenstrecke das Potential am Endkondensator.

4) Die Versuche wurden entweder so angestellt, dass keine Brücke über die parallelen Dräthe gelegt wurde, oder in der Art, dass eine oder mehrere Drathbügel sog. Brücken B angewendet wurden.

Im ersten Fall erhielt man die Erscheinungen, welche Oscillationen hervorrufen, die zum Teil dem Verlauf der schnell gedämpften Schwingungen in der primären Funkenstrecke entsprachen, über die sich dann die Erscheinungen, die durch Resonanzschwingungen im sekundären Drathsystem hervorgerufen werden, lagern; die Erscheinungen sind dann auch stets unsymmetrisch (s. w. u.). Im zweiten Fall erregte man das Gas wesentlich nur durch die viel langsamer gedämpften Resonanzschwingungen, das Phänomen ist dann ein durchaus symmetrisches. Aus dem Aussehen desselben ist es z. B. unmöglich zu entscheiden, welche der Endkondensatorplatten dem positiven und welche dem negativen Pole der Influenzmaschine entspricht.

Die eben besprochenen Anordnung gestattet das Verhalten der gasverdünnten Räume unter dem Einfluss von Oscillationen zu untersuchen, deren Verteilung und Energie sich bis zu einem gewissen Grade berechnen, jedenfalls im Grossen und Ganzen übersehen lässt.

Bringt man die Entladungsröhre in einige Entfernung von den Platten des Kondensators, so wird man vollkommen frei von den immerhin etwas complicierten Verhältnissen in der Nähe derselben (vergl. w. u.). Man kann auch das Auftreten der

Kathodenstrahlen und der Glimmlichtstrahlen vermeiden, sobald man die Röhre nicht an Stellen bringt, nach denen sich die Oscillationen hindrängen u. s. f. — Alle diese Vorteile verschwinden, wenn man die Dräthe, die mit dem primären Kondensator verbunden sind, um die Röhren wickelt, wie dies z. B. von J. J. Thomson geschehen ist; ganz abgesehen davon, dass es dann nicht mehr möglich ist, aus dem auftretenden Komplex von Schwingungen einzelne von bestimmter Schwingungszahl zu den Versuchen auszuscheiden.

5) Vor jeder Versuchsreihe wurde zunächst die Lage der Knoten auf den Draht ermittelt. Dazu wurde an den Endkondensator ein besonders gut ansprechendes Rohr angebracht und wurden die Stellen auf dem Draht aufgesucht, bei deren Ueberbrückung dasselbe hell aufleuchtete. Daran anschliessend wurden die einander zugehörigen Knoten ermittelt, d. h. diejenigen, bei deren gleichzeitiger Ueberbrückung das Rohr leuchtete. Wir geben hier die Werte für einen Fall.

Der primäre Kondensator bestand hier nicht aus den quadratischen Platten, sondern aus zwei Kreisscheiben vom Radius $r_1 = 5$ cm, im Abstand von $d_1 = 0,5$ cm. Die Kugeln des Oscillators hatten wie gewöhnlich einen Durchmesser von 3 cm, einen Abstand von 0,7 cm, die sie tragenden Dräthe hatten eine Länge von 14,5 cm, und eine mittlere Dicke von 0,28 cm. Der Endkondensator bestand wie erwähnt aus zwei kreisförmigen Platten von Radius $r_2 = 7,6$ cm, einem Abstand $d_2 = 11,5$ cm. Die Verbindungsdräthe hatten eine Länge von 1260 cm und eine Dicke von 0,1 cm. Sie standen 30 cm von einander ab, die Länge der Brücke mit deren Biegungen war 34 cm, die Dicke des sie bildenden Drathes war 6 mm.

Die Abstände k der Knoten in cm gerechnet vom primären Kondensator waren die folgenden. Der untere Index entspricht der Zahl z der überhaupt vorhandenen Knoten, der obere Index dagegen gibt an, mit dem vielvielsten Knoten vom primären Kondensator an gerechnet wir es zu thun haben. Die römischen Zahlen bezeichnen die laufende Nummer des Knotensystems.

| n | z | |
|-----|---|--|
| I | 1 | $k_1^1 = 584.$ |
| II | 2 | $k_2^1 = 198 \quad k_2^2 = 972.$ |
| III | 3 | $k_3^1 = 103 \quad k_3^2 = 620 \quad k_3^3 = 1092.$ |
| IV | 4 | $k_4^1 = 54 \quad k_4^2 = 420 \quad k_4^3 = 770 \quad k_4^4 = 1160.$ |
| V | 5 | $k_5^1 = 34 \quad k_5^2 = 314 \quad k_5^3 = 594 \quad k_5^4 = 874 \quad k_5^5 = 1196.$ |

Aus diesen Zahlen ergibt sich Folgendes: Die Wellenlänge der Oscillationen im primären Kreis ist $\lambda_p = 24$ m, die Schwingungsdauer ca. 8×10^{-8} sec.

Die Resonanzschwingungen entsprechen sehr nahe dem Grundton, der Quinte, Oktave, Duodecime und der 2ten Oktave.

Die Schwingungsdauern des dem primären Kondensator und des dem Endkondensator zunächst gelegenen Theiles des sekundären Kreises jeder für sich berechnet, verhalten sich bei unseren Versuchen immer sehr nahe wie 2 : 1 also wie Grundton zur Oktav.

Werden die Verbindung der Platten v und v' mit den Kugeln der primären Strecke verlängert, etwa dadurch, dass man diese meist auseinanderzieht, dagegen die Kugeln an der Maschine so weit einander nähert, dass jetzt zwischen diesen die Funken überspringen, so rücken die Knotensysteme gegen den primären Kondensator hin (vergl. eine soeben erschienene Arbeit von E. Salvioni).

B) Anregung von Entladungsröhren durch elektrische Oscillationen.

6) Um die Erscheinungen in Entladungsröhren unter dem Einfluss von oscillatorischen Entladungen zu untersuchen, war es vor allem nötig die Bedingungen zu ermitteln, unter denen sie überhaupt leuchteten, um dann nach Hilfsmitteln zu suchen, durch die es möglich war, stets ein Leuchten hervorzurufen.

Zahlreiche Versuche ergaben, dass bei reinen Oscillationen nicht alle Röhren ansprachen, vor allem nicht dann, wenn sie sich in einiger Entfernung von den Kondensatorplatten befanden. Dabei war es von relativ kleinem Einfluss, ob man die Amplitude der Oscillationen durch Vergrößern der Funkenstrecken im primären Oscillator vergrößerte.

7) Am leichtesten und fast sicher sprechen Röhren mit inneren Belegen an. Diese letzteren stellt man sich entweder durch Versilbern her oder durch Ueberziehen mit Platin. Man löst PtCl_4 in Alkohol, setzt die Lösung zu etwas Lavendelöl, bestreicht das Glasrohr im Inneren in der Nähe der beiden Enden und erhitzt bis das Lavendelöl verdampft ist. Hierbei schlägt sich das Platin als dichter, schwarzer Ueberzug auf dem Glase nieder. Dann setzt man das Rohr an die Pumpe und evacuiert bis zu einem passenden Druck und schmilzt ab. Die

inneren Belegungen befinden sich so an den Enden der Röhre und sind von einander durch unbelegtes Glas getrennt.

8) Röhren die für sich nicht anregbar sind, sprechen oft, wenn auch nicht immer, an, wenn man über die beiden Endkondensatoren einen Metallbügel legt und diesen synchron zu den Funken des primären Kondensators abhebt, wobei sich ein kleiner Funken bildet. Der Vorgang dürfte der sein, dass in dem anregenden Draht die Oscillationen in den ursprünglichen Leitersystem in solche von grösserer Schwingungszahl transformiert werden, die dann die relativ unempfindlichen Röhren anregen. Sind letztere einmal angeregt, so leuchten sie auch bei der Anregung durch die Oscillationen im Drahtsystem weiter. In diesen Beobachtungen dürfte auch der Schlüssel zu gewissen Versuchen Jaumanns (Beibl. 13 p. 417) liegen.

9) Mit abnehmenden Druck nimmt im Allgemeinen bis zu einer bestimmten Grenze die Erregbarkeit der Röhren beträchtlich zu.

Je niedriger der Druck ist, für um so verschiedene Schwingungsdauern der ankommenden Oscillationen spricht die Röhre an.

Je mehr zu einander zugehörige Knoten im allgemeinen überbrückt sind, um so besser spricht ein Rohr an und um so heller ist das Leuchten.

Zum Nachweis hiefür wurde die unter 5) beschriebene Anordnung benützt. Die Knotensysteme seien hier ebenso wie dort bezeichnet. Angewandt wurde am Endkondensator ein Rohr mit inneren Belegungen (Länge 27 cm, Weite 2.5 cm), das Rohr stand 0.2—0.3 cm von dem Plattenrande des Kondensators ab und seine Axe lag parallel der Kondensatoraxe.

Bis zu einem Druck von etwa $p = 1$ mm findet bei der benutzten primären Funkenstrecke kein Ansprechen statt.

Bei $p = 1$ mm spricht die Röhre an ohne Brücke und mit Brücke bei k_1^1 , wenn letztere übergelegt ist aber wesentlich stetiger. Andere Brückenkombinationen geben kein Leuchten.

$p = 0.3$ mm: Brücke bei k_1^1 Röhre sehr hell, bei k_2^2 Röhre will eben aufleuchten.

$p = 0.01$ mm: Brücke bei k_1^1 sehr hell, bei k_2^2 hell, bei k_2^1 schwächer und unruhig. Legt man Brücken bei k_2^2 und k_2^1 auf, so ist das Leuchten sehr hell, ebenso hell wie bei Brücke auf k_1^1 .

Bei weiterer Evakuation treten zu diesen Systemen die anderen Knotensysteme hinzu, bei deren Ueberbrücken ein Leuchten stattfindet.

Die Reihenfolge, in der die einzelnen Systeme bei allmählich zunehmender Evakuation auftreten, ist etwa dieselbe, in der sie sich nach den Beobachtungen von Rubens nach ihrer Energie ordnen; je grösser die Energie, bei um so höherem Drucke tritt das Leuchten ein.

Eine blosser Vermehrung der Energie etwa durch Vergrössern der Funkenstrecke im primären Kondensator hat aber lange nicht den Einfluss wie eine Verminderung des Druckes.

Im Folgenden seien noch ein Paar Beispiele für den Einfluss der Zahl der Ueberbrückungen auf die Helligkeit des Leuchtens gegeben.

Bei Ueberbrückung gewisser Knoten in der Mitte leuchtet das Rohr nur, wenn auch Knoten an den Enden überbrückt sind, so bei der Brückenlage k_4^2 nur, wenn auch k_4^4 überbrückt ist. Bei diesem System IV findet bei höheren Drucken ein Aufleuchten statt, wenn k_4^4 und k_4^1 überbrückt sind, sonst nicht.

Im System III leuchtet die Röhre, wenn alle drei Brücken auflegen, sie leuchtet nicht, wenn eine Brücke an den Enden fehlt, wohl aber, wenn die in der Mitte fehlt.

Auch im System II unterstützen sich die beiden Brücken wesentlich.

Im Speziellen können sich natürlich diese Verhältnisse bei Anwendung verschiedener Röhren, Kondensatoren, primärer Funkenstrecken etc. ändern, das Hauptresultat: die gegenseitige Unterstützung der Ueberbrückungen bleibt bestehen.

Wie eine Saite um so reinere Töne gibt, an je zahlreicheren korrespondierenden Knoten sie unterstützt wird, um so einfacher ist auch der Komplex von Oscillationen zusammengesetzt, welcher auf die Entladungsröhre wirkt, je zahlreichere Brücken aufgesetzt sind, und um so ungestörter findet die Anregung derselben statt.

Dies bestätigt unsere schon in der ersten Mitteilung ausgesprochene Ansicht, dass für das Leuchten der Gase unter dem Einflusse elektrischer Entladungen wesentlich der Oscillationsrhythmus bestimmend ist.

Mit diesen Thatsachen stehen in Zusammenhang die in einem Wechselstromkreis beobachteten Ladungserscheinungen von Kon-

densatoren, deren Spannung ebenfalls dann zu maximalen Werten ansteigt, wenn die Ladung im Rhythmus der Eigenschwingungen des Kondensatorkreises erfolgt. Vergl. z. B. den Aufsatz von Cl. Feldmann, Elektrotechn. Z. S. 13 pag. 86. 1892.

10) Röhren, welche für sich nicht anregbar sind, sprechen in vielen Fällen an, wenn man ihnen ein leuchtendes Rohr nähert resp. auch nur über den Kondensator ein solches Rohr legt. Eine Röhre A von 2 mm Durchmesser sprach selbst, wenn sie an den Kondensator angelegt wurde, nicht an. Sobald aber gleichzeitig eine Röhre mit inneren Belegen angelegt wurde und diese zu leuchten anfang, sprach das Rohr A an; ebenso wenn irgend eine andere Röhre, die von selbst anspricht, genähert wurde.

Röhren a und b von 8 und 3 mm Durchmesser waren so in der Nähe des Kondensators aufgestellt, dass sie nicht von selbst ansprachen. Man näherte ihnen eine leuchtende Röhre c von 1,2 cm Durchmesser, dann leuchteten sie auf. (Man darf letztere Röhre den Röhren a und b nicht zu weit nähern, da sie sonst die leuchtenden Röhren a und b wieder zum Erlöschen bringt vgl. w. u.).

11) Je enger die Röhren sind, um so schwieriger sprechen sie, auch wenn ein anregendes Rohr vorhanden ist, an. Dies wurde an Röhren von verschiedenen Weiten mehrfach konstatiert. Kapillarröhren ohne weitere Ansatzstücke sind gar nicht zum Ansprechen zu bringen.

Es waren drei Röhren A, B, C ohne innere Belegungen von den Weiten $A = 15$ mm, $B = 10$ mm, $C = 2,5$ mm und Längen von etwa 25 cm in gerader Richtung d. h. conaxial an einander geschmolzen. Man näherte dann den Kondensator zunächst dem Rohr A bis es ansprach, verschob ihn parallel der Rohraxe nach B und C, dann leuchteten diese nicht auf. Man näherte ferner den Kondensator B bis dieses leuchtete, und verschob nach C; dies sprach dann nicht an.

12) Ist ein Rohr an einer Stelle verengt und stellt man seine Axe parallel zu der Kondensatoraxe, so spricht es besonders leicht an, wenn man den Kondensator so stellt, dass die Verengung zwischen die Ebenen der verlängerten beiden Platten desselben fällt oder ihnen doch nahe ist.

In dem eben beschriebenen Röhrensystem liess man die Röhren A und B an einer Stelle a resp. b zusammenfallen. Man stellt zunächst den Kondensator in einer solchen Entfernung vom Rohr auf, dass wenn er vor den nicht zusammengefallenen Stellen stand, die Röhre eben nicht mehr ansprach. Verschob man ihn bei derselben Entfernung von der Rohraxe bis vor die Stelle a resp. b so leuchtete sie hell auf, das Licht setzte sich dann auch in die weiten Teile des Rohres fort. An der Stelle a leuchtete das Rohr auch auf, wenn der Kondensator beträchtlich weiter von A und B abstand.

13) Röhren sprechen leichter an, wenn der Kondensator nahe an ihrem Ende steht bez. das Ende des Rohres zwischen den Kondensatorplatten sich befindet.

Röhren, die im Allgemeinen unstetig und unsicher, selbst wenn eine anregende Röhre in der Nähe ist (s. w. u.), ansprechen, thun dies, sobald ihr Ende die eben angegebene Lage hat. Es hängt die Erscheinung wohl mit der bei Verengungen beobachteten zusammen.

14) Ein weit ausgepumptes Rohr ganz ohne Elektroden von nicht zu kleinen Dimensionen, etwa ein Cylinder von 4 cm Durchmesser und 5 cm Länge oder eine Kugel von 8 cm Durchmesser, spricht fast bei jeder Lage der Brücke an. Die Lichterscheinungen ändern sich aber, wenn man die Brücke verschiebt, d. h., wenn Oscillationen von verschiedener Schwingungszahl das Rohr treffen.

15) Sehr lange Röhren leuchten, wenn man sie in das Feld zwischen zwei Platten bringt, die mit den Enden der Zuleitungsdräthe verbunden sind.

Die Lichterscheinung in gasverdünnten Räumen kann also sich in genügend weiten Röhren über sehr lange Strecken verbreiten.

Die vom primären Kondensator entfernten Theile der einmal überbrückten Zuleitungsdräthe wurden divergirend weiter geführt. Sie endeten in zwei grossen kreisförmigen Blechscheiben, die etwa in $3\frac{1}{2}$ —4 m Entfernung einander parallel gegenüber standen. Zwischen dieselben wurde ein evakuirtes, 3 m langes, 3,2 cm weites Rohr mit ebenen durch Glassplatten verschlossenen Endflächen parallel zu den Ebenen der Platten gebracht, so dass sie dasselbe

aber nirgends berührten. Sowohl wenn keine Brücke übergelegt wurde, als auch mit einer Brücke leuchtete bei lebhaftem Gang der Maschine und hinlänglich grosser primärer Funkenstrecke das Rohr sehr hell. Verkleinerte man die primäre Funkenstrecke, so zog sich das Licht nach den Enden der Röhre zurück und der mittlere Teil wurde dunkel.

In einzelnen Fällen schienen etwa 1 dec. breite, aber sehr unstete Schichten aufzutreten, eine Erscheinung, die weiter zu untersuchen ist.

Hierdurch ist gezeigt, dass man ausgedehnte Räume ganz mit den elektrischen Oscillationen erfüllen kann; wo in einem von Oscillationen erfüllten Felde ein Vacuum hergestellt wird, fangen die zurückgebliebenen Moleküle, die jetzt weniger häufig zusammen stossen, wenn sonst die Bedingungen günstig sind, zu leuchten an.

Die Erscheinung ist also weder von dem Vorhandensein von Elektroden, noch von der Gestaltung der Wände abhängig, sondern lediglich durch einen bestimmten Zustand des Feldes [genügende Periodenzahl des elektrischen Vectors] bedingt (vergl. auch die Versuche von Nik. Tesla).

Welche hohe Bedeutung gerade dieses Ergebnis hat, wenn es sich um die technisch wichtige Frage handelt, wie man am vorteilhaftesten elektrische Energie in Lichtschwingungen umsetzen kann, möge an einer anderen Stelle nähere Ausführung finden.

16) Elektrodenlose Entladungsröhren sprechen zwischen den Platten des Endkondensators, wenn die Axe des Entladungsrohres parallel der Plattenebene steht, je nach deren Lage verschieden leicht an.

Die Röhren sprechen, wenn sie nicht sehr weit sind, nur dann an, wenn die Axe derselben nicht in der Medianebene des Endkondensators gelegen ist, sondern nach der einen oder anderen Seite hin verschoben ist.

17) Bringt man neben ebene Platten (15 cm Durchmesser), die mit den Enden der Zuleitungsdrähte verbunden sind, kurze Entladungsröhren von ca. 12 cm Länge und ca. $1\frac{1}{2}$ cm Weite, ohne dass sie die Platten berühren, so leuchten dieselben nicht, wenn ihre Axen parallel der

Plattenebene liegt, sie leuchten, wenn sie senkrecht zu derselben steht.

18) Hält man neben einen der Zuleitungsdrähte Röhren, wie die eben beschriebene, so leuchten sie kaum, wenn sie parallel den Dräthen liegen und zwar selbst bei Berührung, sie leuchten, selbst, wenn sie nicht berühren, wenn sie senkrecht zu den Drähten stehen.

Die Erklärung der unter 16—18 besprochenen Phänomene ergibt sich aus den in 47 zusammengefassten Thatsachen.

19) Einmal angeregte Röhren sprechen meistens, wenn sie nicht gar zu enge sind, unter dem Einfluss von Entladungen nach einiger Zeit von selbst wieder an, wenn man sie vom Kondensator entfernt hat, so dass sie erloschen sind, und man sie dann dem Kondensator nähert.

Die Wirkung einer vorherigen Erregung wird aufgehoben, wenn man das Rohr seiner ganzen Länge nach mit dem Finger ableitend berührt oder besser noch mit einer Flamme überfährt.

20) Wird ein weites langes Rohr an einer Stelle erregt, so pflanzt sich die Lichtbreitung nach beiden Seiten über weite Strecken fort.

21) Einmal angeregte Röhren leuchten in sehr vielen Fällen weiter, auch wenn man die anregende Röhre fort nimmt.

Die Röhren sind offenbar durch die Anregung in einen Zustand versetzt, der sie befähigt, die Energie ankommender Oscillationen zu absorbieren.

22) Das Leuchten der Röhre beginnt bei Annäherung an den Kondensator ganz plötzlich, die Helligkeit wächst dann bei weiterem Annähern ziemlich langsam: dies ist sowohl bei Röhren der Fall, die von selbst ansprechen als auch solchen, die einer Unterstützungsröhre bedürfen (s. w. u.). Die Energie der Oscillationen die das Leuchten hervorrufen können, darf also nicht unter einer ganz bestimmten Grenze liegen, sobald aber diese überschritten ist, findet eine lebhaftere Uebertragung der Energie der Oscillationen auf die Moleküle statt. Auch dieses Ergebniss ist von Wichtigkeit, wenn es sich darum handelt, ein ökonomisches Beleuchtungssystem auf das Princip der direkten Erregung der Moleküle durch rasche Wechselströme zu begründen.

23) Wie wir schon in unserer ersten Mitteilung erwähnt haben, gedenken wir die ausführliche theoretische Diskussion der hier beschriebenen Erscheinungen erst in einer späteren Publikation im Zusammenhange zu bringen; indessen mögen hier einige Andeutungen darüber Platz finden.

Einer von uns hat früher gezeigt¹⁾, dass sich die optischen Erscheinungen erklären lassen, wenn wir sie auf Bewegungen der elektrischen Ladungen der Atome bzw. Moleküle zurückführen, die wir diesen zuschreiben müssen, um die Thatfachen der Elektrolyse zu erklären, der sog. „Valenzladungen“ (vergl. auch die Arbeiten von Richards²⁾ und Stoney³⁾). Ebert berechnete aus der Strahlung des Natrium-Moleküles, wie sie durch E. Wiedemann in absolutem Masse ermittelt worden war, die Grösse dieser Ladung, das „Elementarquantum“ zu $1,4 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$ Richards findet dieselbe Elektrizitätsmenge aus den Messungen von F. u. W. Kohlrausch des elektrochemischen Aequivalentes gleich $1,29 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$; Stoney giebt sie (bei ihm „das Elektron“ genannt) zu $3 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$ an; wie man sieht stimmen diese Zahlen in der Grössenordnung mit einander überein. Richards führt die die Lichtstrahlung bedingenden Erregungen des umgebenden Aethers auf die rotatorischen Bewegungen der Moleküle und damit ihrer Valenzladungen zurück. Dann müssten aber, wie sich unschwer zeigen lässt, die Wellenlängen der einzelnen Spektrallinien mit der absoluten Temperatur stark sich ändern⁴⁾, wovon noch niemals eine Spur beobachtet worden ist.

Nach Stoney ist das „Elektron“ an einer Stelle des Moleküles „befestigt“ („lodged at the point P of the molecule“ p. 583 a. a. O.) und wird bei den intramolekularen Bewegungen auf Bahnen herumgeführt, welche durch ihre spezielle Gestaltung die Spektralerscheinungen bedingen. Auch diese Auffassung dürfte kaum den erklärten Verhältnissen entsprechen. Nehmen wir daher mit Ebert an, dass den elektrischen Ladungen in Bezug auf das materielle Molekül eine gewisse Bewegungsfreiheit (im Sinne der gewöhnlichen Mechanik) zukommt, so können wir

1) H. Ebert, Arch. de Genève. 25, p. 489, 1891.

2) Richards, Verh. der physikal. Gesell. Berlin, 10 p. 73, 1891.

3) G. J. Stoney, Phil. Trans. Dubl. Soc. (2) 4, p. 563, 1891.

4) E. Wiedemann, Wied. Ann. 5, p. 509, 1878

die Wärme- und Lichtstrahlung auf Oscillationen der elektrischen Valenzladungen zurückführen, Oscillationen, wie sie unter gewöhnlichen Bedingungen schon bei den Zusammenstößen zweier Moleküle erregt werden, und deren Ausbreitung für den Fall einer geradlinigen Bahn von Hertz experimentell und theoretisch studiert worden ist.

Halten wir an dem landläufigen, alten Bilde, welches man sich von der Erscheinung der elektrischen Ladung gemacht hat, fest, wonach diese in einem wirklichen Aufgelegtsein von etwas Substanziellen, wenn auch Imponderablem, der „Elektrizität“ besteht, so ist es am einfachsten sich diese Oscillationen, welche sich dem umgebenden Felde mitteilen, durch „Verschiebungen“ der elektrischen Molekülladungen hervorgebracht zu denken. In diesem Sinne können wir, wenn wir uns auf den alten Standpunkt stellen, was im vorliegenden Falle den Vorteil grösserer Anschaulichkeit bietet, von „verschobenen Valenzladungen“ reden. In der „Grösse der Verschiebung“ haben wir ein Mass für den Grad, um welchen der augenblickliche elektrische Zustand des Moleküles von dem Gleichgewichtszustande entfernt ist.

Jedem Moleküle kommt je nach seinem Baue und den durch diesen bedingten in ihm wirksamen Kräften ein bestimmtes System von elektrischen Eigenschwingungen seiner Valenzladungen zu, welche das Spektrum bestimmen. Die Schwingungszahlen der Grundschwingungen hängen von den Dimensionen des Moleküles ab, wie bei einem durch eine Bahn von geringem Widerstande sich entladenden Kondensator.

Wenn wir, wie es bei den vorliegenden Versuchen geschieht, die Moleküle eines verdünnten Gases durch elektrische Schwingungen von der Schwingungszahl 10^8 zum Leuchten anregen, so entspricht dieser Vorgang dem Spiel der primären Funkenstrecke, welches in dem durch den Kondensator und den anliegenden Teilen des Drahtsystems gebildeten Schliessungskreise Schwingungen erregt, die dann in dem Gase solche von über millionen Mal grösserer Schwingungszahl hervorrufen. Die elektrischen Oscillationen, die wir zur Lichterregung verwenden, repräsentieren gewissermassen nur die Bewegung des streichenden Bogens, unter dessen Einfluss die Eigenschwingungen der Seite (hier der Valenzladungen der einzelnen Gasmoleküle) angeregt werden; es findet eine „Transformation“ von Schwingungszahlen

von der Ordnung 10^8 auf solche von der Ordnung 10^{14} und höher hinauf statt; der Mechanismus dieses Vorganges lässt sich durch den allgemeinen Gleichungen der reinen Mechanik darstellen; man geht dabei zweckmässig von derjenigen Form derselben aus, die ihnen H. von Helmholtz in seinen „Prinzipien der Statistik monocyklischer Systeme“ gegeben hat; denn es lässt sich zeigen, dass die monocyklischen Gesetze auf die hier in Betracht kommenden Formen oscillatorischer Bewegungen Anwendung finden und namentlich über den Umsatz der Energie bei denselben wichtige Anhaltspunkte gewähren.

Hierbei ist nicht zu vergessen, dass die in den Drähten ankommenden den Endkondensator ladenden und entladenden Oscillationen zunächst Eigenschwingungen des Entladungsrohres selbst einzelner Teile desselben hervorrufen (vergl. unsere erste Mitteilung) und in den meisten Fällen wohl erst diese, an sich schon hohen Schwingungen, in die die Lichtemission veranlassenden Molekülschwingungen transformiert werden.

Um die Molekülschwingungen in genügendem Grade anzuregen, muss eine gewisse Menge von der Energie der erregenden Schwingungen aufgewendet werden; in diesem Sinne kann der Vorgang der Lichterregung in gasverdünnten Räumen als eine „Absorptionserscheinung“ aufgefasst werden. Die ankommenden Oscillationen bezw. Oscillationen von grösseren Schwingungszahlen, die sich erst im Entladungsrohre aus ihnen gebildet haben, rufen Verschiebungen der Valenzladungen in den Molekülen hervor. Diese suchen sich wieder auszugleichen und geben dadurch zu Leuchtbewegungen innerhalb der Moleküle und damit zu Lumineszenzerscheinungen Veranlassung. Die Stärke der Absorption dürfte mit der Grösse bereits vorhandener Verschiebungen wachsen, gerade wie mit steigender Temperatur und damit grösserer Lichtemission auch die Absorption wächst. Damit überhaupt eine Absorption der Oscillationen eintreten kann, müssen die äusseren Verhältnisse so liegen, dass eine Transformation der ankommenden Oscillationen in solche der Moleküle stattfinden kann. Sind aber einmal angeregte Moleküle mit verschobenen Valenzen vorhanden gewesen, so werden diese längere Zeit diese Eigenschaft beibehalten und dann für neu ankommende Oscillationen als Transformatoren dienen. Ebenso erklärt sich, warum bei Röhren, die aus weiten und engeren Röhren zusammengesetzt

sind, die Erregung aus den weiten in die engen Teile sich fort-pflanzt, wenn auch letztere an sich gar nicht oder nur äusserst schwer erregbar sind.

Die Aufhebung einer vorhergehenden Erregung durch Ableitung oder Erwärmung können wir vielleicht darauf zurückführen, dass besonders in einzelnen Molekülen, die an den Wänden haften, die Valenzladungen verschoben bleiben, und das sie bei unserer Ableitung oder der Erwärmung, in den normalen Zustand zurückkehren.

Eine genauere Diskussion der Einzelercheinungen von diesen Gesichtspunkten aus, würde hier zu weit führen; aus denselben erklärt sich aber z. B. auch die transversale Leitung in Entladungsröhren, die Leitung von Flammen etc., welch' letztere wohl auch als eine oscillatorische Entladung aufzufassen ist, etc.

c) Schirmwirkung von Leitern und leuchtenden Entladungsröhren auf leuchtende Entladungsröhren.

24) Von Hertz u. a. ist gezeigt worden, dass Metallschirme für auffallende Oscillationen undurchsichtig sind, dass sie also eine Schirmwirkung hinter sich ausüben. Stefan hat dann einen Versuch beschrieben, nach dem auch eine Schirmwirkung von einem Metalle vor sich ausgeübt wird. (Vgl. unsere vorige Mitteilung.) Die Versuche lassen sich mit Zuhilfenahme der von Oscillationen durchsetzten Röhren in weit vollkommener Weise anstellen. Wir haben die Eigenschaft verschiedenartiger Substanzen untersucht, leuchtende Röhren bei der Annäherung an diese zum Erlöschen zu bringen; diese Erscheinung wollen wir kurzweg als eine „Schirmwirkung“, bezeichnen. Die leuchtende Röhre stand stets parallel der Axe des Endkondensators und quer vor den Platten des Kondensators. Lineare schirmende Körper lagen mit ihrer Längsrichtung gleichfalls parallel der Axe des Endkondensators.

Wir führen folgende Bezeichnungsweise ein:

Liegt der schirmende Körper zwischen dem Kondensator und der leuchtenden Röhre und erlischt die Röhre, so sagen wir der Körper schirmt hinter sich, liegt die leuchtende Röhre zwischen Kondensator und schirmenden Körper und erlischt die Röhre, so schirmt letzterer vor sich, liegt die leuchtende Röhre mit den schirmenden Körper in derselben Ebene,

die aber nicht durch die Kondensatoraxe geht, und erlischt die Röhre, so schirmt er neben sich.

25) Schirme aus Metall und überhaupt aus allen Substanzen, die hinter sich schirmen, schirmen auch vor sich und neben sich. Hält man hinter ein leuchtendes Rohr einen solchen Schirm, so erlischt es, wenn die Längen und Abstände beider passend gewählt werden.

Es schirmen: Metalle, selbst in sehr dünnen vollkommen durchsichtigen Schichten. Röhren, die mit Lösungen von Elektrolyten und zwar selbst sehr verdünnten gefüllt sind, Cylinder von festem Chlorblei etc.

Nicht schirmen Glasplatten, Glimmerplatten u. s. w.

26) Eine wachsende Schirmwirkung macht sich in einer allmählichen Verkürzung der Lichtsäule in der Entladungsröhre bemerkbar.

Nähert man dem leuchtenden Rohr aus grossen Abständen allmählich einen Metallschirm, so verkürzt sich nach und nach die Lichtsäule, bis sie zuletzt auf einen kleinen zwischen den Kondensatorplatten gelegenen Rest zusammengeschrumpft ist, der dann bei weiterer Annäherung ganz plötzlich verschwindet.

27) Metallschirme von gleicher Länge schirmen vor sich gleich gut, fast unabhängig von ihrer Querdimension.

Drähte, die neben dem leuchtenden Rohre ausgespannt sind, schirmen fast eben so gut wie breite Metallbleche von gleicher Länge, ebenso verhalten sich Streifen aus Metalldrahtnetzen.

28) Das Dielektrikum worin sich der schirmende Körper befindet, ist ohne Einfluss.

Blanke und mit Kautschuk überzogene Drähte z. B. schirmen gleich gut. Hierbei dürfte das von Hertz untersuchte Verhalten der Dielektria raschen elektrischen Oscillationen gegenüber mit in Betracht kommen: die Oscillationen rufen rasch wechselnde Polarisationen im Dielektrikum hervor, welchen der Maxwell'schen Theorie zu Folge eine elektrodynamische Wirkung zukommt, die diejenige der auf den Leitern sich abspielenden Schwingungen unterstützt.

29) Die Länge L des Metallschirmes darf im Verhältnisse zur Länge der Lichtsäule l im leuchten-

den Rohre nicht zu klein sein, wenn noch Schirmwirkungen hervorgebracht werden sollen.

Bei einem Abstand von 1 cm des Schirmes von der Röhre muss $L = \frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3} l$ sein. Je weiter der Schirm von der Röhre fortrückt, um so länger muss der Schirm sein.

30) Ebene Metallbleche schirmen, sowohl wenn ihre Ebene senkrecht steht zu der Ebene, die durch die leuchtende Röhre und die Kondensatoraxe gelegt ist, als auch wenn sie irgend einen beliebigen Winkel mit derselben bildet, ja selbst wenn sie in derselben liegt.

Ihr der leuchtenden Röhre zugewandter Teil reduziert sich dann auf eine Linie, sie verhält sich wie ein Draht.

Aus diesem Verhalten erklärt sich z. B. das Resultat von Ed. Hagenbach und Zehnder. (Wied. Ann. 43 pg. 610, 1891.)

31) Leiter schirmen auch neben sich, was man in derselben Weise wie ihre Schirmwirkung vor ihr nachweisen kann.

32) Leiter erster und zweiter Klasse üben in weiten Grenzen gleich gute Schirmwirkungen auf die hier betrachteten Oscillationen.

Ein leuchtendes Rohr von 0,55 cm äusserem und 0,4 cm innerem Durchmesser und 30 cm Länge wird vor den Kondensatorplatten parallel der Axe derselben aufgestellt und ihm von der dem Kondensator abgewandten Seite der schirmende Körper genähert. Derselbe bestand aus einer 0,95 cm weiten Glasröhre, die 1) leer, 2) mit normaler KCl-Lösung (Leitfähigkeit $\lambda = 911 \cdot 10^{-8}$) 3) mit Wasserleitungswasser, 4) cylindrischen gegossenen $PbCl_2$ -Stücken (λ viel kleiner als $0,4 \cdot 10^{-8}$), 5) Quecksilber $\lambda = 1$ gefüllt war.

In der folgenden Tabelle ist a der Abstand des leuchtenden Rohres vom Kondensator, b der Abstand des Schirmes vom leuchtenden Rohr.

Nimmt a zu, so nimmt die Stärke der Erregung ab, nimmt b zu, so nimmt die Strecke der Schirmwirkung ab (letztere hängt aber auch von $a + b$ ab, d. h. von dem Abstand des Schirmes vom Kondensator).

| a = 0,5 cm. | b |
|---|---------------|
| 1) Leeres Glasrohr | ohne Wirkung. |
| 2) KCl normal $\lambda = 911 \cdot 10^{-8}$ | 1,8 cm. |
| 3) Wasserleitungswasser | 0,2 cm. |
| 4) Quecksilber $\lambda = 1$ | 1,8 cm. |

$$a = 2,0 \text{ cm.}$$

| | b |
|--|---------------|
| 1) leeres Glasrohr | ohne Wirkung. |
| 2) KCl normal $\lambda = 911 \cdot 10^{-8}$ | 4,0 cm. |
| 3) Wasserleitungswasser | 0,3 cm. |
| 4) PbCl_2 | 1,0 cm. |
| 5) Quecksilber | 4,2 cm. |
| 6) Metallschirm (7 cm : 25 cm, die Längsrichtung lag parallel zur leuchtenden Röhre) | ca. 4,0 cm. |

Die Schirmwirkungen von Metallblechen, Quecksilber, KCl-Lösungen sind trotz der enormen Unterschiede in der Leitfähigkeit wenigstens nahezu gleich. Auch die von PbCl_2 ist nicht Null. Die Versuche mit letzterem sind aber nicht unmittelbar mit den andern vergleichbar, da die Bleichloridsäule sich aus einzelnen Stücken zusammensetzte.

33) Um die Leiter bildet sich also unter dem Einflusse einfallender Oscillationen ein **Schattenraum** aus und zwar hinter denselben, neben denselben und vor denselben. Anregbare Körper, die sich in diesem Schattenraum befinden, werden in ihm nicht angeregt, wenn nicht ihre Erregungsfähigkeit zu gross ist im Verhältnis zu der Schattenwirkung an der Stelle, an der sie sich befinden (u. s. w.).

Diese Erscheinung lässt sich ausgezeichnet als Vorlesungsversuch verwenden um die Schattenwirkungen zu zeigen.

34) Je enger die leuchtende Röhre ist, in um so grösserer Entfernung macht sich die Schirmwirkung eines angenäherten Metallschirmes geltend.

Eine 1,2 cm weite Röhre (A) und eine 0,3 cm weite (B) wurden nach einander parallel zu der Kondensatoraxe so aufgestellt, dass ihre Axen 2 cm von den Plattenrändern entfernt waren und die Entfernung bestimmt, in der ein 25 cm langer, 6 cm breiter hinter die Röhren gehaltener Zinkschirm (die Röhren lagen also zwischen Schirm und Kondensator) dieselben auslöschte. Es geschah dies in einer Entfernung von der äusseren Rohrwand bei Rohr A von 0,2 cm bei Rohr B von 1,5 cm. Die entsprechenden Entfernungen von der Rohraxe sind also bei Rohr A 0,8 cm, bei Rohr B 1,7 cm.

35) Mit abnehmender Stärke der in einem Rohr erregten Oscillationen genügt eine geringere Schirm-

wirkung ab, um das Leuchten zum Erlöschen zu bringen; ebenso mit zunehmender Schwierigkeit der Erregung, also bei zunehmendem Druck.

Um zunächst wenigstens ein Urteil über diese Verhältnisse zu gewinnen, wurde auf der einen Seite einer Entladungsröhre ohne Elektroden der Kondensator aufgestellt, so dass seine Axe derjenigen der Röhre parallel lag (neben ihm war eine anregende Röhre gelegt), auf der anderen Seite wurden Metallschirme aufgestellt. Die Röhre lag so zwischen Kondensator und Schirm. Vergrösserte man den Abstand a zwischen Röhre und Kondensator, in dem man den Kondensator fortrückte, so musste man auch den Abstand b zwischen Röhre und Schirm vergrössern; die Schirmwirkung wird also vermindert und zwar einmal in Folge des zunehmenden Abstandes von Rohr und Schirm und zweitens weil der Schirm selbst weiter von dem Kondensator entfernt ist. Bei einem so hohen Drucke, dass das Rohr eben aufleuchtet, ergab sich

$$a = 5 \quad b = 30 \text{ mm.}$$

Bei einem tieferen Drucken

$$a = 0 \quad b = 8, \quad a = 10 \quad b = 10, \quad a = 20 \quad b = 16, \quad a = 30, \quad b = 19, \quad a = 40 \quad b = 26.$$

Aus diesen und zahlreichen ähnlichen Versuchen geht hervor: Je schwächer ein Rohr angeregt wird, je weiter es sich z. B. von dem Kondensator befindet, resp. je höher der Druck ist, um so weiter kann auch der auslöschende Schirm sich befinden, eine um so geringere schirmende Wirkung genügt zur Auslöschung. Während also für Oscillationen grösserer Intensität der Schirm noch keine vollkommene Schattenwirkung ausübt, ist dies für solche von geringerer Intensität bereits der Fall.

Solche Versuche lassen die Empfindlichkeit der Anregung unter den verschiedensten Verhältnissen studieren.

36) Auch ein mit einem leuchtenden Gase erfülltes Rohr übt in seiner Umgebung eine Schirmwirkung hinter sich aus.

Der Schatten liegt um das leuchtende Rohr rings herum.

Die leuchtenden Röhren verhalten sich also in dieser Hinsicht wie Metallschirme. Hieraus aber schliessen zu wollen, dass den leuchtenden Gasen („phosphorescirender Luft“) eine Leitfähigkeit zukomme, würde ungerechtfertigt sein, da einmal wie oben

gezeigt, die Eigenschaft der Leitfähigkeit hier überhaupt rein untergeordnete Rolle spielt, und andererseits der ganze Vorgang der Schirmwirkung offenbar auf ein elektrodynamische Erscheinungen zurückzuführen ist, die freilich bei den Leitern anders verlaufen als bei den Dielektriciis.

37) Leuchtende Röhren üben auf andere leuchtende Röhren Schattenwirkungen vor sich aus. Die leichter erregbaren weiteren Röhren bringen die engeren schwerer erregbaren zum Erlöschen.

Von zahlreichen Messungen teilen wir die Folgenden mit. Untersucht wurden 3 Röhren von der Länge 30 cm und den Durchmessern 1) $d_1 = 1,2$ cm, 2) $d_2 = 0,8$ cm, 3) $d_3 = 0,3$ cm, ihre Axen lagen parallel der Axe des Endkondensators.

Stellt man Rohr 2 und 3 etwa im Abstand von 1 cm von den Plattenrändern des Endkondensators auf und näherte ihnen Rohr 1, so erlöschen sie bei einem Abstand von b cm, und zwar Rohr 3 bei $b = 1,5$ cm, Rohr 2 bei $b = 0,5$ cm.

Dabei zieht sich wie beim Annähern von Metallschirmen die Lichtsäule in dem erlöschenden Rohr von aussen nach der Mitte zusammen. Das Licht erlischt zuletzt plötzlich; unmittelbar vor dem Erlöschen ist die Helligkeit noch ziemlich gross.

38) Eine erste leuchtende Röhre A kann eine zweite B zum Leuchten bringen, kann dann aber durch B ausgelöscht werden. In grösserer Entfernung erregt A die Röhre B, in kleinerer löscht A die Röhre B aus.

Um diese Verhältnisse genauer zu verfolgen, wurde folgende Versuchsanordnung getroffen.

Ein engeres 3 cm weites Glasrohr ist in ein weiteres 5,5 cm weites Glasrohr gesteckt, beide sind mit ihren Rändern so mit einander verblasen, dass ein doppelwandiger cylindrischer Mantelraum entsteht. Derselbe kommuniziert durch ein senkrecht zur Cylinderaxe angeschmolzenes Glasrohr mit der Pumpe. Die Länge des Mantels ist 11 cm. In den von dem Doppelmantel G umgebenen innersten mit Zimmerluft erfüllten Hohlraum H wurden engere, evacuierete Röhren A und B gelegt von 1,2 cm Durchmesser und 10 resp. 30 cm Länge, oder auch Metalleylinder. Das Rohr G wird vor den Kondensatorplatten aufgestellt, an dem Kondensator ist eventuell noch eine anregende Röhre angelegt mit seiner Axe parallel der Kondensatoraxe.

Bei einem Drucke $p = 1$ mm bildet sich in dem Mantelraum zunächst den Kondensatorplatten ein helles rotes Lichtband aus, welches fast bis in die von dem Kondensator abgelegene Hälfte desselben reicht.

Legt man, während der Raum G leuchtet, A und B in den Raum II, so leuchten sie nicht. Das leuchtende Gas schirmt also A und B. Leitet man den Kondensator mit den Fingern ab und bringt dadurch G zum Erlöschen, so leuchtet nach Aufheben der Ableitung zunächst A resp. B auf und zwar stets hell, dann G, und in demselben Moment erlischt A bezw. B vollständig.

Das nicht leuchtende Gas in G schirmt also A und B nicht, wohl aber das leuchtende.

Verschiebt man die Brücke von der einen oder anderen Seite nach der Stelle S, wo die Erregung von Entladungsröhren am Endkondensator am stärksten ist, also nach dem Knoten, so spricht stets zuerst A bezw. B an, dann setzt aber fast momentan das Leuchten in G ein, wodurch A bezw. B sofort wieder ausgelöscht werden.

Ist $p = 0,33$ mm, so leuchten die Röhren A und G abwechselnd auf; leuchtet die eine auf, so ist die andere dunkel.

Leitet man den Kondensator mit der Hand ab und nimmt sie wieder fort, so leuchtet A länger als bei den höhern Druck, ehe das Leuchten von G und das Erlöschen von A eintritt. Nähert man die Brücke der Stelle S, so leuchtet zunächst nur die innere Röhre A auf, bei weiterer Annäherung auch das äussere Rohr G, dann erlischt A.

Bei tieferen Drucken beginnen dunkle Schattenräume um die Kondensatorplatten (vergl. w. u.46) sich auszubilden, bei einem Druck $p = 0,01$ reichen sie bis in die vom Kondensator abgewandte Hälfte des Mantelraumes.

Ist A bezw. B nicht eingeschoben, so ist G ganz dunkel, beim Einschieben von B leuchtet G an dem von dem Kondensator abgewandten Stellen, B leuchtet stets. Zwischen B und dem Kondensator liegen jetzt keine leuchtenden Gasteile, und da B mit Gas von höheren Druck erfüllt ist, so erstrecken sich die Schattenräume nicht so weit in dieses hinein.

39) Aus diesen Versuchen lässt sich der Satz ableiten: Die verdünnten Gase an sich schirmen nicht,

sondern erst wenn sie durch die Oscillationen zum Leuchten gebracht sind.

Aus diesen Beobachtungen dürften sich u. A. auch die Resultate von J. Moser C. R. 110 p. 397. 1890 erklären.

40) Beim Eintritt des Leuchtens durch elektrische Oscillationen tritt in dem Feld um den Kondensator eine Aenderung der Energieverteilung ein.

Würde die Verteilung der Oscillationen im Raum, etwa um einen Kondensator, unabhängig sein von der Gegenwart leuchtender Gase, so dürfte die Intensität des Leuchtens eines Rohres nicht geändert werden, wenn an irgend einer Stelle ein anderes Gas zum Leuchten gebracht wird (abgesehen von Schirmwirkungen); das ist aber nicht der Fall.

Neben dem Endkondensator wurde das unten erwähnte Rohr R mit inneren Belegen mit seiner Axe parallel der Axe des Kondensators und zwischen die Platten desselben in ziemlicher Entfernung von ersterem Rohr die Kugel K (No. 41) gebracht. Beim Verschieben der Brücke leuchtete stets zunächst R hell auf, gleich darnach aber K und zugleich erblasste R wesentlich. Es ist, als ob zunächst der grösste Teil der im Kondensator sich anhäufenden Energie sich durch R ausglich, dann aber ein Teil derselben durch K, wodurch der auf R kommende Teil wesentlich herabgesetzt wird.

Für alle theoretischen Berechnungen ist gerade dieses Resultat von ausnehmend hoher Bedeutung!

D. Erscheinungen in Entladungsröhren unter dem Einfluss von Oscillationen.

1) Erscheinungen in evakuirten Räumen zwischen den Condensatorplatten.

41) In Entladungsräumen, die zwischen den Platten eines Kondensators sich befinden, entsteht die Glimmlichtstrahlenschicht, der dunkle Trennungsraum und das sog. positive Licht. Diese Erscheinungen sind also nicht an die Gegenwart von Metallen gebunden.

Die äussere Begrenzung der Lichterscheinung berührt nicht die Wand des Gefässes, sie umhüllt ferner selbst in vielen Fällen einen dunklen Raum.

Bringen wir in den Raum zwischen den beiden Platten des Kondensators mit Drathnetzplatten ein irgend wie gestaltetes Gefäss mit verdünnten Gasen, so tritt unter dem Einfluss von elektrischen Oscillationen unter gewissen äusseren Bedingungen eine typische Erscheinung auf, deren Grundzüge auch bei verschieden geformten Gefässen die gleichen bleiben, die sich aber nach verschiedenen Richtungen, wenn die äusseren Bedingungen sich verändern, verschieden gestaltet. Wir haben zunächst vor allem die Fälle untersucht, in denen das Gefäss war: eine Kugel, (8 cm Durchmesser), verschieden lange Cylinder mit ebenen Endflächen, (4 cm weit und 5 bzw. 10 cm lang), die mit ihrer Axe parallel den Kondensatorplatten, standen und ein parallel-epipedisches Gefäss aus ebenen Glasplatten (Kantenlänge 4,4 : 4,4 : 7 cm).

Die Bedingungen, unter denen die Erscheinung am deutlichsten hervortritt, sind die folgenden: 1) Ein bestimmter Druck, bei Luft z. B. ca. 1 mm, 2) die Kondensatorplatten dürfen das Gefäss nicht vollkommen berühren, sondern müssen ein wenig von den Wandungen desselben abstehen, 3) Es müssen die ca. 13 m langen Dräthe entsprechend dem System I mit einer Brücke überbrückt sein.

Die Erscheinung ist symmetrisch zu der Mittelebene des Kondensators. Zunächst den Kondensatorplatten liegt eine Glimmlichtschicht. Bei der Kugel ist die Begrenzung derselben eine Kalotte, die indess die Glasoberfläche nicht vollkommen berührt: an das Glimmlicht schliesst sich ein dunkler Raum, der indess nach der Glimmlichtschicht hin; nicht scharf begränzt ist: er trennt die Letztere von dem sogenannten positiven Licht, das bei Luft rötlich gefärbt ist; dasselbe ist nach den beiden Kondensatorplatten hin durch eine den Platten parallele Ebene scharf von dem eben erwähnten dunklen Raum getrennt. Gehen wir also in der Richtung von der einen Kondensatorplatte zur anderen, so kommen wir der Reihe nach von dem Glas durch eine dunkle Schicht, die Glimmlichtschicht, den einen dunklen Raum ν_1 , das rötliche Licht, den zweiten dunkeln Raum ν_2 , die zweite Glimmlichtschicht, eine zweite dunkle Schicht. Die dunkeln Räume ν_1 und ν_2 würden bei der gewöhnlichen Form der Entladung den dunklen Trennräumen entsprechen.

Befindet sich in dem Gefäss statt Luft Leuchtgas, Wasser-

stoff oder Kohlensäure, so bleibt der Typus der Erscheinung der gleiche; nur die Farbennüancen sind andere.

Bei dem Cylinder und dem Parallelepipid gehen die Glimmlichtstrahlen, zunächst vorausgesetzt, dass die Endflächen aus einem Dielektrikum bestehen, nur von den Rändern der Endflächen aus. Bei dem Parallelepipid entsteht so ein bläuliches Viereck an jeder Grenzfläche, bei dem Cylinder ein bläulicher Kreisring, die beide in der Mitte dunkel sind. Das rötliche Licht, das von den Glimmlichtschichten durch dunkle Räume getrennt ist, bildet dann hohle Parallelepipede resp. hohle Cylinder, die an beiden Enden offen sind.

Bei allmählichem Entfernen der Kondensatorplatten voneinander wird die Glimmlichtschicht dünner und verschwindet zuletzt ganz; zugleich dehnt sich die rötliche Lichtsäule weiter aus und erfüllt zuletzt fast den ganzen Raum, indess steht sie von den Endflächen, wie von den Seitenflächen bei Cylinder und Parallelepipid und von der ganzen Oberfläche bei der Kugel ab, sie schwebt in letzterer wie ein rothglühender Ball. Bei den ersten beiden Gefässen ist indess stets der axiale Hohlraum in der Mitte zu erkennen. Ebenso verschwinden die typischen Erscheinungen, wenn man die Brücke verschiebt, so dass nicht mehr eine so vollkommene Konsonanz zwischen den Schwingungen der verschiedenen Teile des Drahtsystems besteht, ferner, wenn man die beiden Dräthe an andern Knoten überbrückt.

Nähert man die Kondensatoren bis zur Berührung, so werden die Glimmlichtstrahlen immer heller, und Kathodenstrahlen treten auf. (Hierüber wird in der vollständigen Mitteilung noch genauer zu handeln sein).

Mit abnehmendem Druck löst sich die Glimmlichtschicht immer mehr von der Wand los, sie verbreitert sich, rückt nach dem Inneren vor und das positive Licht verschwindet mehr und mehr.

Besonders typisch ist der Gang dieser Erscheinungen bei der Kugel, den wir ganz kurz skizzieren wollen, und zwar für Leuchtgas, wo sie der Farbe wegen leichter erkennbar sind. Bei relativ hohem Druck haben wir die beiden, hier bläulich weissen Kalotten, das Innere der Kugel ist von weisslich grünem Licht erfüllt, das von den Kalotten durch dunkle Räume getrennt ist, die äussere hellere Begrenzung der Kalotten geht in die äussere Umhüllung des mittleren weisslich-grünen Lichtes über. Mit abnehmendem Druck

rücken die Kalotten von den Kondensatoren fort, sie greifen mit ihren äusseren Flächen weiter nach der Medianebene über, die dunkeln Räume werden grösser, sie verlängern sich an ihren peripherischen Teilen nach der Medianebene und verdrängen dadurch das grünlich-weissliche Licht, bis dies zuletzt vollkommen verschwunden ist.

So entsteht ein leuchtender Hohlkörper (Hohlkugel), der einen inneren dunklen Raum umgibt und dessen äussere Begrenzung bis zu etwa 1 cm von der Wand der Kugel absteht.

Die Gestalt des Hohlkörpers ist bei diesen Drucken ein abgeplattetes Rotationsellipsoid, während diejenige der ganzen Lichtmasse bei höheren Drucken ein verlängertes Rotationsellipsoid ist.

Mit noch weiter abnehmendem Druck wird die Wandstärke des Hohlkörpers immer grösser und sein Durchmesser immer kleiner.

Eine Zunahme der Wandstärke des Hohlcyinders in cylindrischen Röhren etc. wurde auch beobachtet.

Ein Analogon zu dem von Licht freien äusseren Raum bei der Kugel finden wir übrigens auch bei den gewöhnlichen Entladungsröhren, nie liegt der rote sog. positive Lichtcylinder an der Rohrwand ganz an, sondern ist stets von derselben durch mehr oder weniger grosse Zwischenräume getrennt, die einzelnen Schichten scheinen in der Röhre zu schweben. Der Zwischenraum wird mit abnehmendem Druck immer grösser.

42) In cylindrischen Röhren, deren Endflächen entweder aus Dielektris oder aus Metallen bestehen, sind die Erscheinungen im Wesentlichen gleich, sie sind also nicht dadurch bedingt, dass die im Gase verlaufenden Oscillationen beim Austritt aus demselben oder Eintritt in dasselbe auf Leiter oder Nichtleiter treffen. Auch bei dem Metall zieht sich, falls die Kondensatorplatten es nicht berühren, das Glimmlicht auf einen Kreisring zusammen, der indess breiter zu sein scheint, als beim Glase. Siegellack und Glas, also mehr oder weniger vollkommene Nichtleiter, verhalten sich ganz gleich.

Die oben besprochene Erscheinung, dass die Entladung nicht einen massiven Lichtcylinder etc. darstellt, sondern als ein Hohlgebilde auftritt, lässt sich vielleicht damit parallelisieren, dass sich in Leitern die oscillatorischen Entladungen nach der Oberfläche

drängen. Die Thatsache, dass das Lichtgebilde von den Rohrwandungen zurückweicht, könnte auf einer Schirmwirkung der zentralen Teile des erregten Gases auf die peripherisch gelegenen beruhen.

Jedenfalls lehren diese Versuche, dass man nicht ohne weiteres die Erscheinungen in verschiedenen Querschnitten eines cylindrischen Rohres lediglich als Funktion des Abstandes dieses Querschnittes von den Endflächen des Cylinders darstellen kann. Die Cylinderwände haben wesentlichen Einfluss, sobald die Feldvectoren periodische Funktionen der Zeit von grosser Periodenzahl sind.

43) Bringt man zwischen die ziemlich weit abstehenden Platten eines Kondensators eine Glaskugel, die durch ein Ansatzrohr mit der Pumpe kommuniziert, so dass das Ansatzrohr parallel zu den Kondensatorplatten liegt, so treten keine Oscillationen in das Ansatzrohr, wenn dasselbe in der Medianebene liegt. Verschiebt man den Kondensator, so dass die Kugel nicht mehr symmetrisch steht, so geht in das Ansatzrohr ein Lichtbündel und zwar scheinbar von der Platte aus, welche dem Rohr näher ist; dasselbe erfüllt auch das Rohr nur auf der Seite, welche dieser Platte zugewandt ist, dieses Lichtbündel reicht sehr weit in die Ansatzröhre.

Dreht man den Kondensator so, dass die Ansatzröhre gegen seine Axe geneigt ist, so komplizieren sich die Verhältnisse. Bei tiefen Drucken, wo die Lichtkugel im Inneren weit von den Wänden absteht, tritt die Entladung nicht in das Ansatzrohr.

Ganz dieselben Phänomene treten bei cylindrischen Röhren und bei parallelepipedischen Trögen auf, welche mit Ansatzröhren versehen sind.

44) Ein Stanniolcylinder, der aussen um die Kugel gelegt ist und dessen Axe parallel der Axe des Kondensators steht, übt keinen wesentlichen Einfluss auf die Erscheinungen aus.

Die Kugel leuchtet nach wie vor, nur zieht sich die Lichtkugel etwas von den Wänden zurück, verwandelt sich also aus einer Kugel in eine Art Lichtcylinder. Dies zeigt, dass die Oscillationen nicht aus der Luft zwischen den Kondensatoren, sondern von den Kondensatorplatten zu dem Gase in der Kugel ge-

langen, dass also die Metalloberflächen der Kondensatoren das Führende, die Form der Erscheinungen bestimmende sind.

45) Stäbe, im Innern eines gasverdünnten Raumes, durch den Licht erregende Oscillationen hindurchgehen, rufen Schatten hervor.

a) Wurde ein Glas- oder Metallstab so in die Kugel eingeführt, dass er in der Medianebene lag und senkrecht zu der Axe des Kondensators stand, so lagen auf seinen beiden Seiten in der durch ihn und die Kondensatoraxe gelegten Ebene dunkle Räume, „Schatten“, die sich etwa 1 cm weit in das leuchtende Gas erstrecken. Wurde die Kugel unsymmetrisch zu den beiden Kondensatoren gestellt, so war derjenige Schatten der längere, der auf der der zunächst stehenden Kondensatorplatte abgewandten Seite lag.

b) Liegt ein Metallstab in der Kugel parallel zu der Axe des Kondensators, so tritt bei relativ sehr hohen Drucken an den beiden Enden a und b des Metallstabes blaues Glimmlicht auf, das sich über die Wand der Glaskugel verbreitet und dort den Lichtenberg'schen Figuren ganz ähnliche Gestalten zeigt. Mit abnehmendem Drucke verbreitert sich das Glimmlicht nach der zunächst lichtlosen Mitte des Stabes hin, bis bei einem gewissen Druck und einem gewissen Abstand der Enden des Glimmlichtes (1—2 cm) von einander die Enden des letzteren durch eine rote Lichtbrücke d verbunden werden. Das rote Licht ist von dem Stab durch einen dunklen Raum c getrennt. Um das rote Licht lagert sich ein zweiter dunkler Raum e, auf den dann nach der Wand hin ein äquatorialer leuchtender Hohlzylinder f folgt; an den Enden des Stabes liegen von demselben durch dunkle Räume getrennte bläuliche Kalotten. Das ganze Phänomen erinnert in seinen Grundformen an das bei einer Kugel ohne Draht.

Bei weiter abnehmendem Druck vergrößert sich der dunkle Raum c, d rückt gegen f vor und bringt so den Raum e zum Verschwinden. Um den Stab liegt ein dunkler Cylinder, der bei noch weiter abnehmendem Drucke vollkommen verschwindet, alsdann ist die Erscheinung ganz dieselbe wie bei einer Kugel ohne Draht.

Zu beachten ist, dass wenn die leuchtende Hohlkugel sich von den Wänden zurückgezogen hat, die in den Räumen zwischen Wand und leuchtender Hohlkugel befindlichen Drahtstücke ganz dunkel sind.

2) *Erscheinungen in evakuirten Röhren, die neben den Kondensatorplatten gelegt sind, so dass ihre Axe parallel der Kondensatoraxe ist.*

46) a) Die Lichterscheinungen in einem Entladungsröhr, welches quer neben die Platten eines Kondensators gestellt wird, so dass also seine Axe parallel der Kondensatoraxe liegt, sind, wenn keine Brücke über die Zuleitungsdräthe gelegt wird, unsymmetrisch.

b) Wird eine Brücke über die Zuleitungsdräthe gelegt, so wird das Bild symmetrisch.

Bei niederen Drucken weicht die Entladung von den Kondensatorplatten zurück. Es bildet sich um die Platten ein beschatteter Raum.

Den typischen Verlauf der Lichterscheinung gibt z. B. etwa ein 3,5 cm weites und 40 cm langes Röhr.

Bei einem Druck $p = 2$ mm setzen sich ohne Brücke, an den Punkten a und b des Rohres, welche den Kondensatorplatten gegenüber gelegen sind, senkrecht zu der Rohrwand, zwei blaue Bündel, wir wollen sie Glimmlichtstrahlen nennen, an. Von a geht die rote Lichtsäule zunächst bis an die Wand, etwa in die Mitte zwischen den beiden Kondensatorplatten hin, breitet sich dann aus, um mit dem von b ausgehenden Glimmlichtstrahlen ihre Vereinigung zu suchen, die Erscheinung ist also unsymmetrisch. Auf beiden Seiten bei a und b ist das rothe Licht durch den dunklen Trennungsraum von den Glimmlichtstrahlen getrennt. In den von a und b nach aussen gelegenen Theilen ist sog. positives rotes Licht zu sehen.

Entfernt man die Kondensatorplatten von dem Röhr, so verschwindet bei diesem, sowie bei allen folgenden Versuchen das blaue Glimmlicht.

Legt man eine Brücke über, so wird die Erscheinung vollkommen symmetrisch. Bei a und b setzen sich die Glimmlichtbündel an, von denen das rote Licht durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist.

Die Erscheinung ist aber nicht etwa in der Weise symmetrisch, dass sich die beiden Erscheinungen über einander lagern, die den zwei Fällen entsprechen, wo abwechselnd die eine oder die andere Kondensatorplatte die positive ist, sondern nach den Aussehen der Lichterscheinung zu schliessen, müssten dauernd beide

Kondensatorplatten negativ sein. Dies lässt sich daraus erklären, dass die durch eine erste Oscillation an der negativen Elektrode hervorgerufenen Vorgänge, die zum Auftreten von Glimmlicht, von Kathodenstrahlen etc. Veranlassung geben, noch nicht merklich abgeklungen sind, wenn eine zweite Oscillation, deren Richtung der der ersten entgegengesetzt ist, an derselben Stelle ankommt, in unserem speziellen Falle also nach 10⁻ Sekunde. Ist die zweite Oscillation von derselben oder nahezu von derselben Intensität wie die erste, wie es bei den Resonanzschwingungen der Fall ist, so muss die Erscheinung symmetrisch werden, ist die zweite Oscillation viel schwächer als die erste, wie dies bei den primären Schwingungen der Fall ist, so muss die Erscheinung unsymmetrisch sein.

Weitere Versuche mit immer langsameren Oscillationen, sollen die Abklingungszeit genauer feststellen. (Dass die das Glimmlicht etc. hervorrufenden Ursachen relativ lange Zeit anhalten, folgt auch schon aus älteren Versuchen z. B. von Warren de la Rue, Warburg u. a.).

Mit abnehmendem Drucke bis zu $p = 0.029$ mm ist nach einer in der vollständigen Abhandlung zu erörternden Reihe von Uebergängen an den Kondensatorplatten kein Glimmlicht mehr deutlich zu sehen, gegenüber tritt deutliches grünes Licht auf. Die ursprünglich rote, jetzt weissliche Lichtsäule ist gegenüber den Kondensatorplatten zur Seite gedrängt, es ist um diese herum ein dunkler Raum entstanden.

Evakuiert man noch mehr, so weicht die weissliche Lichtsäule auch an den Stellen zwischen den Kondensatorplatten zurück, bis endlich die Entladung durch die Dunkelräume ganz abgeschnürt wird und vollkommen erlischt.

Die dunklen Räume (Schattenräume) um die Kondensatorplatten erstrecken sich um so mehr in das Gas hinein, je verdünnter es ist.

Ausnehmend elegant gestalten sich die eben beschriebenen Erscheinungen, wenn man in den inneren Cylinder des unter 38 beschriebenen doppelwandigen Rohres die Platten (3,5 cm Radius) eines kleinen Plattenkondensators mit seiner Axe parallel der Röhrenaxe einschiebt; dann entsteht in dem Mantelrohr eine nach allen Seiten gleichmässige Erscheinung. Zunächst befinden sich den Plattenrändern gegenüber zwei blaue Ringe aus

Glimmlicht, zwischen ihnen ein rother, breiter, heller Cylinder und ausserhalb des Glimmlichtes ein allmählig nach aussen schwächer werdender rother Cylinder; beide Cylinder sind von den blauen Ringen durch dunkle Trennräume getrennt.

Leitet man bei höherem Druck diejenigen zwei Stellen a_1 und b_1 des Rohres ab, die auf den den Kondensatorplatten gegenüber liegenden Stellen gelegen sind, so treten auch an diesen Glimmlichtstrahlenbündel α_1 und β_1 auf, die den ursprünglichen von a und b ausgehenden α und β sich zukehren. Zu α_1 und β_1 strebt ebenfalls rötliches Licht hin; verschiebt man die Ableitung, so ändert sich die Neigung beider Glimmlichtstrahlenbündel, indem stets α und α_1 und β und β_1 einander sich zuwenden. (Eine genaue Beschreibung ist nur mit Zuhülfenahme zahlreicher Figuren möglich).

Die ganze Erscheinung dürfte sich darauf zurückführen lassen, dass wir bei Ableitung zweier Stellen, gleichsam zwei Kondensatoren, statt eines einzigen haben.

47) Das Studium der Erscheinung bei starker Evakuation lässt sich genauer verfolgen, wenn man weitere Röhren zur Untersuchung verwendet.

In einem Rohr von 12 cm Länge und 7 cm Weite, dessen Axe parallel der Axe des Kondensators stand und das quer neben den Kondensator gestellt war, war bei einem Druck von $p = 0.06$ mm das rötliche Licht bis in die Hälfte des Entladungsrohres zurückgedrängt, welche der Kondensatorplatte abgewandt ist. Gegen die Kondensatorplatte hin wird es im allgemeinen durch eine Ebene ziemlich scharf begrenzt, an den Stellen, welche den Zwischenraum zwischen den Kondensatorplatten entsprechen, drang in das Licht ein bogenförmiger dunkler Einschnitt vor. Zu beiden Seiten desselben gingen relativ lichtschwache, nach aussen gekrümmte, rötliche Bänder nach den Kondensatorplatten. Sie entsprechen zu diesen hin und von ihnen fort gehenden Oscillationen. Glimmlichtstrahlen etc. waren hiebei nicht zu sehen.

Die Erscheinung ändert ihren Charakter nicht bei Annähern des Kondensators an die Röhre oder Entfernen von derselbe, bei Aenderung des Potentials durch Aenderung der Länge der primären Funkenstrecke, Aenderung der Kapazität des Kondensators u. s. f. (Die Einzelheiten werden in der vollständigen Abhandlung gegeben).

Die den zurückgedrängten Cylinder positiven Lichtes mit

den Kondensatorplatten verbindenden Lichtbögen treten auch in engeren Röhren auf, sind dort aber nur unter besonders günstigen Versuchsbedingungen zu beobachten.

48) Am Ende eines Rohres setzt sich dem Eindringen der Oscillationen ein Widerstand entgegen.

Am Ende eines Rohres bilden sich Schichten aus.

Das Ende eines von Oscillationen erfüllten Rohres, dessen Axe parallel der Kondensatoraxe liegt und das quer vor dem Kondensator steht, ist dunkel, es setzt sich dort dem Eindringen der Oscillationen ein Widerstand entgegen, es schirmt sich gewissermassen selbst.

Zwischen derer einem Ende eines Rohres genäherten Kondensatorplatte und dem Ende bilden sich Schichten aus. Das Ende steht ausserhalb der beiden durch die Kondensatorplatten gelegten Ebenen.

Zu den folgenden Versuchen diente ein 40 cm langes, 0,4 cm weites Rohr mit einer Wandstärke von 0,17 cm, das an dem einen Ende zugeschmolzen, an dem andern mit der Pumpe verbunden war. Der Abstand der beiden Kondensatorplatten A und B war ca. 10 cm. Es war nur eine Brücke übergelegt.

Die typischen Erscheinungen werden am deutlichsten, wenn man den Abstand der dem Ende des Rohres zunächst gelegenen Kondensatorplatte B von dem Ende = 4,5 cm macht. Der Rand der Platten stand von der Rohrwand um 6 mm ab. Auf der Seite von A reicht das rothe Licht bis auf etwa 20 cm in das Rohr hinein. Gegenüber von A liegt ein bläulicher Fleck a, zwischen ihm und einem analogen Fleck b gegenüber B ist rothes Licht. Von dem Ende des Rohres an ist dieses bis auf etwa 0,7 cm dunkel.

Zwischen dem Rohrende und a liegen abwechselnd bläuliche und röthliche Lichtstreifen und zwar schliesst sich an a ein röthlicher α , dann ein bläulicher, dann ein röthlicher β , dann ein bläulicher. Man kann dieselben als Schichten auffassen, der Abstand der Mitten von α und β ist ca. 1 cm.

Denkt man sich die Schichten entstanden durch stehende Wellen, hervorgerufen durch Reflexion von Oscillationen, die von den Kondensatorplatten ausgehen, und die an dem Rohrende reflectiert werden, so wäre der Abstand zwischen α und β gleich einer halben Wellenlänge λ , also

$$\frac{\lambda}{2} = 1 \text{ cm}, \lambda = 2 \text{ cm.}$$

Die Grundschiwingung unseres Drahtes entspricht einem $\lambda_1 = 24 \text{ m}$, wir hätten also etwa die 1200te Oberschiwingung vor uns.

Schiebt man die Platte B weiter nach dem Ende zu, so rückt der violette Raum f nach einander über die röthlichen Schichten fort, die aber bis sie von demselben überschritten sind, unverändert ihre Lage beibehalten.

Steht die Platte B gegenüber dem Ende, so wird das Lichtbündel von ihr fort an die Wand gedrängt und erzeugt dort grünes Licht.

Verschiebt man den Kondensator noch weiter, so dass also das Ende der Röhre zwischen die beiden Kondensatorplatten zu liegen kommt, so bleibt die Erscheinung am Ende des Rohres dieselbe, wird nur lichtschwächer und verschwindet erst vollkommen, wenn auch die Platte A über das Ende des Rohres tritt.

Bei dem allmählichen Verschieben des Kondensators verkürzt sich auch die Lichtsäule jenseits von A und zwar tritt ein solches Verkürzen fast plötzlich ein, wenn B sich ganz nahe an dem Ende befindet; sie schneidet dann nach einer kleinen weiteren Verschiebung mit A ab, und zwar so lange als überhaupt noch Licht zu sehen ist.

Die Erscheinungen sind dieselben bei verschiedenen Längen der primären Funkenstrecke, verschiedenen Abständen der Platten des Endkondensators etc., vor allem bleibt der Schichtenabstand der gleiche.

Mit zunehmendem Abstand der Röhre von den Kondensatorplatten verschimmt das ganze Bild.

Der dunkle Raum, der sich am Ende eines Rohres ausbildet, tritt auch schon auf, wenn man ein Rohr nur stark verengt, etwa ein Capillarrohr an ein weiteres Rohr setzt und es neben den Kondensator legt; es bildet sich dort eine Art von Uebergangswiderständen. Hiermit hängen die sekundären Kathoden zusammen, die an den verengten Stellen auftreten.

48) Gehen die Oscillationen aus einer weiten in eine enge Röhre, so verwandelt sich die Farbe aus roth in blau, wie bei der gewöhnlichen Entladung. Es lässt sich dies z. Bsp. bei gewöhnlichen Geisslerschen Röhren

beobachten, die man mit ihrer Axe parallel der Kondensatoraxe neben den Kondensator legt. Die enge Röhre ohne weite Ansatzstücke spricht überhaupt nicht an.

49) Enge Capillaren setzen dem Durchdringen der Lichtsäule einen grossen Widerstand entgegen.

Neben die 13 cm weit von einander entfernten Platten des Endkondensators (eine Brücke wurde übergelegt) wurde eine an einer isolierenden Klammer befestigte Geisslersche Röhre mit 7 cm langen, 1,5 cm weiten Elektrodenräumen und capillarem Verbindungsstück von 6 cm Länge und 0,1 cm Durchmesser gebracht. Lag das capillare Verbindungsstück einem Plattenrande gegenüber, so schnitt die Lichtsäule scharf an dieser Stelle ab und erstreckte sich nicht weiter nach dem aussen liegenden Teile der Röhre hinüber, selbst wenn die Röhre die Platte berührte. Erst wenn die Berührungsstelle bis auf etwa 2 cm einem Ende der Capillaren sich näherte, schoss die Lichtsäule mit einem Male durch die ganze Röhre und erfüllte dann auch stets den ganzen weiteren Raum um die Elektroden, der ausserhalb der Kondensatoren lag.

50) Entladungen des primären Kondensators durch elektrodenlose Röhren sind unsymmetrisch.

Verwendet man zur Erregung der elektrodenlosen Röhren nicht die langsam abklingenden Schwingungen eines resonierenden Drahtkreises, sondern die schnell gedämpften Oscillationen des primären Kondensators selbst, bei denen vorzüglich die erste immer in derselben Richtung erfolgende Entladung zur Wirkung kommt, so macht sich der Unterschied zwischen positivem und negativem Pol dadurch in hohem Grade bemerklich, dass in einem parallel zum primären Kondensator gehaltenen elektrodenlosen weit ausgepumpten Rohre die Lichtsäule bei der positiven Platte an die derselben zunächst liegende Wand gedrückt wird, bei der negativen an die abliegende. Ausserdem zeigen sich starke statische Ladungen, durch welche die ganze Röhre gegen die Platte hin gezogen wird (Versuche von Hagenbach und Zehnder).

Legt man die Röhre vor die beiden Platten u und u' des primären Kondensators so, dass ihr eines Ende parallel der positiven, ihr anderes parallel der negativen Platte liegt, so erhält man eine knieförmige Lichtfigur, an der positiven Platte befindet sich entsprechend dem eben Angegebenen die Lichtsäule an der

der Platte zugewandten Seite, an der negativen Platte an der von derselben abgewandten, eine das Rohr schräg durchsetzender Lichtband verbindet beide Teile.

Besonders schön zeigt sich die hierher gehörige Erscheinung, wenn man einen Draht einmal an der positiven, dann an der negativen Platte befestigt, diesen in einigen Windungen um die Röhre legt und dann blind enden lässt. Bei Verbindung mit der + Platte folgt die spiralgewundene Lichtsäule dem Drahte, bei Verbindung mit der — Platte legt sie sich in die Zwischenräume zwischen den Drahtwindungen.

51) Kugeln mit äusseren Belegen zeigen im wesentlichen dasselbe Verhalten, wie solche mit inneren Elektroden.

An eine Kugel von 8 cm Durchmesser wurden aussen einander gegenüber zwei Stanniolringe von 3,8 cm Durchmesser geklebt, und die Kugel zwischen die Platten des Endkondensators so gestellt, dass die Axe des Kondensators parallel der Verbindungslinie der Mitten der Stanniolringe lag. Waren die Kondensatoren nicht mit dem Stanniol in Berührung, so war die Erscheinung im wesentlichen die früher beschriebene, die Glimmlichtstrahlen gingen an den den Kondensatoren zunächst gelegenen Stellen aus. Berührte man aber die Stanniolringe mit den Platten des Kondensators, so verbreitete sich das Glimmlicht über die ganzen Ringe, und zwischen ihnen lag ein Hohlzylinder, der besonders hell an der Berührungsstelle mit dem Kondensator und an der gegenüberliegenden Seite war.

Ersetzte man die Ringe durch Stanniolkalotten, so trat bei höheren Drucken das Glimmlicht nur am Rande auf, mit abnehmenden Drucke verbreitete es sich immer weiter nach Innen (vgl. unsere erste Mitteilung).

Unter diesen Versuchsbedingungen ist auch der Einfluss der Ableitung der Wand sehr schön zu beobachten (vgl. unsere erste Mitteilung).

52) In einem evacuierten Gase, das einen der Zuführungsdrähte umgibt, sind die den Knoten und Bäuchen entsprechenden Stellen deutlich zu erkennen.

An ein 4 cm weites und 130 cm langes Rohr wurden engere Ansätze angeschmolzen, in diese ein weites Rohr gekittet und durch dieses einer der langen Drähte zwischen primärem und

Endkondensator geführt. Das weite Rohr wurde evacuirt. Befand sich dasselbe über einem Knoten, so leuchtete das Gas an den diesen entsprechenden Stellen nicht, dagegen nur an den benachbarten Stellen.

53) Falls ein Gas die Erscheinungen zeigt, die man gewöhnlich als positive Lichtsäule bezeichnet, ist anzunehmen, dass es durch elektrische Oscillationen zum Leuchten gebracht ist, und dass diese Erregung eine durch keine äusseren Umstände gestörte ist. Treten Modificationen auf, so geht das positive Licht z. B. in das Glimmlicht über, eventuell kann es sich auch scheinbar in Kathodenstrahlen verwandeln, indess haben wir hier eine Transformation in Oscillationen ganz anderer Art vor uns wol. Solche den Charakter der Oscillationen modifizierenden Umstände sind besonders zu beobachten an der Austritts- resp. Eintrittsstelle der Oscillationen in das Gas, bei Gegenwart von inneren und äusseren Elektroden, einerlei ob dieselben den Entladungsraum berühren oder nicht, Verengung oder Röhren etc. — Aus dieser Auffassung folgt ohne weiteres, dass man die Umwandlung des positiven Lichtes in Glimmlicht allmählich vornehmen kann.

54) Bezüglich der Kathodenstrahlen sind wir zu einer später noch näher zu begründenden Ansicht gelangt, nach welcher dieselben mit dem magnetischen Vektor der elektrischen Oscillationen, der ja immer gleichzeitig mit dem elektrischen auftritt, in engstem Zusammenhange steht.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1892-1894

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Wiedemann Eilhard, Ebert Hermann

Artikel/Article: [Ueber elektrische Entladungen. 2. Abhandlung. 241-275](#)