

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Gesammelte Werke

Schriften vermischten Inhalts

Hertz, Heinrich

Vaduz/Liechtenstein, 1987

13. Versuche über die Glimmentladung

[urn:nbn:de:bsz:31-269592](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269592)

13. Versuche über die Glimmentladung.

Aus WIEDEMANN'S Annalen der Physik und Chemie. Bd. 19, S. 782—816, 1883.

Zu Versuchen über die Glimmentladung in verdünnten Gasen haben bisher als Elektrizitätsquellen gedient die Influenzmaschine, das Induktorium und Battereien von großer Elementenzahl. Der Influenzmaschine gaben den Vorzug die Herren G. WIEDEMANN und RÜHLMANN, E. WIEDEMANN und SPOTTISWOODE bei vielen Untersuchungen, des Induktoriums bedienten sich hauptsächlich die Herren PLÜCKER, HITTORF bei seinen früheren Versuchen, GOLDSTEIN und CROOKES. Mit großen Battereien wurden ausgeführt neben älteren Versuchen von GASSIOT die neueren von HITTORF mit seiner Chromsäurekette, vor allem berühmt sind die Chlorsilberbatterie der Hrn. WARREN DE LA RUE und MÜLLER und die mit dieser ausgeführten Arbeiten. Es schien mir, als ob gewisse Versuche, welche für die Erkenntnis des Wesens der Glimmentladung von Wichtigkeit sind,¹⁾ sich nicht anders als unter Benutzung einer Batterie würden entscheiden lassen; so wurde ich veranlaßt, mir für diese Versuche eine Batterie von 1000 sekundären PLANTE'schen Elementen zusammenzustellen. Es zeigte sich, daß die Batterie in der gewählten Anordnung nicht von Dauer war, indessen reichte sie aus, einen Teil der Versuche, welche ich im Auge hatte, auszuführen. Diese Versuche sollen in folgendem beschrieben werden.

¹⁾ Zu diesen Versuchen wurde ich ursprünglich angeregt durch Unterredungen, welche ich mit Hrn. E. GOLDSTEIN über die Natur der von ihm so vielfach untersuchten Glimmentladung hatte. Während der Ausführung der Versuche liefs Hr. Dr. GOLDSTEIN stets in bereitwilligster Weise seine Kenntnis der Litteratur und der Thatsachen mir zu gute kommen, so daß ich ihm vielfach zu Dank verpflichtet bin.

Beschreibung der Batterie.

Das Prinzip einer vielpaarigen sekundären Kette, welches von POGGENDORFF in seiner Polarisationsbatterie benutzt worden war, und welches auf PLANTÉ'sche Elemente schon PLANTÉ selber angewandt hat, besteht darin, daß diese Elemente nebeneinander (auf Quantität) geschaltet, durch eine primäre Kette von verhältnismäßig kleiner elektromotorischer Kraft geladen werden, dann aber, hintereinander (auf Spannung) geschaltet, fähig sind, sehr große elektromotorische Kräfte hervorzubringen. Dabei ist es nicht nötig, alle Elemente einzeln nebeneinander zu schalten, man kann auch Systeme von fünf oder zehn oder mehr Elementen dauernd hintereinander verbunden lassen und nur diese Systeme bei der Ladung nebeneinander stellen. Je größer man die Zahl der dauernd hintereinander verbundenen Elemente wählt, um so einfacher ist der Mechanismus der Umschaltung; eine um so größere elektromotorische Kraft ist freilich auch zur Ladung erforderlich. Ich richtete es so ein, daß ich je fünf Elemente dauernd in Verbindung liefs. Die benutzten Batteriegläserchen hatten die Gestalt von Reagenzgläsern, sie hatten 125 mm Höhe, 14 bis 15 mm Durchmesser und waren bis zu $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe mit einer Mischung aus einem Volumen Schwefelsäure und neun Volumen Wasser gefüllt. Die als Elektroden dienenden Bleistreifen sind von entsprechender Länge, von 10 mm Breite und 1 mm Dicke, sie waren an ihren Köpfen mit Asphaltlack gefirnist. Die benachbarten Elektroden der inneren von den fünf Elementen waren ohne weiteres Zwischenglied aus demselben Bleistreifen gebogen; von den äußeren Elektroden führten angelötete Kupferdrähte zu zwei gläsernen Quecksilbernäpfen, welche die Pole des Systemes bilden. Je 50 Elemente waren auf ein gemeinsames Brettchen aufgekittet, je 250 standen in einem Kasten von 840 mm Länge, 120 mm Breite und 170 mm Höhe. Die 100 Glasnäpfchen, welche die zugehörigen Pole bildeten, liefen in einer Reihe an der Vorderseite des Kastens hin. Die Kommutation wurde bewirkt durch zwei Kommutatoren, welche miteinander vertauscht werden konnten, und von denen der eine für die Ladung, der andere für die Entladung diente. Dieselben waren gebildet aus Drahtlökchen, welche an einer Holz-

leiste befestigt waren, ihre Konstruktion ist sehr einfach und bedarf wohl keiner besonderen Auseinandersetzung.

Die Batterie leistete, so lange sie in gutem Zustande war, das Folgende. Zu ihrer Ladung waren zehn BUNSEN'sche oder GROVE'sche Elemente erforderlich. Hatten diese während einer Stunde ihren Strom in die Batterie gesandt, so war die letztere für die Arbeit eines Tages hinreichend vorbereitet. Die Spannungsdifferenz ihrer Pole kam dann der von 1800 DANIELL'schen Elementen nahezu gleich, ihr innerer Widerstand war etwa gleich 600 S.-E., wie teils aus dem Verhalten einzelner Elemente, teils auch aus Versuchen, die mit dem Strome der ganzen Batterie in sehr großen Widerständen angestellt wurden, ermittelt werden konnte. Diese Spannung erhielt sich, wenn die Batterie nicht oder nur äußerst wenig benutzt wurde, etwa 12 bis 14 Stunden, dann aber war teils und hauptsächlich durch chemische Wirkung, teils durch Nebenschließung die Ladung zerstört, und die Spannung sank schnell auf kleinere Werte. Wurde die Batterie nur von Zeit zu Zeit durch größere Widerstände geschlossen, wie es die Versuche meist mit sich brachten, so war sie auf etwa sechs Stunden benutzbar, andauernd vermochte sie den zur Erleuchtung eines GEISSLER'schen Rohres erforderlichen Strom auf zwei bis drei Stunden zu liefern; wurde sie jedoch mit einem kleinen Widerstande oder gar in sich selbst geschlossen, so war sie in wenigen Minuten, ja selbst in Bruchteilen einer Minute erschöpft. Sie zeigte dann die bekannte Rückstandsbildung. In freier Luft gab die Batterie einen Schließungsfunken von nahe an $\frac{1}{2}$ mm Länge; GEISSLER'sche Rohre der gewöhnlichen Form ohne Kapillare erleuchtete sie innerhalb eines Druckintervalles von etwa $1\frac{1}{2}$ mm, wo das blaue Glimmlicht die Kathode noch als dünne Haut bekleidet, bis hinunter zu Drucken von wenigen Hundertsteln Millimetern, wo die Strahlen desselben eine Länge von 120 bis 150 mm erreichen. Im allgemeinen durften die Poldrähte der Batterie nicht ohne Einschaltung eines Widerstandes von vielen Tausend S.-E. mit den Elektroden eines GEISSLER'schen Rohres verbunden werden, sonst ging die Glimmentladung sofort in Bogenentladung über, wobei gemeiniglich das Rohr sprang und die Batterie sich in wenig Augenblicken erschöpfte.

Diese Batterie ging in folgender Weise zu Grunde. Die Schwefelsäure saugte sich in den kapillaren Raum zwischen den Bleiplatten und der Lackschicht ein und pflanzte sich in diesem Raume immer weiter fort. Wurde die scheinbar unversehrte Lackschicht an irgend einer Stelle abgeblättert, so war unter derselben durch den Geschmack die Säure leicht nachzuweisen. Letztere erreichte so die Kupferdrähte der Endplatten und erzeugte an denselben Auswucherungen von Kupfervitriol, welche sich an den Drähten ausbreiteten. Nachdem die Batterie drei bis vier Wochen in Gebrauch war, erreichten diese Auswucherungen an den Drähten der vorderen Endplatten das Quecksilber der Kommutatornäpfe, sogleich amalgamierte dann das Quecksilber den Draht seiner ganzen Länge nach, und da das innere Ende der Drähte tiefer lag als das Niveau des Quecksilbers in den Näpfen, so floß das Quecksilber an dem amalgamierten Drahte wie durch ein Heberrohr ab, und der Napf entleerte sich nach jeder neuen Füllung wieder in wenigen Stunden. Diesem Ausfließen konnte nun zwar vorgebeugt werden, indem die betroffenen Drähte wieder ausgeglüht und dann auf eine Strecke mit Siegelack umschmolzen wurden, aber die Zerstörung der Kupferdrähte schritt fort, und nach vier bis fünf Monaten brach eine große Zahl derselben an der Lötstelle ab. Es ist zu bemerken, daß einzelne Drähte völlig unversehrt blieben, es schienen dies diejenigen zu sein, welche durch Zufall auf eine gewisse Strecke von der Lötstelle aus verzinkt worden waren.

Die allgemeine Erscheinung der Batterieentladung in verdünnten Gasen ist heutzutage bekannt genug, ich halte mich deshalb bei derselben nicht auf, sondern gehe zur Darstellung der besonderen Versuche über.

I. Ist die Batterieentladung in verdünnten Gasen kontinuierlich oder diskontinuierlich?

Als GASSIOT zuerst mit Hilfe einer großen Batterie die Glimmentladung herstellte und das scheinbar vollkommen kontinuierliche Bild derselben im rotierenden Spiegel betrachtete, fand er, daß sich dieselbe in eine Reihe sehr schnell aufeinander folgender Partialentladungen zerlegen ließe. Auf dieser Erfahrung beruhte die Ansicht der Physiker, daß die

Glimmentladung ihrer Natur nach disruptiv sei, also, daß jede scheinbar kontinuierliche Entladung notwendigerweise aus einer Folge einzelner disruptiver Partialentladungen bestehen müsse. Diese Ansicht hatte wohl die Zustimmung der meisten Physiker, bis im Jahre 1879 HITTORF zeigte, daß die Erfahrung GASSIOT'S zu allgemeinen Schlüssen nicht berechtige; daß sich mit einer Batterie von hinreichend kleinem Widerstande eine Glimmentladung herstellen lasse, welche wenigstens der Drehspiegel nicht in Partialentladungen zu zerlegen vermöge; und daß verschiedene Anzeichen dafür sprechen, daß auch ein beliebig schnell rotierender Spiegel eine solche Auflösung nicht zustande bringen würde. Indessen mußte nach einer Rechnung, welche Hr. E. WIEDEMANN¹⁾ anstellte, der Drehspiegel seinen Dienst versagen, wenn auch nur hunderttausend Entladungen in der Sekunde sich folgen; daher vermochte Hr. HITTORF diejenigen Physiker nicht zu überreden, welche aus anderen Gründen zur Annahme der Diskontinuität sich gedrängt fühlten, jedoch zuzugeben bereit waren, daß viele Hunderttausende, ja Millionen von Einzelentladungen in der Sekunde den Strom bilden könnten. Zu diesen gehören die Hrn. E. WIEDEMANN²⁾, GOLDSTEIN³⁾, WARREN DE LA RUE⁴⁾. Der letztere hat auch Versuche beschrieben, in welchen er die Diskontinuität einer scheinbar kontinuierlichen Entladung durch andere Mittel als durch den Drehspiegel nachwies, aber dieser Nachweis ließ sich nur führen unter besonderen Umständen, und diese Umstände scheinen solche zu sein, unter welchen auch der Drehspiegel die Diskontinuität würde gezeigt haben.

Die in Rede stehende Frage kann hiernach noch als eine offene betrachtet werden; dieselbe darf allerdings nicht so formuliert werden: ob eine scheinbar kontinuierliche Entladung unter Umständen als eine diskontinuierliche sich erweisen könne? — daß diese Frage zu bejahen sei, unterliegt keinem Zweifel — sondern sie ist so zu präzisieren: ob sich eine Ent-

¹⁾ Siehe WIEDEMANN'S ANN. Bd. 10, S. 244, 1880.

²⁾ Siehe WIEDEMANN'S ANN. Bd. 10, S. 245, 1880.

³⁾ Siehe WIEDEMANN'S ANN. Bd. 12, S. 101, 1881.

⁴⁾ Siehe Ann. de chim. et de phys. Serie 5, Bd. 24, S. 461, 1881, und Phil. Trans. Bd. 169, S. 225, 1878.

ladung nachweisen lasse, welche unzweifelhaft als Glimmentladung sich darstelle, und welche dennoch bei Anwendung der feinsten auffindbaren Prüfungsmethoden keine Spuren von Diskontinuität erkennen lasse.

Die Entladung, welche mit Hilfe der folgenden Methoden geprüft wurde, fand statt in einem Rohre von 340 mm Länge und 20 mm lichter Weite, zwischen einer als Kathode dienenden Stahlplatte von 18 mm Durchmesser und einem Stahldraht; sie fand statt in Luft bei solchem Drucke, daß das blaue Glimmlicht bis zu einer Entfernung von 50 bis 60 mm von der Kathode reichte, und daß sich in dem Rohre noch sechs bis neun positive rote Schichten bildeten. Die benutzte Stromstärke, welche durch einen eingeschalteten großen Flüssigkeitswiderstand reguliert wurde, lag zwischen $\frac{1}{100}$ und $\frac{1}{400}$ Dan./S.-E. Nur bei der letzten anzuführenden Methode mußte eine größere Stromstärke benutzt werden, dieselbe betrug $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{30}$ Dan./S.-E.; es wurde deshalb ein etwas weiteres und kürzeres Rohr gewählt, so daß nur eine positive Schicht und diese nur andeutungsweise sichtbar wurde. Aber es konnte über die Natur der Entladung als Glimmentladung gleichwohl kein Zweifel sein. Es versteht sich von selbst, daß diese untersuchten Entladungen die gewöhnlichen Symptome der Intermittenz nicht zeigten, weder waren sie irgend empfindlich gegen die Annäherung eines Leiters, noch tönte ein in den Stromkreis eingeschaltetes Telephon, noch gaben die Röhren selbst einen Ton aus, noch liefs sich endlich durch den Drehspiegel das Bild der Entladung in Einzelbilder zerlegen.

1. Es wurden zuerst die von WARREN DE LA RUE¹⁾ angegebenen Versuche wiederholt, indem der Strom der Batterie aufser durch das Gasrohr auch durch die primäre oder sekundäre Spirale verschiedener kleiner Induktorien geleitet wurde, während die freie Spirale derselben durch ein Dynamometer oder Galvanometer geschlossen war. In keinem Falle erhielt ich eine Ablenkung dieser Instrumente, welche auf einen durch Intermittenz des Batteriestromes erregten hin- und hereilenden Induktionsstrom schliessen liefs. Indes will dies Resultat nicht viel sagen. Was zunächst die dynamo-

¹⁾ l. c.

metrische Wirkung der induzierten Ströme anlangt, so wächst dieselbe zwar zunächst mit der Zahl der Unterbrechungen des induzierenden Stromes, aber wird diese Zahl sehr groß, so wird darum doch die dynamometrische Wirkung nicht unendlich, sondern nähert sich, da die einzelnen Induktionsstöße durch die eigene Selbstinduktion gehindert werden, einer festen Grenze; selbst dieser Maximaleffekt aber konnte mit dem von mir benutzten Dynamometer kaum noch wahrgenommen werden. Was die Wirkung im Galvanometer anlangt, so ist eine solche nach der bekannten Theorie der Induktion überhaupt nicht zu erwarten, auch dann nicht, wenn der Strom bei jeder Einzelentladung schneller abfällt als ansteigt, und nur das entgegengesetzte Resultat der Hrn. WARREN DE LA RUE und MÜLLER veranlafte mich, diese Versuche anzustellen. Aber leider gelang es nicht, das von jenen Forschern beobachtete Phänomen zu reproduzieren; sobald das Galvanometer der direkten magnetischen Wirkung der durchflossenen Spirale entzogen war, konnte nach Schluß des Batteriestromes kein bleibender Ausschlag wahrgenommen werden, obwohl der Induktionsstoß beim Öffnen und Schließen des Stromes die Nadel über die sichtbare Skala hinaustrieb.¹⁾

2. In den Strom wurden außer dem Rohre und einem größeren Flüssigkeitswiderstande gleichzeitig ein Galvanometer und ein Dynamometer eingeschaltet und an beiden Instrumenten die verursachte Ablenkung abgelesen. Es wurde sodann die Batterie, das Gasrohr und der Flüssigkeitswiderstand von den beiden Messinstrumenten gelöst und statt ersterer ein Daniell und soviel metallischer Widerstand mit den letzteren verbunden, daß die Galvanometerablenkung wieder die frühere wurde. Es zeigte sich, daß dann auch die Dynamometerablesung mit aller Schärfe wieder die frühere geworden war. Wäre aber der Strom, den die große Batterie durch das Gasrohr erzeugte, ein intermittierender gewesen, so hätte er bei gleicher magnetischer Wirkung eine bedeutend größere dynamometrische Wirkung haben müssen. Wäre beispielsweise

¹⁾ Sicherlich läßt sich eine erfolgte Ablenkung der Nadel nicht als normale, irgend zu erwartende galvanometrische Wirkung auffassen. Eher vielleicht als sogenannte doppelsinnige Ablenkung, so daß das Galvanometer nur als ein sehr empfindliches Dynamometer wirkt.

die Dauer einer Partialentladung gleich $\frac{1}{4}$ der Zeit vom Beginne einer solchen Entladung bis zum Beginne der nächsten, so müßte während dieser Dauer der Strom viermal stärker sein als der, eine gleiche magnetische Wirkung ausübende kontinuierliche Strom, daher wäre eine dynamometrische Wirkung während jener Dauer sechszehnmal, im Mittel über die ganze Zeit aber viermal größer als die des kontinuierlichen Stromes. Dieser Versuch deutet daher auf Kontinuität der Entladung.

3. Es wurde der Strom dem Rohre zugeleitet durch eine WHEATSTONE'sche Brückenvorrichtung; einen Zweig derselben bildete die sekundäre Spirale eines kleinen Induktoriums von 1700 S.-E. Widerstand und einem Selbstinduktionskoeffizienten von zehn Erdquadranten, die anderen drei Zweige waren gebildet durch gleichwertige Metallwiderstände von verschwindendem Selbstpotential. In die eigentliche Brücke war ein Dynamometer eingeschaltet und die Vorrichtung so abgeglichen, daß ein kontinuierlicher, dieselbe durchfließender Strom keine Ablenkung des Dynamometers hervorbrachte. Dann rief auch der das GEISSLER'sche Rohr durchsetzende Batteriestrom keine Ablenkung hervor, obwohl er stark genug war, eine sehr merkbare Wirkung hervorzubringen, sobald das Gleichgewicht durch Einschaltung von 100 S.-E. in einen Zweig gestört wurde. Dieser Versuch spricht gegen die Diskontinuität. Denn einen intermittierenden Strom können wir uns als zusammengesetzt denken aus einem kontinuierlich fließenden Teile und einem solchen, welcher seine Richtung beständig wechselt. Nur für den ersteren war die Brücke abgeglichen, dem letzteren hingegen mußte die Spirale bei ihrer starken Selbstinduktion einen außerordentlich viel größeren scheinbaren Widerstand entgegensetzen, als die anderen Zweige. Es hätte also, wenn ein alternierender Teil vorhanden gewesen wäre, ein oscillierender Strom das Dynamometer durchfließen müssen, und dieser hätte stark genug sein müssen, eine merkliche Ablenkung hervorzurufen.

Die bisherigen Versuche beweisen, daß in dem größten Teile des metallischen Schließungsbogens der Strom auch bei Einschaltung einer Luftstrecke kontinuierlich floß. Auf den Strom im Rohre selbst lassen dieselben einen Schluß nur in-

soweit zu, als man den Strom als gleichförmig in allen seinen Teilen annehmen darf. Beträgt nun aber die Zahl der Partialentladungen 100 000 oder mehr in der Sekunde, so ist diese Annahme nicht allein unsicher, sondern es ist dann sogar unzweifelhaft, daß die Stromschwankungen nur auf kurze Strecken in die notwendig mit großem Selbstpotential behafteten Spiralen eindringen können, im Inneren derselben aber ausgelöscht werden müssen. Es könnte also von der beabsichtigten Wirkung nur ein vielleicht sehr kleiner Bruchteil zustande kommen. In den folgenden Versuchen sind deshalb Spiralen vermieden.

4. Der Strom wurde durch eine Brückenvorrichtung (Fig. 28) geleitet, deren vier Zweige aus gleichen Flüssigkeitswiderständen von je 700 000 S.-E. bestanden. Es waren dies

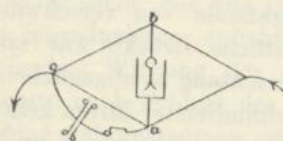


Fig. 28.

dünne Glasröhren von 30 cm Länge, welche mit sehr verdünnter Zinkvitriollösung gefüllt waren. Die mittlere Potentialdifferenz an den Gelenken *a* und *b* — genauer das mittlere Quadrat dieser Differenz — konnte mit Hilfe eines Goldblatt-

elektroskopes wahrgenommen werden, es befanden sich nämlich die mit dem einen Gelenke verbundenen Goldblättchen in einem Metallkasten, welcher zu dem anderen Gelenke abgeleitet war. Die Goldblättchen wurden hier und in dem folgenden Versuche unter dem Mikroskope beobachtet, die eben noch wahrzunehmende Potentialdifferenz war etwa $\frac{1}{10}$ derjenigen, welche während des Stromdurchganges zwischen *a* und *c* herrschte. Die beiden Gelenke *a* und *c* konnten durch kurze metallische Leitungen mit den beiden Belegen eines Kondensators von sehr großer Kapazität verbunden werden. Die Widerstände waren so abgeglichen, daß die Goldblättchen keine Divergenz zeigten, wenn der Strom ohne Einschaltung des Kondensators die Brücke durchfloß. Es fand sich, daß dann auch nach Einschaltung des Kondensators nicht die mindeste Divergenz wahrzunehmen war. Auch dies Resultat spricht gegen Diskontinuität. Denn durchfließt ein sehr schnell intermittierender Strom die Vorrichtung, und denken wir uns denselben wie vorhin zusammengesetzt aus einem kontinuier-

lichen und einem alternierenden Teile, so ist nur für ersteren die Brücke abgeglichen, für den letzteren hat dagegen der Zweig ac scheinbar einen verschwindenden Widerstand, da der Kondensator ohne merkliche Steigerung des Potentialunterschiedes seiner Belegungen die durch den alternierenden Strom geförderte Elektrizitätsmenge aufzunehmen und abzugeben imstande ist. Für den alternierenden Teil müfste daher die Potentialdifferenz zwischen a und c sehr klein, also diejenige zwischen a und b hinreichend grofs werden, um wahrgenommen werden zu können. Es war nicht überflüssig, die Richtigkeit dieser Folgerung durch den Versuch zu prüfen. Es wurde deshalb in den äufseren Stromkreis ein Zahnrad mit sehr vielen Zähnen eingefügt, durch welches künstlich der Strom bis zu 2000 malen in der Sekunde unterbrochen werden konnte. Wurde diese Unterbrechung vorgenommen, so blieben trotzdem die Goldblättchen in Ruhe, sobald der Kondensator ausgeschaltet war, sie divergierten aber nach Einschaltung desselben augenblicklich; diese Divergenz wuchs mit der Zahl der Unterbrechungen und war bei der oben angegebenen Zahl eine sehr beträchtliche. Eine einzelne Schließung und Öffnung des Stromes gab sich nach Einschaltung des Kondensators durch ein kurzes Zucken der Goldblättchen zu erkennen. Ich schätze, dafs schon viele Hunderttausende von Partialentladungen in der Sekunde stattfinden müfsten, um das angewandte Prüfungsmittel unwirksam zu machen. Es konnte allerdings unwirksam werden, wenn sich die Intermittenzen so schnell folgten, dafs die elektrischen Wellen in der Zwischenzeit sich nur auf kleine Bruchteile der Längen der benutzten Flüssigkeitswiderstände fortpflanzen konnten.

5. Mit der negativen Elektrode wurden durch einen kurzen Kupferdraht die Blättchen eines Goldblattelektroskopes verbunden; diese Blättchen hingen in einem Metallkasten, welcher entweder durch einen Metalldraht mit der positiven Elektrode oder mittels eines sehr grofsen Widerstandes von einigen Millionen S.-E. gleichfalls mit der negativen Elektrode verbunden werden konnte. Wurde durch das Rohr der Strom geleitet und der Metallkasten mit der positiven Elektrode verbunden, so divergierten die Goldblättchen heftig; sie zeigten keine Spur von Divergenz, sobald der Metallkasten durch den erwähnten

Widerstand mit der negativen Elektrode verbunden war. Dieser Erfolg spricht gegen die Diskontinuität der Entladung. Schwankte nämlich das Potential an der Kathode sehr schnell zwischen dem zur Entladung notwendigen und einem viel kleineren Potential hin und her, so würde wohl das Potential der Goldblättchen diesen Schwankungen zu folgen vermögen, nicht aber dasjenige des Metallkastens; die auf dem letzteren vorhandene Elektrizitätsmenge würde beständig die dem mittleren Potentialwerte entsprechende bleiben, der Ausschlag der Goldblättchen wäre also proportional dem Quadrate der Abweichung des Potentials von seinem Mittelwerte. Dafs eine intermittierende Entladung in der That Divergenz zur Folge hatte, konnte nachgewiesen werden, indem man den in den Batteriestrom eingeschalteten Widerstand mehr und mehr wachsen liefs; bei einem gewissen sehr hohen Werte desselben fing dann die Entladung an, die von Hrn. HITTORF angegebenen Kennzeichen der Diskontinuität zu zeigen; zugleich fingen dann die Goldblättchen an, nicht unbedeutend zu divergieren. Der gleiche Erfolg konnte durch künstliche Unterbrechung des Batteriestromes hervorgerufen werden. Auch das hier benutzte Prüfungsmittel mufs versagen, sobald die Zahl der Unterbrechungen in der Sekunde eine gewisse Höhe erreicht, aber die hierzu erforderliche Zahl läfst sich mit einiger Annäherung berechnen. Die Partialentladungen, wenn solche vorhanden waren, konnten nur bestehen in den Entladungen der auf der Kathode und den damit metallisch verbundenen Goldblättchen angesammelten Elektrizität, die Kapazität dieses Systemes war sicherlich nicht gröfser als die einer Kugel von 20 mm Radius. Die Schwankung des Potentials bei jeder Entladung konnte nicht den Wert von 90 Daniells überschreiten, denn es zeigte sich, dafs eine solche Abweichung des Potentials der Goldblättchen von dem des umgebenden Kastens sich schon durch eine wahrnehmbare Divergenz zu erkennen gab. Nun würden 1000 Entladungen in der Sekunde einer Kugel von 20 mm Radius, die jedesmal auf 90 Daniells geladen würde, erst einen Strom bilden, wie ihn 1 Daniell in ca. 5 Millionen S.-E. erzeugt. Aber der bei den Versuchen benutzte Strom stieg bis zu Stärken von 1 Daniell in 100 S.-E. Wenn derselbe also überhaupt aus

Partialentladungen sich zusammensetzte, so mußten deren mindestens 50 Millionen auf die Sekunde entfallen.

6. Die Anode des zu untersuchenden Gasrohres war durch einen dicken Metalldraht mit der einen Platte eines KOHLRAUSCH'schen Kondensators verbunden, die Kathode war mit der anderen Platte verbunden durch einen sehr dünnen Silberdraht von 80 mm Länge und ca. 0,8 S.-E. Widerstand. An diesem letzteren war eine Vorrichtung angebracht, welche erlaubte, mittels Spiegels und Skala eine äußerst kleine Verlängerung, also auch eine sehr kleine Temperaturerhöhung des Drahtes infolge eines hindurch gesandten Stromes wahrzunehmen. Es war schon eine Temperaturerhöhung von $\frac{1}{30}^{\circ}$ C. erkennbar, der Strom, welcher diese Temperaturerhöhung hervorrief, war gleich $\frac{1}{1000}$ Daniell/S.-E. Der Draht bildete so eine Art Dynamometer ohne Spiralen und soll in Folgendem als solches bezeichnet werden.¹⁾ Es konnte nun der Kathode der Strom der Batterie, welcher bei diesen Versuchen bis zu Stärken von $\frac{1}{20}$ Daniell/S.-E. benutzt wurde, auf zweierlei Weise zugeleitet werden. Entweder derselbe mündete zwischen Kondensator und Dynamometer, er mußte alsdann das letztere durchfließen und brachte in demselben einen Ausschlag von vier bis fünf Skalenteilen hervor. Oder aber er mündete zwischen dem Dynamometer und dem Gasrohre, dann war nicht der mindeste Ausschlag des Dynamometers, sicherlich aber nicht ein Ausschlag von $\frac{1}{4}$ Skalenteil wahrzunehmen. Hätte nun aber der Strom aus einzelnen Partialentladungen sich zusammengesetzt, so hätte eine beständige Ladung und Entladung des Kondensators stattgefunden, also ein alternierender Strom das Dynamometer durchflossen. Die durch denselben verursachte Ablenkung hätte mindestens die Hälfte der durch den ganzen Strom hervorgerufenen betragen. Auch hier verursachte ich Intermittenz durch künstliche Unterbrechung im äußeren Schließungskreise, der Erfolg war, daß nun bei beiden Arten der Schaltung Ablenkungen des Dynamometers eintraten, ja dieselben waren in beiden Fällen sogar größer (sechs bis acht Skalenteile), als wenn der Strom ungestört floß. Dieser paradoxe Umstand erklärt sich dadurch, daß

¹⁾ Siehe die Beschreibung der Vorrichtung in No. 11, S. 227.

bei künstlicher Unterbrechung dynamometrisch stärker wirk-
samen Kondensatorentladungen eintraten, ohne dieselben aber
nicht. Das hier angewandte Kriterium verliert nur dann seine
Brauchbarkeit, wenn die einzelnen Partialentladungen sich so
schnell folgen, daß die denselben entsprechenden elektrischen
Wellen den Silberdraht des Dynamometers in der Zwischenzeit
nicht mehr zu durchsetzen vermögen. Wieviel derselben hierzu
erforderlich seien, kann auf verschiedene Weise geschätzt
werden, schon die niedrigste Schätzung ergibt viele Tausend
Millionen. Die einfachste Art ist vielleicht diese: Wenn die
elektrische Welle sich nicht durch den Dynamometerdraht
fortpflanzt, so besteht jede Partialentladung nur in der Ent-
ladung der auf der Kathode angesammelten Elektrizität. Die
Kapazität der Kathode war kleiner als die einer Kugel von
20 mm Radius. Das Potential der Kathode konnte während
der Einzelentladung nicht um Werte schwanken, die viel mehr
als $\frac{1}{100}$ Daniell auseinander lagen, denn wenn die mittlere
Potentialdifferenz der Enden des Dynamometers diesen Wert
erreichte, so trat eine wahrnehmbare Ablenkung ein. Um
gleichwohl durch hinreichend schnell wiederholte Entladung
der Kathode einen Strom von $\frac{1}{20}$ Dan./S.-E. zu erzeugen,
mußten sich zwei Billionen Entladungen in der Sekunde folgen.
Diese Rechnung ist Einwänden zugänglich, aber ohne die
große Zahl ängstlich verteidigen zu wollen, gebe ich zu be-
denken, ob es wohl wahrscheinlich ist, daß der elektrische
Strom als vollständig ausgebildete Partialentladung mit allen
Schichten ein 200 mm langes Gasrohr zu durchdringen vermag,
in einer Zeit, in welcher er unfähig ist, 80 mm eines metal-
lischen Leiters gleichförmig zu durchsetzen.

7. Ich habe keine Prüfungsmethode gefunden, welche zu
weitergehenden Schlüssen hätte berechtigen können. Aber es
sind noch einige Erfahrungen anzuführen, welche, wenn auch
an sich nicht beweisend, doch in demselben Sinne sprechen,
wie die bisher mitgeteilten.

a) Schließt man den Stromkreis, in welchem das Gasrohr
und ein hinreichender Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet ist,
durch den Körper, so erhält man beim Schließen einen Schlag,
einen viel schwächeren Schlag beim Öffnen, durch häufiges
Öffnen und Schließen kann die Empfindung bis zur Unerträg-

lichkeit gesteigert werden. Aber während das Rohr gleichförmig leuchtet, empfindet man nichts aufser einem Brennen in den Eintrittstellen des Stromes.

b) Niemals treten bei der Batterieentladung rekurrente Ströme als Nebenerscheinung auf, auch nicht unter Bedingungen, welche für das Zustandekommen derselben sehr günstig sind, und unter welchen die Ruhmkorffentladung sehr lebhaft Ströme dieser Art veranlaßt.

c) Die folgenden Erfahrungen sind schon von Hrn. HIRTORF angezogen: Bei einem hinreichend großen Widerstande der Leitung ist die Entladung sicher diskontinuierlich. Das Rohr läßt dann häufig einen Ton hören, dessen Höhe das Tempo angiebt, in welchem sich die Entladungen folgen. Wird der Widerstand verkleinert, so wird der Ton höher und die Erscheinung ein wenig lichtstärker. Aber ein allmählicher Übergang an die ruhige unempfindliche Entladung findet nicht statt, sondern bei einem bestimmten Widerstande verlischt der Ton sprunghaft, die Erscheinung verdreifacht ihren Glanz, und es lassen sich derselben nun keinerlei Anzeichen von Diskontinuität mehr abgewinnen. Auffallender ist der Sprung, wenn die Elektroden des Rohres mit den Belegen eines großen Kondensators verbunden sind; er findet dann häufig schon statt von einem Zustande aus, in welchem die einzelnen Entladungen sich noch durch das Auge unterscheiden lassen. Ist der Sprung einmal eingetreten, so übt dann die Einschaltung oder Ausschaltung des Kondensators nicht mehr den mindesten Einfluß auf das Aussehen der Entladung aus.

Ich schliesse aus der Gesamtheit der mitgetheilten Versuche, daß die geprüften Entladungen kontinuierliche waren; ich folgere daraus, daß im allgemeinen die Batterieentladung als kontinuierlich zu betrachten sei, sobald sie nicht durch die bekannten Merkmale Diskontinuität verrate und weiter, daß auch die Entladungen des Induktoriums, deren Dauer je nach der Größe des Apparates zwischen $\frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{80}$ Sekunde liegen kann, während dieses Intervalles als kontinuierlicher Strom anzusehen seien.

Um den gemachten Schlüssen volle Kraft zu geben, ist es nötig, zu zeigen, daß den Betrachtungen, welche zu dem entgegengesetzten Resultate führen, volle Beweiskraft nicht

beigelegt werden kann. Diese Betrachtungen scheinen vorzugsweise zu beruhen 1) auf der Erfahrung, daß ein schwacher Strom (wie ihn beispielsweise die Influenzmaschine liefert) allemal diskontinuierlich ist, und auch dann nicht kontinuierlich wird, wenn sich mehrere tausend Partialentladungen in der Sekunde folgen; 2) auf der Erfahrung, daß die Wärmeentwicklung in einem Gasrohre der Intensität des Stromes, nicht dem Quadrat derselben proportional ist; 3) auf der damit zusammenhängenden Erfahrung, daß die Potentialdifferenz an den Enden des Rohres nicht steigt mit steigender Stromstärke, sondern auf dem Werte verharret, bei welchem überhaupt der schwächste Strom das Rohr zu durchsetzen vermag. Daß diese Erfahrungen einen Schluf auf notwendige Diskontinuität nicht zulassen, zeige ich, indem ich eine einfache mechanische Vorrichtung angebe, welche in mancher Beziehung, jedenfalls aber in den angeführten, als Elektrizitätsleiter ein Gasrohr zu ersetzen vermag, und in welcher dennoch unter Umständen der Strom kontinuierlich fließt. Es stelle A (Fig. 29) die

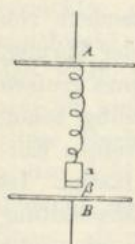


Fig. 29.

Anode vor, es sei mit derselben elastisch und gut leitend das Gewicht α verbunden, welches der Kathode B nahe gegenüber liegt. Besteht nun zwischen A und B eine Potentialdifferenz, so wird α von B angezogen, es werde aber α an direkter Berührung mit B gehindert durch den mit α verbundenen Überzug β von relativ großem Widerstande w . Neben der beschriebenen Vorrichtung mögen sich zwischen A und B noch unzählig viele ähnliche befinden, welche sich von der ersteren nur dadurch unterscheiden, daß der β entsprechende Widerstand für jede einzelne sehr groß sei. Die Potentialdifferenz zwischen A und B , welche nötig ist, um die Gewichte α sowohl der ersten, als aller übrigen Vorrichtungen mit B in Berührung zu bringen, sei bis auf ein sehr kleines dieselbe und gleich p . Die ganze Vorrichtung kann dann ein Gasrohr ersetzen in folgender Hinsicht. Sie läßt überhaupt keinen Strom hindurch, so lange nicht die Potentialdifferenz von A und B den Wert p erreicht. Sie wird einen intermittierenden Strom durchlassen, sobald A und B mit einer Elektrizitätsquelle verbunden werden, welche zwar

eine Potentialdifferenz p , nicht aber gleichzeitig einen Strom von der Stärke p/w hervorzubringen vermag. Ist aber die Quelle imstande, den genannten Strom zu liefern, so bleiben a und B dauernd in Berührung, und der Strom fließt kontinuierlich. Welches nun auch die Stärke des Stromes sei, es wird doch die Potentialdifferenz nicht p übersteigen können, da sich immer mehr Leitungen schliessen würden. Die gesamte Wärmeentwicklung wird daher auch der Intensität selbst, nicht dem Quadrate derselben proportional sein. Hiermit haben wir gezeigt, was unsere Absicht war.

Noch ein anderer Umstand scheint die Meinung der Autoren beeinflusst zu haben. Da nämlich die Lage und Entwicklung einer jeden Schicht des Glimmlichtes abhängt von der in der Richtung zur Kathode vorangegangenen Schicht, so bildet sich die berechnete Anschauung, dass auch zeitlich von der Kathode ab sich eine Schicht nach der anderen entwickeln müsse. Eine solche zeitliche Entwicklung aber ist nicht denkbar, falls die Entladung in allen Teilen eine kontinuierlich andauernde ist. Vielleicht kann man dem in Frage stehenden Umstande gerecht werden, wenn man zugiebt, dass die Entladung als Ganzes kontinuierlich ist, aber annimmt, dass der Verlauf derselben in den einzelnen Stromfäden allerdings eine Funktion der Zeit sei. Leitete beispielshalber die Berührung eines jeden Gasmoleküles mit der Kathode eine elektrische Bewegung ein, welche sich wellenartig in das Medium ausbreitete, so wäre eine successive Entstehung der Schichten wohl verständlich, ohne dass sich deshalb die Entladung in Partialentladungen zerfallen liefse. Dieselbe wäre immer noch kontinuierlich im Sinne der vorliegenden Arbeit.

II. Bezeichnen die Kathodenstrahlen die Bahn des Stromes?

Von der Kathode gehen bekanntlich geradlinig, angenähert senkrecht zur Kathode, unbekümmert um die Lage der Anode die Kathodenstrahlen aus, welche sich je nach der Dichte des Gases um einige Millimeter, Centimeter und selbst um Längen von der Ordnung eines Meters in das Medium fortpflanzen. In Luft sind dieselben blau, bei sehr kleinen Dichten aber äußerst lichtschwach, sie sind dann vorzüglich bemerkbar durch die Phosphoreszenz, welche sie an ihren Enden im Glase

erregen. Nähert man dem Rohre einen Magnet, so erscheinen sie gebogen, angenähert in der Gestalt, welche ein vom Strome durchflossener, elastischer, an der Kathode befestigter Draht unter dem Einflusse des Magnetes annehmen würde. Diese Einwirkung ist ganz allgemein als eine elektrodynamische aufgefaßt, und so war die von den älteren Physikern, abgesehen von vorübergehend geäußerten Zweifeln, angenommene Ansicht diese: Die Kathodenstrahlen bezeichnen den Weg des Stromes, ihr blaues Licht rührt her von dem Glühen, resp. Phosphoreszieren der Gasteilchen unter dem Einflusse des Stromes. Diese Anschauung aber führte nach genauerer Erkenntnis der That-sachen zu großen Unwahrscheinlichkeiten, und so äußern sich denn neuere Arbeiten zum Teil sehr reserviert über die Beziehung der Kathodenstrahlen zum eigentlichen Entladungsvorgang.¹⁾ Unter diesen Umständen erschien es wünschenswert, einen sicheren experimentellen Entscheid zu erhalten auf die Frage: Durchläuft der Strom die Länge der Kathodenstrahlen, ehe er sich zur Anode wendet? War diese Frage in negativem Sinne zu beantworten, so war überhaupt die Bahn des Stromes dem bloßen Auge nicht erkenntlich, es trat dann die neue Frage auf: Welches ist die Bahn des Stromes in einem Raume, in welchem dem Strome verschiedene Wege zur Verfügung stehen? Ich habe die letztere und damit die erstere Frage zu beantworten versucht, indem ich experimentell die Stromlinien in einem durchströmten Gasraume bestimmte aus den Ablenkungen, welche die Entladung auf einen kleinen, in ihrer Nähe befindlichen Magnet ausübte.

Ehe diese Versuche in Angriff genommen werden konnten, war es nötig, eine Vorfrage zu erledigen. Bilden nämlich die Kathodenstrahlen auch nicht den Weg des Stromes, so ist es doch unzweifelhaft, daß dieselben vom Magnet beeinflusst werden. Es ist deshalb von vornherein nicht unwahrscheinlich, daß in jedem Falle auch umgekehrt die Kathodenstrahlen eine Ablenkung des Magnetes veranlassen; diese Wirkung könnte ja von einer elektrodynamischen verschieden sein. Wäre eine solche vorhanden, so würde sie die beabsichtigten Versuche

¹⁾ Z. B. W. SPOTTISWOODE and J. FLETCHER MOULTON, Phil. Trans. Bd. 171, S. 649, 1880.

vereiteln. Die zunächst zu beschreibenden Versuche sollen zeigen, daß eine solche Wirkung nicht besteht.

In ein 300 mm langes Rohr von 28 mm Weite war als Kathode eine kreisförmige, abgedrehte Messingscheibe, welche den Querschnitt des Rohres füllte, eingesetzt, durch die durchbohrte Mitte dieser Scheibe war ein Thermometerrohr geführt, in welchem wiederum, genau zentrisch zur Scheibe ein Draht von unmagnetischem Metalle sich befand, dessen in den Gasraum nur wenig über die Scheibe hervorragendes Ende die Anode bildete. Die den Strom zu- und ableitenden Drähte waren um einander geschlungen. Es mußten nun die Stromlinien in dem Gasraume jedenfalls symmetrisch zur Axe des Rohres liegen; denkt man sich also die Ströme ersetzt durch magnetische Flächen, so bilden dieselben durchaus geschlossene Ringmagnete, deren Wirkung nach außen Null sein mußte. Die Kathodenstrahlen aber waren voll entwickelt und füllten je nach der Dichte das ganze Rohr oder einen Teil desselben mit blauem Lichte. Haben dieselben also eine ihnen eigentümliche Wirkung auf einen außerhalb befindlichen Magnet, so mußte dieselbe hier getrennt von jeder elektrodynamischen Wirkung zur Erscheinung kommen. Das Rohr war zur Vermeidung elektrostatischer Einflüsse umgeben mit einer abgeleiteten Staniolhülle, ohne welche Vorsicht die Versuche sich als unmöglich erwiesen. Der Magnet, auf welchen die Kathodenstrahlen wirken sollten, war derselbe, welcher bei den folgenden Versuchen benutzt wurde, er bestand in einem 12 mm langen, stark magnetischen Stückchen einer Taschenuhrfeder, er war aufgekittet auf ein Spiegelchen von sehr dünnem Glase, welches an einem einfachen Spinnenfaden in dem sehr engen Raume zwischen zwei Platten von Birminghamglas aufgehängt war. Er glich also dem Systeme eines THOMSON'schen Galvanometers; war er durch äußere Magnete, wie immer in den folgenden Versuchen, stark astasiert, so war er durch Luftdämpfung aperiodisch und genügte doch in Bezug auf Sicherheit der Einstellung etc. selbst strengen Ansprüchen. In möglichster Nähe dieses Magnetes wurde nun das vorerwähnte Rohr aufgestellt, einmal so, daß der Magnet eine tangentiale, dann so, daß derselbe eine radiale Kraft anzeigen mußte, endlich so, daß eine Kraft parallel der Richtung des Rohres

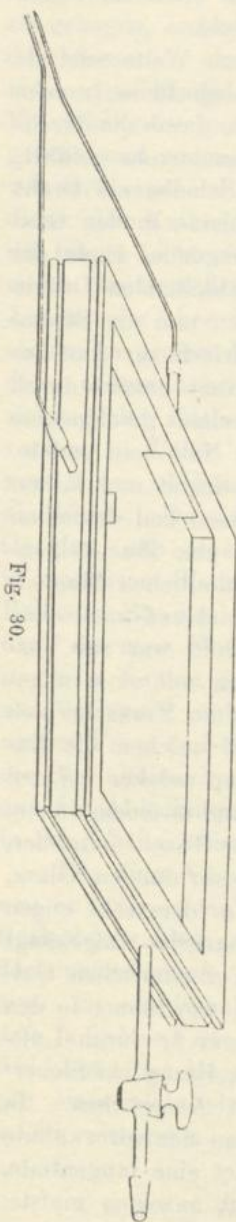


Fig. 30.

bemerkbar geworden sein würde. Aber niemals zeigte sich eine Ablenkung, die im Fernrohr auch nur $\frac{1}{10}$ Skalenteil betragen hätte. Wurde aber der gleiche Strom — seine Stärke war etwa $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ Dan./S.-E. — unter Benutzung einer zweiten Anode veranlaßt, das Rohr der Länge nach zu durchsetzen, so ergaben sich Ablenkungen von 30 bis 40 Skalenteilen. Gleiche Ablenkungen ergaben sich, wenn unter Beibehaltung der ersten Anode äußere Teile des Schließungskreises dem Magnete bis auf einige Centimeter genähert wurden. Hiernach stand fest, daß, wenn überhaupt eine spezifische Einwirkung der Kathodenstrahlen auf den Magnet stattfand, diese doch nicht den 300. Teil derjenigen Wirkung erreichen konnte, welche den Kathodenstrahlen als Stromträgern zukam.

Bei den Hauptversuchen wurde nun die Entladung untersucht in einem parallelepipedischen, plattenförmigen Luft- raume von 120 mm Länge, 120 mm Breite und 10 mm Dicke. Das Gefäß, welches diesen Lufraum umschloß, ist in Fig. 30 dargestellt. Es wurde gebildet aus einem gegossenen, starken Messingrahmen, welcher als Gerüst diente und zugleich die Seitenwände hergab, und zwei luftdicht auf diesem Rahmen aufliegenden Platten von Spiegelglas von 4 bis 5 mm Stärke. Die letzteren trugen den gewaltigen Druck der Luft mit Sicherheit, konnten auch, während derselbe auf ihnen lastete, erhitzt werden, sie bogen sich aber so stark unter demselben, daß die Krümmung bei seitlichem

Überblicken der Platte leicht bemerkt werden konnte. Den Messingrahmen durchsetzte ein mit Hahn versehenes Rohr zum Auspumpen und mehrere Aluminiumelektroden, letztere waren in Glasröhren eingekittet und so von dem Rahmen isoliert. Das Dichten des Gefäßes gelang erst nach einigen vergeblichen Versuchen. Die Schwierigkeit bestand einmal darin, daß wegen der Durchbiegung des Glases ein genaues Aufschleifen unmöglich war, und jeder feste Kitt beim Auspumpen Sprünge erhielt, und zweitens darin, daß in den inneren Raum durchaus keine Spur zersetzbarer organischer Substanz kommen durfte, also auch die reichliche Benutzung von Fett ausgeschlossen war. Die schließlic benutzte Dichtung wird durch Fig. 31 erläutert.

Auf dem abgeschliffenen vorspringenden inneren Rande α des Rahmens wurde ein Streifen dünner ausgewalzter Guttapercha gelegt, welcher sich von der Innenkante um die Breite eines

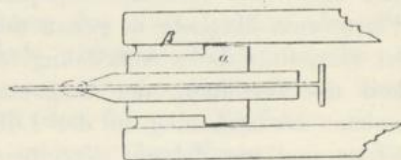


Fig. 31.

Millimeters entfernt hielt. Dann wurden die Glasplatten erhitzt aufgelegt, und soweit es die mangelhafte Dichtung gestattete, das Gefäß ausgepumpt; gleichzeitig wurde dann der Hohlraum β mit einer erwärmten Mischung von vier Teilen Kolophonium und einem Teile Baumöl ausgegossen. Diese Masse erwies sich nach dem Kaltwerden als hinreichend flüssig, um den Bewegungen der Glasplatten zu folgen, und doch als so zäh, daß sie erst im Laufe von Monaten durch ihre eigene Schwere wieder aus dem Hohlraume ausfloß. Das Gefäß hielt sich tagelang völlig luftleer; durchsetzte allerdings der Strom dasselbe längere Zeit, so stieg der Gasdruck ein wenig, aber nicht so stark, daß dadurch die beabsichtigten Versuche beeinträchtigt worden wären. Das Gefäß wurde sodann mit einer vom Rahmen und den Elektroden isolierten, mit der Erde aber leitend verbundenen Staniolhülle umgeben. Nachdem es bis auf wenige Hundertstel Millimeter Druck entleert war, wurde es auf ein durch Stellschrauben in horizontale Stellung zu bringendes Brett gelegt, welches mit Koordinatenpapier überzogen war. Genau über dem Nullpunkte dieses

Koordinatensystemes schwebte die schon oben beschriebene Magnetnadel in solcher Höhe, daß eben das entleerte Gefäß unter ihr, ohne anzustossen, verschoben werden konnte. Sie befand sich nur 2 mm über der Oberfläche der oberen Spiegelplatte, also 12 mm über der Mittelschicht des durchströmten Gasraumes. Beim Einsetzen des Stromes wurde die Nadel abgelenkt, die Größe dieser Ablenkung hing ab von der Stromstärke und der Stellung der Nadel zur Strombahn; bei den Versuchen hatte der Gesamtstrom eine Stärke von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ Dan./S.-E., dabei zeigte die Nadel in günstigster Stellung Ablenkungen bis zu 80 Skalenteilen. Da $\frac{1}{10}$ Skalenteil abgelesen werden konnte, handelte es sich um genau messbare Größen. Mit Hilfe des Koordinatenpapiertes liefs sich die Lage der Platte zum Magnete in genau angebbarer Weise variieren; es ist klar, daß diese Anordnung erlaubte, mit einiger Genauigkeit die Verteilung der magnetischen Kräfte zu bestimmen, welche die Strömung in der Luftplatte dicht oberhalb dieser Platte und parallel mit derselben hervorrief. Es handelt sich aber darum, aus dieser Verteilung auf die Verteilung der Strömung in der Luftplatte zu schließen.

Dies geschieht mit Hilfe des folgenden Satzes: Die Strömungsfunktion der elektrischen Strömung in einer ebenen Platte ist gleich der mit einer Konstanten multiplizierten Potentialfunktion der von der Strömung hervorgerufenen magnetischen Kräfte in unmittelbarer Nähe der Platte. Die Strombahnen fallen also zusammen mit den Niveaulinien jenes Potentials, und die Stromintensitäten zwischen je zwei Niveaulinien, zwischen welchen das Potential um den gleichen Wert wächst, sind gleich. Man findet diesen Satz unter anderem bewiesen in MAXWELL'S Treatise on electricity and magnetism¹⁾, man macht sich denselben aber auch ohne Rechnung leicht klar, wenn man bedenkt, daß ein Magnetpol, welcher einer ebenen durchströmten Platte unbegrenzt genähert wird, nur von denjenigen Stromteilen, welche in seiner unmittelbaren Nähe liegen, eine zu Platte parallele Kraft erfährt.

Die in unserem Falle untersuchte Stromplatte ist nicht unendlich dünn, und der prüfende Magnet schwebt nicht in

¹⁾ Vol. II, p. 264. 1873.

unmittelbarer Nähe ihrer Mittelebene, sondern 12 mm über der letzteren. Es kann daher mit seiner Hilfe nur die Verteilung des Potentials in einer Ebene erforscht werden, welche 12 mm über der Mittelebene der Luftschicht liegt. Aber die magnetischen Kräfte in dieser Ebene werden denjenigen im Inneren der Luftschicht nahezu gleich sein, es werden daher auch die Niveaulinien des Potentials in derjenigen Ebene, in welcher der Magnet beweglich ist, den Stromlinien äußerst ähnlich sein. Die eleganteste Methode, diese Niveaulinien zu erforschen, bestände darin, daß man die Platte in solcher Weise unter dem Magnet verschöbe, daß der letztere beständig unabgelenkt bliebe; die Linie, welche die Projektion des Magnetes auf die Platte dabei beschreibt, ist eine Niveaulinie, also eine Stromlinie. Da aber die Ablenkung des Magnetes aus der Entfernung mit Spiegel und Skala abgelesen werden mußte, so war diese Methode nicht ohne weitläufige Mechanismen anzuwenden. Es wurde deshalb das folgende Verfahren eingeschlagen. Die Platte wurde so unter dem Magnet verschoben, daß die Projektion des letzteren auf sie eine Parallele zu einer Seite der quadratischen Platte beschrieb, und daß der Magnet dabei in seiner unabgelenkten Lage senkrecht zu dieser Parallelen stand. Für eine Reihe von Punkten dieser Geraden wurden dann die Ablenkungen bestimmt, welche das Einsetzen des immer auf gleicher Stärke gehaltenen Stromes veranlafte. Dieselben waren proportional dem Differentialquotienten des Potentials längs der untersuchten Geraden. Diese Differentialquotienten wurden dann graphisch aufgetragen, nach bestem Ermessen interpoliert und durch mechanische Integration der erhaltenen Kurve die Änderung des Potentials längs der untersuchten Geraden bestimmt. Das gleiche Verfahren wurde auf eine Reihe von Geraden, welche der ersten parallel waren, und auf eine dazu senkrechte Gerade angewandt. Es ist klar, daß dadurch schon der Wert des Potentials für alle Punkte der untersuchten Ebene angebbar wurde, und daß es dann leicht war, Punkte mit gleichem Werte des Potentials zu verbinden und diese Verbindungslinien in solchen Abständen zu ziehen, daß von der einen zur anderen das Potential um gleiche Werte wuchs. Indessen infolge der Methode mußte notwendig den erhaltenen Werten eine gewisse Unsicherheit anhaften,

und es war erforderlich, ein Maß für diese zu gewinnen. Zu dem Ende wurde nicht nur für eine Gerade, welche zu den zuerst untersuchten Parallelen senkrecht war, der Lauf des Potentials ermittelt, sondern für mehrere solcher Geraden. Es konnte dann der Wert des Potentials für einen jeden Punkt auf ebenso viele unabhängige Weisen ermittelt werden, und es wurde durch Ausgleichung nicht nur ein zuverlässigeres Resultat erhalten, sondern auch ein Maß der Unsicherheit gewonnen. Es zeigte sich, daß dieselbe nicht so groß war, daß sie die Resultate hätte wesentlich beeinträchtigen können.

Diese Resultate lassen sich nicht besser darstellen, als durch die Figg. 32a, b, c. In denselben bezeichnet α das

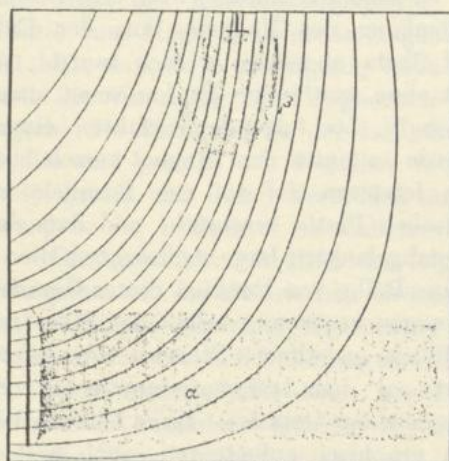
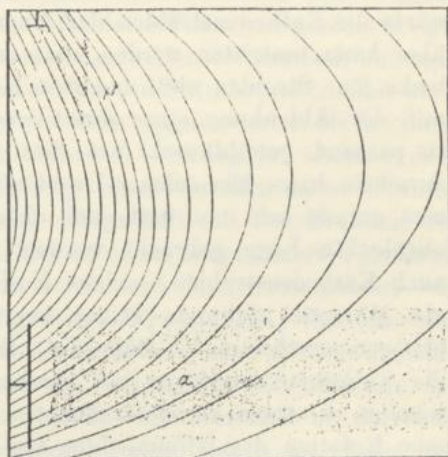


Fig. 32a. ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.)

blaue Kathodenlicht, β die positiven Schichten; die ausgezogenen Liniensysteme sind äquidistante Niveaulinien des Potentials. In a und c beträgt der Druck gegen $\frac{1}{10}$ mm, daher münden hier die Kathodenstrahlen frei, in b ist der Druck so klein gemacht, daß die Batterie nur eben noch den Raum kontinuierlich zu durchsetzen vermochte, es treffen daher hier die Kathodenstrahlen senk-

recht auf die gegenüberliegende Wand. In Bezug auf die Bedeutung der gezeichneten Niveaulinien sind folgende Bemerkungen zu machen: 1) Zur Konstruktion einer jeden Figur wurden etwa 50 bis 60 Ablenkungen verwendet, die sich nicht gleichmäßig über die ganze Fläche verteilten, sondern sich auf diejenigen Gegenden konzentrierten, welche als die wichtigsten erschienen. 2) Die Unsicherheit, welche blieb, ist durch die Zahl der gezeichneten Niveaulinien angedeutet. Von denselben sind nämlich so viele gezogen, daß die Unsicherheit in der Lage der einzelnen etwa gleich dem Intervall zwischen zwei benachbarten ist.

3) Um aus den gezeichneten Niveaulinien die eigentlichen Stromlinien zu erhalten, muß man sich die Endpunkte derselben auf die Elektroden vereinigt und die Linien selbst etwas mehr gegen diejenigen Stellen zusammengerückt denken, an welchen sie am dichtesten sind. Die eigentlichen Stromlinien können natürlich die Wände des Gefäßes nirgends schneiden, wie das die von uns gezeichneten Linien thun.

Fig. 32 b. ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.)

Die Betrachtung der Figuren ergibt nun eindeutig das Folgende: die Richtung der Kathodenstrahlen fällt durchaus nicht mit der Stromrichtung zusammen. An einzelnen Stellen sind die Stromlinien fast senkrecht zur Richtung der Kathodenstrahlen. Einzelne Teile des Gasraumes sind lebhaft vom Kathodenlichte erhellt, obwohl in ihnen die Intensität der Strömung verschwindend klein ist. Die Strömung geht in roher Annäherung von Pol zu Pol in ähnlicher Verteilung, wie solche in einem festen oder flüssigen Leiter stattfinden würde. Daraus folgt, daß die Kathodenstrahlen mit der Bahn des Stromes nichts gemein haben.

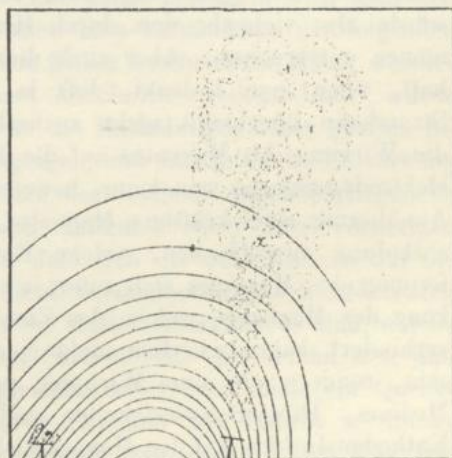


Fig. 32 c. (1 nat. Gr.)

1. Gegen die Vorversuche wird man einwenden: da der Magnet die Kathodenstrahlen ablenke, so müssen auch rückwärts die Kathodenstrahlen den Magnet ablenken. Demgegenüber kann bestritten werden, daß der Ausdruck „der Magnet lenke jene Strahlen ab“, und der dadurch gegebene Vergleich mit der Ablenkung eines durchströmten elastischen Drahtes so passend gewählt sei, wie dies auf den ersten Blick den Anschein hat. Ein solcher Draht würde bei Beginn des Stromes gerade sein und erst nach einer endlichen Zeit in seine abgelenkte Lage gebracht werden. Wir wissen aber, daß auch Kathodenstrahlen, welche Entladungen von weniger als ein Milliontel Sekunde Dauer angehören, schon vollständig gebogen erscheinen.¹⁾ Daß die elektrodynamische Wirkung die Entladung in Gasen mit solcher Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen vermöge, dagegen spricht die DE LA RIVE'sche Rotation des Glimmlichtes um den Magnetpol; diese ist unzweifelhaft eine elektrodynamische Wirkung, aber sie erfolgt auch nur mit sehr messbarer Geschwindigkeit. Ferner wird bei jeder eigentlichen elektrodynamischen Wirkung das ponderable Substrat der Strömung in Bewegung gesetzt, bei der Ablenkung der Entladung aber nicht.²⁾ Diese Ablenkung würde also vielmehr dem durch Hrn. HALL entdeckten Phänomen entsprechen. Aber auch diese Analogie wird mangelhaft, wenn man bedenkt, daß ja die Kathodenstrahlen als Strombahn überhaupt nicht anzusehen sind. Endlich: daß die Wirkung des Magnetes auf die Entladung nicht eine rein elektrodynamische sein kann, beweist die Thatsache, daß die Annäherung eines kräftigen Magnetes in stände ist, die Batterieentladung auszulöschen, welche Entladung dann nach Entfernung des Magnetes sich sofort wieder entzündet. Die Wirkung des Magnetes, welche das Zustandekommen des Stromes verhindert, kann sicherlich nicht eine Wirkung auf den Strom sein, sondern nur eine Wirkung auf das zu durchströmende Medium. Diese Schwierigkeiten und die Thatsache, daß die Kathodenstrahlen auf den Magnet nicht zurückwirken, scheinen mir die Wahrscheinlichkeit nahezu legen, daß die Analogie

¹⁾ Siehe GOLDSTEIN, Über eine Form der elektr. Abstößung. III. Teil.

²⁾ Siehe GOLDSTEIN, WIEDEMANN'S ANN. Bd. 12, S. 262, 1881.

zwischen der Ablenkung der Kathodenstrahlen und der elektrodynamischen Wirkung eine ganz äußerliche sei. Man entgeht jenen Schwierigkeiten und findet diese Thatsache gerechtfertigt, wenn man, auf eine Erklärung einstweilen verzichtend, aussagt: der Magnet wirke auf das Medium, die Kathodenstrahlen aber pflanzten sich anders fort in einem magnetisierten als in einem unmagnetisierten Medium. Ihre Ablenkung ist alsdann dem Vergleiche mit der Ablenkung eines durchströmten Drahtes entzogen, vielmehr in Analogie gestellt mit der Drehung der Polarisationssebene des Lichtes in einem magnetisierten Medium.

2. Die Hrn. E. WIEDEMANN und GOLDSTEIN haben, wie mir scheint, auf Grund triftiger Erwägungen, ihre Ansicht dahin ausgesprochen, daß die Entladung eine an sich unsichtbare Bewegung des Äthers sei, welche sich in Licht nur dadurch umsetze, daß sie ihre Energie zunächst an die Gaspartikel abgebe. Ich wünschte indes, hierin an Stelle des Wortes „Entladung“ das Wort „Kathodenstrahl“ gesetzt zu sehen, welche Begriffe den genannten Forschern zusammenfielen, in Wahrheit aber strenge zu trennen sind. Der Ansicht, daß die Kathodenstrahlen an sich lichtlos seien und nur durch ihre Absorption im Gase Licht erzeugen, wird man sich kaum erwehren können, wenn man aufmerksam den folgenden Versuch erwägt. Das schon früher beschriebene Rohr, welches zu den Vorversuchen dieses Abschnittes gedient hatte, wurde so weit evakuiert, daß nur die Entladungen eines großen Induktoriums noch hindurchgingen, und daß unter der Einwirkung solcher Entladungen an dem der Kathode gegenüberliegenden Ende helle Phosphoreszenz auftrat. Nach dem Vorherigen kann man nicht zweifeln, daß sich die Strombahnen auf die nächste Umgebung der dicht beisammenliegenden Elektroden beschränken, und daß nur die Kathodenstrahlen es sind, welche das Rohr der Länge nach durchsetzen. Es befand sich nun in dem Rohre an dem phosphoreszierenden Ende ein Quecksilbertropfen. Wurde durch Erhitzen des Rohres an dieser Stelle das Quecksilber verdampft und dadurch ein Gas von größerer Dichte dasselbst erzeugt, so füllte sich das Ende des Rohres mit rosaweißem Lichte, welches das Quecksilberspektrum zeigte. Die grüne Phosphoreszenz des Glases erblafte dabei und hörte ganz auf, wenn die durchstrahlte Schicht von

Quecksilberdampf eine gewisse Dicke erreichte. Wurde durch den Magnet den Kathodenstrahlen ein Weg gewiesen, bei welchem sie nicht den Dampf zu durchsetzen hatten, so hörte der letztere auf zu leuchten, und es erschien dafür die Stelle der seitlichen Glaswand, auf welche nun die Strahlen fielen, in grünem Phosphoreszenzlichte. Man konnte so beliebig das Glas oder den Quecksilberdampf leuchten lassen. Füllte sich dann durch weiteres Erhitzen und Destillieren ein immer größerer Teil des Rohres mit dem dichteren Dampfe, so leuchtete von dem dampferfüllten Teile immer nur die der Kathode zunächst gelegene Strecke auf eine Länge von 5 bis 6 cm, der dahinter gelegene Teil des Rohres blieb dunkel. War schliesslich das ganze Rohr mit dem dichteren Dampfe gefüllt, so umgab das Leuchten als gewöhnliches Kathodenlicht die Kathode bis auf eine Entfernung von einigen Centimetern. Es erregen also die Kathodenstrahlen das Leuchten da, wo sie zuerst auf ein dichteres Medium treffen und von demselben absorbiert werden, zu ihrer Absorption reicht eine verschwindend dünne Schicht eines festen Körpers aus, aber es ist eine Schicht von endlicher Dicke eines Gases hierzu erforderlich. Je dichter das Gas, auf eine um so kürzere Strecke vermögen die Kathodenstrahlen dasselbe zu durchdringen, dies ist vermutlich einer der Gründe, aus welchen in dichteren Gasen das Kathodenlicht sich auf die nächste Nähe der Kathode beschränkt.

3. Bei dem vorigen Versuche konnte man nicht zweifelhaft sein, dass das Gas auch dann, wenn es in unmittelbarer Nähe der Kathode leuchtete, doch nicht leuchtete unter dem Einflusse des Stromes, sondern unter dem Einflusse der Kathodenstrahlen. Denn dies Leuchten konnte durch unmerkliche Übergänge übergeführt werden in ein ganz ähnliches Leuchten, welches in grossem Abstände von der Kathode stattfand in einem Raume, in welchem der Strom Null war. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, dass in diesem besonderen Falle zwar das Kathodenlicht keine direkte Wirkung des Stromes sollte gewesen sein, dass dies aber im allgemeinen der Fall sein sollte. Da ferner nach den Untersuchungen des Hrn. GOLDSTEIN das Kathodenlicht so viele Analogieen mit den einzelnen positiven Schichten zeigt, dass es selbst als eine degenerierte

solche Schicht angesehen werden kann, so ist es sehr unwahrscheinlich, daß das Leuchten der Gase in den positiven Schichten ganz andere Ursachen haben sollte, als das Leuchten im Kathodenlichte. Man wird so zu der anfangs gewagt scheinenden Annahme geführt, daß das Leuchten des Gases in der Glimmentladung überhaupt keine unmittelbare Wirkung des Stromes sei, sondern mittelbar entstehe durch Absorption der durch den Strom erzeugten Kathodenstrahlen.¹⁾ Könnten wir die Entstehung der Kathodenstrahlen verhindern, so wäre das Gas überall so dunkel wie in den doch auch vom Strome durchflossenen dunklen Zwischenräumen der Schichten, könnten wir umgekehrt Kathodenstrahlen erzeugen auf anderem Wege als durch die Entladung, so könnten wir das Gas erleuchten auch ohne Strom. Einstweilen ist allerdings diese Trennung nur in der Vorstellung ausführbar.

4. Eine Reihe von Erscheinungen, welche anders nur schwer zu erklären sind, stellen sich fast als selbstverständlich dar, wenn man die Kathodenstrahlen als eine von der eigentlichen Entladung gänzlich unabhängige Bewegung auffasst, welche mit derselben nicht mehr zusammenhängt, als das Licht, welches von der Entladung ausstrahlt. Ich nenne nur die Durchdringung der Schichten, die Reflexion der Kathodenstrahlen von der Anode, das Heraustreten dieser Strahlen aus engen Metallgittern, welche die Anode bilden und die Kathode vollständig umgeben. Ich sah unter diesen Umständen voll entwickelte Kathodenstrahlen durch ein Drahtgitter treten, welches nicht weniger als 36 Maschen auf den Quadratmillimeter hatte.

III. Haben die Kathodenstrahlen elektrostatische Eigenschaften?

Giebt man zu, daß die Kathodenstrahlen nur eine Begleiterscheinung des eigentlichen Stromes sind, und daß dieselben elektrodynamische Wirkungen nicht ausüben, so ist wohl die nächstliegende Frage die nach ihrem elektrostatischen Ver-

¹⁾ d. h. von Strahlen, welche ihrer Natur nach identisch sind mit den Kathodenstrahlen. Der Name wird offenbar unpassend, wenn er auch die Strahlen der positiven Schichten umfassen soll.

halten. Leider konnte ich die darauf bezüglichen Versuche nicht mehr mit der Batterieentladung ausführen, sondern mußte mich mit den Entladungen eines kleinen Induktoriums behelfen. Da die letzteren wegen ihrer Unregelmäßigkeit und der Plötzlichkeit ihres Verlaufes zu elektrostatischen Messungen sehr ungeeignet sind, so erhielten die Versuche nicht die Schärfe, deren sie sonst vielleicht fähig gewesen wären, doch darf das Hauptresultat wohl als feststehend betrachtet werden. Die in der Überschrift aufgeworfene Frage kann in zwei einfachere zerlegt werden, nämlich erstens: Veranlassen die Kathodenstrahlen das Auftreten elektrostatischer Kräfte in ihrer Umgebung? und zweitens: Werden sie selbst in ihrem Verlaufe beeinflusst durch äußere elektrostatische Kräfte? Unter Kathodenstrahlen sind hier durchaus solche zu verstehen, welche von der sie erzeugenden Strombahn getrennt sind, dieselben sollen der Einfachheit halber als reine bezeichnet werden.

A. Auf die erstgenannte Frage wurde eine Antwort gesucht mittels der in Fig. 33 dargestellten Anordnung. AB ist das 25 mm weite, 250 mm lange Glasrohr, in welchem der Strahl erzeugt wurde, α ist die Kathode; alle mit β bezeichneten Teile sind gut metallisch miteinander verbunden und bilden, soweit sie im Inneren des Glasrohres liegen, die Anode. Sie bestehen erstens aus einem Messingrohre, welches die Kathode zum größten Teile umgibt und nur gegenüber derselben eine 10 mm im Durchmesser haltende, kreisförmige Oeffnung besitzt, durch welche die Kathodenstrahlen austreten können, zweitens aus einem Drahtnetze, dessen Maschen etwa 1 qmm bedecken, und durch welches die Kathodenstrahlen hindurchpassieren müssen, drittens aus einem metallischen Schutzkasten, welcher den größten Teil des Glasrohres völlig umgibt und verhindert, daß in dem außerhalb des Drahtnetzes gelegenen Teile des Gasraumes durch Influenz von außen, z. B. von der Kathode her, elektrostatische Kräfte auftreten können. Wenn die früher erhaltenen Resultate nur halbwegs Bedeutung haben, so sind die Kathodenstrahlen, nachdem sie die Mündung des Metallcylinders und obenein das Drahtnetz passiert haben, als rein zu betrachten. Sie sind aber deshalb nicht minder lebhaft, sondern lassen bei geringer Dichte die Glas-

wand bei *B* in lebhaftem, grünen Phosphoreszenzlichte erglänzen, in welchem sich der Schatten des Drahtnetzes genau abzeichnet. Es war nun der in den Schutzkasten hineinragende Teil des Glasrohres umgeben mit einem metallischen Mantel γ , welcher mit dem einen Quadranten eines empfindlichen Elektrometers verbunden war, während der Schutzkasten mitsamt dem anderen Quadranten zur Erde abgeleitet wurde. Wurde in das Innere dieses Mantels eine auch nur kleine Menge Elektrizität gebracht, so entzog dieselbe durch Influenz dem Elektrometer die entgegengesetzte Elektrizität, sodafs ein Ausschlag erfolgte. Das Einbringen von Elektrizität könnte z. B. in der Weise geschehen, dafs an Stelle des Glasrohres *AB* in das Innere des geschützten Raumes und des Mantels γ hineintragend ein Metallstab angebracht

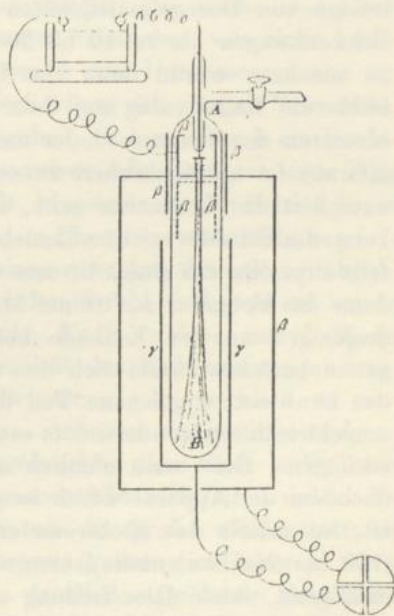


Fig. 33.

wurde, welcher ungefähr Gestalt und Lage des Kathodenstrahles hatte und mit der Kathode leitend verbunden war, während der Strom des Induktoriums wie bei den eigentlichen Versuchen das Rohr durchsetzte. Der Ausschlag, welchen das Elektrometer alsdann annahm, war zu groß, um gemessen zu werden, er konnte aber geschätzt werden auf zwei bis drei Tausend Skalenteile. Wurde dann der Strom unterbrochen, so ging das Elektrometer nahezu in die alte Lage zurück, und dies Spiel konnte beliebig wiederholt werden. Quantitativ ähnliche Wirkungen hätte nun der Kathodenstrahl hervorbringen müssen, wenn er aus einem Strome von Teilchen, die auf das Potential der Kathode geladen waren, bestand, qualitativ ähnliche aber überhaupt dann, wenn er irgend elektrostatische Kräfte in seiner Umgebung erregte. Dies war nun

das Resultat des Versuches: Wurden die Quadranten des Elektrometers leitend verbunden und nun das Induktorium in Gang gesetzt, so blieb natürlich zunächst die Nadel in Ruhe, wurde nun die Verbindung der Quadranten gelöst, so fing infolge von Unregelmäßigkeiten der Entladung die Nadel an, Schwankungen bis zu 10 bis 20 Skalenteilen um die Ruhelage zu machen, wurde dann das Induktorium unterbrochen, so blieb die Nadel ruhig auf ihrer Ruhelage, um beim Wiedereinsetzen des Stromes wieder um dieselbe zu schwanken u. s. w. Hieraus ist mit Sicherheit zu schliessen, dafs, soweit die Genauigkeit des Versuches geht, sich eine elektrostatische Wirkung des Strahles nicht wahrnehmen läfst; insbesondere, dafs, falls derselbe aus einem Strome elektrisirter Teilchen bestand, dann das Potential auf seiner Mantelfläche doch höchstens $\frac{1}{10}$ desjenigen an der Kathode betrage. Dieser Schluss bleibt genau bestehen, wenn sich nun auch zeigt, dafs der aufserhalb des Drahtnetzes gelegene Teil des Rohres keineswegs einfach unelektrisch ist, sondern dafs etwas kompliziertere Verhältnisse vorliegen. Setzt man nämlich das Induktorium in Bewegung, nachdem der Apparat durch lange Ruhe unelektrisch geworden ist, so erhält das Elektrometer eine bedeutende Ablenkung (150 bis 200 Skalenteile), eine negative Ladung des Glasrohres anzeigend. Aber diese Ladung und Ablenkung bleibt konstant, wenn man auch beliebig das Induktorium in Thätigkeit und aufser Thätigkeit setzt. Dieselbe hält stundenlang nach Unterbrechung des Apparates an. Die Stellung der Nadel verändert sich aber augenblicklich, wenn man während der Thätigkeit des Apparates dem Rohre einen Magnet nähert, um dann wieder in der neuen Lage konstant zu bleiben, solange der Magnet seine Lage beibehält. Es dringt also thatsächlich durch das Drahtnetz hindurch Elektrizität in den geschützten Raum, solange bis das gesteigerte Potential das weitere Eindringen verhindert. Die Gesetze, welchen dies Eindringen unterliegt, sollen hier nicht festgestellt werden, es genügt, dafs dasselbe mit den Kathodenstrahlen nichts zu thun hat. Denn weder wird das Eintreten der letzteren irgendwie beeinträchtigt, wenn das weitere Eindringen der Elektrizität verhindert ist, noch wird, wie der zuerst beschriebene Versuch zeigt, die Menge der im Glasrohre einmal vorhandenen Elektrizität da-

durch um ein Bemerkbares vermehrt, daß die Kathodenstrahlen den Raum zu durchströmen beginnen.

B. Um Aufschluß zu geben, ob die reinen Kathodenstrahlen durch elektrostatische Kräfte beeinflusst würden, wurden die folgenden Versuche angestellt. Die Kathodenstrahlen wurden in einem 260 mm langen Glasrohre von einer kreisförmigen Aluminiumkathode von 5 mm Durchmesser aus erzeugt. Die Kathode war, ähnlich wie in den vorigen Versuchen, fast völlig von der Anode umgeben, und nur durch ein Drahtnetz traten die Strahlen nach außen. In ihren weiteren Weg war ein feiner Draht gestellt, dessen scharfer Schatten, in einer Entfernung von 120 mm im Phosphoreszenzbilde erscheinend, ein genaues Merkmal einer etwaigen Ablenkung abgab. Es zeigte sich, daß eine auf den Strahl senkrecht zu seiner Richtung wirkende magnetische Kraft, welche nur halb so groß wie die horizontale Intensität des Erdmagnetismus war, hinreichte, die Lage dieses Schattens sehr merklich zu verändern. Das Rohr wurde nun zwischen stark und entgegengesetzt elektrisierte Platten gebracht, ohne daß indes eine Einwirkung auf das Phosphoreszenzbild sichtbar wurde. Es war aber hierbei zweifelhaft, ob die große elektrostatische Kraft, welcher das Rohr ausgesetzt war, im Inneren nicht kompensiert würde durch eine daselbst eintretende elektrische Verteilung. Um diese Zweifel zu heben, wurden im Inneren des Rohres zwei Metallstreifen in 20 mm Abstand angebracht, zwischen welchen auf eine Länge von 120 mm der Strahl von dem schattengebenden Draht aus hindurchgehen mußte, und welche durch Leitungen nach außen auf verschiedenes Potential gebracht werden konnte. Wurden dieselben zunächst mit den Polen einer Batterie von 20 kleinen DANIELL'schen Elementen verbunden, so zeigte Schluß und Öffnung dieser Verbindung nicht den mindesten Einfluß auf das Phosphoreszenzbild, also daß eine auf den Strahl senkrecht zu seiner Richtung wirkende Kraft von einem Dan. auf 1 mm jedenfalls noch keine Wirkung auf denselben äußerte. Es wurden sodann 240 PLANTE-Elemente der großen Batterie geladen, und ihre Pole mit den beiden Metallplatten verbunden. Diese 240 Elemente waren allein durchaus nicht fähig, den Gasraum zu durchbrechen, sobald aber das Induktorium einsetzte, und die

Kathodenstrahlen den Raum zwischen den Platten erfüllen, entstand zwischen den Platten die Batterieentladung, welche, da kein Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet war, sofort in Bogenentladung überging. Die gleiche Erscheinung konnte dann auch schon mit einer viel geringeren Zahl von Elementen, bis herab zu 20 bis 30 hervorgerufen werden. Dies entspricht einer von Hrn. HIRTORF gemachten Entdeckung, wonach der von den Kathodenstrahlen erfüllte Raum schon sehr kleinen Kräften gegenüber durchlässig ist. Wurden die 240 Elemente mit einem großen Widerstande zwischen die Platten geschaltet, so ging nur während jeder einzelnen Entladung des Induktoriums eine ebenso kurz andauernde schwache Batterieentladung über. Dabei erschien dann das Phosphoreszenzbild der Ruhmkorffentladung in der Nähe der negativen Platte durch Deflexion etwas verzerrt, der in der Mitte zwischen beiden Platten befindliche Schatten des Drahtes aber war nicht sichtbar verschoben. Man kann daher als Resultat angeben: Unter den Umständen des Versuches wurde der Kathodenstrahl durch keine elektromotorische Kraft abgelenkt, welche überhaupt in dem von ihm durchsetzten Raume zustande kommen kann, jedenfalls aber noch nicht durch eine elektromotorische Kraft von ein bis zwei Dan. auf das Millimeter? Hieran knüpfen sich die folgenden Bemerkungen.

1. Soweit die unter III beschriebenen, allerdings unvollkommenen Versuche ein Urteil zulassen, sind an den Kathodenstrahlen elektrostatische Eigenschaften nicht wahrzunehmen. Unter II wurde teils bewiesen, teils wahrscheinlich gemacht, daß auch elektrodynamische Wirkungen im engeren Sinne von ihnen nicht ausgehen. Daher kann die Frage aufgeworfen werden, ob wir überhaupt berechtigt seien, die Kathodenstrahlen an sich als eine elektrische Erscheinung anzusehen? Es erscheint nicht als unwahrscheinlich, daß dieselben ihrer Natur nach keine engeren Beziehungen zur Elektrizität haben, als das Licht, welches von einer elektrischen Lampe ausgeht.

2. Die unter II mitgeteilten Versuche lassen sich ganz wohl mit der von verschiedenen Seiten vertretenen Ansicht vereinigen, nach welcher der Kathodenstrahl gebildet werden solle aus einem Strome elektrisierter materieller Teilchen. Aber die unter III erhaltenen Resultate scheinen einer solchen

Ansicht entgegenzutreten. Dafs sich die Kathodenstrahlen ganz unähnlich verhalten einem mit der Kathode verbundenen Stabe von gleicher Gestalt, ist wohl nahezu das Gegenteil von dem, was man nach jener Anschauung erwarten sollte. Man kann ferner fragen, wie grofs die Geschwindigkeit elektrisierter Teilchen sein müsse, damit eine senkrecht zur Bahn derselben wirkende magnetische Kraft von der absoluten magnetischen Intensität Eins stärker ablenkend wirke als eine elektrostatische Kraft von einem Dan. auf 1 mm. Man findet, dafs jene Geschwindigkeit elf Erdquadranten in der Sekunde übersteigen müsse. Ohne eine solche Geschwindigkeit anzunehmen, könnte jene Anschauung, nach dem unter B dargestellten Versuche, von der Einwirkung des Magnetes auf die Strahlen keine Rechenschaft ablegen, aber eine solche Geschwindigkeit wird man nicht für wahrscheinlich halten.

Schlufs.

Durch die beschriebenen Versuche glaube ich bewiesen zu haben:

1. Dafs bis zur Beibringung stärkerer Beweismittel für das Gegenteil wir die Batterieentladung als kontinuierlich, also die Glimmentladung nicht als notwendig disruptiv anzusehen haben.

2. Dafs die Kathodenstrahlen eine die Entladung nur begleitende Erscheinung sind, mit der Bahn des Stromes in erster Annäherung aber nichts zu thun haben.¹⁾

3. Dafs den Kathodenstrahlen entweder gar keine oder doch nur sehr schwache elektrostatische und elektrodynamische Eigenschaften zukommen.

Außerdem aber habe ich versucht, eine ganz bestimmte Anschauung über das Wesen der Glimmentladung als wahrscheinlich hinstellen, deren Hauptzüge diese sind:

Das Leuchten des Gases in der Glimmentladung ist kein Phosphoreszieren unter dem direkten Einflusse des Stromes,

¹⁾ Da das Vorhandensein der Kathodenstrahlen in einem Gasraume die Durchlässigkeit desselben wesentlich beeinflusst, so kann man kaum zweifeln, dafs in zweiter Annäherung die Lage und Entwicklung der Kathodenstrahlen auf die Bahn des Stromes mitbestimmend einwirkt.

sondern ein Phosphoreszieren unter dem Einflusse der durch den Strom erregten Kathodenstrahlen. Diese Kathodenstrahlen sind elektrisch indifferent, unter den bekannten Agentien ist das Licht die ihnen am nächsten verwandte Erscheinung. Die Drehung der Polarisationsebene des letzteren ist das Analogon zur Beugung der Kathodenstrahlen durch den Magnet.

Wenn diese Anschauung richtig ist, so ist man durch die Erscheinungen gezwungen, verschiedene Arten von Kathodenstrahlen anzunehmen, deren Eigenschaften ineinander übergehen, welche den Farben des Lichtes entsprechen und welche sich unterscheiden nach Phosphoreszenzerregung, Absorbierbarkeit und Ablenkbarkeit durch den Magnet.

Die diesen Ansichten am nächsten stehenden früheren sind die von den Herren E. WIEDEMANN¹⁾ und E. GOLDSTEIN²⁾ geäußerten. Wenn man die unten citierten Stellen mit dem Gegenwärtigen vergleicht, wird man ebenso leicht die Übereinstimmungen, wie die Abweichungen erkennen. Die beschriebenen Versuche wurden im physikalischen Institut der Universität Berlin ausgeführt.

¹⁾ Siehe WIEDEMANN'S ANN. Bd. 10, S. 249, 1880.

²⁾ Siehe WIEDEMANN'S ANN. Bd. 12, S. 265, 1881.