4. *Über Erzeugung von Linienspektren; von E. Goldstein.*

Im nachfolgenden wird ein sehr einfaches Verfahren beschrieben, welches gestattet, die Spektren einer Anzahl von Metallen sowie aller chemisch bindungsfähigen Metalloide in linienreicher Form zu gewinnen. Es hat sich in meinen Arbeiten bereits seit einigen Jahren bewährt und hat ermöglicht, in verschiedenen Richtungen über die Resultate hinauszugehen, welche bisher nach anderen Methoden mit viel größeren Hilfsmitteln erzielt worden waren. Von diesen später zu beschreibenden Ergebnissen vorläufig abgesehen, ist das Verfahren zunächst geeignet, die Anschauung einer Reihe von Spektren zu vermitteln, welche bisher nur schwierig, oder mit nicht überall verfügbaren Hilfsmitteln darstellbar waren. Es dürfte noch viele Physiker und Chemiker geben, welche das Emissionsspektrum des Natriums aus eigener Anschauung nur in den beiden *D*-Linien kennen, und die entsprechend auch für die übrigen Alkalimetalle nur die schon von Kirchhoff und Bunsen angegebenen Flammenspektren beobachtet haben. Noch größer ist wohl die Zahl derjenigen, welche eigene Anschauung für die Spektren der meisten Metalloide (abgesehen etwa von N, H und O) entbehren.

Der Grund liegt in der Beschaffenheit der Hilfsmittel, welche für die Gewinnung dieser Spektren bisher anzuwenden waren. Für die Alkalimetalle war der Lichtbogen, oder der Funke in Wasserstoff zwischen metallischen Elektroden, oder die Anwendung noch weniger bequemer Methoden erforderlich, wie die Benutzung von Preßluft für Flammen oder der Funkenübergang zwischen geschmolzenen Salzen von ganz bestimmter Konsistenz (Lecoq). Eder und Valenta¹⁾ haben die Unbequemlichkeiten einer Anzahl derartiger Methoden hinreichend geschildert. —

1) J. M. Eder u. E. Valenta, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, Wien 1904.

Bei den nicht zu den gewöhnlichen atmosphärischen Gasen gehörenden Metalloiden mußte man sich meist auf käufliche Röhren beschränken, da z. B. die Entwicklung von Chlor und Brom in physikalischen Instituten mit Rücksicht auf viele Apparate wohl nach Möglichkeit vermieden wird. Die käuflichen Röhren wurden vielfach bald unbrauchbar, da manche Gase in kurzem sich mit den Elektrodenmetallen verbinden.

Das hier zu beschreibende Verfahren beruht auf folgender Erscheinung: Wenn man in eine (zylindrische) Entladungsröhre gepulverte Salze einbringt, so daß die Salzsäule über den am unteren Ende des Rohres befindlichen Anodendraht hinausreicht, so geht die Entladung eines Induktoriums auch bei sehr geringer Gasdichte nicht auf dem kürzesten Wege mitten durch die Salzsäule über, sondern *sie verläuft als heller dünner Faden (oder als Büschel) an der Glaswand, zwischen ihr und der Salzschrift, ist also für den Beobachter auf ihrer ganzen Bahn sichtbar.*¹⁾

Für die nachfolgend beschriebenen Versuche ist es zweckmäßig, die Salzschrift ca. $\frac{3}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ cm über die Spitze der Anode hinausreichen zu lassen. Die Evakuierung der Versuchsröhren wird bis $\frac{1}{10}$ mm oder noch etwas weniger Quecksilberdruck getrieben. Bei der geeigneten Gasdichte gibt ein 1 cm langer, $\frac{3}{4}$ mm dicker Aluminiumdraht als Kathode in der Achse eines 2 cm weiten Zylinders an einem mittelstarken Induktorium helles Phosphoreszenzlicht der Glaswand.

Der Entladungsfaden verläuft in einer sehr schmalen Furche, die er sich im Salze gräbt, also in einer Art kapillaren Rohres. Die Helligkeit der Entladung ist deshalb eine beträchtliche. Gleichzeitig verdampft er — sofern es sich nicht um *sehr* schwer flüchtige Substanzen handelt — das Salz, über welches er hinstreicht und zersetzt den Dampf unter Ent-

1) Die naheliegende Vermutung, daß die Erscheinung auch mit den spezifischen Leitungswiderständen der Materialien zusammenhängt, dergestalt, daß der Funke vermöge der chemischen Natur der eingebrachten Salze an ihnen größeren Widerstand finde als am Glase, trifft nicht zu. Denn als zur Füllung solcher Röhren Glaspulver benutzt wurde, welches aus dem Material der Röhren selbst hergestellt war, so verlief die Entladung ebenfalls an der *Wandung* der Röhren.

wicklung des betreffenden Metallspektrums. Der im Entladungskanal entwickelte Dampf treibt die Reste der ursprünglich darin enthaltenen Luft aus, so daß ihre Banden im Spektrum nicht auftreten.

Benutzt man als Füllsalz z. B. Bromkalium, so zeigt der Entladungsfaden eine rötliche Farbe. Während das Spektrum der Bunsenflamme für Kalium bekanntlich nur die rote und die violette Doppellinie

$$\begin{array}{ccc} \lambda & & \\ 770 & \} & 404,7 \\ 767 & \} & 404,4 \end{array} \quad \text{und}$$

erkennen läßt, zeigt das Spektrum des Entladungsfadens außerdem die Linien:

λ 694	536	508
691	534,3	497
583	534	496
581	532	495
580	511	494
578	510 ¹⁾	

Die oben zunächst vorausgesetzte Anbringung des Anodendrahtes in der Mittelachse des vertikal gedachten Rohres bringt es mit sich, daß es von kleinen Zufälligkeiten abhängt, ob der Entladungsfaden an der dem Beobachter bzw. dem Spektralapparat zugekehrten oder an der abgewandten Seite des Rohres verläuft. Nicht selten springt dann der Faden ohne ersichtliche Ursache plötzlich von einer Seite auf die andere.

Setzt man aber den Anodendraht exzentrisch ein und gibt ihm zugleich in der Röhre eine schräge, zum Spektralapparat hin geneigte Stellung, so tritt der Lichtfaden stets an der für die Beobachtung günstigen Seite auf.

Für die Darstellung des Natriumspektrums kann man als Füllsalz einfach z. B. Chlornatrium benutzen. Der Entladungsfaden leuchtet dann intensiv goldgelb, wie eine stark mit Kochsalz geschwängerte Bunsenflamme. Sein Spektrum zeigt aber nicht bloß die *D*-Linien, sondern auch alle von Kayser

1) Die Linie 510 entspricht für stärkere Dispersionen, als sie mein Apparat bewirkt, den Ablesungen von Kayser und Runge bei 509,96 und 509,75.

und Runge beobachteten Bogenlinien des Natriums, nämlich die Paare bei

λ 616	515	467
569	498	454
567	475	450

Außerdem sind eine Anzahl der von Liveing und Dewar jenseits λ 450 bemerkten Linien erkennbar.¹⁾

Lithiumsalze geben im Entladungsfaden statt der üblichen zwei Flammenlinien fünf Linien des Lithiums.

Rubidiums Salze lassen im Entladungsfaden die folgenden Linien erkennen:

λ 795	607	536	478
780	572	526	457
630	565	520	422
621	543	516	420
616			

Diese Tabelle stellt die sämtlichen von Kayser und Runge (im sichtbaren Spektrum) beobachteten Serienlinien des Rubidiums dar. Außerdem aber enthält sie noch zwei andere Linien λ 478 und 457, die von Kayser und Runge nicht verzeichnet sind. Sie sind sehr hell und zeigen sich bei allen daraufhin untersuchten Rubidiumverbindungen. Auf diese Erscheinung wird in einer zweiten, speziell den Spektren der Alkalimetalle gewidmeten Mitteilung eingehend zurückzukommen sein.

Cäsiumsalze lassen im Entladungsfaden 28 Metalllinien erkennen, darunter zwei helle Linien λ 556 und 523, welche bei Kayser und Runge nicht verzeichnet sind. Auch hierauf wird später einzugehen sein.

Der Entladungsfaden zeigt sich also geeignet, für die Alkalimetalle ungleich reichere Spektren als die gewöhnlich benutzten Flammen und ebenso reiche wie der Lichtbogen zu geben.

Bisher war vorausgesetzt, daß durch die Entladungsröhre nur der einfache Induktionsstrom, ohne Einschaltung von

1) Alle diese Natriumlinien erhält man auch schon, wenn man an Stelle eines reinen Natriumsalzes Glaspulver (aus gewöhnlichem Thüringer Hohlglas) verwendet, und in besonderer Helligkeit, wenn man das Glaspulver noch von außen her (mittels einer Bunsenflamme) erhitzt.

Kondensatoren, gesandt wurde. Schaltet man parallel zur Röhre noch eine Leydener Flasche mit variabler äußerer Funkenstrecke (Funkenmikrometer), und ist vorläufig die Funkenstrecke auf Null reduziert, so bleibt die Flasche ohne Wirkung, und man erhält z. B. bei Chlornatriumfüllung der Röhre nur das beschriebene Natriumspektrum des goldgelben Entladungsfadens. Zieht man jetzt die Kugeln des Funkenmikrometers auseinander, so ladet sich die Flasche, die Farbe des Entladungsfadens springt aus Goldgelb in Grün über, und im Spektrum blitzen grell die Linien des *Chlors* auf. Man erhält hierdurch ein Chlorspektrum, welches bei hinreichend verlängerter Luftstrecke reicher ist als die bisher nach anderen Methoden dargestellten Spektra dieses Elementes. Besonders fällt der Reichtum an neuen Linien in den weniger brechbaren Teilen auf, welche aus äußerst zahlreichen dicht gedrängten, bis ins tiefe Rot sich erstreckenden Linien bestehen.¹⁾ — Ganz entsprechend kann man durch Verwendung von Alkalibromid oder -Jodid die vollständigen Spektra von *Brom* und *Jod* gewinnen.

Eine einmalige Beschickung der Röhren in den oben angedeuteten Quantitäten genügt, um die Spektra der Haloide stundenlang hell zu unterhalten. Irgendeine Verunreinigung der Pumpe bzw. ihres Quecksilbers ist dabei nicht erkennbar. Auf die Spektra der Haloide und ihre Gewinnung bei etwas abgeänderter Anordnung komme ich weiter unten zurück.

Das Linienspektrum des *Schwefels* wird gewöhnlich nach Plücker und Hittorf in Spektralröhren mittels äußerer Erhitzung von festem Schwefel dargestellt, der in das Innere der Röhren eingebracht worden. Das Verfahren ist — von Verunreinigungen abgesehen — sehr unbequem, weil der Schwefel sehr bald in die für die Beobachtung bestimmten engsten Rohrteile sublimiert und das Licht der Entladung zum großen Teil absorbiert. Erhitzung pflegt aus sekundären Ursachen nicht lange zu helfen. Mittels des Entladungsfadens und einer kleinen Leydener Flasche aber erhält man das Linienspektrum des Schwefels sehr bequem in reinem und

1) Für alle in dieser Mitteilung beschriebenen Versuche genügt eine kleine Flasche von 2–300 qcm innerer Belegung bei 3 mm Glasdicke.

linienreichem Zustande, wenn man als Füllsalz (geglühtes) Schwefelcalcium verwendet. In annähernd reinem Zustande, d. h. mit wenig hervortretenden Spuren des Sauerstoffspektrums erblickt man das Spektrum des Schwefels, wenn man den durch die Flasche verstärkten Entladungsfaden in der beschriebenen Weise über Kaliumsulfat (vorher geschmolzen, dann gekörnt) gehen läßt. Dem viel stärkeren Absorptionsvermögen der Schwefeldämpfe im Verhältnis zu Sauerstoff entspricht auch ein weit überwiegendes Emissionsvermögen, wodurch das Schwefelspektrum in erster Annäherung allein zur Wahrnehmung gelangt. Weiter unten komme ich auf die Darstellung eines reinen Schwefelspektrums nochmals zurück. Noch stärker ist das relative Absorptionsvermögen von Selen bzw. Tellur, und deshalb erhält man mittels des Entladungsfadens reich entwickelte Linienspektren von *Selen* und *Tellur* mit nur ganz schwachen Sauerstofflinien, wenn man als Füllsalze selensaures Natrium oder tellursaures Natrium benutzt. Das *Phosphorspektrum* wird entsprechend bequem mittels Natriumphosphats, noch besser mittels geprühten zweibasischen Strontiumphosphats dargestellt. Die Spektren von *Arsen* und *Antimon* kann man mittels Natrium-Arseniats bzw. Antimoniats erhalten.

Das schöne, besonders durch drei helle Paare (in Rot, Orange und Grün) ausgezeichnete Linienspektrum des *Siliciums* erhält man in reicher Ausbildung, wenn man den Entladungsfaden an Kieselfluornatrium beobachtet. Mit Flasche wird dieses Spektrum auch von Kieselfluorkalium, Kieselfluorbarium, Kieselfluorstrontium u. a. geliefert. Die Doppelsalze der Kieselfluorwasserstoffsäure zerfallen nämlich in der Hitze (des Entladungsfadens) in Fluormetalle und Fluorsilicium. Letzteres wird durch die Entladung dann weiter zersetzt.

Das Siliciumspektrum tritt bisweilen auch auf, ohne daß man eine Siliciumverbindung in die Röhre eingeführt hat, unter anderem wenn man leicht zersetzliche einfache oder Doppelfluoride einbringt, z. B. AgF oder KHF_2 . Im ersten Falle findet dann eine Umsetzung zwischen AgF und der kieselhaltigen Glaswand statt, bei welcher sich Fluorsilicium bildet; das letztere liefert dann wieder das Siliciumspektrum.

Das Spektrum des als Zwischenprodukt auftretenden

Siliciumfluorids kann man hierbei in weiten Rohrteilen ebenfalls beobachten. Benutzt man z. B. eine Röhre, wie Fig. 1, in deren unterem Teil sich Kieselfluorkalium befindet, so entwickelt die Flaschenentladung ein Gas, welches in den weiten Teilen der Röhre blau, in dem 2 mm weiten Röhrchen *r* rot leuchtet. Das blaue Licht gibt das bereits bekannte Bandenspektrum des Siliciumfluorids, das durch eine im Violett und Blau gelegene Reihe von sieben unmittelbar aufeinanderfolgenden, gleichartigen Banden ausgezeichnet ist. Das rote Licht liefert das Linienspektrum des Siliciums selbst. —

Fig. 1.

Nachdem das Verfahren in seinen Grundzügen beschrieben worden, seien noch einige technische Details erwähnt.

Um die Spektren der elektronegativen Radikale mittels der bisher erwähnten Materialien rein und in besonderer Helligkeit hervorzurufen, empfiehlt sich die Anwendung geschmolzener und nach dem Erstarren gepulverter Salze. Bei praktisch unschmelzbaren Substanzen, wie z. B. den Sulfiden und Phosphaten der alkalischen Erden, wendet man Glühen im Platintiegel an. Dagegen genügt für die helle Hervorrufung der Serienspektren der Alkalimetalle nach dem beschriebenen Verfahren die Anwendung von nur *getrockneten* Salzen. Die letzteren sind hierbei sogar vorzuziehen, weil z. B. bei geschmolzenen Alkalihaloiden erfahrungsmäßig auch schon die hellsten Haloidlinien sich superponieren können.

Die Entladungsröhren werden vor dem Einfüllen der Salze an der Pumpe getrocknet, am besten unter äußerer Erhitzung und Spülen mit trockener Luft bei gleichzeitigem Entladungsdurchgang.

Auch ohne Verwendung von Leidener Flaschen lassen sich viele Spektren von Metalloiden, ganz besonders von Chlor, Brom, Jod, mittels des Entladungsfadens mindestens in ihren ausgezeichnetsten Partien darstellen, wenn man nicht, wie bisher vorausgesetzt, einen in relativ weitem, leerem Rohr gelegenen Draht als Kathode benutzt, sondern wenn man den Strom umkehrt, so daß der von Salzpulver dicht umhüllte Draht Kathode

wird. Diese Anordnung wirkt dann analog wie die Umhüllung einer Drahtkathode mit einem engen über die Spitze noch hinausreichenden Glasröhrchen. In geringen Gasdichten veranlaßt eine solche Umhüllung bekanntlich disruptive Entladungen, die in den vorliegenden Versuchen den Entladungen kleiner Flaschen an Stärke gleichkommen.

An Stelle der zunächst beschriebenen Entladungsröhrchen von 8 mm Weite kann man auch erheblich engere benutzen, bis zu ca. 2 mm lichter Weite. Sie bieten unter anderem den Vorteil, die möglichen Abweichungen der Funkenbahn von der dem Spektralspalt direkt gegenüberliegenden Leitlinie des Röhrzenzylinders noch weiter einzuschränken. Die Röhre kann dann z. B. die Form Fig. 2 erhalten. Das Salzpulver wird durch *E* eingefüllt und mittels geeigneter Drehung der noch luftgefüllten Röhre zunächst in das Seitenrohr *S* gebracht. Erst nachdem die Röhre evakuiert worden, dreht man sie um das zur Pumpe führende horizontale Rohr *a* derart, daß ein hinreichendes Quantum Salz aus *S* nach *R* gelangt und dieses 2—4 mm weite Rohr bis nahe zur Mündung füllt. Anderenfalls würde bei schneller, stoßweiser Evakuierung das

Fig. 2.

Salz bisweilen aus *R* herausgeschleudert werden. Wird dabei die Kathode *K* bestäubt, so führt dies oft zu störenden Disruptiventladungen.

Bei engen Röhren bildet Schrägstellen der Anode noch kein ausreichendes Mittel, um den Entladungsfaden an die dem Beobachter erwünschten Seite zu zwingen. Letzteres ist aber auch für die engen Röhren einfach zu erreichen vermöge der Tendenz des Funkens stets in möglichst hoher Lage überzugehen. Die für Entladungen in freier Luft seit langem bekannte Erscheinung beruht darauf, daß das durch die Entladung erwärmte und nach oben steigende Gas dünner ist, als tiefer gelegene Schichten und daher der Entladung geringeren Widerstand bietet. Stellt man die Röhre daher vor dem ersten Entladungsübergang horizontal oder auch nur schräg, das Anodenteil gegen den Spektralapparat gekehrt, so

geht der Entladungsfaden an der Oberseite des horizontalen bzw. an der Vorderseite des schräg gestellten Rohres *R* über. Dreht man nun, während die Entladungen andauern, das Rohr in die vertikale Lage zurück, so bleibt der Funke in der einmal gewählten Bahn. — Sollte auch bei weiten Röhren mit schräg gestellter Anode die Entladung einmal nicht sogleich im ersten Moment an der „Vorder“seite übergehen, so genügt auch hier, bei vorläufig wieder abgestellter Entladung, ein Schrägneigen der Vorderseite nach oben und leichtes Klopfen auf der Vorderseite, um die wiedereinsetzende Entladung nun „vorn“ verlaufen zu lassen.

Mit derartigen, weiten oder engen, Röhren wird man auskommen, wenn es sich darum handelt, z. B. die „Bogenspektren“ der Alkalimetalle durch okulare Ausmessung oder auch photographisch aufzunehmen. Denn eine und dieselbe Portion Salz läßt, ohne daß an der Röhre irgend etwas geändert wird, eine Stunde und länger den Entladungsfaden und sein Spektrum beobachten. — Nach Unterbrechung der Entladung wird man in vielen Fällen an der Glaswand einen feinen, farbigen, meist blauen Faden, viel dünner als der leuchtende Entladungsfaden selbst, bemerken. Er rührt davon her, daß der Entladungsfaden an der Glaswand, an welcher ein an sich durchsichtiges Häutchen aus dem verdampften Salz sich niederschlägt, vermöge seines ultravioletten Lichtes eine Nachfarbe hervorruft. Der dünne Nachfarbefaden ist so wenig störend, daß man selbst im äußersten Rot die an sich dort wenig lichtstarken Linien der Alkalimetalle dauernd wahrnehmen kann, z. B. die an der Grenze des sichtbaren Spektrums gelegene (Doppel-)Linie des Kaliums bei λ 795.

Bei einer Anzahl von Salzen werden diese Nachfarbspuren des Entladungsfadens aber breiter und intensiver, wenn man zur Erzeugung intensiver Metalloidspektren Kondensatorentladungen benutzt. Die entstehende Nachfarbe ist aber auch in diesem Falle meistens blau und stört deshalb keineswegs in dem Maße, wie man es bei der manchmal tiefen Färbung auf den ersten Blick erwarten möchte. Denn die blaugefärbte Schicht läßt diejenigen Teile des Spektrums, für welche das Auge wenig empfindlich ist (Blau und Violett), immer noch gut hindurch, während im helleren Rot, sowie im

Gelb und Grün der Einfluß der Absorption wegen der größeren Netzhautempfindlichkeit für diese Farben nicht sehr stört.

Immerhin und besonders, wenn man im tiefen Rot untersuchen will, wird man es natürlich vorziehen, von der Einwirkung dieser Nachfarben möglichst unabhängig zu werden. Man kann durch leichtes Beklopfen der Röhre zwar dem Entladungsfaden eine geänderte Bahn einer ungefärbten

Fig. 3.

Wandstelle entlang geben, Heranbringen aber von frischem Salz an eine schon gefärbte Stelle ist wirkungslos, weil die Färbung am Glase selbst sitzt bzw. dort haftet. Durch eine Abänderung der Versuchsröhre kommt man aber leicht zum Ziel. Man benutzt z. B. eine Röhre wie Fig. 3; das Spektroskop ist auf den Teil der Röhre dicht oberhalb *a* gerichtet. Haben fortgesetzte Flaschenentladungen nun die Nachfarbe zu dicht gemacht, so dreht man die

Fig. 4.

Röhre (an der Pumpe) einfach um 180° , und kann nun wieder an einer ganz klaren Wand bei *b* die Beobachtung fortsetzen.

Zweckmäßig ist auch eine in Fig. 4 dargestellte Abänderung der Röhre Fig. 2. Man verlängert das Rohr *R* und bringt in ihm außer *a* noch die beiden dünnen Platinanoden *b* und *c* an, und zwar an der vom Spektralapparat abgekehrten Seite. Wie bei Fig. 2 bringt man das Salzpulver zunächst in *S* ein, und füllt nach vollzogener Evakuierung der Röhre aus *S* zunächst nur das untere Drittel *α* des Rohres *R*.

Dort geht (*a* +, *K* −) die Entladung dann über, bis etwa die Glaswand nicht mehr genug Licht hindurchläßt, dann wird auch das zweite Drittel *β* angefüllt und *b* statt *a*

zur Anode gemacht, endlich das oberste Drittel, während γ Anode wird.

Sollte man in besonderen Fällen die Aufnahmezeit oder, z. B. bei Demonstrationen für ein zahlreiches Auditorium, die Beobachtungszeit noch weiter verlängern wollen, so dienen hierzu Röhren wie Fig. 5, bei denen man durch Drehung um die horizontale, zur Pumpe führende Radachse nacheinander fünf Entladungsröhren ohne Verrückung des Spektralapparates direkt vor dessen Spalt bringen kann. Als Kathodenteil dient, wie die Seitenaufnahme der Röhre (Fig. 5a) zeigt, ein besonderer Zylinder C.

Fig. 5.

Fig. 5a.

Zum Einschütten des Salzes dient das Rohr *E*, welches nachher zugeschmolzen wird. Das Salz befindet sich dann zunächst in 1. Aus 1 kann man die Salzfüllung nach Belieben entweder in 3 oder in 4, und von dort aus in 2 oder 5 gelangen lassen. In 3 gelangt das Salz, wenn man die Röhre in Richtung des Pfeiles um 120° dreht, bis 1 in die Anfangslage von 4 gelangt ist. In 4 dagegen geht die Füllung über, wenn man um den gleichen Betrag in entgegengesetzter Richtung dreht. Aus 4 kann man dann das Salz in 2 übergehen lassen, indem man die Röhre *schnell* um 180° dreht, so daß das Salz nicht Zeit behält, bei der 120° -Drehung zu entweichen. Entsprechend gelangt es durch schnelle Halbumdrehung aus 3 in 5, so daß also sukzessiv alle 5 Schenkel zur Benutzung gebracht werden.

Man kann schließlich von dem Einfluß der Nachfarbe

sich noch mehr frei machen, wenn man Röhren benutzt wie Fig. 6. Sie gestatten zugleich, die großen Vorteile, welche bei gasgefüllten Spektralröhren die Längsdurchsicht bietet, auch für die Untersuchung von Metallspektren auszunutzen. Die

Fig. 6.

Verwendbarkeit der Röhren beruht auf der weiter oben angeführten Eigenschaft der Entladung, stets in möglichst hoher Lage überzugehen. Ist also r mit Salz fast ausgefüllt und in horizontale Lage gebracht, so geht der Entladungsfaden entlang der Oberseite von r über und sein Licht summiert sich für die Beobachtung, wenn die Achse von r in die Richtung der Kollimatorachse fällt. — Ein kleines Quantum Salz wird mittels E zuerst in den ca. 1 cm weiten Teil R gebracht, später, wenn die Röhre luftleer gemacht ist, wird durch geeignetes Neigen auch r gefüllt. Es schadet natürlich nicht, wenn dabei etwas Salz auch in die Kugel K gelangt. Zu beachten ist nur, daß die an K grenzende Öffnung von r in ihrem oberen Teil nicht durch Salzkörner verlegt ist.

Es sind äußerst geringe Salzmenngen, welche hinreichen, Spektren der in ihnen enthaltenen Metalloide lange Zeit zu

Fig. 7.

unterhalten. Dem Auge ganz unerkennbare, durchsichtige Salzhäutchen, die auf Glaswänden durch Sublimation oder durch Verstäubung bei der Entladung sich niedergeschlagen haben, reichen dafür aus.

Eine Röhre, wie Fig. 7, enthielt über der Anode Rubidiumbromid (geschmolzen, dann gepulvert) aufgeschüttet. Zur Kathode wurde K , zur Anode zunächst a gemacht. Auch beim Durchgang sehr kräftiger Flaschenentladungen traten dann in

keine Bromlinien auf. Wurde aber statt a jetzt der salzumlagerte Draht b zur Anode gemacht, so erschienen in weniger als

1 Min. in *a* alle Hauptlinien des Broms. Diese Linien bleiben nun auch, wenn man jetzt statt *b* wieder *a* zur Anode macht, — und zwar bleibt das Bromspektrum nicht nur für einige Augenblicke, sondern auch bei langer Fortdauer der Entladungen. Entsprechend tritt auch nach halbstündiger Stromunterbrechung, während deren die Röhre mit dem Pumpenrezipienten kommuniziert, bei dieser Schaltung das Bromspektrum sogleich wieder auf. Endlich kann man auch in die Röhre reine Luft von so hohem Druck einlassen, daß die Entladung ohne Flasche nur einen dünnen rötlichen Faden bildet. Evakuiert man dann wieder bis auf Röntgenvakuum, wobei gasförmig anwesendes Brom natürlich mit fortgesaugt wird, — so tritt bei neuer Flaschenentladung doch in *r* sogleich wieder hell das Bromspektrum auf. Es müssen sich also *feste* Salzpartikel in *r* befinden, welche das Substrat für die dauernde Erzeugung des Bromspektrums bilden, obwohl auch mit der Lupe weder eine Beschlaghaut noch das Vorhandensein von diskreten Salzteilchen an der Wand von *r* zu erkennen ist. Die erforderlichen Salz-mengen sind also minimal.

Wird statt des 3 mm weiten Rohrstücks *r* ein nur $1\frac{1}{2}$ mm weites Röhrchen gewählt, so tritt, wenn *b* Anode ist, das Bromspektrum in *r* ebenfalls in einem Bruchteil einer Minute auf. Das Spektrum zeigt dann, bei der größeren Helligkeit der Entladung im engeren Querschnitt, nicht bloß die Hauptgruppen des Broms, sondern alle seine bisher publizierten Linien.

Ganz analog erzeugt ein Chlorid, statt des Bromids als Füllsalz benutzt, in *r* das Chlorspektrum, ein Jodid das Spektrum des Jods, nachdem der Entladungsfaden der Flasche nur einige Sekunden über die angebrachte Salzfüllung gestrichen ist.

Die minimalen Substanzmengen, die hierbei erforderlich sind, sind im Einklang mit den bekannten Beobachtungen von Hasselberg¹⁾, wonach bei manchen Glassorten in sehr stark evakuierten Spektralröhren durch die Leidener Flasche das Chlor- oder das Schwefelspektrum in allen Hauptgruppen hervorgerufen werden kann, ohne daß ein Chlorid oder eine Schwefelverbindung in

1) B. Hasselberg, Bull. Acad. St. Petersburg 27. p. 97 und 405. 1881.

der Röhre besonders eingeführt wäre. Der Funke griff beim Mangel gasförmiger Substrate schließlich die Glaswand an und entband aus ihr etwas Chlor oder Schwefel.

Bei den von mir benutzten Glassorten (Thüringer Hohlglas) ließ sich das Chlorspektrum mittels der Flasche jedesmal erzeugen, wenn man die evakuierte Röhre während des Entladungsdurchganges so weit erhitzt hatte, daß das Entladungslicht ohne Flasche sich gelblich färbte, bzw. im Spektrum hell die Natriumlinien zeigte. Es war dann also etwas NaCl verdampft, welches im Flaschenfunken zersetzt das Chlorspektrum gab. Vielfach genügen — ohne Erhitzung der fertigen Röhre — schon die kleinen Mengen Chlornatrium, welche bei der Herstellung der Röhre vor der Gebläselampe in das Innere der Röhre sublimiert sind. Bei der Untersuchung anderer Spektren stören aber, wie dies ja die alltägliche Erfahrung an fertigen, käuflichen Spektralröhren lehrt, diese kleinen Verunreinigungen nicht, so lange der Druck der untersuchten Gase nicht unter gewisse Grenzen sinkt, bzw. es kommt dann gar nicht zu einem Angriff der Wände und der auf ihnen abgelagerten Substanzen.

Die Erscheinung, daß das Spektrum gewisser Elemente mittels ihrer Salze auch in Rohrteilen erhalten werden kann, welche von der eingebrachten Salzmasse relativ weit entfernt sind, und die Tatsache, daß in solchen Rohrteilen wegen des geringen Salzgehaltes keine erkennbare Nachfarbe auftritt, legen die Frage nahe, ob nicht allgemein in dieser Weise die Haloid- oder alle Metalloidspektren dargestellt werden könnten, indem man den eigentlichen Entladungsfaden selbst nicht als Lichtquelle, sondern nur zur Gasentwicklung verwendet, und als Lichtquelle die Röhren *a* benutzt.

In der Tat läßt sich ein solches Verfahren ausbilden, vorläufig wenigstens für Chlor, Brom, Jod und Schwefel. Man hat nur für eine so reichliche Entbindung des zu untersuchenden Gases zu sorgen, daß der Flaschenfunke nicht, wie bei spärlichem Gasdruck, auch die Glassubstanz anzugreifen braucht. Jedoch läßt eine so starke Gasentwicklung, wie sogleich gezeigt werden soll, sich leicht erzielen. Man kann bei diesem Verfahren dann natürlich auch Röhren für Längssicht konstruieren und die Helligkeit des Spektrums durch Länge und Enge der leuchtenden Gassäule sehr weit steigern.

Geeignet sind u. a. die der Fig. 6 ähnlichen Röhrenformen Fig. 8a und Fig. 8b.¹⁾ Um z. B. das Bromspektrum zu erzeugen,

Fig. 8a.

Fig. 8b.

füllt man Bromkalium durch *E* 3 cm hoch in den 4 mm weiten, 5 cm langen Anodenteil *A* ein, und ein kleineres Quantum durch *E'* auch in *S*. Ist die Röhre hinreichend evakuiert (helles Phosphoreszenzlicht um die Kathode), so bringt man, wie in der Figur durch Schraffierung angedeutet, auch noch etwas Salz vor den hinteren Eingang des 1 mm weiten Rohres *r*, ohne ihn jedoch zu verstopfen. Der Entladungsfaden entwickelt dann Brom an beiden Seiten des Spektralrohres *r*, und man kann das nun äußerst helle Spektrum des Gases in Längs-sicht stundenlang untersuchen. Salz-mengen in das enge Rohr *r* selbst einzubringen ist nicht nötig.

Man erhält die Linienspektren der Halogene dann, übereinstimmend mit den Messungen an den von mir benutzten elektrodenlosen Röhren²⁾ in weit reicherer Ausbildung als

1) Die Form Fig. 8b wird vorzuziehen sein, wenn man das Vortrocknen der Röhre in einem umschließenden, von außen erhitzten Kasten bewirken kann; falls man direkt mittels einer Bunsenflamme die Röhre bespült und mit ihr an alle Teile heranreichen muß, wird Fig. 8a zu wählen sein.

2) E. Goldstein, Verh. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 8. p. 321. 1907 u. Physik. Zeitschr. 8. p. 674. 1907.

irgendwelche bisherigen Publikationen sie verzeichnen, und man kann insbesondere die l. c. von mir erwähnten, weit über die bisher angenommenen Grenzen sich erstreckenden dichten Reihen neuer Maxima im Rot besonders bei Chlor und bei Brom in großer Helligkeit wahrnehmen. Die genauere Publikation dieser Spektralbereiche behalte ich mir bis zur demnächstigen Fertigstellung eines größeren Spektrographen für eine besondere Mitteilung vor.

Viel reichlicher noch als aus ihren Alkalisalzen erhält man die drei Halogene aus den betreffenden Salzen von Calcium, Strontium und Barium, also z. B. das Brom und sein Spektrum, wenn man als Füllsalz der Röhren 8a und 8b geschmolzenes Calciumbromid oder die Bromide von Sr und Ba verwendet, und entsprechend kann man die Chloride und Jodide für vielstündige Unterhaltung des Chlor- und des Jodspektrums benutzen. — Ob die besonders reichliche Ausbeute an Haloidgasen bei Benutzung der *Erdkalialsalze* nur darauf beruht, daß bei ihnen im Unterschiede von den Alkalisalzen mit je einem Metallatom *zwei* Halogenatome verbunden sind, bleibe vorläufig dahingestellt. —

Auch die *Bandenspektren* von Jod und Brom¹⁾ kann man mittels solcher und ähnlicher Röhren leicht und in großer Helligkeit herstellen. Doch gehe ich darauf hier nicht näher ein, da die vorliegende Arbeit wesentlich die Erzeugung von Linienspektren behandeln soll.

Sehr schön läßt sich nach dem beschriebenen Verfahren auch das Linienspektrum des Schwefels gewinnen, indem man in die Röhre Fig. 8a oder 8b geglühtes Schwefelcalcium einbringt. Der Schwefeldampf leuchtet dann in dem relativ weiten Rohr *A* bei Flaschenfunken laubgrün, in dem engeren Rohr *r* mehr bläulich. Es ist keinerlei künstliche Erhitzung, wie sie bei den Schwefelspektralröhren des Handels angewendet werden muß, erforderlich, sondern die zur Zersetzung und Dampfbildung erforderliche Energie und Erhitzung wird dauernd von der Entladung selbst geliefert. Ohne eine Abnahme der Helligkeit läßt sich das Schwefelspektrum in dieser Weise mehrere Stunden hintereinander produzieren.

1) E. Goldstein, Verh. d. Berl. Physik. Gesellsch. 1886. p. 38.

Hinsichtlich der Brauchbarkeit des Verfahrens sei erwähnt, daß es gestattet, auch das Linienspektrum des Schwefels über seine bisherige Rotgrenze (λ 657,9) hinaus zu verfolgen, und auch innerhalb seiner bisherigen Grenzen die Zahl seiner bekannten Linien nicht unerheblich zu steigern.

Jenseits λ 658 habe ich als neue Linien des Schwefels wahrgenommen:

λ 700	678	668,6
694	677	664,5
690	673	662
687	672	659,8
681,5		

Auch weiterhin bis zu λ 582, wo die genauen Messungen von Eder und Valenta¹⁾ einsetzen, konnte ich eine erhebliche Anzahl neuer Linien beobachten. Die Zusammenstellung ihrer Wellenlängen verschiebe ich bis zu Wiederholung der Messungen mit einem größeren Spektrographen.

Die Frage liegt nahe, ob durch den Entladungsfaden nicht auch bei den Erdalkalien, wie bei den Alkalien, die Spektre der Metalle erhalten werden können. In der Tat ist dies möglich, doch weicht das Verhalten der Erdalkalisalze im Entladungsfaden nach einigen Richtungen von dem der Alkalisalze etwas ab. Die Haloidspektre treten bei ihnen viel leichter auf als bei den entsprechenden Alkalisalzen, die Spektre der Metalle viel schwerer, d. h. bei viel größeren Entladungsdichten. Letzteres beruht wohl mindestens zum Teil auf der geringeren Flüchtigkeit der Erdalkalimetalle.

Führt man die Haloidsalze von Ca, Sr und Ba in die zu Anfang dieser Mitteilung beschriebenen 8 mm weiten Zylinderrohren ein, und setzt die Entladung *ohne* Einschaltung einer Flasche in Gang, so treten die Metallspektre *nicht* auf, aber je nach der Stärke der Entladung bildet der Entladungsfaden büschelartig gekrümmte, hin- und herspielende Linien oder (bei größeren Stromstärken) eine konstante, intensiv leuch-

1) J. M. Eder u. E. Valenta, Denkschr. der Wiener Akad. d. Wiss. **67.** p. 97. 1898.

tende, fast gerade Bahn, die bei Bromsalzen bläulich, bei Chloriden und Jodiden mit grüner Farbe leuchtet. Das Spektrum besteht aus den Hauptliniengruppen des im Salze enthaltenen Halogens.

Wird noch die Flasche eingeschaltet, so treten an Stelle der Hauptgruppen die reich entwickelten vollständigen Halogenspektren in großer Lichtstärke auf.

Macht man nun außerdem die Röhren, in denen der Entladungsfaden über die Salze streicht, sehr eng, so erhält man im Flaschenfaden auch reiche und sehr helle Linienspektren von Barium, bzw. Strontium und Calcium. Die Röhren werden dann zweckmäßig höchstens 2 mm weit gemacht, und können mit steigender Lichtstärke bis auf $\frac{1}{2}$ mm verengt werden. Die geeigneten Gefäßformen gleichen Fig. 2, wenn man *R* sich durch ein einige cm langes, z. B. $\frac{3}{4}$ mm weites Stück Thermometerrohr ersetzt denkt, das an seinem Ende einen kurzen Platinstift als Anode enthält. Die Füllung der engen Röhren wird wie bei Fig. 2 bewirkt, wobei man die sehr fein gepulverten, vorher geschmolzenen Erdalkalihaloide, welche nach dem Erkalten rasch wieder etwas Feuchtigkeit anziehen, vor dem Umfüllen in den engsten Rohrteil erst noch in *S* behufs Trocknung von außen erhitzt. Das Salzpulver braucht nicht die ganze Länge des engen Rohres zu füllen; der Widerstand wächst natürlich mit der Länge der engen Entladungsbahn. Am leichtesten, d. h. *cet. par.* schon bei den weitesten Röhren, ist das Bariumspektrum zu erhalten, die engsten Röhren erfordert das Calciumspektrum. In Röhren von $\frac{3}{4}$ mm Weite sind alle drei Spektren sehr lichtstark. Die Röhren selbst stellen dann wohl die lichtstärksten Spektral- bzw. Entladungsröhren dar, welche bisher hergestellt worden sind. Ihr Licht wirkt blendend selbst in einem tageshellen Zimmer, und der Durchmesser der leuchtenden dünnen Gassäule erscheint durch Irradiation stark verdickt. Das Leuchten erscheint infolge der großen Intensität für alle drei Metalle weiß, — aber wenn das Licht abgedämpft wird, bei Barium mit einem leichten rosa Stich, bei Strontium mit leicht bläulicher Nuance. Bei zunehmender Entladungsdichte verbreitern sich am leichtesten die Linien des Bariums, am schärfsten bleiben die Calciumlinien. Allem Anschein nach bestehen hier Beziehungen zur

Größe des Atomgewichtes, wie sie in anderer Richtung sich bereits für die Spektren der Alkalimetalle gezeigt haben¹⁾. —

Die Linien der Erdalkalispektren werden also, soweit sie Verbreiterungen zeigen, um so breiter, je enger die Versuchsröhre ist, und je größer die Flaschenladungen sind.

Bei der großen Lichtstärke der Spektren nimmt man ohne Schwierigkeit in ihrem tieferen Rot Linien mit dem Auge wahr, welche beim Funkenspektrum der Erdalkalimetalle, soviel mir bekannt, bisher noch nicht konstatiert wurden. Für Barium war die äußerste Funkenlinie nach Rot bisher wohl die schon von Huggins beobachtete Linie λ 689, für Strontium und Calcium waren die entsprechenden Grenzen 688,5 bzw. 671. Mit Hilfe des Entladungsfadens sieht man bei Barium leicht noch die Linien 706, 712 und 728. Bei Calcium sind noch hell die Linien 715 und 720 zu sehen.

Die angeführten, für die Funkenspektren neuen Linien sind sehr wahrscheinlich identisch mit Linien, welche in den Bogenspektren der beiden Metalle bereits von H. Lehmann²⁾ photographisch festgestellt worden sind. — Bei Strontium sah ich zwei Linien ca. 708 und ca. 731,5, die auch im Bogen noch nicht beobachtet zu sein scheinen.

Umgekehrt, als dunkle Linien, wurden an den $\frac{1}{2}$ mm weiten Röhren gesehen die folgenden Bariumlinien:

728	649,6	553,4
706	614	494
659	611	455,3
654	607	

Die von Liveing u. Dewar umgekehrt gesehenen Linien 549,2 und 551,8 sah ich nur hell, dagegen wurden unter ihren Versuchsbedingungen von L. u. D., abgesehen von den damals noch nicht bekannten Linien 728 und 706, nicht umgekehrt gesehen: 659—614—611—607.

Auch bei Strontium lassen meine Röhren Umkehrungen erkennen, die bei L. und D. nicht erwähnt sind, während ich andere von ihnen erzielte Umkehrungen nicht erhielt. —

1) E. Goldstein, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 8. p. 321. 1907.

2) H. Lehmann, Drudes Ann. d. Phys. 8. p. 643. 1902.

Umgebung, während Flaschenentladungen durch die wieder stark evakuierte Röhre geleitet werden, mittels einer Kondenserlinse auf dem Spektralspalt (verkleinert) abgebildet, so erhält man z. B. bei Anwendung von (geschmolzenem) Strontiumbromid das Bromspektrum in durchweg langen Linien, die das ganze Gesichtsfeld durchsetzen, die Strontiumlinien aber nur als ganz kurze Striche. Ganz ebenso bilden sich die Linien des Calciums, für welches r höchstens 1 mm weit sein darf, in äußerst kurzen Strichen ab. Etwas länger sind im allgemeinen die Bariumlinien, aber auch sie sind sämtlich mit Sicherheit daran zu erkennen, daß sie an der Unterseite des Splitterchens nur ganz kurz sind, während auch dort die Haloidlinien die Höhe des Gesichtsfeldes haben.

An der Oberseite zeigen einige Linien des Bariums größere Länge, so daß sie zum Teil ebenfalls das Gesichtsfeld (aber nur in seiner oberen Hälfte) durchsetzen können. Es sind dies die „langen“ Linien des Metalles im Sinne der bekannten Lockyerschen Bezeichnung. Als die längsten Linien zeigen sich hierbei λ 614 und 494, demnächst und in absteigender Reihenfolge 456—650—585. Die in Lockyers Versuchsbedingungen längste Linie 554 zeigte hier die Verlängerung nur schwach angedeutet. —

Durch die Kleinheit des erforderlichen Salzquantums würde die vorliegende Methode vielleicht auch geeignet sein, um das Funkenspektrum des Radiums weiter zu untersuchen, wobei in der abgeschlossenen Röhre irgendein Materialverlust überhaupt nicht einzutreten brauchte. Sofern das Radium, wie sein chemisches Verhalten es wahrscheinlich macht, in der Tat sich der natürlichen Gruppe Ca, Sr, Ba als oberstes Glied einreihet, wird man nach dem Vorhergehenden hinsichtlich seines spektralen Verhaltens dabei vermuten dürfen, daß es schon bei relativ starken Rohrweiten ein linienreiches Spektrum geben, daß es eine noch größere Zahl von „langen“ Linien liefern wird, als Barium, und daß seine hellsten Linien schon bei mäßigen Entladungsdichten relativ starke Verbreiterungserscheinungen zeigen werden. —

Die an den Salzsplittern beobachteten Spektralerscheinungen sind nicht mehr Wirkungen des Entladungsfadens. Vielmehr werden diese Erscheinungen dadurch erzeugt, daß der Flaschen-

strom durch das erhitzte und leitend gewordene Splitterchen hindurchgeht. Dabei fungiert das der Röhrenkathode zugekehrte Ende des Splitters als Anode. Dieses Ende verdampft nun in der Flaschenentladung vorzugsweise, und die Metaldämpfe erzeugen ein helles Flämmchen,

Fig. 10.

dessen Länge mit der Kapazität des Kondensators etwas variiert. In meinen Versuchen, in denen für den vorliegenden Zweck wieder nur eine kleine Flasche von ca. 250 qcm innerer Belegung angewandt wurde, war die Höhe dieser Flämmchen etwa $1-1\frac{1}{2}$ mm. Daß es sich bei der Erzeugung der Flämmchen und dem Auftreten der „langen“ Linien um ein polares Phänomen handelt, zeigte sich deutlich, wenn die Röhre, wie z. B. bei Fig. 10, ein in bezug auf *x* mehr symmetrische Gestalt erhielt. War dann *b* Kathode, *a* Anode, so traten die langen Bariumlinien an der Oberseite des (vermöge der hinzutretenden Kondenserlinse im Spektroskop zweimal umgekehrten) Splitterbildchens auf. Wurde der

Strom umgekehrt, so gingen Flämmchen und lange Linien an die Unterseite des Splitters.

Die Farbe der Flämmchen, welche an den Splittern die Metallspektren liefern, ist unabhängig von der Natur des mit dem Metall ursprünglich verbundenen Haloids und hängt nur von dem Metall selbst ab. Die Flämmchen sind hell rosenrot bei Barium, hellblau bei Strontium, weiß (vielleicht mit leichtem Gelbstich) bei Calcium. Es scheint mir zweifellos, daß hier die Leuchtfarben der *Metaldämpfe* vorliegen. Der Bariumdampf leuchtet im dissoziierenden Flaschenfunken also nicht grün, wie man nach bekannten Erfahrungen an Bunsenflammen erwarten möchte, sondern rosenrot, ganz entsprechend dem Reichtum seines Funkenspektrums an starken roten Linien einerseits und der Dürftigkeit seiner grünen Spektrallinien andererseits. Strontiumdämpfe leuchten nicht rot sondern blau, und Calcium hat weißleuchtende Dämpfe. — Die Leuchtfarbe des Radiumdampfes bleibt noch zu bestimmen.

Auch wenn man, ohne sich auf einzelne Splitter zu be-

schränken, längere Salzsäulen in engen Röhren herstellt, bildet sich am Anoden- (d. h. der Kathode zugewandten, freien) Ende der Salzsäule das Flämmchen. Schwach aber mit deutlicher Ausbildung des zugehörigen Linienspektrums tritt es häufig auch schon ohne Anwendung der Flasche auf, wenn man nur eine mäßige Luftstrecke in den einfachen Schließungskreis des Induktoriums einschaltet, und dadurch eine verstärkte Disruptivität der Entladung veranlaßt. —

Der an engen Röhren für Bariumsalze oben erwähnte Rosa-
stich des langen, weißen Entladungsfadens der Flasche, und der Blaustich des weißen Strontiumfadens entsprechen den Beobachtungen über die Flämmchenfarben, und sind ebenfalls durch die Leuchtfarben der Metaldämpfe selbst bedingt.

Nachdem in der vorstehenden Mitteilung die Verwendung des Entladungsfadens kursorisch für verschiedene Gruppen von Elementen behandelt worden, soll in einer zweiten Mitteilung auf die Spektre der Alkalimetalle spezieller eingegangen werden. Die in einer vorläufigen Mitteilung¹⁾ erwähnten „Grundspektre“ dieser Elemente wurden zunächst am Entladungsfaden bemerkt. Der Entladungsfaden an Alkalisalzen, der beim einfachen Induktionsstrom die Bogenspektre der Alkalien zeigt, gibt bei Einschaltung der Flasche, indem die Serienlinien zurücktreten, für Kalium, Rubidium und Cäsium die Grundspektre dieser Metalle zusammen mit den Linien der elektronegativen Salzkomponenten. Auf mehrfache Art — unter den hier beschriebenen Verfahren z. B. nach der Splittermethode — sind die Metalllinien leicht kenntlich zu machen. Zu den gleichen Ergebnissen führen auch andere Methoden, in erster Reihe natürlich die Verdampfung der reinen Metalle selbst bei Untersuchung ihrer Dämpfe in Flaschenentladungen. Aus verschiedenen Zuschriften ersehe ich, daß seitens der betreffenden Fachgenossen bereits Arbeiten an Metaldämpfen in Gang sind, für welche meine ausführlichere Mitteilung nicht mehr abgewartet werden soll. Besonders häufig wurden dabei Fragen gestellt bezüglich der Größe der Kapazitäten, die für die Sichtbarmachung der Grundspektre erforderlich sind — teil-

1) E. Goldstein, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 8. p. 321. 1907.

weise in der Annahme, daß es sich dabei um ungewöhnlich große Werte handle. Daher gestatte ich mir, auch hier nochmals darauf hinzuweisen, daß nur große Entladungsdichten, bezogen auf die Masseneinheit der Dämpfe, erforderlich sind. Bei geringen Dampfdichten aber werden große Entladungsdichten auch schon von geringen Kapazitäten geliefert. Das Wesentliche liegt also in der Benutzung von Vakuummethoden. Bei diesen genügen auch schon ganz kleine Flaschen, wie sie in dem vorliegenden Aufsatz vorausgesetzt wurden. Jedenfalls wird eine vorläufige praktische Orientierung über die von mir l. c. beschriebenen Spektralerscheinungen nunmehr, wie ich hoffe, keine Schwierigkeiten bieten. Die für das nähere Studium der Erscheinungen nach meinen bisherigen Erfahrungen besonders geeigneten Methoden und ihre Ergebnisse soll eine in kurzem folgende zweite Mitteilung bringen.

(Eingegangen 3. September 1908.)