

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Die Bildung der Erdalkaliperoxyde**

**Engler, Carl**

**Heidelberg, 1910**

Über Kanalstrahlen

[urn:nbn:de:bsz:31-289891](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289891)

Sitzungsberichte  
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften

Stiftung Heinrich Lanz  
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

==== Jahrgang 1910. 21. Abhandlung. ====

## Über Kanalstrahlen

von

[einem] [ithelm]  
H. v. Dechend und W. Hammer  
in Freiburg i. B.

-----  
Eingegangen am 5. August 1910  
-----

(Mitteilung aus dem physik. Institut der Universität Freiburg i. B.)

Vorgelegt von F. Himstedt



Heidelberg 1910

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags - Nr. 486.

Sitzungsberichte  
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften  
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse  
Heidelberg 1910, Nr. 10

# Über Kanalstrahlen

von  
H. v. Dechend und W. Hammer

Ergebnisse der Physik

Verlag von Carl Winter, Heidelberg

Verlegt von E. Winter



Heidelberg 1910  
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Sir J. J. THOMSON<sup>1)</sup> hat die Beobachtung gemacht, daß Kanalstrahlen, einerlei in welchem Gase sie erzeugt werden, im allgemeinen immer nur zwei Arten von positiven Ionen enthalten, deren  $\frac{e}{m}$  ( $5 \cdot 10^3$  und  $10^4$ ) es wahrscheinlich macht, daß wir es mit positiven Strahlen von H und H<sub>2</sub> zu tun haben. Nur in Helium tritt außer diesen beiden bei seinen Versuchen noch eine dritte Art von positiven Strahlen auf mit  $\frac{e}{m} = 2,5 \cdot 10^3$ , die demnach dem einwertigen Helium zuzuschreiben sind.

Sir J. J. THOMSON zieht daraus den Schluß, daß Kanalstrahlen anderer Gase, wenn sie überhaupt existieren, sich in positive H- und H<sub>2</sub>-Strahlen umwandeln.

Die weittragende Bedeutung dieser Auffassung läßt neues Beobachtungsmaterial wünschenswert erscheinen, um so mehr, als die THOMSON'schen Ergebnisse im Gegensatz stehen zu denen von den Herren W. WIEN, GEHRKE und REICHENHEIM, KOENIGSBERGER und KUTSCHEWSKI.

Herr W. WIEN<sup>2)</sup> hat bereits im Jahre 1902 gefunden, daß sich bei sehr sorgfältiger Befreiung der Apparatur von Wasserstoff in den Kanalstrahlen auch Ionen nachweisen lassen, deren magnetische Ablenkbarkeit sie als O-Ionen auffassen läßt.

Diese Versuche sind unter Benutzung der von den Kanalstrahlen erregten Glasfluoreszenz angestellt worden. In einer neueren Mitteilung gibt Herr WIEN<sup>3)</sup> an, daß sich gewöhnlich die Fluoreszenz der Wasserstoffreste über die andere lagert und die Beobachtung unmöglich macht. Aus diesem Grunde wendet er nunmehr eine Thermosäule an, über welche die einzelnen Maxima des Kanalstrahlenbündels nacheinander durch Änderung der mag-

<sup>1)</sup> J. J. THOMSON, *Phil. Mag.*, 1907, 16, p. 561, 1909, 18, p. 821, Dez. 1909, März 1910.

<sup>2)</sup> W. WIEN, *Ann. d. Phys.*, 8, p. 244, 1902.

<sup>3)</sup> W. WIEN, *Phys. Z.*, 11, p. 377, 1910.

netischen Feldstärke weggeführt werden können und stellt übereinstimmend mit seinen früheren Versuchen ein Maximum des Galvanometerausschlages bei der für O-Jonen zu erwartenden Feldstärke fest.

GEHRKE und REICHENHEIM<sup>4)</sup> ist es durch Anwendung verschiedener Kunstgriffe gelungen, die Übereinanderlagerung der verschiedenen Phosphoreszenzstreifen zu vermeiden. Sie setzen die Entfernung von der Kathode bis zum Schirm auf 10 cm herunter und wenden kurze Magnetfelder an, um der Verbreiterung der einzelnen Flecken durch die von Herrn WIEN entdeckte Neutralisation und Neuladung der Kanalstrahlenteile zu entgegen.

Auch die Herren GEHRKE und REICHENHEIM kommen zu dem Resultat, daß auch O-Jonen im Kanalstrahl vorhanden seien.

Sowohl die Versuche von Sir J. J. THOMSON, als die von den Herren W. WIEN, GEHRKE und REICHENHEIM sind nun bei Drucken angestellt worden, bei denen die Stoßionisation und alle sie begleitenden Umstände eine wesentliche Rolle spielen können. GEHRKE und REICHENHEIM untersuchen die Kanalstrahlen in einem Raume, in dem derselbe Druck herrscht wie im Entladungsraume. Herr WIEN leitet allerdings die Strahlen durch eine Kapillare in einen zweiten, den Beobachtungsraum, in dem der Druck tiefer gehalten werden kann. Die äußersten von ihm erreichten Drucke betragen aber immer noch fast  $\frac{1}{1000}$  mm Hg (genau 0,0009).

Da bei diesen Drucken die Stoßionisation keineswegs vermieden ist, so gelingt es ihm auch nicht, exakte Messungen der elektrostatischen Ablenkungen auszuführen.

Da dieses Untersuchungsmittel bei gleichzeitiger Messung von  $\frac{e}{m}$  und  $v$  nicht zu entbehren ist, haben wir allein schon aus diesem Grunde die WIEN'sche Anordnung zu vervollkommen versucht. Es ist uns gelungen, die Drucke im Beobachtungsraum auf wenige Hunderttausendstel mm Hg zu reduzieren, während im Entladungsrohr Drucke bis zu mehreren Zehnteln mm Hg herrschen konnten.

Da die Änderung des  $\frac{e}{m}$  der Kanalstrahlenteile, wenn sie in einem solchen Vakuum verlaufen, auf ein sehr geringes Maß

<sup>4)</sup> GEHRKE u. REICHENHEIM, *Verh. d. D. Ph. Ges.*, 12, p. 144, 1910.

beschränkt ist, so fällt damit gleichzeitig eine Reihe von Komplikationen weg, die eine Deutung der Erscheinungen erschweren. Damit ist die Möglichkeit gegeben die Eigenschaften von Kanalstrahlen unabhängig von ihrer Entstehungsweise zu studieren, ebenso, wie man  $\alpha$ -,  $\beta$ - und LENARD-Strahlen untersucht hat.

Nur bei getrennter Variation von Entladungs- und Beobachtungsbedingungen kann man aus dem Verhalten der Kanalstrahlen einwandfreie Schlüsse auf deren Entstehungsmechanismus machen.

Die benutzte

#### Versuchsanordnung

ist in Fig. 1 schematisch gezeichnet. Den wichtigsten Teil bildet die Kathode K. Sie besteht in der Hauptsache aus einem auf beiden Seiten konisch abgedrehten Eisenstück, auf das auf der einen Seite der Schliff des Entladungsrohrs, auf der anderen der des Beobachtungsrohrs aufgesetzt wird. In ihrer Mitte ist eine Kammer angebracht, die durch konische Bohrungen von beiden Seiten aus zugänglich ist. In diese lassen sich zwei Eisenröhren einkitten, von denen die eine durch ein ebenfalls eingekittetes Glasrohr mit der Pumpenleitung in Verbindung steht. Die zweite war mit einer Glasplatte verschlossen und gestattete einen Einblick in die Mittelkammer.

Der ganze Eisenklotz war der Länge nach durchbohrt. In die Bohrung wurden die beiden Kapillaren a und b eingekittet (0,8 bzw. 0,6 mm Durchmesser), deren Axen sorgfältig aufeinander justiert waren.

Der Eisenkörper trägt auf der linken Seite den Teil c (Messing), der in der Mitte einen durchbohrten Aluminiumstift besaß und mit diesem zusammen konkav ausgedreht war (ca. 3 cm Krümmungsradius).

Diese Aluminiumausfüllung und ebenso die konkave Ausbildung konzentrieren die Entladung stark auf die Mitte der Kathode.

Bei dieser Anordnung zumal bei dem relativ geringen Rohrdurchmesser (ca. 4 cm), war der Kathodenfall stark anomal (genauerer darüber am Schluß).

Die Anode bestand aus einer Aluminiumscheibe von 3 cm Durchmesser und befand sich in einem Abstand von 40 cm von der Kathode.

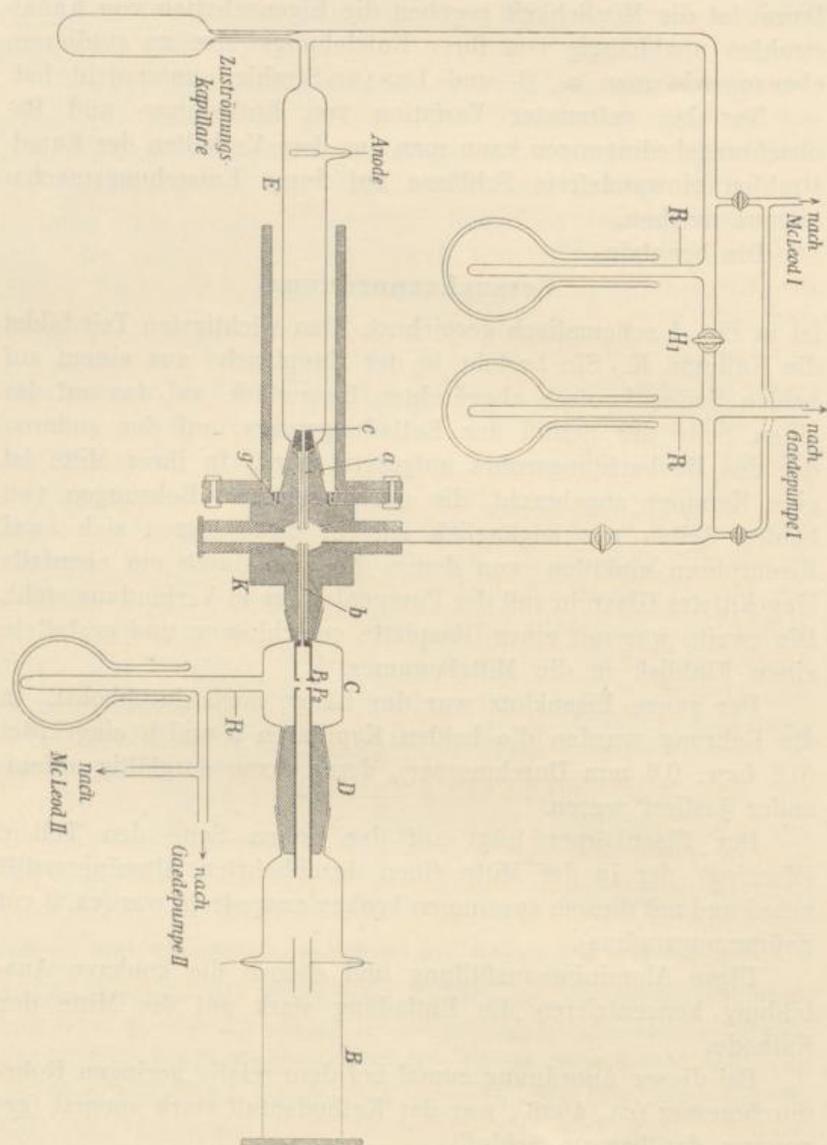


Fig. 1.

Auf das Gewinde g konnte eine 1,5 cm starke Eisenplatte aufgeschraubt werden und auf diese durch Flansch ein starkwandiges Eisenrohr. Auf diese Weise war das Entladungsrohr vor dem Einfluß der am Beobachtungsrohr wirkenden Magnetfelder vollkommen geschützt. Wir fanden indessen, daß bei den großen Abständen in unserer Apparatur auch ohne Eisenrohr keine störende Beeinflussung der Entladung stattfand und haben daher weiterhin auf dessen Anwendung verzichtet.

Die Pumpenschaltung geht aus Fig. 1 hervor. Bei geschlossenem Hahn  $H_1$  wirkt Gaedepumpe I allein auf die Mittelkammer der Kathode und beseitigt bereits den größten Teil des durch die Kapillare a aus dem Entladungsrohr E nachströmenden Gases. Der Kanalstrahl passiert dann die Kapillare b, tritt dann in den durch einen Eisenpanzer magnetisch geschützten Raum C und von diesem durch den 18 mm weit durchbohrten Eisendoppelkonus D in das eigentliche Beobachtungsrohr B ein. Auf dieses wirkt Gaedepumpe II. Im Rohr C kann der Kanalstrahl noch der Einwirkung eines zwischen den Platten P herrschenden elektrischen Feldes ausgesetzt werden (siehe später).

Im Beobachtungsraum passierte der Strahl zwischen den Messingplatten M (2,5 · 9,4 cm, Abstand 9,5 mm) und fiel dann auf die mit Siegelack<sup>5)</sup> aufgekittete Gasplatte G, die mit einem dünnen Überzug von Willemit oder GIESEL'schem Zinksulfid<sup>6)</sup> versehen war. Die Entfernung vom Beginn der Kathode bis zu dieser Platte betrug 65 cm.

Die Strahlen waren auf der ganzen Bahn, soweit sie nicht in Metallröhren verliefen, durch Messingdrahtnetze und Versilberungen gegen jede ungewünschte elektrische Beeinflussung geschützt. Bei den von uns erreichten Drucken, die keine Ausgleichung von Wandladungen gestatten, ist diese Vorsichtsmaßregel peinlich zu beachten. Ihre Außerachtlassung führt zu erheblichen Komplikationen und kann unter Umständen die Beobachtung der Phosphoreszenzflecken überhaupt unmöglich machen.

Zur Druckmessung dienten zwei MacLeod-Manometer, das eine (bis zu  $10^{-4}$  mm ablesbar) für Entladungsrohr und Kathodenkammer, das andere ( $10^{-5}$  mm ablesbar) für das Beobachtungsrohr.

<sup>5)</sup> Wir verwenden zu allen Kittungen den ausgezeichneten Kittlack Nr. 849a von LILIENDAHL in Neudietendorf.

<sup>6)</sup> Zinksulfidschirme sind bei geeigneter Präparation nach unseren Erfahrungen Willemitschirmen erheblich überlegen.

Eine Reihe von Vorsichtsmaßregeln, deren Kenntnis wir Herrn Dr. GAEDE verdanken, wurden angewandt, um die Druckmessung einwandfrei zu gestalten. Da von seiner Seite demnächst eine Veröffentlichung hierüber zu erwarten ist, sehen wir hier von näheren Angaben ab, um so mehr, als es zunächst nur auf die Größenordnung ankommt. Daß MacLeod-Manometer bei richtiger Behandlung eine exakte Messung dieser tiefen Drucke gestatten, ist im übrigen durch die Untersuchungen von den Herren SCHEEL und HEUSE<sup>7)</sup> sichergestellt.

Die in Fig. 1 gezeichneten Röhren  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  wurden während der Versuche dauernd mit flüssiger Luft gekühlt und so dafür gesorgt, daß die Dampfdrucke aller in Betracht kommenden Substanzen mindestens auf dieselbe Größenordnung herabgesetzt waren als die Gasdrucke. Unsere Zahlen geben somit die Größenordnung der Gesamtdrucke an.

Diese Maßregel ist für den Beobachtungsraum eine unbedingte Notwendigkeit, da mit anderen Trockenmitteln die Wasserdampfspannung z. B. kaum unter einige Zehntausendstel mm Hg herabgesetzt werden kann. Für den Rest des Röhrensystems war weitgehende Trocknung zur Erreichung konstanter Entladungsbedingungen ebenfalls geboten.

Im übrigen waren alle Maßregeln angewandt, um die Maximalleistung der Gaedepumpen zu erreichen und auch auszunutzen. Dazu ist unter anderem erforderlich Regulierung der Tourenzahl der Trommel und Aufrechterhaltung eines hohen Vorkakuums<sup>8)</sup> und ferner genügend große Durchmesser sämtlicher Leitungsröhren (wozu auch die Hahnbohrungen gehören).

Als Stromquelle benutzten wir eine zweiplattige Voss'sche und später eine zweiplattige Mercedes-Influenzmaschine. Inductorströme waren zu vermeiden, da die Inkonzanz der Spannung und damit der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen eine bedenkliche Komplikation der Versuchsbedingungen mit sich bringen kann.

Das ablenkende elektrostatische Feld erhielten wir durch Anschluß an das städtische Werk (2·220 Volt). Das Magnetfeld erzeugte ein kleiner Elektromagnet von Hufeisenform. Seine

<sup>7)</sup> SCHEEL u. HEUSE, *Verh. d. D. Phys. Ges.*, 11, 1, 1909.

<sup>8)</sup> Eine Verschlechterung des Vakuums durch Verschleppung von Gasen aus dem Vorkuum, wie sie z. B. Herr LILIENTHAL erwähnt (*Ann. d. Phys.*, 32, 673, 1910) tritt dann nie auf.

Eigenschaften waren keine sehr günstigen. Wir haben daher auch auf die genauere Auswertung des Feldintegrals verzichtet. Beide Felder hatten parallele Kraftlinienrichtung, brachten also zueinander senkrechte Ablenkungen hervor (vgl. später).

Die oben beschriebene Apparatur hatte den Nachteil, daß sie Kanalstrahlen nur bei Entladungsspannungen oberhalb 15 bis 20000 Volt zu beobachten gestattete. Wir haben daher auch mit einer anderen Anordnung, die etwas weitere Kapillaren besaß und erheblich kürzer gehalten war, eine Reihe von Versuchen angestellt. Diese gestattete Beobachtungen von 10000 Volt ab.

Die sämtlichen Versuche sind, soweit nichts anderes bemerkt ist, mit Luftfüllung angestellt.

Sobald bei dieser Apparatur die Verdünnung im Entladungsrohr weit genug vorgeschritten war, um eine Entladungsspannung von ca. 10—20000 Volt zu ermöglichen, zeigte sich in dem zunächst auf gleichem Druck wie das Entladungsrohr gehaltenen Beobachtungsrohr ein leuchtendes diffuses Kanalstrahlenbündel, das auf dem Willemitschirm einen verwaschenen Phosphoreszenz-fleck erzeugte. Eine Verminderung des Drucks im Beobachtungsrohr vermehrte die Schärfe des Strahls und des Phosphoreszenz-flecks, verminderte dagegen die Helligkeit des Strahlenbündels. Sobald der Druck unter einige Zehntausendstel Millimeter gesunken war, war von der Kanalstrahlenbahn nichts mehr wahrnehmbar, dagegen gewann die Schärfe des Phosphoreszenz-flecks von diesem Druck ab immer mehr. Bei ca.  $10^{-4}$  mm Hg ist der Fleckdurchmesser nicht wesentlich größer als den Kanal-dimensionen entspricht, d. h. ca. 2—3 mm.

Das Aufhören der Lichtemission bei diesen tiefen Drucken zeigt, daß die Emissionszentra nur dann emittieren, wenn sie durch Zusammenstoß mit anderen Gasteilchen dazu angeregt werden.

Unterwirft man die Strahlen, solange sie noch leuchten, indessen schon scharf genug sind, um einen guten, nicht zu großen Phosphoreszenz-fleck zu erregen, der Einwirkung eines elektrischen Feldes, so zerlegen sie sich in zwei Teile, einen un-abgelenkten und einen abgelenkten. Diese Ablenkung hat auf Form und Intensität des leuchtenden Kanalstrahlenkegels keinen wahrnehmbaren Einfluß, ebensowenig ist auf der Bahn der abgelenkten Teile irgendwelche Helligkeit zu entdecken, obwohl aus dem Intensitätsverhältnis der Phosphoreszenz-flecken hervor-

geht, daß die beiden Bündel vergleichbare Stärke besitzen. Unter denselben Bedingungen, was Zusammenstöße anbelangt, unter denen die neutralen Teile der Kanalstrahlen leuchten, leuchten demnach die positiven Atome des Kanalstrahls nicht.

Herr W. WIEN hat ähnliche Versuche unter Verwendung der magnetischen Ablenkung angestellt<sup>9)</sup> und findet dieselbe Erscheinung, wenn die Strahlen kurz hinter der Kathode abgelenkt werden. In größerer Entfernung von der Kathode dagegen nimmt bei seinen Versuchen nach Wegnahme der positiven Ionen auch die Helligkeit der Kanalstrahlen ab.

Im Zusammenhange hiermit hat Herr W. WIEN gefunden, daß sich in einem Kanalstrahlenbündel, dem man die positiven Ionen geraubt hat, von selbst eine Wiederbildung der positiven Ionen vollzieht. Diese Erscheinung ließ sich bei uns auf demselben Wege nachweisen, den Sir J. J. THOMSON eingeschlagen hat, indem wir den durch ein erstes magnetisches Feld in einen abgelenkten und einen unabgelenkten Teil zerlegten Strahl ein zweites Magnetfeld passieren ließen und die Bilder auf dem Phosphoreszenzschirm beobachteten. Es zeigte sich dann, daß bei Drucken, bei denen der Kanalstrahl noch leuchtet, einerseits der vorher unablenkbare Teil teilweise ablenkbar, andererseits der abgelenkte Teil teilweise unablenkbar geworden war, d. h. die neutralen Teile des Kanalstrahles waren auf dem Wege zwischen dem ersten und zweiten Magnetfeld teilweise zu positiven Ionen geworden, die positiven Ionen dagegen hatten sich teilweise neutralisiert. Bei weiterer Verminderung bis auf  $5 \cdot 10^{-5}$  mm etwa, ist diese Erscheinung nur noch bei großer Stromstärke und günstigen Beobachtungsbedingungen (guter Phosphoreszenzschirm) wahrnehmbar. Wie aus den Photographien (siehe später) zu ersehen ist, wird die Schärfe der Bilder auch bei langen Ablenkungsfeldern dadurch nicht merklich beeinträchtigt.

Unsere frühere Mitteilung, daß bei diesen Drucken keine Zerlegung mehr stattfindet, beruhte auf Versuchen, mit der viel schwächere Ströme liefernden Voss'schen Maschine und mit einem lichtschwächeren Schirm (Willemit). Wir werden diese Umladungserscheinungen am Schlusse noch einmal zu diskutieren haben.

<sup>9)</sup> W. WIEN, *l. c.* und *Ann. d. Phys.*, 30, p. 349, 1909.

Die große Schärfe der Kanalstrahlen bei diesen Drücken und die Sicherheit, mit der sich dabei elektrostatische Ablenkungen erzielen und berechnen lassen, veranlaßte uns weiterhin die THOMSON'schen Versuche zu wiederholen.

Da die ersten Versuche bereits zeigten, daß die von Sir J. J. THOMSON behauptete Unabhängigkeit der Kanalstrahengeschwindigkeit vom Entladungspotential bei unserer Anordnung nicht beobachtbar war und ferner immer mehr als nur zwei Arten positiver Ionen auftraten, so haben wir unser Hauptaugenmerk auf möglichst genaue Bestimmung der elektrischen und magnetischen Ablenkungen gerichtet.

Wir fanden dabei, daß weder direkte Ausmessung auf dem Schirm, noch die THOMSON'sche Methode des Aufzeichnens der Phosphoreszenzbilder die der großen Schärfe entsprechende Genauigkeit ergaben.

Außerdem ist es unmöglich, die große Fülle von Einzelheiten, auf die man sonst noch achten muß, so im Gedächtnis zu behalten, daß man sie nachher frei von subjektiven Fehlern reproduzieren kann.

Wir hielten es daher für notwendig, durch photographische Fixierung der Erscheinungen ein objektiv prüfbares Beobachtungsmaterial zu schaffen.

Von der naheliegenden Methode, die direkte Wirkung auf in das Vakuumrohr eingeführten photographischen Schichten hierzu zu verwenden, haben wir wegen der zu erwartenden Störungen des Vakuums durch hauptsächlich von den Bindemitteln beim Auftreffen von Strahlen<sup>10)</sup> abgegebene Dämpfe verzichtet und es vorgezogen, die Phosphoreszenzerscheinungen direkt abzuphotographieren.

Die relativ geringe photographische Wirksamkeit des Phosphoreszenzlichts erforderte trotz Anwendung eines sehr lichtstarken Objektivs<sup>11)</sup> und der empfindlichsten existierenden Platte<sup>12)</sup> Expositionszeiten von 1—3 Stunden, während denen die Versuchsbedingungen natürlich möglichst konstant zu halten waren.

Da die zahlreichen Elemente der Apparatur fast alle mehr oder weniger Störungen ausgesetzt waren, so war diese Be-

<sup>10)</sup> J. J. THOMSON, *Phil. mag.*, 13, p. 512, 1907.

<sup>11)</sup> VOIGTLÄNDER, Projektionsobjektiv f. 3,5. Es wurde uns von Herrn stud. FRANZ X. SCHLOSS in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt. Die benutzte Kamera verdanken wir der Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. TRAUTZ.

<sup>12)</sup> Lumière violette étiquette.

dingung schwer zu erfüllen. Wir haben aber eine Reihe von Aufnahmen erhalten, die die meisten der bisher nur mit dem Auge beobachtbaren Erscheinungen mit genügender Deutlichkeit erkennen lassen. Wie wir später zeigen werden, leidet die Schärfe der Aufnahme bei gleichzeitiger elektrischer und magnetischer Ablenkung überhaupt nicht unter Schwankungen der Entladungsspannung, die ja am schwierigsten konstant zu halten ist. Diese Aufnahmen sind daher relativ leicht herstellbar.

Einige der erhaltenen Platten sind in Fig. 2 bis 5 reproduziert.

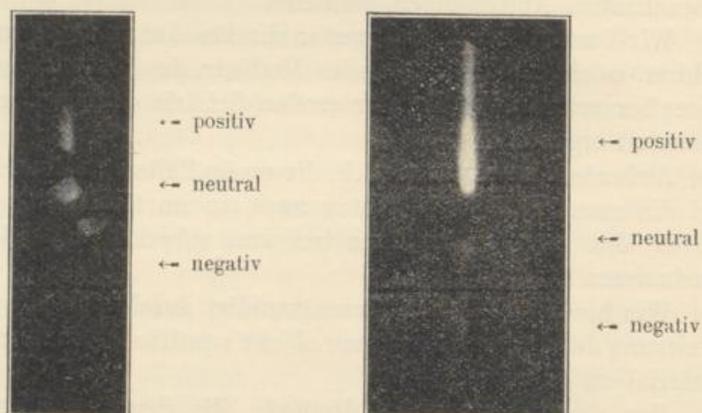


Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 2 und 3 zeigen das Aussehen des Phosphoreszenzschirms bei elektrostatischer Ablenkung der Kanalstrahlen. Beide Aufnahmen sind bei gleichem ablenkenden Feld (220 Volt) gemacht, Fig. 2 bei ca. 30000 Volt Spannung, Fig. 3 bei ca. 45000 Volt Spannung (Funkenmikrometer).

Auf jeder von beiden ist erkennbar, daß das Feld das Kanalstrahlenbündel in drei Teile spaltet, einen unabgelenkten und zwei nach entgegengesetzten Richtungen abgelenkte. Die Köpfe der abgelenkten sind von den unabgelenkten durch dunkle Zwischenräume getrennt. Der Beginn des negativen Jonen entsprechenden Bandes liegt etwa 20% weiter entfernt als der des anderen.

Die Ablenkung  $x$  im elektrischen Feld ist nun gegeben durch

$$x = K \frac{e}{m v^2},$$

wo  $e$  Ladung,  $m$  Masse der abgelenkten Ionen,  $v$  deren Geschwindigkeit bedeutet und  $K$  eine Konstante, die die Stärke des elektrischen Feldes und Apparatdimensionen enthält.

Die unablenkbaren Teile müssen demnach entweder keine Ladung besitzen oder eine sehr viel größere kinetische Energie als die ablenkbaren. Da nun die Berechnung zeigt, daß die Geschwindigkeit der am wenigsten abgelenkten bereits der vollen Elektrodenspannung entspricht, so würde den unablenkbaren Ionen nur dann eine Ladung zuzusprechen sein, wenn man annimmt, daß ihre Geschwindigkeit aus einer anderen Quelle stammt, als aus dem freien Durchlaufen des Kathodenfalls.

Sir J. J. THOMSON hat diese Annahme gemacht und die Ansicht vertreten, daß die Moleküle des Gases durch den Aufprall der Kathodenstrahlen gleichsam explodieren und Ionen oder auch neutrale Teile (doublets) mit großer Geschwindigkeit „ausschießen“. Eine wesentliche Stütze für diese Annahme fand er darin, daß sich bei seinen Versuchen die Ablenkbarkeit der positiven Kanalstrahlionen als unabhängig von der Entladungsspannung erwies. Er erhielt immer Ablenkungen die einer freidurchlaufenen Spannungsdifferenz von 20000 Volt entsprechen würden, mochte die angelegte Spannung 3000 oder 40000 Volt betragen.

Ähnliche Beobachtungen haben später die Herren STARK und KOENIGSBERGER mitgeteilt.

Herr STARK<sup>13)</sup> kommt auf Grund von Beobachtungen am Dopplereffekt zu dem Schluß, daß die Kanalstrahlengeschwindigkeit von 8000 Volt ab nicht mehr zunimmt. Herr KOENIGSBERGER<sup>14)</sup> fand auf Grund von Beobachtungen der magnetischen und elektrischen Ablenkungen immer dieselbe Geschwindigkeit bei 10000 bis 60000 Volt Entladungsspannung und später<sup>15)</sup> unter veränderten Versuchsbedingungen bis zu 20000 Volt zunehmende, von da ab konstante Geschwindigkeit.

Wir haben bei unseren Versuchen niemals diese Erscheinungen beobachten können. Stets wanderten die Phosphoreszenzflecken, einerlei, ob sie statisch oder magnetisch, oder mit beiden Feldern zerlegt waren, mit zunehmender Entladungsspannung

<sup>13)</sup> J. STARK, *Phys. Z.*, 11, p. 178, 1910.

<sup>14)</sup> J. KOENIGSBERGER u. J. KUTSCHEWSKI, *Beobachtungen über Lichtemission u. Kanalstrahlen*, *Sitzungsber. d. Heidelberger Akademie*, 1910, 4. Abh.

<sup>15)</sup> J. KOENIGSBERGER, *Phys. Z.*, 11, p. 379, 1910.

an den unabgelenkten Fleck heran. Bei Versuchen mit der oben erwähnten Apparatur, die auch Kanalstrahlen geringerer Geschwindigkeit zu beobachten erlaubte, haben wir früher einige genauere Messungen der Entladungsspannung mit Hilfe der Doppelbrechung des Schwefelkohlenstoffs im elektrischen Felde angestellt<sup>16)</sup> und innerhalb der Fehlergrenzen Proportionalität der elektrischen Ablenkungen mit der reziproken Entladungsspannung gefunden. Dabei wurde die Spannung zwischen 10000 und 30000 Volt variiert. Wie die Photographien 2 und 3 zeigen, erstreckt sich die Variabilität der elektrischen Ablenkung, also von  $m v^2$ , bis zu Spannungen von 45000 Volt hinauf und wie direkte Beobachtungen zeigten, auch noch bis ca. 80000 Volt.

Die Tatsache, daß die abgelenkten Teile einen, nur nach der Seite des unabgelenkten Fleckes scharfen, Phosphoreszenzstreifen hervorrufen und nicht etwa einen einzelnen Punkt, zeigt, daß die kinetische Energie der positiven wie der negativen Ionen von einer oberen Grenze bis zu einer nicht festzustellenden unteren Grenze hin abnimmt. Die Frage, ob diese Variation durch kontinuierliche Änderung von  $m$  oder  $v$  oder beiden zu erklären ist, haben die nunmehr zu beschreibenden Versuche dahin entschieden, daß  $\frac{e}{m}$  für die einzelnen Ionengattungen konstant ist, dagegen  $v$  variiert.

Die elektrische Ablenkung  $x$  und die magnetische Ablenkung  $y$  (beide senkrecht zueinander) eines Teilchens von der Masse  $m$ , Ladung  $e$  und Geschwindigkeit  $v$  sind bekanntlich gegeben durch

$$x = K_1 \frac{e}{m v^2}$$

$$y = K_2 \frac{e}{m v}$$

wo die Konstanten  $K_1$  und  $K_2$  die elektrische und magnetische Feldstärke und im übrigen nur Apparatdimensionen enthalten.

Also ist

$$1 \left\{ \begin{array}{l} \frac{y^2}{x} = \frac{K_2^2}{K_1} \frac{e}{m} \quad \text{und} \\ \frac{y}{x} = \frac{K_2}{K_1} v. \end{array} \right.$$

<sup>16)</sup> Herr Dr. O. D. TAUERN hatte die Liebenswürdigkeit, diese Messungen auszuführen. *c. f. Ann. d. Phys.*, 4, p. 1064, 1910.

Enthalten die Kanalstrahlen nun Teilchen von verschiedenem  $m$  und verschiedenem  $v$ , so müssen eine Reihe von Phosphoreszenzflecken auftreten, die sich, wenn  $\frac{e}{m}$  und  $v$  kontinuierlich variabel sind, zu Kurven aneinanderreihen.

Einer Gruppe von Teilchen mit demselben  $\frac{e}{m}$  entspricht nach 1. eine Parabel, einer Gruppe mit konstantem  $v$  eine gerade Linie.

Herr W. WIEN<sup>17)</sup> hat beobachtet, daß die Phosphoreszenzkurven bei gekreuzten Ablenkungen gerade Linien seien, kam also zu dem Ergebnis, daß die Geschwindigkeit aller geladenen Teile des Kanalstrahles (er beobachtete an H-Kanalstrahlen) dieselbe sei. Dann wäre  $\frac{e}{m}$  variabel. Herr STARK<sup>18)</sup> hat dieses Ergebnis einer Diskussion unterzogen und gezeigt, daß man nicht notwendig die Annahme kontinuierlicher Variationen von  $\frac{e}{m}$  zur Erklärung heranzuziehen braucht, sondern daß die Annahme einer Neutralisation der Ionen im ablenkenden Feld zur Erklärung genügt.

Die Beobachtungen von Sir J. J. THOMSON ergaben nun ein abweichendes Resultat. Er erhielt bei gekreuzten Ablenkungen keine Geraden, sondern Kurven von annähernd parabolischer Form. Da seine früheren Versuche mit Induktorströmen ange stellt sind, die notwendig variables  $v$  geben, können sie nicht ohne weiteres mit den WIEN'schen verglichen werden, wohl aber seine späteren in Phil. mag., März 1910, mitgeteilten mit Influenzmaschine angestellten Versuche.

Die Diskrepanz beider Beobachtungen erklärt sich vermutlich daraus, daß die Versuchsbedingungen von Herrn WIEN zur Beobachtung einer Krümmung nicht günstig waren.

Der Krümmungsradius einer Parabel  $y^2 = 2px$  ist gegeben durch

$$\rho = \sqrt{\frac{(p + 2x)^3}{p}}$$

wächst also mit zunehmendem  $p$ . Da der Parameter einer konstantes  $\frac{e}{m}$  anzeigenden Parabel nun gegeben ist durch

<sup>17)</sup> W. WIEN, *Ann. d. Phys.*, 8, p. 244, 1902.

<sup>18)</sup> J. STARK, *Phys. Z.* 4, p. 583, 1903.

$$\frac{1}{2} \frac{e}{m} \frac{K_2^2}{K_1}$$

so folgt, daß die Krümmung mit abnehmenden  $\frac{K_2^2}{K_1}$  zunimmt.

Schwaches Magnetfeld und starkes elektrisches Feld sind daher zur Beobachtung einer etwaigen Krümmung am geeignetsten. Da die Krümmung ferner nach dem Scheitel der Parabel hin zunimmt, so muß außerdem noch dafür gesorgt werden, daß das beobachtete Kurvenstück in der Nähe des Scheitels liegt, mit anderen Worten, man muß mit schwer ablenkbaren Strahlen arbeiten, also mit hohem Entladungspotential.

Daß Herr WIEN gerade Linien beobachtete, liegt also vermutlich daran, daß das Verhältnis der ablenkenden Felder nicht günstig war und seine Strahlen zu langsam. Für diese Erklärung spricht seine Bemerkung, daß bei dem höchsten von ihm angewandten Potential (45000 Volt) eine leichte Krümmung eingetreten sei.

Wir haben gemäß dieser Betrachtung bei schwachem Magnetfeld und ca. 60000 Volt Entladungspotential photographiert und dabei unter anderem die in Fig. 4 reproduzierte Platte erhalten.

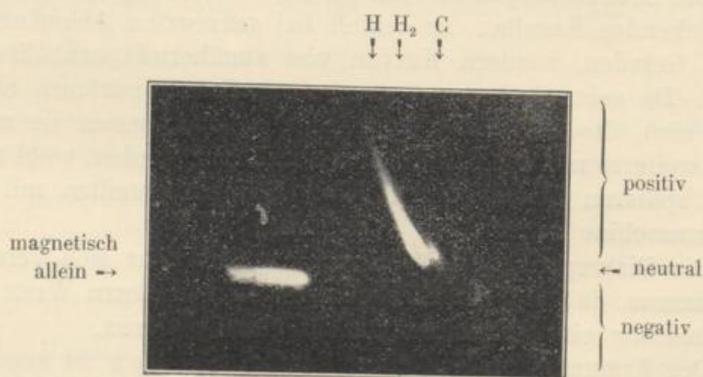


Fig. 4.

Sie läßt sofort erkennen, daß die Kurven keineswegs Geraden sind.

Die Koordinaten der stärksten Kurve dieser Platte (sie entspricht H-Kanalstrahlen) wurde mit einem ZEISS'schen Mikroskop mit Meßschraube ausgemessen und ergab die folgende Tabelle:

Tabelle I.

$y_{mm}$	$x_{mm}$	$\frac{y^2}{x} = 2p$	$y/x$
6,94	4,7	10,25	1,48
8,84	7,8	10,02	1,17
10,90	11,4	10,42	0,96
12,30	14,5	10,43	0,85
13,66	18,0	10,28	0,76
14,53	20,6	10,25	0,71
15,34	23,2	10,14	0,66
		Mittelwert:	
		10,25	

Wie ersichtlich, beträgt die größte Differenz der einzelnen Werte von  $\frac{y^2}{x}$  5%, die größte Abweichung vom Mittel 2,3%, während  $\frac{y}{x}$  wie die letzte Kolonne zeigt, kontinuierlich abnimmt. Wir können daher als sichergestellt betrachten, daß die Kurven Parabeln sind.

Wir haben also eine Reihe von Gruppen mit gleichem  $\frac{e}{m}$  aber mit einer kontinuierlich von einem Maximum an abnehmenden Geschwindigkeit vor uns. Wir halten dieses Resultat für wichtig, da die Versuche von Herrn WIEN, wie er selbst hervorhebt, im Sinne einer kontinuierlichen Variation von  $e$  gedeutet werden können und damit die neuerdings von Herrn EHRENHAFT<sup>19)</sup> behauptete Inkonstanz von  $e$  bestätigt würde.

Eine unerläßliche Bedingung zur Beobachtung genau parabolischer Kurven ist die, daß die elektrische Ablenkung wirklich senkrecht zur magnetischen erfolgt.

Bilden die beiden Ablenkungen ( $x_0$ ,  $y_0$ ) eines Teilchens den Winkel  $\varphi$  miteinander, so werden die Koordinaten des von dem Teilchen hervorgebrachten Phosphoreszenzflecks

$$y = y_0 + x_0 \sin \varphi$$

$$x = x_0 \cos \varphi$$

also wird bei kleinem  $\varphi$

<sup>19)</sup> EHRENHAFT, *Phys. Z.*, 11, p. 619, 1910.

$$\frac{y^2}{x} = \frac{y_0^2}{x_0 \cos \varphi} + 2 y_0 \operatorname{tg} \varphi.$$

Das erste Glied ist für konstantes  $\frac{e}{m}$  konstant. Das zweite, welches bei kleinem  $y$  stark in Betracht kommt, ist dagegen variabel.  $\frac{y}{x}$  kann also nicht mehr konstant bleiben.

Wir haben uns daher vor Aufnahme der Meßplatten von der Genauigkeit der senkrechten Orientierung unserer Felder auf photographischem Wege überzeugt.<sup>20)</sup>

Zur relativen Bestimmung von  $\frac{e}{m}$  für die verschiedenen, in den Kanalstrahlen vorhandenen Ionen, würde die Messung der magnetischen Ablenkung allein genügen. Die Anwendung beider Felder bietet aber ganz abgesehen davon, daß sie auch die Geschwindigkeit ergibt, auch andere Vorteile.

Eine Photographie des magnetischen Spektrums allein, verlangt weitgehende Konstanz der Entladungsspannung, da die bei subjektiver Beobachtung allerdings scharfen Flecken bei variierender Geschwindigkeit alle auf ein und derselben geraden Linie hin und her wandern. Man erhält daher unscharfe Bilder, die für eine exakte Ausmessung unbrauchbar sind.

Bei gekreuzten Ablenkungen wandern dagegen die einzelnen Flecken bei Schwankungen der Geschwindigkeit immer auf der ihrem  $\frac{e}{m}$  entsprechenden Parabel hin und her, man erhält also dann nur größere Stücke jeder Parabel, ohne daß die Schärfe der Photographie irgendwie leidet.

Wir waren gleichwohl bestrebt, während der Aufnahme die Bedingungen so konstant wie möglich und namentlich die Entladungsspannung im Interesse der Helligkeit immer oberhalb 50000 Volt zu erhalten.

Auf dieselbe Platte wurde außerdem noch zur Festlegung der Koordinatenaxen die magnetische Ablenkung allein aufgenommen.<sup>21)</sup>

<sup>20)</sup> Dabei wurde bei Festlegung der Richtung der elektrischen Ablenkung der Magnet vollkommen entfernt, um der Einwirkung des remanenten Magnetismus zu entgehen. Die Außerachtlassung dieser Vorsichtsmaßregel dürfte vielleicht die schiefe Lage der statischen Ablenkung in THOMSONS Korpuskulartheorie (deutsche Ausgabe, Seite 19 u. 20) erklären.

<sup>21)</sup> Dabei waren die ablenkenden Kondensatorplatten beide zu erden, da sich bei den tiefen Drucken ihre Ladung trotz der geringen Kapazität nur langsam verlor.

Jede Parallele zur magnetischen Ablenkung schneidet die Parabeln in Punkten, deren  $y$  proportional zu  $\sqrt{\frac{e}{m}}$  ist.

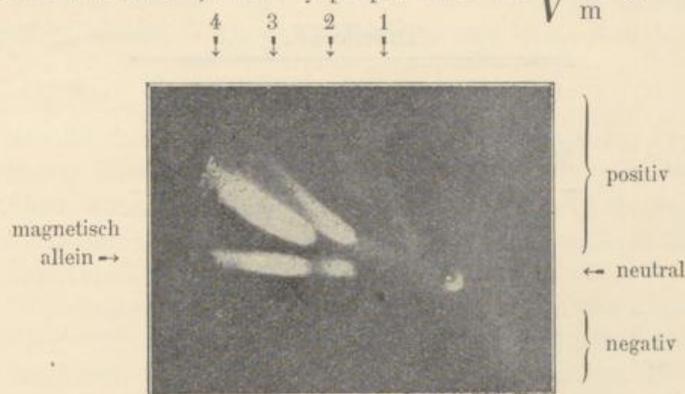


Fig. 5.

Die Messungen der Werte  $y$  in verschiedenen Höhen  $x$  ergaben an unserer besten Platte — eine ähnliche ist in Fig. 5 reproduziert — folgende Tabelle:

Tabelle II.

	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
I	8,06	11,62	20,62	29,34
II	7,56	10,69	19,31	27,16
III	6,84	9,40	16,88	23,44

Dabei bedeutet  $y_n$  die  $n$ -te-Parabel, die am wenigsten abgelenkte mit  $y_1$  bezeichnet.

Die folgende Tabelle 3 gibt dann die aus der vorigen berechneten Werte für die Verhältnisse der magnetischen Ablenkungen.

Tabelle III.

$\frac{y_4}{y_1}$	$\frac{y_4}{y_2}$	$\frac{y_4}{y_3}$
I	II	III
3,565	2,52	1,421
3,590	2,54	1,400
3,430	2,50	1,408
Mittel: 3,53	2,52	1,41

Tabelle IV gibt die Quadrate der drei Mittelwerte und Werte von  $\frac{m}{e}$  bezogen auf  $H^+ = 1$ .

Tabelle IV.

Quadrate der Mittelwerte		$\frac{m}{e}$ bezogen auf $H^+ = 1$
I <sup>2</sup>	12,46	B <sup>+</sup> = 11 C <sup>+</sup> = 12 N <sup>+</sup> = 14 O <sup>+</sup> = 16
II <sup>2</sup>	6,35	C <sup>++</sup> = 6 Li <sup>+</sup> = 7 N <sup>++</sup> = 7
III <sup>2</sup>	1,998	H <sub>2</sub> <sup>+</sup> = 2

Die am meisten mit den Beobachtungen im Einklang stehende Deutung ist daher die: wir haben Kanalstrahlen mit einfach geladenen H-Atomen, mit H-Molekülen, mit C-Atomen und einen solchen mit doppelt geladenen C-Atomen vor uns (in der Tabelle 3 und im folgenden mit  $H^+H^+{}_2, C^+C^{++}$  bezeichnet).

Kanalstrahlen, deren  $\frac{m}{e}$  sich verhalten wie  $1 : \sqrt{2}$ , sind bereits von Sir J. J. THOMSON und ebenfalls von den Herren W. WIEN, GEHRKE und REICHENHEIM beobachtet und im Sinne von  $H_2^+$ -Strahlen gedeutet worden. Die innerhalb der Beobachtungsfehler liegende Übereinstimmung von  $\left(\frac{y_4}{y_3}\right)^2$  mit 2 bestätigt diese Beobachtung aufs neue.

Die aus dieser guten Übereinstimmung und ebenso aus Tabelle 1 hervorgehende Genauigkeit unserer Messung berechtigt uns dazu, die Kurve 3 einem Kohlenstoffkanalstrahl zuzusprechen.

Außer C-Atomen kommen nur B und N mit den Atomgewichten 11 und 14 in Betracht. N würde  $\left(\frac{y_4}{y_1}\right)^2 = 14$  erfordern. Der beobachtete Wert liegt weiter als die Fehlergrenzen von dieser Zahl entfernt.

Der Wert  $\left(\frac{y_4}{y_2}\right)^2$  wäre erklärbar durch Annahme eines Strahles von Lithium-Atomen ( $\text{Li}^+$ ) doppelt geladenen C-Atomen oder doppelt geladenen N-Atomen. Die erste und letzte Annahme verlangt  $\left(\frac{y_4}{y_2}\right)^2 = 7$ , die mittlere  $\left(\frac{y_4}{y_2}\right)^2 = 6$ .

Sowohl das Auftreten von Lithiumstrahlen als das der oben erwähnten Borstrahlen in unseren Röhren, wäre nur dann zu verstehen, wenn man annimmt, daß sich Bor- und Lithiumstrahlen aus den anderen vorhandenen Strahlen bilden, man sich also auf den Standpunkt der THOMSON'schen Theorie stellt.

Wir glauben indessen, daß man erst dann zu dieser Erklärung greifen darf, wenn keine einfachere Deutung mehr möglich erscheint, und wollen daher die Annahme von Bor- und Lithiumkanalstrahlen ausschließen, zumal beide den größeren Fehler voraussetzen würde. Aus dem letzteren Grunde ist auch  $\text{N}^{++}$  weniger wahrscheinlich als  $\text{C}^{++}$ .

Wir betrachten daher die Parabeln 1 und 2 als von einfach bzw. doppelt geladenen C-Atomen herrührend.

Eine Stütze findet diese Erklärung darin, daß Füllung der Apparatur mit reiner Kohlensäure oder Leuchtgas gerade diese beiden Parabeln verstärkt.

Es zeigte sich weiterhin, daß zwischen der  $\text{C}^+$ -Parabel und dem neutralen Fleck noch mindestens ein, manchmal auch mehrere Flecken sichtbar waren. Wir vermuteten, daß der eine, leicht zu beobachtende O- oder N-Jonen zukommen würde.

Die genauere Untersuchung erforderte Verstärkung der magnetischen Dispersion und damit auch Anwendung eines größeren Phosphoreszenzschirmes. Wir verlängerten daher den Kanalstrahlenweg auf ca. 1 m und verschlossen das Beobachtungsrohr mit einem Zinksulfidschirm von 10 cm Durchmesser.

Da unser Magnetfeld die zur Auflösung der schweren Jonenstrahlen erforderliche Strombelastung nicht dauernd vertrug, haben wir nicht photographiert und uns vorläufig auf die Messung von aufgezeichneten Marken beschränkt. Wir fanden, daß die magnetischen Ablenkungen der positiven Jonen in einem Falle folgende waren:

$$y_3 = 32,3$$

$$y_2 = 13,4$$

$$y_1 = 9,4$$

$y_3$  ist die  $\text{H}^+$ -Parabel.

$$\text{Somit ist} \quad \left( \frac{y_3 \cdot \sqrt{2}}{y_1} \right)^2 = 23,62$$

$$\left( \frac{y_3 \cdot \sqrt{2}}{y_2} \right)^2 = 11,62.$$

Der neue Strahl enthält also Ionen vom Atomgewicht 24. Wir hätten demnach auch einen  $C_2^+$  Strahl. Da mehrere Aufzeichnungen der Flecke immer wieder diesen Wert ergeben haben, so scheint zum mindesten sicher zu sein, daß wir keinen Sauerstoff auf der positiven Seite beobachtet haben. Ob wirklich  $C_2^+$  vorliegt und nicht in der Nähe von 24 liegende Atome (Al 27 · Ne 20 Si 28) sollen weitere Untersuchungen auf dem viel sichereren photographischen Wege entscheiden.

Ob Herr W. WIEN und die Herren GEHRKE und REICHENHEIM tatsächlich O-Kanalstrahlen beobachtet haben, oder ob nicht auch bei ihnen C-Strahlen vorgelegen haben, können wir nicht entscheiden. Da die Genauigkeit ihrer Messung wohl nicht hinreichte, um zwischen den in Betracht kommenden Werten zu entscheiden, ist zwischen unseren Beobachtungen und den ihrigen kein Widerspruch zu erblicken.

Sauerstoffkanalstrahlen waren also bei unseren Versuchen auf der positiven Seite nicht zu finden.

Wie Herr WIEN zuerst beobachtet hat, treten nun bei Kanalstrahlen auch nach der negativen Ionen entsprechenden Seite Phosphoreszenzflecken auf. Sir J. J. THOMSON hat diese Beobachtung bestätigt.

Wir haben stets mindestens zwei negative Flecken beobachtet, unter Umständen auch mehr.

Da der unablenkbare Fleck stark exzentrisch lag, vermochten wir bei unserer ersten Anordnung nur bei schwachem Magnetfeld die positiven und negativen Flecke gleichzeitig zu photographieren.

Die Ausmessung ergab die Werte  $y = 2,1$  und  $8,2$ , also das Verhältnis 3,9. Ausmessung von aufgezeichneten Punkten auf den großen Schirm bei 1 m Strahlenweg ergab 31,7 und 8,0. Das Verhältnis der Ablenkungen ist also sehr angenähert 1 zu 4.

Der eine der negativen Strahlen besteht demnach aus einfach geladenen H-Atomen, der andere aus einfach geladenen O-Atomen. In Übereinstimmung mit dieser Deutung steht unsere Beobachtung, daß Füllung der Apparatur mit elektrolytischem Sauerstoff

eine Verstärkung der Helligkeit der negativen Flecken hervorrief. Gleichzeitig trat dabei auch Verstärkung des unabgelenkten Fleckes auf, während der von uns als  $C^+$  zugehörig erkannte positive Fleck schwächer wurde.

Die gleichzeitige Verstärkung des neutralen und des negativen O-Strahles deutet darauf hin, daß der neutrale teilweise aus  $H_2O$ -Molekülen besteht. Genauere Messungen sollen entscheiden, ob außer O- auch noch vielleicht OH-Jonen vorhanden sind. Die Trennung beider erfordert Anwendung sehr starker Magnetfelder, die uns bisher nicht in genügend bequemer Weise herzustellen möglich war.

Wie Fig. 3 besonders deutlich zeigt, ist die maximale Energie der negativen Ionen etwa 20% kleiner als die der positiven.

Die einfachste Erklärung dafür wäre die, daß die als negativ beobachteten Ionen ursprünglich als positive Ionen beschleunigt worden sind und vor Erreichung der Kathode ihr  $\frac{e}{m}$  geändert haben. Die Anlegung eines starken, die positiven Teilchen beschleunigenden Feldes an die Platten P.P. (Fig. 1), schwächt die negativen Flecken stark und erhöht ihre Ablenkbarkeit. Die Umladung in negative Ionen ist somit offenbar vor dem Passieren dieses Feldes vor sich gegangen.

Zur Anwendung des Längsfeldes zwischen den Platten P P sind einige Bemerkungen zu machen. Da der Kathodenkonus isoliert aufgestellt war, konnten wir folgende Schaltung wählen. Die Anode wurde mit dem positiven Pol der Maschine verbunden, deren negativer Pol geerdet war. Der zweite Eisenkonus und die sämtlichen Schutznetze des Beobachtungsraumes wurden geerdet, die Kathode dagegen mit einer isoliert aufgestellten Spitze verbunden, der gegenüber eine geerdete Spitze stand.

Zwischen der Platte  $P_1$  (Fig. 1), die ja mit der Kathode in Verbindung ist und der Platte  $P_2$  herrscht dann die der Spitzenentladung entsprechende Potentialdifferenz, die sich durch Variation des Spitzenabstands regulieren läßt. Anwendung von in reinem  $H_2$  liegenden Spitzen würde diese Spannung auch von der Stromstärke praktisch unabhängig machen.

Diese Anordnung ist für qualitative Versuche sehr bequem. Genauere Messungen scheiterten allein schon an der Unmöglichkeit, die Axen der einzelnen durch Schliff ineinander gefügten Röhren so genau aufeinander zu stellen, daß die mit den Konussen

fest verbundenen Platten  $P_1$  und  $P_2$  genau parallel werden. Die einfacher erscheinende Konstruktion, die eine der Platten mit isolierenden Stützen, auf der anderen zu befestigen, erwies sich als unbrauchbar, da die Aufladung der Stützen, die sich bei diesen tiefen Drucken nicht ausgleichen kann, viel größere Störungen herbeiführt, als die Verzerrung des Kraftfeldes bei nicht genauer Parallelstellung.

Unsere Felder haben stets eine schwache Seitenkomponente besessen und schlossen dadurch messende Versuche mit Anwendung von Beschleunigungsfeldern aus. Wir hoffen indessen, auf anderem Wege diese Schwierigkeit zu umgehen.

Die Wirkung eines beschleunigenden Feldes ist zunächst die, daß die Geschwindigkeiten aller in positiv geladenem Zustande das Feld passierenden Ionen zunehmen muß. Haben wir nun ohne Feld Geschwindigkeiten von 0 bis  $V$  Volt, so haben wir bei 15000 Volt Spannung zwischen  $P_1$ ,  $P_2$  nur noch solche von 15000 Volt ab bis  $V$  Volt. Die bis dahin außerhalb des Phosphoreszenzschirmes liegende Begrenzung der Parabeln rückt daher bei geeigneten Entladungsspannungen bei Anwendung des Beschleunigungsfeldes so nahe heran, daß sie beobachtbar wird.

Weiterhin muß das Beschleunigungsfeld die nach unserer Auffassung von doppelt geladenen C-Ionen herrührende Parabel 2 in stärkerem Maße an den abgelenkten Fleck heranrücken als die andere. Da der Versuch diese Vermutung bestätigt, ist damit eine weitere Stütze für unsere Auffassung gewonnen.

Die mit der Beschleunigung wachsende Helligkeit aller positiven Parabeln erleichtert natürlich zudem die Beobachtung erheblich. Die in Fig. 5 reproduzierte Platte ist z. B. mit Anwendung des Beschleunigungsfeldes aufgenommen. Zur genaueren Messung ist sie aus den oben angeführten Gründen nicht verwendbar.

Eine auf Fig 4 und 5 auffallende Erscheinung ist bisher noch nicht diskutiert, nämlich der vom unabgelenkten Fleck nach dem Beginn der Parabel 3 sich nahezu gradlinig hinziehende Schweif. Er kann nur herrühren von Teilen, die nicht das ganze Ablenkungsfeld geladen durchlaufen haben, also entweder von im Feld neutral gewordenen Ionen oder von im Feld aufgespaltenen neutralen Teilen. Daß ein Phosphoreszenzstreifen, der von Teilchen, die während des Durchlaufens des Feldes ihr  $\frac{e}{m}$

geändert haben, annähernd geradlinig sein muß, ist von Herrn J. STARK<sup>22)</sup> nachgewiesen worden.

Wenn man nun berücksichtigt, daß die Zeit, während der die Teilchen im Feld verweilen, kleiner ist als  $10^{-7}$  Sek. und die freie Weglänge der ruhenden Gasmoleküle bei unseren Drucken die Felddimensionen weit übertrifft, so scheint es nicht ohne weiteres berechtigt zu sein, diese Umladungserscheinungen allein auf Rechnung der Zusammenstöße zu setzen. Daß diese allerdings eine wesentliche Rolle spielen, beweist das verstärkte Auftreten bei Erhöhung des Druckes im Beobachtungsrohr. Zusammenstöße der Kanalstrahlenteile unter sich, dürften kaum in Betracht kommen, da eine einfache Rechnung zeigt, daß dazu eine viel größere Strahlendichte gehört, als orientierende Auffängermessungen<sup>23)</sup> und die Möglichkeit scintillatorische Phosphoreszenz<sup>24)</sup> zu beobachten erwarten lassen.

Zum Schluß wäre noch die Frage aufzuwerfen, warum unsere Beobachtungen zum Teil im Gegensatz stehen zu den Ergebnissen anderer Forscher.

Eine Reihe von Erscheinungen lassen uns vermuten, daß der Hauptunterschied unserer Versuchsbedingung, abgesehen von der sehr viel größeren Schärfe der Flecken infolge des tiefen Druckes im Beobachtungsrohr, in der Benützung des anomalen Kathodenfalls liegt, der durch die Verwendung relativ eng an der Kathode anliegender Röhren herbeigeführt ist und in der Anwendung einer Hohlspiegelkathode.

Der anomale Fall ermöglicht die Anwendung hoher Entladungsspannungen bei relativ hohem Druck. Daher ist die Zahl der gebildeten Ionen groß und es ist möglich, große Strahlendichte bei großer Energie der einzelnen Ionen zu erhalten. Die Bedingungen zur Beobachtung weniger zahlreich auftretender Ionenarten sind damit allein schon günstiger.

<sup>22)</sup> J. STARK, *Phys. Z.*, 4, p. 585, 1903.

<sup>23)</sup> Diese waren nur auf elektrometrischem Wege möglich. Auffängermessung bei relativ hohem Druck (0,001) im Beobachtungsrohr ließen allerdings viel stärkere, auch galvanometrisch meßbare, Ströme erkennen, wenn man durch elektrische Felder, die sekundär von dem Kanalstrahl gebildeten Ionen in den Auffänger trieb. Solche Felder pflegen sich bei mangelhaftem elektrostatischem Schutz durch Wandladungen zu bilden. Ähnlich wirken Voltaeffekte. Daß die gemessenen Ionen sekundär entstanden sind, beweist der Eintritt von Sättigungsstrom bei geringen Feldern (ca. 1 Volt pro cm) und die Änderung des Vorzeichens der Aufladung bei Umkehrung des Feldes. Solche Auffängermessungen sind also nur bei tiefem Druck und vollkommenem elektrostatischem Schutz einwandfrei.

<sup>24)</sup> v. DECHEND u. HAMMER, *Verh. d. D. Phys. Ges.*, 12, p. 531, 1910.

Die Anomalität des Kathodenfalles hebt ferner die einseitige Bevorzugung bestimmter Molekül-gattungen bei der Ionisation zum Teil auf, da mit steigender Anomalität die Dunkelraumlänge wieder abnimmt, also die Dunkelräume der verschiedenen Gase weniger voneinander abweichen.

Wie die Photographien zeigen, liegen die Köpfe der  $H^+H_2^+C^+$ -Parabeln alle auf gleicher Höhe. Da diese Parabeln auch im übrigen ziemlich die gleiche Ausdehnung besitzen, so folgt daraus, daß überall da, wo vor der Kathode H-Jonen entstehen, auch  $H_2$ - und C-Jonen entstehen. Dagegen beginnt die  $C^{++}$ -Parabel (2) (Fig. 5), höher als die anderen, die Jonen, die sie hervorrufen, sind also näher an der Kathode entstanden.

Die Intensitätsverteilung innerhalb der einzelnen Parabeln ist meist die, daß das am wenigsten abgelenkte Ende am hellsten ist und die Helligkeit nach außen hin allmählich abnimmt. Sehr häufig beobachteten wir aber das Auftreten eines zweiten Helligkeitsmaximums. Dies beweist, daß noch an einer zweiten, näher an der Kathode liegenden Stelle eine stärkere Ionenbildung stattfindet. Die dort entstandenen Jonen haben natürlich geringere Geschwindigkeit, da sie nur einen Teil des Kathodenfalles durchlaufen können. Diese Stelle scheint für alle positiven Jonen dieselbe zu sein, da die neuen Maxima alle dieselbe elektrische Ablenkung aufweisen. Der Beginn der C-Parabel liegt etwas näher am unabgelenkten Fleck. Da er von doppelt geladenen Jonen herrührt, kann man vermuten, daß er trotzdem an derselben Stelle entsteht. Es liegt nahe, den Krümmungsmittelpunkt der Hohlspiegelkathode mit diesem zweiten Ort eines Ionisationsmaximums in Verbindung zu bringen.

Die dort liegenden Teile sind durch die vom Ende des Dunkelraums herkommenden Jonen bereits erschüttert, es ist daher verständlich, daß hier noch einige Jonenarten entstehen, die am Ende des Dunkelraums gar nicht oder nur in geringer Anzahl auftreten, wie z. B. die doppelt geladenen C-Jonen.

Wir haben, um diese Verhältnisse zu untersuchen, den Krümmungsradius unserer Hohlspiegelkathode von 3 cm auf 1 cm herabgesetzt, ohne sonst etwas an der Apparatur zu ändern, und fanden, daß nunmehr die zweiten Maxima der positiven Parabeln noch ausgeprägter auftreten und weiter abgelenkt waren, entsprechend der Verlegung des Krümmungsmittelpunktes in größere Nähe der Kathode.

Außerdem lag nunmehr auch der Kopf der  $H_2$ -Parabel erheblich höher als die Köpfe der  $C^+$  und  $H^+$ -Parabeln. Die  $H_2$ -Jonen bildeten sich also bei der stärker gekrümmten Kathode im wesentlichen nicht mehr am Ende des Dunkelraums, sondern näher an der Kathode.

Die von den Herren GEHRKE und REICHENHEIM zur Deutung des zweiten Maximums im Dopplerspektrum der Kanalstrahlen herangezogene Gleichung

$$\frac{1}{2} m_H v_H^2 = \frac{1}{2} m_{H_2} \cdot v_{H_2}^2$$

hat also nicht immer Gültigkeit. Demgemäß wird das Auftreten dieses zweiten Maximums auch ganz von den Entladungsbedingungen abhängen, speziell von den Stellen, wo Maxima der Ionisation auftreten.

Wir vermuten, daß die von den Herren THOMSON, STARK und KOENIGSBERGER beobachtete, bei uns nicht beobachtbare Unabhängigkeit der Kanalstrahlengeschwindigkeit vom Entladungspotential ebenfalls mit dem Auftreten solcher Vorzugsstellen der Ionisation zusammenhängt. Zu einer genaueren Diskussion reichen die Angaben über die Versuchsbedingungen nicht hin. Jedenfalls spricht der Umstand, daß Sir J. J. THOMSON die Geschwindigkeitsgrenze bei 3000 Volt, Herr STARK bei 8000 Volt, Herr KOENIGSBERGER bei 10000 und später bei 20000 Volt fand, dafür, daß wir keine im Wesen der Kanalstrahlen begründete Erscheinung vor uns haben.

Es geht aus alledem hervor, daß scheinbar nebensächliche Verhältnisse im Entladungsraum von entscheidendem Einfluß auf die beobachtbaren Erscheinungen sein können. Zur Deutung der Beobachtungsergebnisse ist daher genaue Kenntnis aller Einzelheiten des Entladungsapparates unerlässlich.

Die Intensitäten, der von den betr. Jonenarten erzeugten Phosphoreszenz, die des neutralen = 1 gesetzt sind etwa:

$$H^+ = 100$$

$$H_2^+ = 10 - 100$$

$$C^{++} \leq 1$$

$$C^+ = 1 - 10 \text{ (10 bei Füllung mit } CO_2 \text{ oder Leuchtgas)}$$

$$C_2^+ = 1 - 10$$

$$H^- = 1 - 10$$

$$O^- = 5 - 10 \text{ (10 bei Einführung von } O_2 \text{ oder Feuchtigkeit).}$$

Dazu ist noch zu bemerken, daß manchmal die Helligkeit des neutralen Fleckes nicht mehr zur Beobachtung hinreichte, während sämtliche abgelenkten Teile, sowohl die positiven wie die negativen in großer Stärke bemerkbar waren.

Man sieht also, daß die geladenen Teile bei uns weitaus überwiegen.

Bei den Versuchen von Herrn WIEN hat gerade das Umgekehrte stattgefunden. Der Unterschied dürfte wohl an dem besseren Vakuum bei unseren Versuchen liegen. Da ohne Kühlung mit flüssiger Luft scharfe Phosphoreszenzbilder nicht zu erhalten waren, haben wir von Versuchen über den Einfluß von Dampf im Beobachtungsrohr, wie sie Herr WIEN beschreibt, abgesehen.

Herr WIEN schreibt das Überwiegen der negativen O-Jonen über die positiven der Anwesenheit von Hg-Dämpfen im Beobachtungsrohr zu. Bei uns dürften diese Dämpfe weitgehend beseitigt gewesen sein. Trotzdem haben wir keine positiven O-Jonen beobachtet, sondern nur negative.

Da O ein elektronegatives Element ist, so deutet dieser Umstand darauf hin, daß der Charakter, den ein Atom in seinen Verbindungen besitzt, für sein Verhalten im Kanalstrahl von Bedeutung ist.

Um in dieser Beziehung mehr Material zu bekommen, haben wir noch einige Versuche mit anderen Gasen gemacht.

Bei Einführung von  $\text{CHCl}_3$  in das Entladungsrohr traten neben den bisher beobachteten Streifen noch solche auf, deren  $\frac{e}{m}$  ( $H^+ = 1$ ) war:

$$\begin{aligned} &+ 17 \\ &+ 35 \\ &+ 70 \\ &- 35. \end{aligned}$$

Der Wert 17 würde für doppelt geladenes Chlor ( $\text{OH}^+$ ) sprechen, 35 kann ebensogut  $\text{C}_3$  (36) als Cl (35,45), 70 ebensogut  $\text{C}_6$  (72) als  $\text{Cl}_2$  (71) zuzuordnen sein.

Da Cl elektronegativer ist und C bei unseren früheren Versuchen (siehe Tab. IV) stets auf der positiven Seite erschien, liegt es näher die positiven Ionen mit  $\frac{m}{e} = 35$  und  $= 70$  als  $\text{C}_3$  und  $\text{C}_6$  aufzufassen, die negativen mit  $\frac{m}{e} = 35$  als Cl.

Komplexe von mehreren C-Atomen sind jedenfalls in Anbetracht der großen Neigung von C zu „Selbstbindung“<sup>25)</sup> keineswegs unwahrscheinlich.

Auf einen weiteren wichtigen Zusammenhang weist nun die Tatsache hin, daß alle Elemente, die in unseren Röhren in Verbindungen anwesend waren (H und O in der unvermeidlichen Wasserbaut, C wohl hauptsächlich aus dem zur Reinigung der Schiffe dienenden Benzol), im Kanalstrahl nachweisbar waren, dagegen der sicher in relativ großer Menge frei vorhandene Stickstoff nicht zu beobachten war. Dies legt den Gedanken nahe, daß nicht die Atome des freien Elements, sondern die aus Verbindungen naszierenden bei der Strahlbildung bevorzugt werden.

Wir haben daher, um auch eine N-Verbindung zu untersuchen NO in das Entladungsrohr eingeführt und das Auftreten zweier neuen Strahlen, eines negativen und eines positiven, feststellen können. Die Lage des negativen entsprach dem Atomgewicht 14, die des positiven 16. Es scheint also in diesem Fall dem N negativer, dem O positiver Charakter zuzusprechen zu sein.

Die Untersuchung der Gesetze, nach welchen diese Umwandlungen der Kanalstrahlionen vor sich gehen, wird auch alle die Einflüsse zu berücksichtigen haben, die in der chemischen Dynamik eine Rolle spielen.

Da die Verhältnisse, unter denen sich diese Reaktionen in der Entladungsröhre abspielen, wesentlich andere zum Teil einfachere sind als bei den bisher untersuchten Fällen, so kann die weitere Verfolgung dieser Zusammenhänge zu einem tieferen Eindringen in das Wesen einer chemischen Reaktion führen.

Bei den Versuchen mit NO ist uns noch ein Phosphoreszenzpunkt aufgefallen, dessen Lage für positive Hg-Jonen sprach. Bei Einführung von Hg-Dampf in das Entladungsrohr nahm seine Helligkeit zu und wir konnten feststellen, daß seine Ablenkbarkeit die für Hg zu erwartende war. Irgendein Einfluß auf die Helligkeit der übrigen Flecken war dabei nicht zu beobachten.

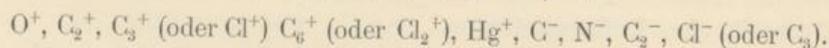
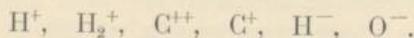
Weitere Versuche sollen in erster Linie eine noch größere Genauigkeit der  $\frac{e}{m}$ -Bestimmung, sowie Einzelmessungen von  $m$ ,  $v$ ,  $e$  und der Zahl der Ionen zur Aufgabe haben. Dabei ist  $m \cdot v$

<sup>25)</sup> VAN'T HOFF, *Vorlesungen über theor. u. phys. Chemie*, 3. Heft, p. 95.

mit Hilfe der Drehwage,  $v$  durch direkte Vergleichung mit elektrischen Wellen,  $e$  und  $m$  durch Auffängermessung und Zählung mit Hilfe der Szintillation bestimmbar. Außerdem beabsichtigen wir die chemischen Beziehungen eingehender zu untersuchen.

#### Zusammenfassung.

1. Die Lichtemission der Kanalstrahlen ist bedingt durch Zusammenstöße. Die  $\frac{e}{m}$ -Änderung der Kanalstrahlenteile auf ihrem Weg ist zum Teil auf dieselbe Ursache zurückzuführen.
2. Die Geschwindigkeit der Kanalstrahlen ist nicht unabhängig vom Entladungspotential.
3. Die vom Kanalstrahl bei gekreuzten Ablenkungen erzeugten Phosphoreszenzstreifen sind Parabeln, deren jede eine Gruppe von konstantem  $\frac{e}{m}$  und variabler Geschwindigkeit darstellt.
4. Bei tiefen Drucken im Beobachtungsraum sind die geladenen Teile der Kanalstrahlen weitaus in der Überzahl.
5. Es wurde das Auftreten folgender Ionenarten nachgewiesen, deren Beobachtbarkeit von den Entladungsbedingungen, speziell vom Kathodenfall und von der Herkunft der betreffenden Atome (ob aus freiem Element, oder aus einer Verbindung) abhängt.



Die in der ersten Zeile enthaltenen Ionenarten sind auf photographischem Wege bestimmt worden, während die in der zweiten Zeile noch einer Bestätigung auf diesem Wege bedürfen.

Zum Schlusse möchten wir nicht verfehlen, Herrn Geheimrat HIMSTEDT für das große Interesse, das er unseren Untersuchungen entgegengebracht hat und deren weitgehende Unterstützung, unseren herzlichsten Dank auszusprechen. Herrn Dr. GAEDE und Herrn Prof. Dr. TRAUTZ sind wir für vielfache Ratschläge und wertvolle Hinweise ebenfalls zu großem Dank verpflichtet.

