**4. Über Elektrizitätsträger,
die durch fallende Flüssigkeiten erzeugt werden;
von E. Aselmann.**

(Auszug aus der Kieler Inaugural-Dissertation.)¹⁾

Bekanntlich zeigt die atmosphärische Luft stets elektrische Leitfähigkeit, eine Erscheinung, für die man mehrere Ursachen gefunden hat: die in hohen Luftschichten gefundene Leitfähigkeit²⁾ kann mindestens zum Teil der ultravioletten Strahlung der Sonne zugeschrieben werden.³⁾ Als Quelle der starken Leitfähigkeit der Bodenluft⁴⁾ werden die in der Erde enthaltenen radioaktiven Substanzen angesehen.⁵⁾ Auch in der Nähe von Wasserfällen⁶⁾ weist die Luft starke elektrische Ladung und Leitfähigkeit auf, die nach Hrn. Lenard ihre Ursache in der Ausbildung und plötzlichen Trennung elektrischer Doppelschichten hat. Nach weiteren Versuchen Hrn.

1) Der philosoph. Fakultät eingeliefert am 21. November 1905.

2) J. Elster u. H. Geitel, Terr. Magnet. and Atm. Elektr. Dezbr. 1899. p. 213—234; P. Lenard, Ann. d. Phys. 1. p. 505 u. 506. 1900.

3) P. Lenard, Ann. d. Phys. 1. p. 486. 1900: Wirkung des ultravioletten Lichtes; G. Le Cadet, Compt. rend. 136. p. 886. 1903: starke Leitfähigkeit der Luft bei schönem Wetter am Gipfel des Montblanc; V. Conrad (Physik. Zeitschr. 5. p. 799. 1904) findet auf der meteorologischen Zentralstation zu Wien die Leitfähigkeit der Luft proportional ihrem Ozongehalt, was, da Ozon ebenfalls ein Produkt ultravioletter Strahlung (P. Lenard, Ann. d. Phys. 1. p. 486. 1900) sein kann, für Lichtwirkung spricht; Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Januar 1905. p. 18: „Absteigende Luftströme führen dem Berggipfel ionenreiche Luft zu, d. h. vergrößern die Zerstreung, aufsteigende verkleinern dieselbe“, woraus wieder auf Trägerbildung durch die ultravioletten Strahlen der Sonne zu schließen ist.

4) J. Elster u. H. Geitel, Physik. Zeitschr. 2. p. 560. 1901.

5) H. Becquerel, Compt. rend. 122. p. 559. 1896 (Curie 1898). Eine Zusammenstellung der hierzu gehörigen Literatur vgl. bei J. Elster u. H. Geitel, Terrest. Magn. and Atm. Elektr. 9. Nr. 2. p. 49—61. 1904. Vgl. auch Brandes, Über die radioaktive Emanation der Bodenluft und der Atmosphäre. Dissert. Kiel 1905.

6) P. Lenard, Wied. Ann. 46. p. 584. 1892.

Lenards mit Kochsalzlösungen¹⁾ war auch Leitfähigkeit der Luft in der Nähe des salzhaltigen Meeres zu erwarten, die infolge der großen Ausdehnung desselben von meteorologischer Wichtigkeit sein könnte. Die Frage, ob bez. in welcher Menge die in der Atmosphäre enthaltenen Elektrizitätsträger den einzelnen bekannten Quellen entstammen, würde der Antwort näher gebracht sein, wenn erst die Eigenschaften der jeder einzelnen Quelle entstammenden Elektrizitätsträger besser präzisiert wären, so daß man aus den Eigenschaften der in der Atmosphäre gefundenen Träger²⁾ auf ihre Quelle zurückfließen könnte.

Eine derartige Untersuchung der Elektrizitätsträger, die beim Aufprallen von Kochsalzlösungen entstehen, ist nun von mir eingehend durchgeführt und soll im folgenden beschrieben werden. Der Anfang zu dieser Untersuchung war bereits auf Veranlassung Hrn. Lenards von Hrn. Kähler³⁾ gemacht, der das merkwürdige Resultat fand, daß in diesem Falle sowohl positive wie negative Träger in der Luft entstehen, während destilliertes Wasser nur negative erzeugt. Ferner schien sich nach seinen Beobachtungen eine Neubildung von Trägern in der Luft bemerkbar zu machen, ein Resultat,* das zu weiteren Untersuchungen herausforderte.

Im Laufe meiner Versuche ergaben sich nun Resultate, nach denen anzunehmen war, daß (bei Anwendung von Kochsalzlösungen und destilliertem Wasser wenigstens) gleich geladene Träger nicht alle dieselbe Wanderungsgeschwindigkeit haben, während bei allen bisherigen Messungen von Wanderungsgeschwindigkeiten⁴⁾ stets Einheitlichkeit gleich geladener Träger angenommen wurde. Nur in einem Falle ist bereits von

1) l. c. p. 608.

2) Über die Wanderungsgeschwindigkeit solcher Träger vgl. die Messungen von P. Langevin, *Compt. rend.* **140.** p. 232. 1905; H. Mache u. E. Schweidler, *Physik. Zeitschr.* **6.** p. 71. 1905.

3) K. Kähler, *Ann. d. Phys.* **12.** p. 1119 1903.

4) J. Zeleny, *Phil. Mag.* (5) **46.** p. 128. 1898: Erzeugung durch Röntgenstrahlen; H. A. Wilson, *Phil. Trans.* **192 A.** p. 516. 1899: Flammengase; **193 A.** p. 290. 1900: Röntgenstrahlen, Radium u. Hallwachseffekt; P. Lenard, *Ann. d. Phys.* **3.** p. 306. 1900: Ultraviolette Licht in Luft; **9.** p. 647. 1902: Metaldämpfe in Flammen; K. Kähler, *Ann. d. Phys.* **12.** p. 1129. 1903: Destilliertes Wasser und NaCl-Lösungen.

Hrn. Lenard¹⁾ darauf hingewiesen, daß außer langsam wandernden positiven Trägern, deren Geschwindigkeit bestimmt wurde, noch schnellere positive, also Träger von gleicher Ladung, aber verschiedener Beweglichkeit nebeneinander existierten.²⁾ Die numerischen Resultate der zitierten Beobachter zeigen nun, daß im allgemeinen die negativen Träger leichter beweglich sind als die positiven; im übrigen stimmen aber die Zahlen der einzelnen Beobachter wenig überein. Es kann dieses in erster Linie, und besonders bei den positiven Trägern durch die Verschiedenheit der Entstehungsursache bedingt sein, in zweiter Linie aber nach obigem Resultat auch durch die Verschiedenheit der angewandten Messungsmethoden. Der Unterschied in der Beweglichkeit der durch Kochsalzlösungen und auch der durch destilliertes Wasser erzeugten Träger zeigte sich bei meinen Versuchen sogar so groß, daß zur Messung ihrer Wanderungsgeschwindigkeiten zwei verschiedene Apparate (Netz- und Zylinderkondensator) erforderlich waren. Durch die Untersuchungen mit diesen beiden Apparaten ließ sich sowohl für die positiven, wie für die negativen Träger ein bestimmtes Intervall für die vorhandenen Geschwindigkeiten der Träger festlegen. Infolge dieses Resultates wurde aber auch Hr. Kählers Schluß auf Neuerzeugung von Trägern hinfällig, welcher auf Einheitlichkeit der Wanderungsgeschwindigkeit gegründet war. Weitere Versuche ergaben in der Tat, daß keine Neuerzeugung von Trägern in der Luft stattfindet, wenn dieselben durch Aufprallen von destilliertem Wasser oder Kochsalzlösungen entstanden sind.

Was endlich die Natur der durch fallende Flüssigkeiten erzeugten Träger anbetrifft, so ist nach den Endresultaten nichts dagegen einzuwenden, daß die leichtesten Gasträger als Moleküle, die schwereren bis schwersten als kleine bis zu

1) P. Lenard, Ann. d. Phys. 3. p. 315, Ann. 1900.

2) In den während Anfertigung meiner Arbeit erschienenen Noten: sur les ions de l'atmosphère (Compt. rend. 140. p. 232 u. 305. 1905) konstatiert Hr. Langevin für die freie Atmosphäre (Eiffelturm) zwei Sorten von Trägern: 1. ions ordinaires de grande mobilité, 2. gros ions. Bei meinen Untersuchungen stellt sich heraus, daß man auf eine große Zahl von verschiedenen Trägern schließen darf, wenigstens, wenn sie durch Aufprallen von Flüssigkeiten entstanden sind.

großen Molekülkomplexen anzusehen sind. Außer diesen Gasträgern waren auch noch suspendierte geladene Flüssigkeitströpfchen, bez. ihre durch Eintrocknen entstandenen Produkte in der Luft nachweisbar, welche jedoch beim Elektrizitäts-transport nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Versuchsanordnung.

Zur Erzeugung der Träger diente die auch von Hrn. Kähler¹⁾ bereits benutzte Vorrichtung, nur betrug die Fallhöhe jetzt ca. 80 cm; der Strahl, der in einer Glasröhre frei herabfiel und in einer Glaskugel endete, traf stets auf eine raue Glasplatte, deren Oberfläche mit der unten befindlichen Flüssigkeit eine Ebene bildete, und die von ihr vollkommen benetzt wurde.

Die Messungen geschahen mit einem Thomsonschen Quadrantenelektrometer, dessen Empfindlichkeit 18 Skt. für 1 Volt betrug.

Als Auffangeapparat der Träger dienten ein Metallwattfilter¹⁾, ein Netzkondensator und ein radialer (zylindrischer) Kondensator, von denen die beiden letzten, die von Hrn. Käblers Kondensatoren abweichen, folgende Form haben:

Fig. 1.

Fig. 2.

In dem Netzkondensator (Fig. 1) ist das mit dem Elektrometer verbundene kleine Netz *a* mit einem Thomsonschen Schutzringe *b* (Netz) umgeben, um die Wirkung eines homogenen Kraftfeldes zu bekommen. Das große Netz *c* hat von dem kleinen einen Abstand von 1 cm. Die (schraffierte) Isolation zwischen den beiden Röhren hat den Zweck, beide Röhren

1) K. Kähler, Ann. d. Phys. 12. p. 1120. 1903.

auf verschiedenes Potential laden zu können (kleine Röhre geerdet, große Röhre und großes Netz auf gleiches Potential geladen, es wurden so störende Kraftlinien eliminiert). Der radiale Kondensator (Fig. 2) besteht aus zwei konzentrischen Röhren, die überall einen Abstand von 1 cm haben. Nur an dem Ende des eintretenden Luftstromes ist der Endabstand größer gewählt, um Wirbelbewegungen der Luft möglichst zu eliminieren. Die innere Röhre wird von einem zweimal rechtwinklig gebogenen Kupferdrahte gehalten, der mit Siegellack in senkrecht zur Kondensatorachse gekittete Glasröhren eingesetzt ist. Um ein Überfließen von Elektrizität zu verhindern, sind die beiden Glasröhren an ihren freien Enden innen und außen mit abgeleitetem Stanniol bekleidet.¹⁾

Vorversuche mit Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration und dem Wattefilter als Auffangeapparat zeigten, daß die negative Elektrisierung der Luft mit zunehmender Konzentration sehr schnell bis Null abnahm, um positiv zu werden; ist die Lösung 6,5 proz., so ist das Maximum der positiven Wirkung erreicht; von da ab tritt wieder eine allmähliche Abnahme ein (vgl. Kurve A, Fig. 3).

Konzentration der Lösung	0,01	0,1	2,0	6,5	11,7	18,0	24,5
Ausschlag pro 1 Min. i. Skt.	-7,86	-0,2	+5,0	+5,93	+4,52	3,67	3,19

Da diese Versuchsreihe mit einer kleineren Luftgeschwindigkeit (2 Liter Luft in 105 Sek.) ausgeführt wurde als alle folgenden (2 Liter in 55 Sek.), so sind diese Zahlen mit allen weiteren Tabellen nicht zu vergleichen. Infolge Anwendung des Wattefilters geben diese Zahlen nur den Überschuß der positiven Träger an; ein Versuch mit dem radialen Kondensator ergab nun, daß eine 0,2 proz. Lösung mehr positive und auch mehr negative Träger erzeugt, als eine 6,5 proz. Obgleich also der Überschuß der positiven Träger bei der 6,5 proz. Lösung größer ist, gibt doch die 0,2 proz. eine weit größere Trägersausbeute. Infolge dieses günstigen Umstandes wurde zu allen folgenden Versuchen eine 0,2 proz. Kochsalzlösung benutzt, die mit Hilfe

1) Nach Hrn. Kähler, aber wohl unabhängig von ihm, ist die Messung von Wanderungsgeschwindigkeiten mit einem zylindrischen Kondensator von Hrn. Gerdien (Physik. Zeitschr. 4. p. 632. 1904) und von Hrn. Mache (Physik. Zeitschr. 4. p. 717—721. 1903) angewandt worden.

des Wattlefilters (Luftgeschwindigkeit: 2 Liter in 55 Sek.) einen Ausschlag von 20,6 Skt. pro $2\frac{1}{2}$ Min. als Gesamtwirkung ergab.

I. Teil. Messung der Wanderungsgeschwindigkeiten.

A. Die Geschwindigkeit der Träger eines Zeichens ist nicht einheitlich.

Wurde der radiale Kondensator an die Glaskugel geschaltet, die äußere Röhre desselben positiv geladen, die innere geerdet mit dem Elektrometer verbunden, so ergab eine Versuchsreihe folgende Tabelle (vgl. Kurve I, Fig. 3).

Ladung der äußeren Röhre	0	+4	8	32	64	81	221	292 Volt
Ausschl. in Skt. p. $2\frac{1}{2}$ Min.	0	+2,6	4,2	8,3	14,4	24,1	29,3	30,8

Nach dem Verlauf der Kurve I zu urteilen, vergrößern höhere Ladungen als +320 Volt den Ausschlag nicht mehr, was andeutet, daß alle vorhandenen positiven Träger an der inneren Röhre entladen sind. Nehmen wir nun vorläufig dieses Resultat als richtig an, so liegt damit eine Möglichkeit vor, die Wanderungsgeschwindigkeit der positiven Träger zu berechnen, die nach Hrn. Kähler sich für diesen Fall ergibt zu

$$\omega = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2l} \cdot \lg \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{v}{V} \quad 1)$$

Da die Luftgeschwindigkeit v zwischen den beiden Röhren (auch bei allen folgenden Versuchen: Wasserstrahlsaugpumpe) 4,0 cm/sec beträgt, so folgt

$$\omega = 6,06 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \quad 2)$$

Dieser Wert für ω wurde nun unter der Annahme be-

1) K. Kähler, l. c. p. 1184.

2) Hr. Kähler fand die Zahl $8,33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ (p. 1135). —

Hr. Bloch entdeckt nach einer viel späteren Mitteilung (Compt. rend. 138. p 1599. 1904) in frisch hergestellten Gasen, die in Flüssigkeiten aufsprudeln, sowohl positive, wie negative Träger von der Geschwindigkeit $1,0 \cdot 10^{-3}$ cm/sec und hält diese für „une catégorie nouvelle“ von Trägern. Daß nun beim Aufsprudeln beliebiger Gase dieselben Wirkungen auftreten, wie an Wasserfällen, darauf ist bereits verschiedentlich hingewiesen (Lord Kelvin, Proc. Roy. Soc. 57. p. 335. 1895; W. Koesters, Wied. Ann. 69. p. 12. 1899; K. Wolf, Dissert. Kiel 1903). Es ist daher weder in bezug auf die Wanderungsgeschwindigkeit noch auf die Entstehungsweise etwas Neues in Hrn. Blochs Trägern zu sehen.

rechnet, daß die vorhandenen positiven Träger alle gleich schnell wandern. Behält man diese Annahme bei, so läßt sich auf theoretischem Wege dieselbe Kurve konstruieren, die sich dann mit der experimentellen decken müßte. Eine einfache mathematische Überlegung¹⁾ zeigt nun, daß das Verhältnis $V:U$, d. h. die an die äußere Röhre angelegte Spannung zur Trägermenge, die dadurch zur Entladung kommt, für alle V dasselbe

Fig. 3.²⁾

ist, woraus unmittelbar folgt, daß die theoretische Kurve eine Gerade ist (vgl. Kurve I, Fig. 3).

Die starke Krümmung der experimentellen Kurve nach oben zeigt also an, daß außer den oben berechneten langsam wandernden Trägern noch solche vorhanden sind, die schneller wandern, z. B. mit der Geschwindigkeit v_x . Die Geschwindigkeiten der einzelnen positiven Träger müssen also, da die Kurve in ihrem ganzen Verlaufe gekrümmt ist, in dem Intervall $v_x \dots \omega$ liegen, wo $\omega = 6,06 \cdot 10^{-4}$ cm/sec und v_x eine noch zu bestimmende Größe ist, die sicher $> \omega$ ist.

1) Vgl. Dissertation p. 18.

2) Der Maßstab und Nullpunkt ist für die einzelnen Kurven verschieden. Die Spannungen sind horizontal, die Ausschläge vertikal eingetragen.

Genau in derselben Weise lassen sich nun auch die gleichzeitig entstehenden negativen Träger untersuchen. Legt man diesmal negatives Potential an die äußere Röhre, so ergibt sich (vgl. Kurve II, Fig. 3).

Ladung der Röhre	0	-4	-8	-32	-64	-81	-146 Volt
Ausschl. pro $2\frac{1}{2}$ Min.	0	-2,4	-5,8	-8,4	-11,4	-12,3	-13,1 Skt.

Da bei -100 Volt die Kurve in die Horizontale übergeht, so folgt für die Wanderungsgeschwindigkeit:

$$\omega = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec für } 1 \text{ Volt/cm.}$$

Nach denselben Betrachtungen wie oben ergibt sich als Intervall für die Geschwindigkeit der negativen Träger:

$$v_y \dots 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sec für } 1 \text{ Volt/cm,}$$

wo $v_y > 1,94 \cdot 10^{-3}$ ist.

Es bestehen demnach die einzelnen (gleichgeladenen) Träger von mannigfaltiger Geschwindigkeit nebeneinander.

B. Neuerzeugung von Trägern findet nicht statt.

Ein Versuch, in welchem es, wie bei Hrn. Kähler, den Anschein hat, als ob negative Träger in der durch Salzwasserfälle mit positiven Trägern versehenen Luft fortwährend neu erzeugt würden, ist der folgende: An die Glaskugel wurden zwei radiale Kondensatoren (vgl. Fig. 2) hintereinander geschaltet. Im ersten wurde ein Kraftfeld hergestellt, das nach der von Hrn. Kähler gefundenen Wanderungsgeschwindigkeit¹⁾ hätte ausreichen müssen, die negativen Träger alle zu entladen; trotzdem konnten im zweiten Kondensator noch zahlreiche negative Träger nachgewiesen werden, ja selbst dann noch, wenn im ersten Kondensator das Kraftfeld auf mehr als das 100fache (-64 Volt) verstärkt wurde. Durch die oben berechnete *langsame* Wanderungsgeschwindigkeit von negativen Trägern können wir dieses Resultat aber auch auf die negativen Träger zurückführen, die im ersten Kondensator infolge ihrer Schwerfälligkeit nicht zur Entladung kommen, ohne Neuerzeugung annehmen zu müssen. In der Tat zeigte sich bei einer Erhöhung der Ladung auf -100 Volt oder mehr im

1) K. Kähler, l. c. p. 1140.

ersten Kondensator, daß im zweiten Kondensator *keine* negativen Träger mehr nachzuweisen waren, wohl aber immer noch positive Träger. Die Annahme einer Neuerzeugung von negativen Trägern durch positive Träger der Wasserfallelektrizität erscheint demnach nicht nur als entbehrlich, sondern auch als unbegründet.

Da nun von Hrn. Lenard beobachtet ist, daß bei Trägererzeugung durch ultraviolettes Licht in der Luft in sehr inhomogenen Kraftfeldern eine eigentümliche Wirkung eintrat, welche von gewöhnlicher Spitzenwirkung verschieden war¹⁾ und durch Neuerzeugung von Trägern durch bereits in der Luft vorhandene Träger gedeutet werden könnte, habe ich noch Versuche angestellt, in welchen die Luft aus der Glaskugel durch starke inhomogene Kraftfelder geführt wurde, um zu sehen, ob nicht dann doch etwa Neuerzeugung von Trägern nachzuweisen wäre. Es ergab sich aber selbst bei Steigerung der Spannungen bis zum Entstehen von Spitzenwirkung kein Einfluß, welcher als Neuerzeugung zu deuten gewesen wäre. Im besonderen wurde das Minimumpotential²⁾ der Spitzenwirkung unverändert gefunden, wenn die Luft aus der Glaskugel durch gewöhnliche Luft ersetzt wurde. Wir finden also auch bei diesen vielfach variierten Versuchen kein Anzeichen von Radioaktivität bei den Trägern der Wasserfallelektrizität.³⁾

Alles, was ich als Nachwirkung in der von Salzwasserfällen elektrisierten Luft habe nachweisen können, war die schon bekannte Neutralisation entgegengesetzt geladener Träger: Wurde die Luft aus der Glaskugel in eine 10 Liter fassende Glasflasche eingeschlossen und aus dieser durch eingeführtes

1) P. Lenard, Ann. d. Phys. 3. p. 304. 1900.

2) J. Precht, Wied. Ann. 49. p. 174. 1892.

3) Hr. Lenard ersucht mich, hier anzumerken, daß Hr. Edv. Björnsson aus Lund im hiesigen Institut im S.-S. 1903 Versuche angestellt hat, in welchen positive Träger von Salzwasserfällen an Drähten gesammelt wurden in der Art, wie es die Herren Elster u. Geitel in der freien Atmosphäre gemacht haben. An den Drähten, welche die positiven Träger empfangen hatten, wurde jedoch stets nur vergeblich Radioaktivität nachzuweisen versucht. Vgl. auch Mc. Lennan, University of Toronto Stud. Phys. Sc. Series. 1903. p. 1—13: stellte an den Süßwasserfällen des Niagara hierüber gleichartige Versuche an und kommt ebenfalls zu einem negativen Resultat.

Wasser durch den radialen Kondensator hindurch mit der sonst benutzten Geschwindigkeit hinausgetrieben, wurde dann die äußere Röhre des Kondensators einmal mit +300, ein anderes Mal mit -100 Volt geladen, so ergab sich in der Zeit von

$0-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-1$	$1-1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}-2$. . .	$4\frac{1}{2}-5$ Min.
+ 3,8	+ 2,7	+ 2,2	+ 1,7 . . .	+ 1,7 Skt. Ausschlag
- 2,0	- 1,0	- 0,5	0 . . .	0 „ „

Addiert man diese beiden Versuchsreihen, so folgt als Gesamtwirkung

+ 1,8	+ 1,7	+ 1,7	+ 1,7 . . .	+ 1,7 Skt. Ausschlag
-------	-------	-------	-------------	----------------------

Da außerdem vor Beginn des Versuches noch $\frac{1}{2}$ Min. verloren ging, so folgt: Etwa 2 Min. nach dem Eintreten der letzten Träger in die Flasche sind die negativen Träger von den in der Überzahl vorhandenen positiven Trägern neutralisiert.

C. Berechnung der vollständigen Intervalle für die Wanderungsgeschwindigkeiten der Träger.

An negativen Trägern gibt es sicher keine langsameren als die, deren Geschwindigkeit oben berechnet wurde ($1,94 \cdot 10^{-3}$), denn in einem hinter den radialen mit -100 Volt oder mehr geladenen Kondensator geschalteten ebensolchen zweiten ließen sich keine weiteren negativen Träger nachweisen. Wohl aber ließen sich in diesem bei Anlegen von +320 Volt noch positive nachweisen. Die Möglichkeit, daß diese infolge von Wirbelbewegungen hindurchgeschlüpft sein könnten, halte ich für ausgeschlossen, da bei den negativen dann der gleiche Fall hätte eintreten müssen. Es können dies also nur noch langsamer wandernde positive Träger sein, die sich bequemer und sicherer in einem hinter den ersten radialen Kondensator geschalteten Wattenfilter nachweisen ließen. Eine Versuchsreihe ergab:

Ladung der äuß. Röhre	+221	+292	+377	+456	+531 Volt
Ausschlag pro $2\frac{1}{2}$ Min.	+5,7	+4,0	+2,5	+1,7	< +0,5 Skt.

Aus dem Schnittpunkt der Kurve III, Fig. 3 mit der Spannungsachse ergibt sich, daß die langsamsten positiven

Träger erst bei einer Ladung von +566 Volt abgefangen werden. Daraus folgt die Geschwindigkeit derselben:

$$\omega = 3,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$$

Es ist also zu dem Intervall

$$v_x \dots 6,06 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \text{ (vgl. p. 966)}$$

hinzuzufügen: für die kleinere Anzahl der positiven Träger erstreckt sich das Intervall auf

$$6,06 \cdot 10^{-4} \dots 3,43 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}. ^1)$$

Um nun die *Geschwindigkeiten der schnellsten Träger*, also die oben so bezeichneten Werte v_x und v_y zu bekommen, wurde der Netzkondensator (vgl. Fig. 1) direkt an die Glaskugel geschaltet. Dabei wurde das große Netz und die große Röhre geladen, die kleine Röhre zur Erde abgeleitet und das kleine Netz geerdet mit dem Elektrometer verbunden. Zur Bestimmung von v_x ergab sich:

Ladung	+81	+146	+292	+456	+605 Volt
Ausschlag pro 2 1/2 Min.	+0,5	+1,2	+2,6	+4,3	+7,4 Skt.

Nach dem Schnittpunkt der Kurve IV, Fig. 3 mit der Spannungsachse zu urteilen, gibt eine kleinere Ladung als +34 Volt keinen Ausschlag mehr. Da nun die Luftgeschwindigkeit im Kraftfelde 3,0 cm/sec beträgt, so ergibt sich die Wanderungsgeschwindigkeit der schnellsten positiven Träger zu

$$\frac{3 \text{ cm/sec}}{34 \text{ Volt/cm}} = 8,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}. ^2)$$

1) An positiven Trägern sind also, wenn man die Skalenteile als Maß für ihre Anzahl annimmt, im ganzen vorhanden: $30,8 + 4,0 = 34,8$, an negativen: $-13,1$ (vgl. die Versuchsreihen). Durch Addition der beiden Einzelwirkungen folgt als Gesamtwirkung +21,7, ein Wert, der annähernd mit dem unter Anwendung des Wattefilters gefundenen Wert +20,6 übereinstimmt. Der eventuell vorhandene Unterschied der Kapazitäten der beiden Auffangeapparate ist ohne Einfluß, da die Kapazität des Elektrometers ca. $1,5 \cdot 10^2$ cm beträgt.

2) P. Lenard, Ann. d. Phys. 9. p. 647. 1902 findet, daß die in Flammgasen enthaltenen Na-Stäubchen eine Geschwindigkeit von $8,0 \cdot 10^{-2}$ cm/sec haben.

Ebenso findet man v_y , indem man statt des positiven negatives Potential anlegt; es folgt dann:

Ladung	0	-12	-64	-81	-146	etc. Volt
Ausschlag pro $2\frac{1}{2}$ Min.	0	-0,5	-2,5	-3,3	-5,1	„ Skt.

Eine genaue Bestimmung des Schnittpunktes der Kurve V, Fig. 3 mit der Spannungsachse ist unmöglich; er liegt jedoch nicht weit von -1 Volt entfernt. Daraus würde sich die Geschwindigkeit ergeben zu

$$v_y = \frac{3,0 \text{ cm/sec}}{1 \text{ Volt/cm}} = 3,0 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} / \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Ein etwas besseres Resultat lieferte eine andere, sehr verdünnte Kochsalzlösung. In diesem Falle ergab sich:

Ladung	0	-2	-4	-8	-16	-32	Volt
Ausschlag pro $2\frac{1}{2}$ Min.	-8,2	-8,7	-10,1	-11,2	-13,2	-16,4	Skt.
oder macht man -8,2 zur Nullachse }	0	-0,5	-1,9	-3,0	-5,0	-8,2	„

Der Schnittpunkt der Kurve VI, Fig. 3 mit der Spannungsachse ist -1,35 Volt; da aber die Luftgeschwindigkeit in diesem Falle 6,0 cm/sec betrug, so folgt

$$v_y = \frac{6,0}{1,35} = 4,44 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} / \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Beide Werte liegen also in der Nähe des von Hrn. Kähler gefundenen Resultates für die Wanderungsgeschwindigkeit¹⁾ der durch *destilliertes Wasser* erzeugten negativen Träger 4,17 cm/sec. Gerade für diese Bestimmung halte ich aber Hrn. Käblers Messung für vorteilhaft. Zieht man also diesen Wert dazu in Betracht, so folgt für v_y rund

$$4,0 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} / \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

D. Destilliertes Wasser.

Auf Grund dieser Resultate lag nun die Vermutung nahe, daß auch die beim Aufprallen von destilliertem Wasser entstehenden negativen Träger keine einheitliche Geschwindigkeit haben. Man könnte den Beweis wieder wie oben führen, doch gestaltet er sich hier noch etwas einfacher. Es wurde näm-

1) K. Kähler, Ann. d. Phys. 12. p. 1129. 1903.

lich zunächst der Netzkondensator direkt an die Glaskugel geschaltet und das große Netz negativ geladen; es folgte:

Ladung (Volt)	0	-1,1	-2	-4	-12	-81	-146	-221
Ausschlag pro $2\frac{1}{2}$ Min. }	-8,5	-8,75	-9,3	-11,0	-16,5	-24,5	-25,5	-25,75

Die graphische Darstellung des ersten Teiles der Tabelle ergibt die Kurve VIIa, Fig. 3, der ganzen Tabelle VIIb, Fig. 3. Der Schnittpunkt von VIIa, Fig. 3 mit der Spannungsachse, der in all diesen Fällen im wesentlichen aus der Richtung eines großen Teiles der Kurve folgt, tritt ein bei $-0,75$ Volt. Da die Luftgeschwindigkeit $3,0$ cm/sec beträgt, so ergibt sich daraus für die durch destilliertes Wasser erzeugten negativen Träger die Geschwindigkeit

$$\omega = \frac{3,0 \text{ cm/sec}}{0,75 \text{ Volt/cm}} = 4,0 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} .^1)$$

Würde man nun annehmen, daß alle vorhandenen Träger dieselbe Geschwindigkeit hätten, so müßte doch ein Kraftfeld von einigen Volt/cm schon sämtliche Träger abfangen, in Wirklichkeit wird aber bei immer höherer Ladung der Ausschlag immer größer und zwar bis zu einem Maximum, das anscheinend bei -180 Volt erreicht wird. Demnach sind also auch noch negative Träger vorhanden (und das sind anscheinend die langsamsten), die eine Wanderungsgeschwindigkeit bis zu

$$\frac{3 \text{ cm/sec}}{180 \text{ Volt/cm}} = 1,67 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$$

haben.

Diese langsamsten Träger wurden wieder genauer mit dem radialen Kondensator untersucht:

Ladung der äuß. Röhre }	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14 Volt
Ausschlag pro $\frac{1}{2}$ Min. }	-12,5	-37,0	-55,0	-65,0	-71,0	-73,0	-74,0	-74,0 Skt.

Bei einer Ladung von -12 Volt sind also anscheinend alle negativen Träger abgefangen (vgl. Kurve VIII, Fig. 3). Da die Luftgeschwindigkeit $4,0$ cm/sec betrug, so ergibt sich daraus:

$$\omega = 1,617 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$$

1) Vgl. K. Kähler, l. c. p. 1129: $4,17$ cm/sec (also in guter Übereinstimmung mit obigem Resultat).

als die Wanderungsgeschwindigkeit der anscheinend langsamsten negativen Träger, also in guter Übereinstimmung mit dem vorhergehenden Resultat.

Um etwa vorhandene geringe Mengen noch langsamer wandernder Träger aufzufangen, wurde wieder hinter den Kondensator das Wattenfilter geschaltet; in jenem wurden dann die Träger soweit als möglich entladen, der Rest wurde im Wattenfilter nachgewiesen. Eine Versuchsreihe ergab:

Ladung der äußeren Röhre	{	0	-2	...	-12	-14	-81	-377 Volt
Ausschlag pro 2 Min.		-102,0	-50,0	...	-11,0	-11,0	-6,5	-3,5 Skt.

Es existieren also tatsächlich noch langsamere Träger, wenn auch nur in sehr geringer Menge (vgl. Kurve IX a, Fig. 3). Eine Gerade durch die beiden letzten Daten (vgl. Kurve IX b, Fig. 3) gelegt, schneidet die Spannungsachse bei -720 Volt, woraus sich die Geschwindigkeit der langsamsten negativen Träger ergibt zu

$$\omega = 2,69 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Als Resultate des ersten Teiles ergeben sich demnach: Die Wanderungsgeschwindigkeiten der durch *destilliertes Wasser* erzeugten *negativen* Träger liegen in dem Intervalle:

$$\begin{aligned} \text{für die größere Anzahl: } & 4,0 \dots 1,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}, \\ \text{„ „ geringere „ : } & 1,6 \cdot 10^{-2} \dots 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ „ „ „} \end{aligned}$$

Die Wanderungsgeschwindigkeiten der durch *0,2 proz. Kochsalzlösung* erzeugten *negativen* Träger liegen in dem Intervalle

$$4,0 \dots 1,94 \cdot 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Die Wanderungsgeschwindigkeiten der durch *0,2 proz. Kochsalzlösung* erzeugten *positiven* Träger liegen in dem Intervalle:

$$\begin{aligned} \text{für die größere Anzahl: } & 8,8 \cdot 10^{-2} \dots 6,06 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}, \\ \text{„ „ geringere „ : } & 6,06 \cdot 10^{-4} \dots 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ „ „ „} \end{aligned}$$

II. Teil. Flüssigkeitströpfchen, bez. salzhaltige Träger.

Bevor man auf weitere Schlußfolgerungen aus diesen Resultaten eingehen kann, ist erst noch ein Bedenken zu be-

seitigen: Da ein Teil der Träger eine sehr geringe Geschwindigkeit hat, so liegt die Vermutung nahe, daß diese nicht Gasträger, sondern entweder durch Kondensation vom Wasserdampf so schwer geworden oder geladene Tröpfchen der benutzten Flüssigkeit waren. Eine Überlegung in betreff der Möglichkeit, daß die Gasträger als Kondensationskerne wirken konnten, führte zu dem Resultat, daß diese Möglichkeit ausgeschlossen ist. Die Methode zur Untersuchung der Tröpfchen der benutzten Flüssigkeit ist gegeben durch die Erwägung, daß Tröpfchen der Kochsalzlösung Na enthalten und daher die bekannte Reaktion in der Bunsenflamme geben müssen. Es wurde nun mit Hilfe eines Gasometers ein treibender konstanter Luftstrom hergestellt (Geschwindigkeit 4,0 cm/sec im radialen Kondensator), der von oben in die Glaskugel eintrat, sodann durch den daran geschalteten radialen Kondensator strich und in das eine Luftloch eines Bunsenbrenners mündete, dessen zweites ebenfalls geöffnet blieb. Fiel nun Kochsalzlösung dazu, so wurde die Flamme recht intensiv gelb gefärbt. Es werden also in der Tat Teile der Kochsalzlösung vom Luftstrom mitgeführt. Wir bezeichnen diese Teile als Natriumträger; Schlüsse in bezug auf ihre Natur werden weiter unten gezogen (p. 980).

A. Waren diese Na-Träger elektrisch geladen?

Wurde zu dem letzten Versuch + 766 Volt Ladung an die äußere Röhre gelegt, so blieb die Intensität der Färbung anscheinend dieselbe. Wurde nun die Luftgeschwindigkeit auf 16/13 cm/sec im radialen Kondensator herabgesetzt, so zeigte ein Versuch ohne Kraftfeld zwar, daß jetzt weniger Na-Träger die Flamme erreichten, mit einem Felde von 766 Volt/cm dagegen trat eine vollständige Entfärbung der Flamme ein. Die Na-Träger waren demnach geladen.

Mit Hilfe dieser Anordnung war es auch möglich, die Wanderungsgeschwindigkeit der Na-Träger zu bestimmen. Zu dem Zwecke wurde der Unterschied der Färbung gegen die farblose Flamme beobachtet, und zwar in der Weise, daß der vom Gasometer kommende Luftschlauch plötzlich abgedrückt wurde. Wurden nun bei einer Luftgeschwindigkeit von 4,0 cm/sec. der Reihe nach Spannungen an den Kondensator gelegt, so bemerkte man erst bei + 377 Volt, daß der Färbungsunter-

schied etwas geringer war als ohne Kraftfeld. Bei 766 Volt war der Unterschied bereits merklich geringer. Da höhere konstante Spannungen nicht zur Verfügung standen, wurde die Luftgeschwindigkeit herabgesetzt und zwar wieder auf 16/13 cm/sec. Bei + 81 Volt blieb der Färbungsunterschied derselbe, bei + 146 Volt war er bereits etwas geringer etc., endlich bei + 766 Volt war der Färbungsunterschied so gut wie Null.

Aus diesen Versuchen ergibt sich also: Anscheinend die *schnellsten* Na-Träger werden vom radialen Kondensator bei einer Luftgeschwindigkeit von 4,0 cm und einer Ladung von + 377 Volt abgefangen. Ihre Wanderungsgeschwindigkeit wäre also

$$\omega = 5,146 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Ferner werden die *langsamsten* Na-Träger bei einer Luftgeschwindigkeit von 16/13 cm/sec und einer Ladung von + 766 Volt abgefangen. Ihre Geschwindigkeit ist also

$$\omega = 7,79 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}.$$

Nun hatten aber die *langsamsten* Elektrizitätsträger, wie sie durch *Elektrometerausschläge* nachgewiesen sind, eine Geschwindigkeit von $3,4 \cdot 10^{-4}$ cm/sec; hier zeigen sich aber noch langsamere elektrisch geladene Teilchen. Dieser Widerspruch wird sich durch spätere Versuche lösen.

B. Sind die Na-Träger positiv oder negativ geladen?

Diese Frage ließ sich durch die Untersuchungen mit einem neuen radialen Kondensator leicht beantworten, dessen innere Kondensatorröhre aus einem frischgeglühten Platindrahte und dessen Kollektorröhre aus einer Messingröhre von 2,0 cm lichter Weite bestand. Der 14,5 cm lange, 0,5 mm dicke Platindraht, dessen freies Ende zu einem Knopfe von 1,15 mm Durchmesser zusammengeschmolzen war, wurde auf einem Stativ mittels einer zur Erde abgeleiteten Polklemme gehalten und so 12,5 cm weit möglichst zentral in die Röhre hineingeschoben. Bei positiver bez. negativer Ladung der Röhre mußten nun die positiven bez. negativen Träger an den Platin-

draht heranwandern, der dann in der Bunsenflamme auf Na geprüft wurde. Die zahlreichen Beobachtungen, deren vollständige Mitteilung in der Dissertation zu finden ist, ergaben folgenden Schluß: Die Na-Träger sind nahezu alle positiv geladen, nur eine ganz geringe Zahl derselben führt negative Ladung. Es ist nun mit Sicherheit anzunehmen, daß die Na-Träger, da die Flüssigkeit beim Aufprallen eine negative Ladung bekommt, ursprünglich alle negativ geladen sind, dann aber durch die Luft, die im Überschuß positive Träger enthält, neutralisiert und sogar positiv geladen werden. Und nur einige wenige Na-Träger behalten ihre negative Ladung bei.

C. Das vollständige Intervall für die Wanderungsgeschwindigkeit.

Um nun noch von der Wanderungsgeschwindigkeit der schnellsten Tröpfchen eine sichere Kenntnis zu bekommen, wurde ein neuer Netzkondensator genau wie der bisher benutzte (Fig. 1) konstruiert; nur war das kleine Netz hier ein feines Platinnetz, das mit dem Verschlußkork der kleinen Röhre, mit dem es durch einen Platindraht in Verbindung stand, schnell und leicht herauszunehmen war, um es in der Bunsenflamme auf Na prüfen zu können. Es konnte so die Wanderungsgeschwindigkeit der schnellsten positiven und negativen Na-Träger bestimmt werden, indem man positives bez. negatives Potential an das große Netz legte und die Ladung bestimmte, bei der keine Na-Träger mehr an das Platinnetz zurückgetrieben wurden. Die Geschwindigkeit ergab sich für beide Arten zu

$$\omega = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sec für } 1 \text{ Volt/cm.}^1)$$

Da nun aber die negativen Na-Träger, wie hier nochmals bestätigt wurde, im Vergleich zu den positiven in so sehr geringer Anzahl vorhanden waren, so dürfen wir uns in den weiteren Betrachtungen auf die positiven allein beschränken. Es folgt demnach: Die Wanderungsgeschwindigkeit der positiven Na-Träger variiert

für die kleinere Anzahl: von $2,0 \cdot 10^{-2} \dots 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/sec für } 1 \text{ Volt/cm}$
 „ „ größere „ : „ $5,2 \cdot 10^{-4} \dots 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ „ „ „ } 1 \text{ „ „}$

1) Näheres vgl. Dissertation p. 43.

Eine graphische Darstellung aller oben berechneten Geschwindigkeiten der Träger wird durch Kurve X Fig. 3 wiedergegeben. Es gilt die untere Linie für die durch destilliertes Wasser erzeugten negativen Träger, die nächste für die durch NaCl-Lösung erzeugten negativen, die folgende für die gleichzeitig erzeugten positiven Träger, und die oberste für die gleichzeitig vorhandenen Na-Träger.

D. Die Zahl der Na-Träger ist so gering, daß ihre Ladungen zum Elektrometerausschlage nichts Meßbares beitragen.

Da das Intervall der Wanderungsgeschwindigkeit für die elektrometrisch gefundenen positiven Träger:

$$8,8 \cdot 10^{-2} \dots 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ cm/sec für 1 Volt/cm}$$

ist, so läßt sich folgende Betrachtung anstellen (vgl. dazu Kurve X Fig. 3). Etwa $\frac{1}{4}$ der Na-Träger, (des Teiles, der die Mehrheit ausmacht) $[AB]$ hat dieselbe Geschwindigkeit wie das letzte 12^{tel} $[ab]$ der elektrometrisch gemessenen positiven Träger. Würden nun die Na-Träger zum Elektrometerausschlage einen meßbaren Beitrag liefern, so müßte die Kurve IV Fig. 3 im letzten Teile wieder steigen, sie nimmt aber immer mehr und mehr ab. Außerdem liefern die übrigen $\frac{3}{4}$ der Na-Träger $[BC]$ überhaupt nichts Meßbares zum Ausschlage des Elektrometers, also wird's auch das Ganze $[AC]$ nicht tun. (Die schnellsten Na-Träger kommen infolge ihrer so geringen Anzahl bei dieser Überlegung kaum in Betracht.) Da aber, wie nachgewiesen, doch eine Ladung der Na-Träger vorhanden ist, so würde daraus folgen: Ihre Zahl ist so gering, daß der Elektrometerausschlag von ihrer Ladung nicht merklich beeinflusst wird. Dieses Resultat muß jedoch, da es für die Berechnung der Größe der Gasträger von Einfluß ist, noch von weiteren Versuchen bestätigt werden. Mit Hilfe einer Kühltasche (Kupferrohr von 0,6 cm lichter Weite und 125 cm Länge) wurden die Na-Träger, die bei $+70^{\circ}$ alle hindurchgingen, durch Temperaturerniedrigung bis zu -15° fast alle abgefangen (Entfärbung der Flamme), während die Gasträger, abgesehen von denen, die durch Neutralisation verloren gingen, hindurchgingen und im hintergeschalteten Kondensator aufgefangen, in dem Temperaturintervall $+70^{\circ} \dots -15^{\circ}$ C. stets

denselben Ausschlag verursachten. Auch im Wattefilter, das hinter den mit + 300 Volt geladenen Kondensator geschaltet wurde, war bei + 70° C. Temperatur der Schlange keine Ladung der Na-Träger, die bei dieser Temperatur alle hindurchgelangten, nachzuweisen.¹⁾

Durch diese Versuche bestätigt sich also, daß die geladenen Na-Träger zum Ausschlage des Elektrometers nichts Meßbares beitragen.

Eine ähnliche Untersuchung der Tröpfchen des destillierten Wassers ist natürlich unmöglich. Aber nach den erhaltenen Resultaten ist anzunehmen, daß auch die Tröpfchen des destillierten Wassers, die ebenfalls sicher, und zwar negativ geladen sind, nichts Meßbares zum Elektrometerausschlage beitragen.²⁾

Es wäre damit also das am Anfang dieses Teiles aufgestellte Bedenken, die schwersten Träger möchten ausschließlich aus Tröpfchen der angewandten Flüssigkeit bestehen, völlig beseitigt, und wir müssen annehmen, daß wir es außer mit Flüssigkeitsteilchen auch noch mit Gasträgern von solcher Größe zu tun haben, daß dieselben nicht schneller wandern, als Flüssigkeitsteilchen. Die Zahl dieser sehr schweren Gasträger ist sogar außerordentlich viel größer als die Zahl der gleichzeitig vorhandenen gleich langsam wandernden Flüssigkeitsteilchen.

III. Teil.

A. Größe der Gasträger.

Wendet man nun auf diese Resultate die allgemeine Formel über die Wanderungsgeschwindigkeit von elektrischen

1) Näheres vgl. Dissertation p. 46.

2) Für Leitungswasser läßt sich die Richtigkeit obiger Abstraktion noch direkt experimentell bestimmen, denn Hr. Lenard fand bei seinen Gasometerversuchen, daß die elektrometrisch nachweisbare Ladung (Ann. d. Phys. 46. p. 595 u. 596) nach der 38. Min. verschwunden war, dagegen die Na-Träger waren noch nach 18 Stunden nachzuweisen. Hr. Lenard schloß zwar daraus, daß die Na-Träger nicht geladen wären, ein Resultat, das von damals bis heute schwer erklärlich schien. Wir können nun dazu sagen: eine Ladung derselben war schon vorhanden, ihre Zahl war nur nicht groß genug, um elektrometrisch zu wirken. Und daß sie tatsächlich geladen waren, haben von mir ausgeführte besondere Versuche mit demselben Gasometer und Leitungswasser unmittelbar gezeigt (mit Hilfe des Platindrahtkondensators).

Trägern¹⁾ an, so ergeben sich daraus Beziehungen, die weitere Schlüsse auf die Natur der Träger gestatten. Die Formel lautet

$$w = \frac{e \cdot F}{N \pi \cdot s^2 \sqrt{V^2 + W^2}} \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{2m} \right) \cdot 1)$$

Darf man die Masse eines Trägers annähernd gleich der Masse eines Luftmoleküls annehmen, so bekommt die Formel die Form

$$w_b = \frac{3}{2 \pi \sqrt{2}} \cdot \frac{e \cdot F}{D s^2 W};$$

folglich ist:

$$s^2 = \frac{3}{2 \pi \sqrt{2}} \cdot \frac{e}{D \cdot W} \cdot \frac{1}{300} \cdot \frac{1}{\frac{w_b}{F}},$$

wo für w_b/F einer der oben gefundenen Zahlenwerte der Geschwindigkeit einzusetzen ist, und

$$e = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ C.G.S.}^2), \quad D = 0,00123 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}, \quad W = 44700 \text{ cm.}$$

Für die schnellsten negativen Träger (4,0 cm/sec) ergibt sich demnach als *Radiusumme von Träger und Gasmolekül*:

$$s = R + r = 0,437 \cdot 10^{-6} \text{ mm};$$

und für die schnellsten positiven (8,8 $\cdot 10^{-2}$ cm/sec) folgt

$$s = 2,812 \cdot 10^{-6} \text{ mm.}$$

Würde man nun auch die Zahlenwerte für die langsamsten Träger in diese Formel einsetzen, so würde man finden, daß diese sehr groß sind im Verhältnis zu den Gasmolekülen; für diesen Fall reduziert sich aber die allgemeine Formel für die Geschwindigkeit der Träger auf

$$w_c = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{e \cdot F}{D s^2 \cdot W};$$

folglich ist

$$s^2 = \frac{e}{\pi D \cdot W} \cdot \frac{1}{300} \cdot \frac{1}{\frac{w_c}{F}}.$$

1) P. Lenard, Ann. d. Phys. 3. p. 313 u. 314. 1900.

2) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) 5. p. 1903. (NB. Den numerischen Rechnungen, die unter Anwendung obiger Formel von Hrn. Lenard und Hrn. Kähler ausgeführt sind, liegt der 1899 von J. J. Thomson angegebene Wert $e = 6,6 \cdot 10^{-10}$ zugrunde.)

Es ergibt sich dann für

$w \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \bigg/ \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$	$2s = 2R + 2r \text{ mm}$
$6,06 \cdot 10^{-4}$	$65,8 \cdot 10^{-6}$
$3,43 \cdot 10^{-4}$	$87,5 \cdot 10^{-6}$
$1,94 \cdot 10^{-3}$	$36,8 \cdot 10^{-6}$
$1,62 \cdot 10^{-2}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$
$2,7 \cdot 10^{-4}$	$98,6 \cdot 10^{-6}$

Faßt man diese numerischen Resultate zusammen, so folgt: Die Durchmessersumme von Träger und Gasmolekül $2s = 2R + 2r$ variiert

1. für die durch destilliertes Wasser erzeugten negativen Träger

α) für die größere Anzahl: $0,874 \cdot 10^{-6} \dots 12,8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$,

β) „ „ geringere „ $12,8 \cdot 10^{-6} \dots 98,6 \cdot 10^{-6} \text{ „}$

2. für die durch Kochsalzlösung (0,2 Proz.) erzeugten:

a) negativen Träger

$0,874 \cdot 10^{-6} \dots 36,8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$,

b) positiven Träger

α) für die größere Anzahl: $5,6 \cdot 10^{-6} \dots 65,8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$,

β) „ „ geringere „ $65,8 \cdot 10^{-6} \dots 87,5 \cdot 10^{-6} \text{ „}$

Da nun der Durchmesser eines Luftmoleküls zwischen $0,30 \cdot 10^{-6}$ und $0,60 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$ liegt, so deuten diese Werte an, daß höchstens ein einzelnes Molekül als schnellster Träger des negativen Elementarquantums, kleine Molekülkomplexe als schnellste Träger des positiven Elementarquantums anzusehen sind, dagegen die langsamer wandernden positiven wie negativen Träger sind als Molekülkomplexe von solchen Dimensionen anzusehen, daß wenigstens bei einigen von ihnen der Durchmesser bis über das 200 fache des Durchmessers eines Luftmoleküls wächst.

B. Größe und Natur der Natriumträger.

Um aus den vorhandenen Beobachtungen auf die Größe der Na-Träger schließen zu können, ist zunächst folgende Überlegung anzustellen: der mittlere Radius der beobachteten Na-Träger sei r , woraus sich das Volumen und mit Berück-

sichtigung der Konzentration der Salzgehalt eines solchen Na-Trägers berechnen läßt. Die Anzahl derselben, die die Flamme 1 Sek. lang so, wie beobachtet, gelb gefärbt haben, sei x . Wird nun mechanisch eine ganz bestimmte Menge NaCl in die Flamme gebracht und diese Menge so lange variiert, bis die Färbung, die sie hervorruft, jener gleich geworden ist, und auf 1 Sek. reduziert, so ist mir die Salzmenge S bekannt, die obige x Na-Träger enthalten, woraus dann die Anzahl x zu berechnen ist. Aus dieser Anzahl ist dann mit Berücksichtigung der Kapazität des Elektrometers, die zu $1,6 \cdot 10^2$ cm bestimmt wurde, und unter Annahme einer bestimmten Ladung jedes Trägers die Größe des durch die Na-Träger hervorgerufenen Ausschlages zu berechnen, ein Resultat, das dann mit dem experimentellen Ergebnis übereinstimmen muß.

Zu der erwähnten mechanischen Bestimmung der Salzmenge wurden in Jenenser Flaschen NaCl-Lösungen hergestellt, und von diesen durch ein Platinöhr immer 1,5 mg in die Flamme gebracht, wodurch diese 3 Sek. lang gelb gefärbt wurde; die 0,0001proz. Lösung färbte nun die Flamme so, wie die Träger, oder wenn man alles auf 1 Sek. reduziert, so folgt: obige x -Träger haben denselben Salzgehalt, wie 0,5 mg der 0,0001proz. NaCl-Lösung, d. h. $5 \cdot 10^{-10}$ g NaCl.¹⁾

Die Beobachtungen, die nun für die Na-Träger in Betracht kommen, sind die folgenden:

- a) Die Wanderungsgeschwindigkeit $5,4 \cdot 10^{-4} \dots 8,8 \cdot 10^{-5}$.
- b) Die Flammenfärbung im Vergleich zur künstlich hervorgerufenen.
- c) Die Kontinuität der beobachteten Flammenfärbung, die einen unteren Grenzwert der vorhandenen Zahl der Na-Träger angibt.

1) Außerdem war eine Färbung noch sehr gut wahrnehmbar, als die 0,00001proz. Lösung in die Flamme gebracht wurde; und in der Dunkelkammer zeigten selbst 1,5 mg der 0,000001proz. Lösung noch eine eben, 1 Sek. lang, wahrnehmbare Färbung. Das bedeutet aber: $1,5 \cdot 10^{-8}$ mg Kochsalz ist noch imstande, die Bunsenflamme 1 Sek. lang zu färben.

Bunsen selbst fand hierfür den Wert: $< \frac{1}{3 \cdot 10^8}$ (vgl. Pogg. Ann. 110. p. 168. 1860), und Cappel fand $\frac{1}{1,4 \cdot 10^7}$ mg (vgl. Pogg. Ann. 139. p. 635. 1870).

d) Die Unmeßbarkeit ihres Beitrages zum Elektrometerausschlag.

e) Die unipolare Wanderung derselben im Platindrahtkondensator.

f) Die Beobachtung im Kühlrohr, wonach die Na-Träger sich wie Stäubchen an die kalten Wände setzen.

Auf Grund dieser Beobachtungen kommt man zu folgenden Resultaten: Nimmt man an, diese Träger bestehen aus kleinen Tröpfchen der angewandten Flüssigkeit, so ergibt sich:

1. Bei Annahme einer Ladung von 1 . . . 120 Elementarquanten ein meßbarer Elektrometerausschlag von 100 . . . 0,5 Skt., was aber der Beobachtung (d) widerspricht.

2. Bei Annahme von mehr als 120 Elementarquanten fällt zwar der Widerspruch fort, indem der Elektrometerausschlag $< 0,5$ Skt. würde, aber es ergeben sich an der Oberfläche der Tröpfchen Kräfte, die sehr schnell eine Entladung derselben durch vorhandene negativ geladene Gasträger herbeigeführt haben würden.

Da also weder die eine noch die andere Annahme mit der Erfahrung verträglich ist, müssen wir schließen: Elektrisch geladene Tröpfchen sind die Na-Träger nicht. Da sie aber nach e auch keine *ungeladene* Tröpfchen sein können, so folgt: sie sind überhaupt keine Tröpfchen. Da sie jedoch nach f die Natur von Stäubchen haben, so müssen wir weiter annehmen, daß sie durch Verdampfen des Wassergehaltes zu NaCl-Stäubchen eingetrocknet sind.¹⁾ Führt man nun die Rechnung für r unter der Annahme durch, daß jedes Stäubchen mit n Elementarquanten geladen ist, so folgt:

$$r = \sqrt{\frac{n \cdot e}{\pi \cdot D \cdot W \cdot 300 \cdot \frac{w_e}{F}}} = \sqrt{n} \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} \dots \sqrt{n} \cdot 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ cm.}$$

Nimmt man für alle NaCl-Stäubchen als mittleren Radius $\sqrt{n} \cdot 6,0 \cdot 10^{-6}$ cm an, so ergibt sich unter Berücksichtigung der Dichte des NaCl (2,16) der Elektrometerausschlag zu

$$\frac{0,45}{\sqrt{n}} \text{ Skt., also } 0,45 \text{ Skt. für } n = 1,$$

1) Über die Möglichkeit des Eintrocknens vgl. Dissertation p. 59.

0,15 Skt. für $n = 9$ etc., oder: Jede Ladung, die mehr als ein Elementarquantum beträgt, steht mit dem experimentellen Ergebnis im Einklang; natürlich kann die + Ladung des Trägers infolge der anwesenden negativen Gasträger nur eine bestimmte obere Grenze erreichen.

Ferner ergibt sich aus obigen Zahlen: In jedem Kubikzentimeter der durchgesaugten Luft sind $7100/\sqrt{n}$ Na-Träger enthalten, so daß demnach die Bunsenflamme bei jeder beliebigen möglichen Ladung kontinuierlich gelb gefärbt sein muß, wie es in der Tat beobachtet wurde.

Es ist demnach die Annahme, die Na-Träger seien eingetrocknete Tröpfchen der angewandten Lösung, mit allen Beobachtungen vereinbar.

Zusammenfassung aller Resultate.

1. Das Resultat Hrn. Kählers, daß destilliertes Wasser nur negative, Kochsalzlösungen dagegen negative und positive Träger (gleichzeitig) erzeugen, wurde bestätigt.

2. Es tritt nicht nur keine Neubildung von Trägern, sondern sogar Neutralisation von positiven und negativen Trägern (binnen 2 Min.) ein.

3. *Die Beweglichkeit der Träger eines Zeichens ist keine einheitliche.*

4. Die Intervalle für die Beweglichkeiten der Gasträger und für die Durchmessersummen von Gasträger und Gasmolekül sind:

Erzeugende Flüssigkeit	Ladung der Träger	Wanderungsgeschwindigkeit in cm/sec für 1 Volt/cm	$2s = 2R + 2r$ in 10^{-6} mm
a) Dest. Wasser	negativ	$4,0 \dots \dots 1,6 \cdot 10^{-2}$ für die größere Zahl	0,874 ... 12,8
		$1,6 \cdot 10^{-2} \dots 2,7 \cdot 10^{-4}$ für die geringere Zahl	
b) 0,2proz. NaCl-Lösung	α) positiv	$8,8 \cdot 10^{-2} \dots 6,06 \cdot 10^{-4}$ für die größere Zahl	5,6 ... 65,8
		$6,06 \cdot 10^{-4} \dots 3,4 \cdot 10^{-4}$ für die geringere Zahl	
	β) negativ	$4,0 \dots 1,94 \cdot 10^{-3} \dots$	0,874 ... 36,8

5. Die schwersten hier angeführten Gasträger sind nicht durch Kondensation von Wasserdampf so schwer geworden,

und sie sind auch nicht etwa Tröpfchen der angewandten Flüssigkeit. Sie müssen daher wohl als *Komplexe* von Luftmolekülen betrachtet werden. Der Durchmesser aller Gas-träger geht demnach vom einfachen bis zum 200fachen Molekulardurchmesser.

6. Tröpfchen der angewandten Flüssigkeit, welche sich unzweifelhaft bilden und in der Luft schweben bleiben, trocknen bald ein, im Falle der NaCl-Lösung zu NaCl-Stäubchen, deren Durchmesser im Mittel zu $\sqrt{n} 6,0 \cdot 10^{-6}$ cm bestimmt wurde, wo $n = 1, 2, 3$, oder noch etwas größer sein kann.

7. Um eine Gelbfärbung einer Bunsenflamme noch gerade 1 Sek. lang im Dunkelzimmer sichtbar zu machen, genügen $1,5 \cdot 10^{-8}$ mg NaCl.

Obige Untersuchungen wurden im Physikalischen Institut zu Kiel ausgeführt. Dem Leiter desselben, Hrn. Geheimrat Prof. Dr. Lenard, fühle ich mich für die Anregung und lebenswürdige Unterstützung, sowie Hrn. Privatdozenten Dr. Becker für die Ratschläge im Verlauf der Arbeit zu herzlichem Danke verpflichtet.

(Eingegangen 19. Februar 1906.)