

# Ueber elektrische Ströme, welche durch Röntgen'sche X-Strahlen erzeugt werden<sup>1)</sup>.

Von

A. Winkelmann in Jena.

Mit 4 Figuren.

1) Bald nach Entdeckung der RÖNTGEN-Strahlen wurde konstatiert, daß diese befähigt sind, elektrisierte Leiter zu entladen, und zwar fand sich, daß sowohl positive als auch negative Ladungen durch die Strahlen fortgeführt wurden.

Während hierüber alle Forscher einig sind, hat sich über den endlichen Zustand eines von den X-Strahlen getroffenen Körpers eine Uebereinstimmung nicht ergeben. So finden SELLA und MAJORANA<sup>2)</sup> als Endresultat eine positive Ladung; ebenso RIGHI<sup>3)</sup>; LUSANA und CINELLI<sup>4)</sup> finden das Endpotential durch Bestrahlung gleich 0,44 Volt, unabhängig von der Stärke des erregenden Stromes und der Natur des durchstrahlten Mittels. Dagegen geben BENOIST und D. HURMURESCU<sup>5)</sup> an, daß keine neue nachweisbare Ladung entsteht, wenn positiv oder negativ elektrische Körper durch Strahlen entladen sind; auch nach PORTER<sup>6)</sup> wird eine isolierte Messingscheibe unter dem Einfluß der X-Strahlen nicht elektrisch, und nach PERRIN<sup>7)</sup> rufen die X-Strahlen keine positive Ladung hervor.

---

1) Im Auszuge vorgetragen in der Med.-naturwissenschaftl. Gesellschaft in Jena am 14. Mai 1897.

2) SELLA und MAJORANA, Beibl. 1896, p. 417.

3) RIGHI, Beibl. 1896, p. 451.

4) LUSANA und CINELLI, Beibl. 1896, p. 661.

5) BENOIST und D. HURMURESCU, Beibl. 1896, p. 455.

6) PORTER, Beibl. 1896, p. 716.

7) PERRIN, Beibl. 1896, p. 717.

2) Die hier kurz charakterisierte Differenz in den Angaben über die elektrische Wirkung der X-Strahlen war die Veranlassung zu der folgenden Arbeit.

Wenn die Metalle durch die X-Strahlen elektrisch erregt werden, so muß es mit geeigneten Mitteln möglich sein, dauernde elektrische Ströme durch dieselben zu erzielen. Es wurden deshalb die ersten Versuche nicht mit dem Elektrometer angestellt, sondern mit einem Schwingungsgalvanometer in Verbindung mit einem Kondensator, d. h. es wurde versucht, durch die Wirkung der X-Strahlen einen Kondensator zu laden und die Größe dieser Ladung durch ein Schwingungsgalvanometer, durch welches der Kondensator entladen wurde, zu messen. Diese Versuche zeigten, daß die Metalle sich verschieden verhalten und daß sie, unter sich verschieden, bis zu einem gewissen Potentiale geladen werden.

An diese Versuche schlossen sich solche mit dem Elektrometer; dieselben zeigten, daß unter den eingehaltenen Versuchsbedingungen zwischen den Metallen annähernd eine Beziehung besteht, welche dem Spannungsgesetz der Metalle entspricht.

Endlich wurden dauernde elektrische Ströme, bis zu  $5,7 \cdot 10^{-9}$  Amp., mit einem aperiodischen Galvanometer nachgewiesen; im weiteren Verlaufe wurde der elektrische Widerstand der Luft bestimmt und die elektromotorische Kraft zwischen zwei Metallplatten nach verschiedenen Methoden gemessen.

Zum Schluß ist unter der Voraussetzung, daß die Luft durch die X-Strahlen in Ionen zerlegt wird, für die Zahl der zerlegten Moleküle im Verhältnis zur Gesamtzahl der Moleküle in der Volumeneinheit eine untere Grenze berechnet.

Die Arbeit ist geordnet nach den Methoden, welche zur Anwendung kamen.

## I. Untersuchungen mit Kondensator und Schwingungsgalvanometer.

3) Die Anordnung der Versuche war folgende. In einem großen Holzkasten *HH* — 2 m hoch, 1,4 m breit, 1,6 m tief —, der auf seiner ganzen Oberfläche mit Zinkblech beschlagen war stand der Induktionsapparat<sup>1)</sup> *J* und ein zweiter Kasten *PP*

---

1) Der Induktionsapparat hatte 50 cm maximale Schlagweite; er wurde mit 10 Accumulatoren betrieben; der primäre Strom hatte eine mittlere Stromstärke von 3 Amp.

50 cm hoch, 35 cm breit und tief, der mit 1,3 mm dicken Bleiplatten beschlagen war. Letztere hatten bei *RR* eine runde Oeffnung von 22 cm Durchmesser. Dieser Oeffnung entsprechend war das Zinkblech des Kastens *HH* ebenfalls fortgenommen. In dem Bleikasten befand sich die RÖNTGEN-Röhre<sup>1)</sup>; die Zuleitung zum Induktionsapparat wurde durch Drähte vermittelt, die in dicken, die Wände durchsetzenden Glasröhren lagen. Die Oeffnung *RR* konnte durch verschiedene Metalle geschlossen werden. Das Zinkblech des Kastens war, ebenso wie das Verschlussblech von *RR*, zur Erde abgeleitet. Diese Anordnung blieb im Folgenden unverändert.

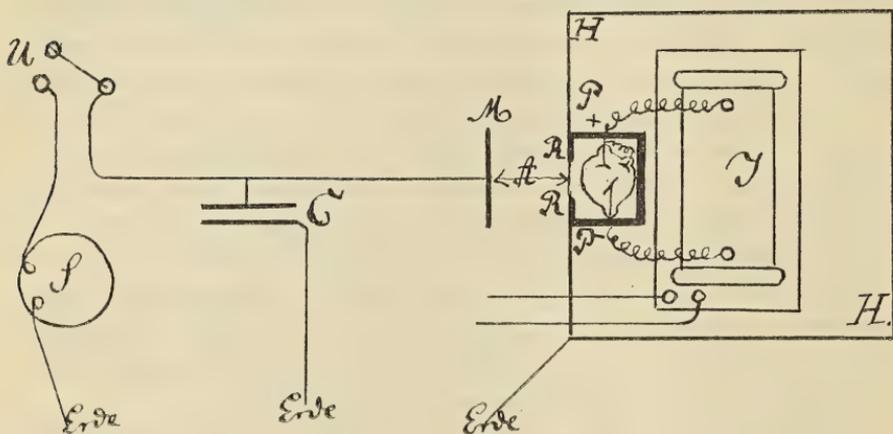


Fig. 1.

Bei der Anwendung des Schwingungsgalvanometers wurde zunächst der Oeffnung *RR* gegenüber, die durch ein dünnes Metallblech geschlossen war, eine Metallplatte *M* isoliert aufgestellt; von *M* führte ein Draht zu einem Glimmerkondensator *C* von 1 Mikrofarad. Der Kondensator wurde 1 Minute lang durch die Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen geladen und dann durch das Schwingungsgalvanometer *S* nach dem System DEPREZ-D'ARSONVAL entladen. Der Unterbrecher *U* diente zur Unterbrechung der Leitung.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers war anfangs folgende: 1 Mikrofarad, auf 0,032 Volt geladen, gab bei der Entladung durch das Schwingungsgalvanometer 1 Teilstrich = 2 cm Ausschlag; später war die Empfindlichkeit größer.

1) Die RÖNTGEN-Röhren mit Platinblech wurden von E. Gundelach in Gehlberg (Thüringen) geliefert; dieselben zeichneten sich durch eine langdauernde Gleichmäßigkeit ihrer Wirkung aus.

Versuch No. 1. *RR* durch eine Aluminiumscheibe von 0,1 mm geschlossen.

Metall *M*: Zinkplatte, 20 cm Durchmesser,  
Abstand *A* der Platte von *RR* etwa 1 cm,  
Ablenkung:  $-3,2$  Doppelcm.

Versuch No. 2. Abstand *A* 3,5 cm,  
Ablenkung:  $-0,6$

Das Platinblech der RÖNTGEN-Röhre hatte 9 cm Abstand von *RR*, so daß bei Versuch No. 1 die Zinkplatte 10 cm vom Platinblech abstand, bei No. 2 12,5 cm. Die starke Abnahme der Ablenkung von  $-3,2$  auf  $-0,6$  beweist, daß nicht das Platinblech unmittelbar wirkt, sondern läßt vermuten, daß wahrscheinlich die Wirkung vom Aluminiumblech in *RR* ausgeht.

Um dies zu untersuchen, wurde das Aluminiumblech durch ein Kupferblech, etwa 0,1 mm dick, ersetzt.

Versuch No. 3. Metall *M*: Zinkplatte,  
Abstand *A* etwa 1 cm,  
Ablenkung:  $-6,0$ .

Obschon das Kupferblech die X-Strahlen in schwächerem Maße durchläßt, als das Aluminiumblech, ist doch die Wirkung stärker, wenn die Oeffnung *RR* durch Kupfer geschlossen ist. Den Einfluß der verschiedenen Durchlässigkeit kann man dadurch eliminieren, daß die Oeffnung *RR* durch zwei sich berührende Metallbleche von Aluminium und Kupfer verschlossen wird und daß man bei den Versuchen ein Mal das Kupfer, das andere Mal das Aluminium nach außen stehen läßt.

Versuch No 4. Metall: Zinkplatte,  
Kupfer außen; Aluminium außen.  
Ablenkung:  $-6,0$                        $-2,4$ .

Hierdurch ist also bewiesen, daß je nachdem Kupfer oder Aluminium der Zinkplatte gegenüber steht, die Wirkung der X-Strahlen beträchtlich verschieden ist.

Um dem Einwand zu begegnen, daß eine andere als die Wirkung der X-Strahlen die Ablenkungen hervorgebracht habe, wurde die Oeffnung *RR* durch eine Bleiplatte bedeckt und der Kondensator ebenso wie früher 1 Minute lang mit der Zinkplatte verbunden; das Galvanometer zeigte dann keine Ablenkung.

Wird der Abstand *A* vergrößert, so nimmt der Ausschlag, wie schon angegeben, schnell ab; war *A* gleich 7 cm, so ließ sich ein Ausschlag kaum noch wahrnehmen.

4) Wenn die unmittelbare Wirkung von *RR* ausgeht, so wird

auch bei größerem Abstand  $A$  wieder ein deutlicher Ausschlag zu erwarten sein, sobald zwischen der Metallplatte  $M$  und der Oeffnung  $RR$  nahe an  $M$  eine abgeleitete, für RÖNTGEN-Strahlen durchlässige Metallplatte gesetzt wird. Dementsprechend wurde folgende, aus Fig. 2 ersichtliche Anordnung getroffen, wobei  $RR$  durch Aluminiumscheibe geschlossen war.

Versuch No. 5.

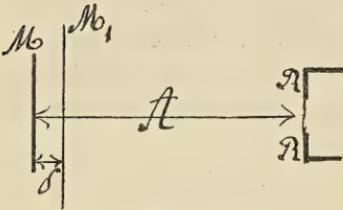


Fig. 2.

Metall  $M$ : Aluminiumplatte, 20 cm Durchmesser,

Metall  $M_1$ : Stanniol auf Karton geklebt, die Stanniolseite nach  $M$  gewandt,

Abstand =  $A$  9 cm,

$\delta$  = Abstand von  $M_1$  und  $M$ ,

$M$  mit Kondensator,  $M_1$  mit Erde verbunden,

| $\delta$ | Ausschlag      |
|----------|----------------|
| 0,6 cm   | -4,6 Doppelcm. |
| 3,0 „    | -0,5 „         |

Versuch No. 6. Die Anordnung die gleiche wie bei Versuch No. 5, nur war der Karton mit Stanniol umgedreht, so daß die Stanniolseite von  $M$  abgewandt war.

$\delta = 0,6$  cm

Ausschlag: -0,7.

Die Versuche No. 5 und 6 beweisen, daß die starke Wirkung nur dann eintritt, wenn zwischen  $M$  und  $M_1$  sich kein Karton befindet. Bei hinreichend großem Abstand  $A$  (etwa 20 cm) bleibt die Größe des Ausschlages unverändert, wenn die Aluminiumscheibe, die die Oeffnung  $RR$  verschließt, durch eine andere dünne Metallscheibe ersetzt wird; der Ausschlag hängt in diesem Falle allein von den Metallen  $M$  und  $M_1$  ab.

5) Im Folgenden ist eine Zusammenstellung von Resultaten für verschiedene Metalle gegeben. Für  $M_1$  wurden dünne (etwa 0,1 mm dicke) Metallscheiben ( $25 \times 25$  cm) gewählt, für  $M$  dickere (3—5 mm dicke) Metallplatten. Die Metalle wurden abwechselnd mit dem Kondensator und dem Galvanometer resp. der Erde verbunden, so daß, wenn  $M_1$  mit der Erde verbunden war,  $M$  an den Kondensator gelegt wurde, und umgekehrt.

$RR$  durch Aluminium geschlossen.

Der Abstand  $A$  war etwa 21 cm.

„ „  $\delta$  „ „ 0,5 „

Tabelle I.

| Verbunden mit |                   |                | Verbunden mit |                   |                |
|---------------|-------------------|----------------|---------------|-------------------|----------------|
| Erde          | Galvano-<br>meter | Aus-<br>schlag | Erde          | Galvano-<br>meter | Aus-<br>schlag |
| Cu.-Platte    | Cu.-Scheibe       | +0,1           | Cu.-Scheibe   | Cu.-Platte        | -0,1           |
| Zink-Platte   | „                 | +3,5           | „             | Zinkplatte        | -3,8           |
| Al.-Platte    | „                 | +3,5           | „             | Al.-Platte        | -3,4           |
| Cu.-Platte    | Zink-Scheibe      | -2,3           | Zink-Scheibe  | Cu.-Platte        | +2,2           |
| Zink-Platte   | „                 | +1,6           | „             | Zinkplatte        | -1,7           |
| Al.-Platte    | „                 | +1,2           | „             | Al.-Platte        | -1,1           |
| Cu.-Platte    | Al.-Scheibe       | -1,6           | Al.-Scheibe   | Cu.-Platte        | +1,5           |
| Zink-Platte   | „                 | +2,0           | „             | Zinkplatte        | -2,1           |
| Al.-Platte    | „                 | +1,2           | „             | Al.-Platte        | -1,2           |

Das Vorzeichen in den Ausschlägen der vorstehenden Tabelle giebt gleichzeitig die Art der Erregung an. Steht z. B. der Zinkplatte eine Cu.-Scheibe gegenüber, so wird durch die Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen die Cu.-Scheibe positiv elektrisch, wenn die Zinkplatte abgeleitet ist; die Zinkplatte wird negativ elektrisch, wenn die Cu.-Scheibe abgeleitet ist.

6) Wenn aber das zweite Metall nicht zur Erde abgeleitet ist, so ist die Wirkung minimal; so wurde für die Zinkscheibe ein Ausschlag von  $-0,05$  gefunden, wenn die gegenüberstehende Cu.-Platte isoliert war; dagegen, wie aus der obigen Tabelle hervorgeht,  $-2,3$ , wenn die Cu.-Platte zur Erde abgeleitet war.

Ersetzt man bei *RR* die Aluminiumscheibe, welche den Kasten verschließt, durch eine Bleiplatte, die die RÖNTGEN-Strahlen nicht durchläßt, so werden keine Ablenkungen beobachtet; hiermit ist der Beweis geliefert, daß in der That die X-Strahlen die Ablenkungen hervorrufen.

7) Wie aus der Tabelle I hervorgeht, hängt die Art und Stärke der Elektrisierung, die bei der gegebenen Anordnung ein Metall durch die X-Strahlen erfährt, von dem zweiten Metalle ab, welches abgeleitet dem ersten gegenübersteht. So wird die Zinkscheibe negativ, wenn eine abgeleitete Cu.-Platte gegenübersteht, aber positiv (und zwar schwächer), wenn eine Zink- oder Aluminiumplatte abgeleitet gegenübersteht. Stehen zwei gleiche Metalle gegenüber, so ist die Wirkung ebenfalls im allgemeinen von Null verschieden; es beruht dies vermutlich auf der verschiedenen Oberflächenbeschaffenheit der beiden Stücke. Die Scheiben waren gewalzte Metallbleche, während die Platten abgedrehte und geglättete Stücke waren. Beim Kupfer ist die

Wirkung zwischen Scheibe und Platte am geringsten; dies hat sich mehrfach mit verschiedenen Stücken bestätigt.

8) Läßt man unter Wirkung der X-Strahlen den Kondensator länger als 1 Minute laden, so wächst die Ladung. Dieses Wachstum erfolgt aber nicht proportional der Ladungszeit, sondern langsamer, so daß die Ladung mit wachsender Zeit sich einer Grenze nähert. Im Folgenden ist eine Beobachtungsreihe angegeben, bei der die Ladungszeiten von 0,5 bis 4 Minuten wachsen. Der Kondensator hatte eine Kapazität von 0,5 resp. 1 Mikrofarad. Die Empfindlichkeit des Schwingungsgalvanometers ist dadurch charakterisiert, daß die Entladung des Kondensators von 0,5 Mikrofarad, der bis 1 Volt geladen war, einen Ausschlag von 38 Doppelm. hervorbrachte. Das Metall  $M_1$  war Aluminium,  $M$  Kupfer, der Abstand  $A = 20$  cm,  $\delta = 0,5$  cm.

| Kapazität des Kondensators<br>= 0,5 Mikrofarad |                       |           | Kapazität des Kondensators<br>= 1,0 Mikrofarad |                       |           |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------|------------------------------------------------|-----------------------|-----------|
| Zeit der<br>Ladung<br>in Min.                  | Ausschlag in Doppelm. |           | Zeit der<br>Ladung<br>in Min.                  | Ausschlag in Doppelm. |           |
|                                                | beobachtet            | berechnet |                                                | beobachtet            | berechnet |
| 0,5                                            | 1,98                  | 2,08      | 1                                              | 4,16                  | 4,16      |
| 1,0                                            | 3,90                  | 3,94      | 2                                              | 7,86                  | 7,88      |
| 1,5                                            | 5,57                  | —         |                                                |                       |           |
| 2,0                                            | 6,81                  | 7,01      |                                                |                       |           |
| 3,0                                            | 9,39                  | —         |                                                |                       |           |
| 4,0                                            | 11,34                 | 11,29     |                                                |                       |           |

Es lassen sich die Ausschläge in folgender Weise berechnen. Dieselben sind proportional den Elektrizitätsmengen  $Q$ , welche im Kondensator aufgespeichert sind und durch das Galvanometer entladen werden; im Folgenden sind die Ausschläge den Elektrizitätsmengen gleich gesetzt. Die während der Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen von der Platte zum Kondensator in der Zeit  $dt$  übergehende Elektrizitätsmenge  $dQ$  ist proportional der Potentialdifferenz ( $V-P$ ) von Platte und Kondensator, so daß

$$dQ = a (V-P) dt.$$

Das Potential  $P$  des Kondensators zur Zeit  $t$  ist

$$P = \frac{Q}{C}$$

wenn  $C$  die Kapazität des Kondensators darstellt. Daher hat man

$$dQ = a \left( V - \frac{Q}{C} \right) dt$$

Daraus erhält man durch Integration, indem man beachtet, dass zur Zeit  $t=0$  auch  $Q=0$  ist,

$$Q = V \cdot C \left\{ 1 - e^{-\frac{a}{C} \cdot t} \right\}$$

Setzt man  $e^{-a} = z$ , so wird

$$Q = V \cdot C \left( 1 - z^{\frac{t}{C}} \right)$$

V und z lassen sich aus zwei Wertepaaren berechnen; es sind hierzu die Wertepaare

$$\begin{array}{ll} t = 1,5 & Q = 5,57 \\ t = 3,0 & Q = 9,39 \end{array}$$

benutzt. Hiermit wird

$$\begin{array}{l} V = 35,94 \\ \log z = 0,94628 - 1 \end{array}$$

Berechnet man hiermit die Werte Q, so findet man die als „berechnet“ bezeichneten Werte der Ausschläge.

Nach der obigen Formel wird der Grenzwert von Q für  $t = \infty$

$$Q = V \cdot C \quad \text{oder für } C = \frac{1}{2} \\ Q = 17,97.$$

Dieser Menge entspricht, nach der oben verzeichneten Angabe über die Empfindlichkeit, das Potential

$$\frac{17,97}{38} = 0,47 \text{ Volt,}$$

d. h. die Platte wird durch die RÖNTGEN-Strahlen unter den angegebenen Bedingungen bis 0,47 Volt im Maximum geladen; die Ladung, welche nach 4 Minuten beobachtet wurde, war nur

$$\frac{11,34}{38} = 0,3 \text{ Volt.}$$

Um zu erfahren, ob der Wert 0,47 Volt, welcher aus den Beobachtungen durch Extrapolation berechnet wurde, annähernd richtig ist, wurde das Potential der Platte unter gleichen Bedingungen wie vorher mit dem Elektrometer gemessen; es ergab sich hierbei 0,49 Volt. Da man die Potentiale der Platten schneller und sicherer mit dem Elektrometer erhält, wurde dieses bei den folgenden Versuchen benutzt.

## II. Versuche mit dem Electrometer.

9) Die Anordnung des Kastens *HH* und des Kastens *PP* mit der RÖNTGEN-Röhre blieb unverändert wie bei den vorigen Versuchen. Um den äußeren Einfluß möglichst konstant zu erhalten und um ferner die X-Strahlen nicht in das Zimmer eindringen zu

lassen, wurde vor die Oeffnung  $RR$ , die jetzt nur 10 cm Durchmesser hatte, ein Holzkasten gesetzt, der von allen Seiten geschlossen war, mit Ausnahme der Seite, die nach  $RR$  gerichtet war. Dieser Kasten war überall mit Bleiplatten von 1,3 mm Dicke belegt. An der hinteren Wand, gegenüber  $RR$ , befanden sich zwei kleine Oeffnungen, durch welche Glasröhren geführt waren. In diesem Kasten wurden Metallbleche,  $10,5 \times 10,5$  cm, mit Siegelack an Glas befestigt, isoliert aufgestellt; die Metallbleche wurden mit Drähten des gleichen Metalls verbunden und letztere durch die Glasröhren nach außen geleitet.

Zur Untersuchung diente ein Quadrantelektrometer; das eine Quadrantenpaar und die Hülle waren zur Erde abgeleitet, das andere Quadrantenpaar wurde mit dem zu untersuchenden Metallblech verbunden. Die Zuleitung zum Elektrometer, welches 5,5 m vom Kasten  $HH$  entfernt stand, geschah mittelst eines Kupferdrahtes, der isoliert durch ein zur Erde abgeleitetes Kupferrohr geführt war. Der neue Bleikasten wurde ebenso wie der Kasten  $HH$  und das Verschlussblech bei  $RR$  zur Erde abgeleitet,

10) Zunächst wurde der Einfluß untersucht den das Verschlussblech  $RR$  etwa ausübt. Unter Hinweis auf die Zeichnung Fig. 2 war das

Metall  $M_1$  (Kupfer =  $Cu_a$ ) von  $RR$  9 cm entfernt,

„  $M$  (Aluminium =  $Al_c$ ) „  $M$  1 „ „

Beide Metalle befanden sich in dem obengenannten Bleikasten (in der Figur nicht gezeichnet); eins der beiden Metalle wurde zum Elektrometer, das andere zur Erde abgeleitet.

$RR$  durch  $Cu$  geschlossen       $RR$  durch  $Cu$  und  $Al_c$  geschlossen,  
so daß  $Al_c$  nach außen stand

Versuch No. 7.  $Al_c$  — 0,387 Volt; Versuch No. 9.  $Al_c$  — 0,387 Volt

„ „ 8.  $Cu_a$  + 0,374 „ „ „ 10.  $Cu_a$  + 0,387 „

Diese Beobachtungen zeigen, daß für Aluminium es ohne Einfluß ist, ob der Kasten bloß mit  $Cu$  oder mit  $Cu + Al$  geschlossen ist; für Kupfer ist dagegen der Wert im zweiten Falle etwas größer.

11) Die beiden folgenden Versuche sollen den event. Einfluß der Entfernung ermitteln. Der Abstand des Metalls  $M_1$  ( $Cu_a$ ) von  $RR$  war 19 cm, von  $M$  ( $Al_c$ ) war 1 cm.  $RR$  war durch  $Cu$  geschlossen.

Versuch No. 11.  $Al_c$  — 0,384 Volt, Versuch No. 12.  $Cu_a$  + 0,374 Volt.

Die Versuchsergebnisse No. 11 und 12 stimmen mit No. 7 und 8 fast vollständig überein, so daß ein Einfluß der Entfernung innerhalb der oben angegebenen Grenzen nicht nachweisbar ist.

12) Ferner wurde die Wirkung der Kontaktpotentialdifferenzen untersucht. Zu dem Zwecke wurde wieder die eine Platte zur Erde abgeleitet, während die andere mit dem Elektrometer verbunden wurde. Ohne Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen ergaben sich folgende Resultate:

RR durch Cu geschlossen; Abstände wie bei No. 7—10.

| Volt                    | Zeit in Sek. nach<br>der Verbindung | Volt                    | Zeit in Sek. nach<br>der Verbindung |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Cu <sub>a</sub> + 0,016 | 20                                  | Al <sub>c</sub> + 0,015 | 20                                  |
| + 0,020                 | 40                                  | + 0,025                 | 40                                  |
| + 0,021                 | 60                                  | + 0,037                 | 60                                  |

Untersucht man unter Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen in gleicher Weise die Ablenkung als Funktion der Zeit, so erhält man

| Volt                    | Zeit in Sek. nach der Verbindung |
|-------------------------|----------------------------------|
| Al <sub>c</sub> — 0,387 | 20                               |
| — 0,387                 | 40                               |
| — 0,387                 | 60                               |

Wenn die RÖNTGEN-Strahlen wirksam sind, ist also bereits nach 20 Sekunden das Potential konstant; ferner geben die einzelnen Versuche gut übereinstimmende Werte. Ohne Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen wächst dagegen der Ausschlag längere Zeit und ist auch für verschiedene Versuche nicht übereinstimmend. Im Folgenden sind die direkt beobachteten Resultate angegeben, wenn die X-Strahlen zur Geltung kamen.

13) Für je zwei Metalle  $M$  und  $M_1$  sind folgende Beobachtungen angestellt.

- a)  $M_1$  steht der Oeffnung  $RR$  zunächst, dann folgt, etwas weiter von  $RR$ , das Metall  $M$ .
- a<sub>1</sub>)  $M_1$  mit Elektrometer,  $M$  mit Erde verbunden.
  - a<sub>2</sub>)  $M_1$  mit Erde,  $M$  mit Elektrometer verbunden.
  - a<sub>3</sub>)  $M_1$  mit Elektrometer verbunden,  $M$  isoliert.
  - a<sub>4</sub>)  $M_1$  isoliert,  $M$  mit Elektrometer verbunden.
- b)  $M_1$  und  $M$  sind miteinander vertauscht, sodaß  $M$  der Oeffnung  $RR$  zunächst steht.
- b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub> vier Beobachtungen, den obigen entsprechend.

Es wurden die Kombinationen an fünf verschiedenen Metallblechen untersucht, und zwar wurden benutzt: ein Kupferblech, zwei Zinkbleche (mit  $Zk_a$  und  $Zk_b$  bezeichnet) und zwei Aluminiumbleche (mit  $Al_a$  und  $Al_b$  bezeichnet).

Die Beobachtungen ergaben zunächst Folgendes: Wurde ein Metall der Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen ausgesetzt und dieses mit dem Elektrometer verbunden, während das andere isoliert war, so ergaben sich Potentiale, welche sich nicht viel änderten, wenn das isolierte Metall durch ein anderes ersetzt wurde. So fand man z. B. für  $Zk_a$  die Ausschläge — 1,65; — 1,69; — 1,77; — 1,56, wenn nacheinander  $Cu_a$ ,  $Zk_b$ ,  $Al_a$ ,  $Al_b$  isoliert dem Metall  $Zk_a$  gegenüberstanden. Wurden zwei Metalle vertauscht, so hatte auch dies auf das beobachtete Potential nur einen geringen Einfluß.

Die Beobachtungen wurden für alle Kombinationen so an- gestellt, daß der Abstand des ersten Metalls von  $RR$  etwa 9 cm, der Abstand des zweiten Metalls vom ersten etwa 0,8 cm war; die Oeffnung  $RR$  war durch ein Kupferblech geschlossen.

Die verschiedenen Metalle lieferten folgende Mittelwerthe, wenn das zweite Metall isoliert war.

Tabelle II.

|        |         |      |
|--------|---------|------|
| $Cu_a$ | + 0,100 | Volt |
| $Zk_a$ | — 0,222 | „    |
| $Zk_b$ | — 0,234 | „    |
| $Al_a$ | — 0,114 | „    |
| $Al_b$ | — 0,186 | „    |

Wurde das zweite Metall zur Erde abgeleitet, so ergaben sich folgende Resultate für die einzelnen Metalle:

Tabelle III.

| Mit dem Elektrometer<br>verbunden | Zur Erde<br>abgeleitet | Potential in Volt |           |
|-----------------------------------|------------------------|-------------------|-----------|
|                                   |                        | beobachtet        | berechnet |
| $Cu_a$                            | $Zk_a$                 | + 0,294           | + 0,322   |
| „                                 | $Zk_b$                 | + 0,321           | + 0,334   |
| „                                 | $Al_a$                 | + 0,190           | + 0,214   |
| „                                 | $Al_b$                 | + 0,289           | + 0,286   |
| $Zk_a$                            | $Cu_a$                 | — 0,308           | — 0,322   |
| „                                 | $Zk_b$                 | + 0,003           | + 0,012   |
| „                                 | $Al_a$                 | — 0,138           | — 0,108   |
| „                                 | $Al_b$                 | — 0,029           | — 0,036   |
| $Zk_b$                            | $Cu_a$                 | — 0,324           | — 0,334   |
| „                                 | $Zk_a$                 | — 0,056           | — 0,012   |
| „                                 | $Al_a$                 | — 0,142           | — 0,120   |
| „                                 | $Al_b$                 | — 0,050           | — 0,048   |
| $Al_a$                            | $Cu_a$                 | — 0,199           | — 0,214   |
| „                                 | $Zk_a$                 | + 0,094           | + 0,108   |
| „                                 | $Zk_b$                 | + 0,101           | + 0,120   |
| „                                 | $Al_b$                 | + 0,073           | + 0,072   |
| $Al_b$                            | $Cu_a$                 | — 0,326           | — 0,286   |
| „                                 | $Zk_a$                 | — 0,009           | + 0,036   |
| „                                 | $Zk_b$                 | + 0,011           | + 0,048   |
| „                                 | $Al_a$                 | — 0,122           | — 0,072   |

14) In der vorstehenden Tabelle sind unter „berechnet“ die Werte angegeben, die aus den Differenzen der Tabelle II gebildet wurden. Wie man sieht, stimmen diese berechneten Werte mit den beobachteten ziemlich überein. Würde die Uebereinstimmung eine vollkommene sein, so wäre für die Metalle das Gesetz der Spannungsreihe unter Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen nachgewiesen. Die Vorzeichen der Werte „beobachtet“ und „berechnet“ stimmen überall bis auf die Kombination  $Al_b, Zk_a$ . Es läßt sich ein wichtiger Grund für die nicht vollständige Uebereinstimmung angeben. Wie die Werte für  $Zk_a$  und  $Zk_b$  und noch mehr die Werte für  $Al_a$  und  $Al_b$  zeigen, ist die Größe der Potentialdifferenz für nominell gleiche Metalle durchaus nicht gleich. Daher ist es unwahrscheinlich, daß die beiden Seitenflächen eines Metallbleches in gleicher Weise wirksam sind; infolgedessen werden Differenzen bei den Beobachtungen auftreten, sobald die Stellung der Bleche gegenüber den X-Strahlen oder gegenüber dem zweiten Metall umgekehrt wird. Vermutlich würde die Uebereinstimmung eine größere werden, wenn dieser Einfluß eliminiert würde. — Es mag noch hervorgehoben werden, daß die beobachteten Werte nur für die untersuchten Metallstücke und für die in Anwendung gebrachte Anordnung (Bleikasten) Geltung haben.

### III. Versuche mit dem aperiodischen Galvanometer; Nachweis dauernder elektrischer Ströme, welche durch X-Strahlen erzeugt werden.

15) Nach den Versuchen in I und II war zu erwarten, daß unter Wirkung der X-Strahlen dauernde elektrische Ströme erhalten würden. Um diese nachzuweisen, wurde ein aperiodisches Galvanometer nach dem System von DEPRES-D'ARSONVAL benutzt; dasselbe gab bei 3,05 m Abstand von Spiegel und Skala für  $3,3 \cdot 10^{-10}$  Amp. einen Ausschlag von 1 mm.

Die Oeffnung  $RR$  von 22 cm Durchmesser wurde durch ein dünnes Aluminiumblech geschlossen. In einem Abstände von 10 cm stand eine Aluminiumscheibe ( $21 \times 24$  cm) und hinter dieser in verschiedenen Abständen  $\delta$  eine Kupferplatte von 19,5 cm Durchmesser; die beiden Metalle wurden mit dem Galvanometer verbunden. Die beobachteten Ablenkungen, welche, wie bemerkt werden mag, dauernd erhalten blieben, waren folgende:

Tabelle IV.

| Abstand $\delta$ der beiden<br>Metalle in cm | Ausschlag $\alpha$ des<br>Galvanometers in mm | Produkt<br>$\delta \cdot \alpha$ |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| 0,5                                          | 5,6                                           | 2,8                              |
| 1,0                                          | 3,0                                           | 3,0                              |
| 2,0                                          | 1,3                                           | 2,6                              |
| 4,0                                          | 0,6                                           | 2,4                              |
| 8,0                                          | 0,3                                           | 2,4                              |
| 16,0                                         | 0,2                                           | 3,2                              |
| 0,5                                          | 5,8                                           | 2,9                              |

Die Ausschläge  $\alpha$  sind den Abständen  $\delta$  in etwa umgekehrt proportional; die Abweichung zeigt die letzte Reihe, welche das Produkt  $\delta \cdot \alpha$  angiebt. Würde die Proportionalität genau zutreffen, so würde der Widerstand der zwischen den beiden Platten enthaltenen Luftschicht proportional der wachsenden Dicke zunehmen, vorausgesetzt, daß man die elektromotorische Kraft als konstant betrachten darf (vgl. 20). Die Anordnung der Versuche gestattete keine genaue Messung des Abstandes  $\delta$ , und deshalb sind die Versuche mit besseren Mitteln zu wiederholen.

Schaltet man die Metalle um, so wird der Galvanometerausschlag entgegengesetzt.

Verschließt man die Oeffnung  $RR$  des Kastens durch eine Bleiplatte, so wird der Ausschlag Null.

Leitet man nur eins der beiden Metalle zum Galvanometer und dieses zur Erde, läßt dagegen das andere Metall isoliert, so wird der Ausschlag Null.

Die beiden Metalle verhalten sich hiernach, wenn sie von RÖNTGEN-Strahlen getroffen werden, wie die Pole eines Elements.

16) Es lag nahe, durch Kombination mehrerer Metallschichten die Wirkung am Galvanometer zu verstärken. Zu dem Zwecke wurden abwechselnd mehrere Aluminiumscheiben und Kupferscheiben aufeinander gelegt und sämtliche Scheiben durch dünne Glimmerblätter isoliert. Dann wurden die Aluminiumscheiben unter sich und ebenso die Kupferscheiben unter sich metallisch verbunden. Es zeigte sich aber, daß diese Kombination nur eine geringe Wirkung am Galvanometer hervorbrachte. Die Ursache hierfür lag in den Glimmerblättern. Denn als bei der anfänglichen Anordnung mit nur einer Aluminiumscheibe und einer Kupferplatte ein Glimmerblatt zwischen die beiden Metalle geschoben wurde, sank der Galvanometerausschlag auf den fünften Teil des ursprünglichen Betrages. Hiernach ist anzunehmen, daß der Glimmer, welcher bei der angewandten Dicke den Durchgang der RÖNTGEN-Strahlen kaum beeinflusst, deshalb

unvorteilhaft wirkt, weil durch ihn die Kommunikation der Luft resp. deren Ionen zwischen den beiden Metallschichten bedeutend erschwert wird. Dies wird durch folgenden Versuch bestätigt. Ueberzieht man die Kupferplatte, welche hinter der Aluminiumscheibe steht, mit einer nicht zu dünnen Lackschicht, so ist ein Ausschlag am Galvanometer nicht mehr nachweisbar.

Um die Bewegung der Teilchen zwischen den beiden Platten weniger zu behindern als durch Glimmer, wurde ein dünner weißer Seidenstoff gewählt, der vorzüglich isolierte. Aber auch dieser zeigte noch eine starke Einwirkung: während ohne Seide (wieder bei Anwendung einer Aluminiumscheibe und einer Kupferplatte) die Ablenkung 5,8 mm war, wurde die Ablenkung bei zwischengeschalteter Seide auf 1,8 mm heruntergedrückt. Dann wurden aus der Seide einzelne Teile herausgeschnitten, so daß sie vielfach durchlöchert war; hierdurch stieg zwar die Ablenkung auf 2,9 mm, erreichte aber, wie man sieht, doch erst die Hälfte der ursprünglichen Ablenkung, die ohne Seide gewonnen war.

17) Nach diesen Versuchen wurden drei Scheiben von Aluminium und zwei Scheiben von Kupfer durch Klebwachs, das sehr gut isolierte, an den Rändern voneinander getrennt und so angeordnet, wie Fig. 3 zeigt; die ausgezogenen Striche stellen die Aluminiumscheiben, die punktierten die Kupferscheiben dar; die gegenüberstehenden Flächen waren  $22 \times 20$  cm groß; der Abstand der einzelnen Flächen war 2,8 mm. Mit dieser Kombination wurden folgende Ablenkungen erhalten; die Oeffnung *RR* war durch dünnes Aluminium geschlossen.

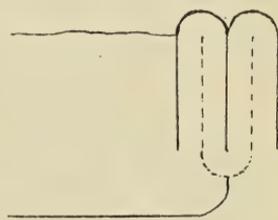


Fig. 3.

Tabelle V.

| Abstand A der Kombination von der Oeffnung <i>RR</i> des Kastens in cm | Ausschläge des Galvanometers in mm |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 5                                                                      | 17,2                               |
| 10                                                                     | 14,0                               |
| 20                                                                     | 8,0                                |
| 40                                                                     | 4,2                                |

Die Ablenkung ist also bedeutend größer, als bei dem früheren Versuch mit einem Metallpaar. Wie man aber sieht, nimmt der Galvanometerausschlag langsamer ab, als die Entfernung A zunimmt. Rechnet man die Entfernung der Kombination vom Platinblech der RÖNTGEN-Röhre aus, anstatt vom Kasten, so erhält man folgende Zusammenstellung:

| Abstand B der Kombination<br>vom Platinblech in cm | Ausschläge<br>$\alpha$ | Produkt<br>$B^2 \cdot \alpha$ |
|----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 19                                                 | 17,2                   | 6 209                         |
| 24                                                 | 14,0                   | 8 064                         |
| 34                                                 | 8,0                    | 9 248                         |
| 54                                                 | 4,2                    | 12 247                        |

Die photographischen Wirkungen der X-Strahlen nehmen proportional dem Quadrat der Entfernung ab; dagegen nehmen die elektrischen Wirkungen, wie sie in den angegebenen Versuchen zum Ausdruck kommen, langsamer ab, als diesem Gesetz entspricht. Die Ursache hierfür möchte ich darin sehen, daß die elektrischen Wirkungen keine direkte, sondern eine indirekte Wirkung der X-Strahlen darstellen: die Luft, welche zwischen den Metallplatten und zwischen diesen und der Erregungsstelle liegt, wird elektrisch erregt und diese Luft resp. deren Ionen übertragen die Elektrizität auf die Platten. Diese Uebertragung findet nicht nur von den Luftschichten aus statt, welche im Moment der Entladung des Induktoriums die Platten berühren, sondern außerdem auch von denjenigen Teilchen, welche nach der Entladung des Induktionsapparates zur Berührung mit den Metallplatten gelangen. Auch spätere Beobachtungen finden so eine einfache Deutung.

Das früher bereits erwähnte Resultat wurde ebenfalls mit der in Fig. 3 skizzierten Kombination gewonnen: war eines der beiden Metalle isoliert, so ergab sich keine Ablenkung; wurde die Oeffnung *RR* durch Blei geschlossen, so war auch die Ablenkung Null.

18) Es schien von Interesse, den elektrischen Widerstand der Kombination zu ermitteln. Zu dem Zwecke wurden zwei Strommessungen ausgeführt, eine unmittelbar mit der gegebenen Anordnung, eine zweite, indem man einen großen bekannten Zusatzwiderstand in die Strombahn einschaltete. In der folgenden Tabelle ist die elektromotorische Kraft der Kombination, wie sie sich aus diesen Versuchen berechnet, mit *E*, der Widerstand der Kombination mit *r*, der Zusatzwiderstand mit *w* bezeichnet. Der Abstand *A* der Kombination vom Kasten war 10 resp. 20 cm.

Tabelle VI.

| Abstand <i>A</i> in cm | <i>w</i> in Ohm  | <i>E</i> in Volt | <i>r</i> in Ohm  |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 10                     | $4,9 \cdot 10^7$ | 0,5              | $7,1 \cdot 10^7$ |
| 10                     | $9,2 \cdot 10^7$ | 0,5              | $7,8 \cdot 10^7$ |
| 20                     | $9,2 \cdot 10^7$ | 0,3              | $8,0 \cdot 10^7$ |

Die vorstehenden Zahlen für *r* zeigen mit Rücksicht auf die kleinen Ablenkungen, aus denen sie berechnet wurden, eine genügende Uebereinstimmung. Berechnet man aus dem Wert

$r = 7,5 \cdot 10^7$  den spezifischen Widerstand  $a$  in den üblichen Einheiten (1 m Länge und 1 qmm Querschnitt), so findet man

$$a = 4,7 \cdot 10^{15} \text{ Ohm.}$$

Eine zweite Versuchsreihe wurde mit nur einer Aluminiumscheibe und einer Kupferplatte, deren Abstand gleich 0,4 cm war, angestellt. Das aperiodische Galvanometer gab hier zu kleine Ausschläge, um noch genügende Genauigkeit zu liefern; es wurde deshalb das Schwingungsgalvanometer verwendet und durch eine Vergleichung mit der früheren Kombination die elektromotorische Kraft, sowie der Widerstand  $a$  ermittelt. Es ergab sich

$$a = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ Ohm,}$$

also ein Wert von derselben Größenordnung wie oben.

19) Die elektromotorische Kraft ist in der Tabelle VI

bei 10 cm Abstand gleich 0,5 Volt

„ 20 „ „ „ 0,3 „

gefunden. Diese beiden Werte stehen, wie zu erwarten war, fast genau in demselben Verhältnis zu einander, wie die beiden Galvanometeraus schläge 14,0 und 8,0, welche in Tabelle V für 20 cm und 10 cm angegeben sind.

Eine Untersuchung mit dem Elektrometer ergab für die Potentialdifferenz der Kombination, während der Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen, den Wert 0,5 Volt; dieser Wert änderte sich, wie vorausszusehen war, nicht, wenn der Abstand von 10 auf 20 cm vergrößert wurde.

Es scheint zunächst auffallend, daß die elektromotorische Kraft während des Stromdurchganges bei 10 cm Abstand sich ebenso groß herausstellt, wie die mit dem Elektrometer gemessene Potentialdifferenz. Denn da die direkte Ursache des Stromes keine kontinuierliche ist, sondern durch die einzelnen Unterbrechungen des Induktionsapparates hervorgerufen wurde, so sollte man erwarten, daß die mittlere elektromotorische Kraft des Stromes kleiner wäre, als die mit dem Elektrometer gemessene Potentialdifferenz. Daß dies nicht oder wenigstens nur in unbedeutendem Maße der Fall ist, ist vermutlich in dem gleichen Umstande begründet, der schon angeführt wurde, um die geringe Abnahme der elektromotorischen Kraft bei wachsender Entfernung zu erklären (vergl. 17). Hiernach ist anzunehmen, daß die Ladung der Metallplatten nicht bloß im Moment der Stromunterbrechung des Induktoriums erfolgt, sondern auch in den Zwischenzeiten, so daß eben trotz der Diskontinuität der primären Ursache doch die Platten infolge des vermittelnden Mediums dauernd auf nahezu der gleichen Potential-

differenz erhalten bleiben, die sie bekommen, wenn sie stromlos sind. Erst bei größerem Abstand der Kombination vom Kasten wird die elektromotorische Kraft wesentlich kleiner: bei 20 cm Abstand war dieselbe nach dem obigen Versuche nur 0,3 Volt.

20) Hiermit im Zusammenhang scheint das Folgende zu stehen. Wie aus der Tabelle IV hervorgeht, sind die Galvanometerausschläge nahezu umgekehrt proportional dem Abstand  $\delta$  der beiden Platten; dies Resultat hat sich bei Abständen  $\delta$  von 0,5 bis 16 cm ergeben. Vermindert man aber den Abstand noch unter 0,5 cm, so erhält man keinen größeren Ausschlag mehr; eine Beobachtung bei 0,3 cm gab den gleichen Ausschlag, wie bei 0,5 cm. Dies Resultat läßt sich auf Grund der schon erwähnten Annahme, daß die Luft durch die X-Strahlen in Ionen zerlegt wird, verstehen. Nach den früheren Versuchen werden die elektrischen Ladungen nicht durch die X-Strahlen direkt hervorgebracht; denn überzieht man eine Platte mit einer Lackschicht, welche für die X-Strahlen fast vollkommen durchlässig ist, so ist ein elektrischer Strom nicht mehr nachweisbar (vergl. 16). Nimmt man an, daß die Luft durch die X-Strahlen ionisiert wird, so hängt der Widerstand der zwischen den Platten befindlichen Luft außer von ihren Dimensionen von der Zahl der in der Volumeinheit befindlichen Ionen ab. Die Ionen geben ihre Elektrizitäten an die beiden sich gegenüberstehenden Platten ab und bedingen hierdurch den elektrischen Strom. Die Stromstärke ist durch die Zahl der Ionen bedingt, die in der Zeiteinheit ihre Elektrizität an die Platten abgeben. Wird der Abstand dieser immer kleiner, so kann es vorkommen, daß in dem Zwischenraum weniger Ionen vorhanden sind, als notwendig sind, um den Platten die gleiche Elektrizitätsmenge, wie früher, zuzuführen. Es wird dann die Stromstärke bei diesem kleinen Abstände sich kleiner herausstellen, als früher bei größerem Abstände. Unmittelbar ehe dieser Zustand erreicht wird, braucht trotz der Verminderung des Plattenabstandes die Stromstärke nicht zu wachsen. Dieses letzte Resultat ist oben gefunden: bei 0,5 und 0,3 cm Plattenabstand war die Stromstärke gleich. Um zu untersuchen, ob bei noch weiterer Verminderung des Plattenabstandes die Stromstärke abzunehmen beginnt, wurden einige Versuche mit dem Schwingungsgalvanometer in der Art wie in § I angestellt. Eine Aluminiumscheibe, 1 mm dick, wurde in einem Abstände von 20 cm von der Oeffnung  $RR$ , die durch ein Aluminiumblech geschlossen war, aufgestellt hinter derselben eine Kupferplatte in einem Ab-

stande  $\delta$ , der verändert werden konnte. Die Aluminiumscheibe wurde zur Erde abgeleitet, die Kupferplatte mit einem Kondensator von 1 Mikrofaraad verbunden, letzterer bei jedem Versuch 1 Minute geladen und dann durch ein Schwingungsgalvanometer entladen. Die beobachteten Ablenkungen des Galvanometers, ausgedrückt in Doppelcentimer, waren folgende:

| Abstand $\delta$ der beiden Metalle | Galvanometerausschlag |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 0,4 cm                              | 5,80                  |
| 0,1 „                               | 4,10                  |

Hier ist also in der That bei kleinerem Abstände  $\delta$  der Ausschlag kleiner, als bei dem größeren Abstände. Diese Versuche, welche zweimal mit dem gleichen Erfolge wiederholt wurden, beweisen daher, daß die Stromstärke bei kleinerem Abstand  $\delta$  mit noch weiterer Verminderung dieses Abstandes abnehmen kann.

21) Die mehrfach erwähnte Kombination, aus drei Aluminiumscheiben und zwei Kupferscheiben bestehend, hatte, mit dem Elektrometer untersucht, eine Potentialdifferenz von 0,5 Volt geliefert, wenn die RÖNTGEN-Strahlen wirksam waren. Es wurde diese Potentialdifferenz auch noch nach einem Kompensationsverfahren ermittelt, und dazu die Anordnung getroffen, wie in Fig. 4 angegeben, ist. *Al*, *Cu* stellt die Kombination dar; *Al* ist mit dem Galvanometer *G*, *Cu* mit der Erde verbunden. *w* und *w'* entsprechen zwei Widerstandskästen, *E* stellt ein Tauchelement dar, dessen negativer Pol mit dem Galvanometer und dadurch mit

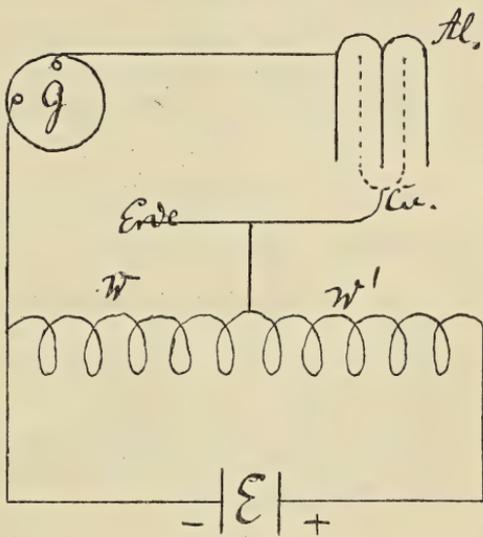


Fig. 4.

*Al* verbunden war. Für *w* wurden dauernd 1000 Ohm eingeschaltet, und dann *w'* so lange geändert, bis auch bei Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen das Galvanometer keinen Ausschlag mehr lieferte. Dies war bei  $w' = 2900$  Ohm der Fall. Daraus ergibt sich, da die Potentialdifferenz in *E* gleich 1,8 Volt war, für das Potential von *Al* = - 0,46 Volt; d. h. wenn *Al* durch das Element auf

— 0,46 Volt geladen wird, so ändern die RÖNTGEN-Strahlen das Potential von  $M$  nicht. Der Wert 0,46 Volt stimmt mit dem früher ermittelten 0,5 genügend überein.

#### IV. Berechnung der in der Volumeneinheit vorhandenen ionisierten Moleküle.

22) Unter der Voraussetzung, daß die Luft durch die X-Strahlen in Ionen zerlegt wird, und daß die Ionen als Träger der Elektrizität die letztere an die Metallplatten abgeben, läßt sich aus den vorliegenden Beobachtungen eine untere Grenze für die Zahl der ionisierten Moleküle im Verhältnis zur Gesamtzahl der Moleküle berechnen.

Durch die Rechnungen von E. BUDDÉ und anderen ist bekannt, wie viel elektrostatische Einheiten  $\varepsilon$  durch eine Valenz transportiert werden. Ferner ist aus unseren Beobachtungen abzuleiten, wie viel elektrostatische Einheiten  $e$  nötig sind, um beim Durchgang durch das Schwingungsgalvanometer einen Ausschlag von einem Teilstrich hervorzubringen. Endlich ergeben die Beobachtungen den Galvanometerausschlag  $b$ , den die X-Strahlen liefern, wenn eine Entladung des Induktionsapparates durch die RÖNTGEN-Röhre geführt wird.

Durch  $\frac{b \cdot e}{\varepsilon}$  Valenzen, die ihre Elektrizität an den Kondensator abgeben, wird ein Ausschlag von  $b$  Teilstrichen herbeigeführt.

Da in den zweiatomigen Luftmolekülen den  $\frac{b \cdot e}{\varepsilon}$  Valenzen  $\frac{b \cdot e}{2\varepsilon}$  Moleküle entsprechen, so ist diese Molekülzahl im Verhältnis zur gesamten Anzahl der Moleküle, die in dem Volumen  $V$  zwischen den beiden Platten sich befinden, zu berechnen. Setzt man voraus, daß in 1 ccm  $N$  Moleküle sich befinden, so erhält man das gesuchte Verhältnis durch

$$\frac{b \cdot e}{2\varepsilon} : V \cdot N = \frac{b \cdot e}{2\varepsilon \cdot V \cdot N} : 1.$$

$$\text{Hier ist } e = \frac{3 \cdot 10^3}{76}; \quad \varepsilon \cdot N = 129 \cdot 10^8.$$

Es ist zu bemerken, daß  $\varepsilon \cdot N$  unabhängig von dem aus der Gastheorie erschlossenen Werte von  $N$  ist <sup>1)</sup>.

1) Vergl. RICHARZ, Wied. Ann., Bd. 52, p. 397, 1894.

Bei einem Versuche mit Cu und Al (vergl. 20), die in einem Abstände von  $\delta = 0,4$  cm standen, und deren Abstand von  $RR$  20 cm war, ergab sich ein Ausschlag von 5,8 Doppelcm. wenn der Kondensator von 1 Mikrofarad 1 Minute geladen und durch das Schwingungsgalvanometer entladen wurde. Die Unterbrechungszahl des Induktorium pro Minute war 500; daher

$$b = \frac{5,8}{500}$$

Ferner hatte die Kupferplatte einen Durchmesser von 19 cm, so daß

$$V = \left(\frac{19}{2}\right)^2 \pi \cdot 0,4 = 113 \text{ cm.}$$

Mit diesen Werten wird

$$\frac{b \cdot e}{2 \varepsilon \cdot V \cdot N} = 1,6 \cdot 10^{-13}$$

d. h. das Verhältnis der zerlegten Moleküle zur Gesamtzahl der Moleküle war mindestens gleich  $1,6 \cdot 10^{-13}$ . Man erhält einen der Wahrheit näher kommenden Wert, wenn man aus der folgenden Beobachtung für  $\delta = 0,1$  cm und dem Ausschlag 4,1 die entsprechende Größe berechnet; denn bei dieser Beobachtung zeigte sich schon eine Abnahme der Stromstärke, woraus hervorgeht, daß die ionisierten Moleküle in relativ größerer Zahl ihre Elektricitäten an die Platten abgaben. Man erhält dann

$$b = \frac{4,1}{500}; V = 28,3$$

und hiermit

$$\frac{b \cdot e}{2 \varepsilon \cdot V \cdot N} = 2,9 \cdot 10^{-13}.$$

Nach Fertigstellung der vorliegenden Arbeit sind mehrere Untersuchungen mir bekannt geworden, welche manche Berührungspunkte mit der ersteren haben; ich möchte hiervon folgende hervorheben.

J. J. THOMSON und E. RUTHERFORD <sup>1)</sup> haben ebenfalls den Bruchteil der durch die X-Strahlen ionisierten Moleküle im Verhältnis zur Gesamtzahl der Moleküle berechnet, und zwar aus der

1) J. J. THOMSON und E. RUTHERFORD, Beibl., 3. Heft, p. 275, 1897; Phil. Mag., (5) Bd. 42, p. 392, Nov. 1896.

Messung der Entladungsgeschwindigkeit bei „gesättigtem“ Strome; sie finden für Wasserstoff diesen Bruchteil:

$$\frac{1}{3 \cdot 10^{12}} = 3,3 \cdot 10^{-13}$$

eine Zahl, die nur wenig von der oben berechneten abweicht.

Lord KELVIN, J. C. BEATTIE und SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN <sup>1)</sup> haben unter gewissen Bedingungen die Potentiale von Metallen gemessen, welche diese unter dem Einfluß der RÖNTGEN-Strahlen erhalten und diese Resultate mit den elektrischen Wirkungen verglichen, welche die Lichtstrahlen auf die Metalle ausüben.

J. PERRIN <sup>2)</sup> hat Potentialdifferenzen zwischen Metallen unter Wirkung der RÖNTGEN-Strahlen bestimmt und das Spannungsgesetz nachgewiesen; ferner konnte er einen dauernden elektrischen Strom nachweisen, der  $7 \cdot 10^{-9}$  Amp. entsprach.

---

1) Lord KELVIN, J. C. BEATTIE und SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN, Beibl., 5. Heft, p. 454, 1897; Nature, Bd. 55, p. 343, 1897.

2) J. PERRIN, Beibl., 5. Heft, p. 451, 1897; C. R., Bd. 124, p. 496, 1897.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft](#)

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: [NF\\_24](#)

Autor(en)/Author(s): Winkelmann A.

Artikel/Article: [Ueber elektrische Ströme, welche durch Röntgen'sche X-Strahlen erzeugt werden<sup>1</sup>](#). 174-194