**12. Ueber den Potentialgradienten an Metall-
electroden bei der Entladung durch X-Strahlen;
von C. D. Child.**

§ 1. Lässt man von einer in freier Luft aufgestellten Spitze einen electrischen Strom zu einem gegenübergestellten metallischen Schirm übergehen, so findet man, dass der durch einen

Fig. 1.

Thomson'schen Wassertropfapparat bestimmte Potentialgradient in der Nähe des Metallschirmes zunimmt, wenn man sich dem Schirm nähert. Hr. Warburg theilte mir diese Thatsache mit, und forderte mich auf zu untersuchen, ob Aehnliches stattfindet, wenn man einen electrischen Strom zwischen zwei auf verschiedenen Potentialen befindliche Metallplatten dadurch einleitet, dass man die Luft zwischen den Platten durch Röntgenstrahlen leitend macht.

§ 2. Der benutzte Apparat ist in Fig. 1 dargestellt. *A* ist ein Bleikasten, in dem sich der Inductionsapparat und das Röntgenrohr befinden. Die Strahlen gehen durch eine Oeffnung von 5 cm Durchmesser. Die Entfernung von dieser Oeffnung bis zum Rohre beträgt 5 cm, *a* und *b* sind zwei Platten, die durch eine Batterie auf eine constante Potentialdifferenz geladen werden. *B* ist ein isolirtes Wassergefäß. Das Wasser fließt durch ein Rohr, das in einer möglichst feinen Spitze in *e* endet. Das Wasser in dem Gefäße wurde mit dem einen Quadrantenpaar eines Thomson'schen Electrometers verbunden, während das andere Quadrantenpaar mit einem Punkte der gebrauchten Batterie verbunden war, welcher nahezu dasselbe Potential wie *e* hatte. Auf diese Weise war es möglich, ein empfindliches Electrometer zu verwenden, ohne zu grosse Ausschläge zu bekommen. Die Nadel des Electrometers wurde in bekannter Weise geladen.

§ 3. Die zuerst gebrauchten Platten waren aus Aluminium und hatten 15 cm Durchmesser. Die Entfernung zwischen denselben war 6 cm und die Entfernung ihrer Centren von dem Rohre war 35 cm. Die Potentialdifferenz zwischen ihnen war 120 Volt, indem *a* auf + 60, *b* auf – 60 gebracht wurde. Alle anderen Körper in der Nähe der Platten waren auf dem Potential Null.

Die Intensität der Strahlen war eine solche, dass wenn die Platten *a* und *b* aus Stanniol bestanden, ihre Entfernung voneinander 2 cm, ihre Potentialdifferenz 120 Volt, und die Entfernung ihrer Centren von dem Rohre 20 cm betrug, der Strom eine Stärke von $1,3 \times 10^{-8}$ Ampère hatte. Diese wurde durch die Messung der Zunahme des Potentials in *b* bestimmt, wenn *b* mit einem Condensator von 1 Microfarad verbunden wurde, und die Strahlen 30 Secunden zwischen den Platten hindurchgingen. Die Constanz der Strahlen war zwar keine vollständige, doch betrugen die Schwankungen im allgemeinen nur etwa 5 Proc.

Wenn keine X-Strahlen zwischen den Platten passirten, war das Potentialgefälle praktisch constant, sodass der Verlauf des Potentials für diesen Fall durch eine Gerade Fig. 2 dargestellt werden kann. Tab. 1 giebt das Potential zwischen den Platten bei *e* in Volt an, vor und während des

Durchganges der X-Strahlen, sowie die Differenz beider Werthe.

Tabelle 1.

Entfernung zw. Platte <i>b</i> und <i>e</i>	Potential von <i>e</i> ohne X-Strahlen	Potential von <i>e</i> mit X-Strahlen	Änderung des Potentials
$\frac{1}{2}$ cm	-50	-16	34
1	-40	-10	30
2	-20	- 1,5	18,5
3	0	5,5	5,5
4	20	11	- 9
5	40	17	-21
$5\frac{1}{2}$	50	25,5	-24,5

Fig. 2 zeigt diese Verhältnisse graphisch.

Es ist ersichtlich, dass im allgemeinen die Curve in Fig. 2

Fig. 2.

dieselbe Form hat wie diejenige, welche bei Entladung in verdünnten Gasen erhalten wird. Die Aehnlichkeit trifft auch insofern zu, als das Gefälle an der negativen Platte grösser ist, als an der positiven.

§ 4. Es war nicht möglich, den Apparat so anzuordnen, dass das Potential der umgebenden Körper keinen

Einfluss hatte. Dieser Einfluss war bedeutend, änderte aber nicht den wesentlichen Charakter der Resultate, wie aus den folgenden Beobachtungen hervorgeht. Diese zeigen die Differenz zwischen dem normalen Potential und den Potentialwerthen, welche beobachtet wurden, wenn X-Strahlen durchgehen, zuerst wenn a das Potential Null hatte und $b = 120$ Volt und dann wenn $a + 120$ Volt und b das Potential Null hatte.

Tabelle 2.

Entfernung zw. Platte b und e	Änderung des Potentials für	
	$a = \text{Null}$	$b = \text{Null}$
$\frac{1}{2}$ cm	52	19,6
1	47,5	15
2	32,5	2
3	21	-12,5
4	7	-26
5	7	-40
$5\frac{1}{2}$	-10	-54

Fig. 3 und 4 zeigen diese Verhältnisse graphisch.

Fig. 3.

§ 5. Das Potentialgefälle wurde dann unter verschiedenen Bedingungen untersucht, zunächst wurde die Potentialdifferenz zwischen den Platten verändert. Die Entfernung ab war

6 cm und eb 1 cm. Die Intensität der Strahlen wurde möglichst constant gehalten. Die Differenz zwischen dem normalen Potential in e und dem beobachteten Potential bei Passirung

Fig. 4.

der X-Strahlen ist in folgender Tabelle gegeben. Die Platten waren gleich und entgegengesetzt geladen. Die umgebenden Körper hatten das Potential Null.

Tabelle 3.

Potentialdifferenz zw. a und b (P)	Änderung des Potentials bei e (Δp)	$\frac{\Delta p}{P}$
16 Volt	3 Volt	0,188
30	6,25	0,208
60	13,3	0,222
90	21	0,234
120	30	0,25
240	60	0,25

Fig. 5 zeigt diese Verhältnisse graphisch. Die Curve weicht nur ein wenig von einer Geraden ab.

§ 6. Weiter wurde die Entfernung zwischen a und b variirt. Das Verhältniss $ab:eb$ war constant und gleich $\frac{1}{4}$, sodass das Potential bei e , wenn keine X-Strahlen durchgingen, immer dasselbe war. Die Potentialdifferenz zwischen den Platten war 120 Volt. Die Intensität der Strahlen wurde möglichst constant gehalten.

Fig. 5.

Tabelle 4.

Entfernung $a b$	Änderung des Potentials bei e	Entfernung $a b$	Änderung des Potentials bei e
2 cm	4,7	8 cm	18,7
4	10,8	12	21,6
6	17,1		

Fig. 6 zeigt diese Verhältnisse graphisch.

Fig. 6.

§ 7. Bei dem folgenden Versuche blieb die Entfernung zwischen den Platten und die Potentialdifferenz constant, aber die Intensität der Strahlen wurde variirt. Die Entfernung ab war 6 cm und eb 1 cm. Die Potentialdifferenz betrug 120 Volt. Die Intensität der Strahlen wurde durch Einschaltung von Stanniolblättern zwischen dem Rohre und den Platten verändert. Sie wurde der Entladungsgeschwindigkeit proportional gesetzt, die sie zwischen zwei Stanniolblättern verursachte, wenn dieselben senkrecht zu den Strahlen angebracht waren, wobei die Entfernung zwischen den Blättern 2 cm, und die Potentialdifferenz 120 Volt betrug.¹⁾ Die ursprüngliche Intensität wurde als Einheit genommen.

Tabelle 5.

Intensität der Strahlen	Änderung des Potentials bei e
1	30,0 Volt
0,39	21,6
0,1	11,6
0,04	4,2

Fig. 7 zeigt diese Verhältnisse graphisch.

Fig. 7.

§ 8. Bei Verwendung anderer Metalle war das Potentialgefälle an den Platten geringer, aber nur wenn die Strahlen die Platten berührten. Wurde dies verhindert, so war es nicht möglich, mit Sicherheit einen Unterschied in dem Potentialgefälle für verschiedene Metalle zu constatiren. Die Metalle beeinflussen den Vorgang also

nur dann, wenn sie von den Strahlen getroffen werden.

1) Die Proportionalität der Entladungsgeschwindigkeit mit der Intensität der Strahlen wurde folgendermaassen geprüft. Es ist gefunden worden, dass die photographische und photometrische Wirkung der Strahlen dem Quadrat der Entfernung vom Rohre praktisch umgekehrt ist. Thomson und McClelland haben dasselbe für die entladende

Daher wurden, um den Einfluss verschiedener Metalle zu untersuchen, die Platten senkrecht zu den Strahlen angeordnet, wobei die dem Rohre zugekehrte Platte immer aus Aluminium oder Stanniol bestand. In diesem Falle war die Leitfähigkeit des Gases auf der dem Rohre zugekehrten Seite grösser, als auf der dem Rohre abgekehrten Seite; ferner ergab sich, als die beiden Platten aus Aluminium bestanden, die Veränderung des Potentials durch die X-Strahlen 1 cm von der negativen Platte 14,1 Volt, wenn diese Platte dem Rohre am nächsten, 26,5 Volt wenn sie am entferntesten vom Rohre war. Das Mittel aus beiden Werthen beträgt 15,3 Volt. Wenn die Platten parallel zu den Strahlen standen, und die Strahlen durch eine Aluminiumplatte von der Dicke der früher gebrauchten Platte gingen, so war die Veränderung des Potentials 1 cm von der negativen Platte 28,3 Volt. Die mittlere Entfernung der Platten von dem Rohre war in beiden Fällen 35 cm. Bei senkrechter Incidenz der Strahlen ist also das Potentialgefälle an der Platte kleiner als bei streifender Incidenz. Diese Thatsache tritt noch deutlicher hervor, wenn man andere Metalle benutzt.

Beim Vergleich der verschiedenen Platten war die Platte nächst dem Rohre, die wir *a* nennen wollen, immer aus Stanniol. Die Platte *b*, die am entferntesten vom Rohre war, wurde variirt. Alle Platten hatten einen Durchmesser von 15 cm, *e* war ein Punkt 1 cm von *b* entfernt. Die anderen Bedingungen waren dieselben wie bei dem ersten Versuche.

Die folgenden Beobachtungen wurden mit verschiedenen Metallen gemacht.

Tabelle 6.

Metall bei *b*. Aenderung des Potentials bei *e* durch die X-Strahlen, wenn *b*

	positiv	negativ		positiv	negativ
Platin	— 9	14	Eisen	— 16	22
Blei	— 11	17	Stanniol	— 16	23
Stahl	— 15	21	Neusilber	— 15,5	23,5
Zink	— 15	22	Messing	— 16	24,5
Kupfer	— 15	22	Aluminium	— 17,5	26,5

Wirkung der Strahlen gezeigt. Dieses Gesetz, mit denselben Stanniolblättern, mit welchen früher die Intensität der Strahlen gemessen wurde, geprüft, erwies sich jedenfalls als annähernd richtig.

Oxyd an der Oberfläche hatte nur einen geringen Einfluss auf das Resultat.

§ 9. Es ist zu erwarten, dass der Strom zwischen den Platten am schwächsten bei den Metallen ist, die das grösste Potentialgefälle an der Oberfläche zeigen. Die Entladungsgeschwindigkeit bei Anwendung verschiedener Metallplatten ist zwar von Benoist und Hurmuzescu¹⁾ untersucht, aber es schien zweckmässig die Entladungsgeschwindigkeit mit den in den früheren Experimenten gebrauchten Platten zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wurde das Electrometer mit der Platte verbunden, und der Ausschlag beobachtet, welcher durch eine 4 Sec. dauernde Bestrahlung hervorgebracht wurde.

Zunächst wurden die Platten parallel den Strahlen gestellt. Es war schon gefunden, dass wenn die Strahlen zwischen den Platten verliefen, ohne sie zu berühren, das Potentialgefälle an der Oberfläche vom Metalle unabhängig war. Analog wurde gefunden, dass unter den gleichen Umständen die Entladungsgeschwindigkeit zwischen den Platten vom Metall unabhängig war. Bei senkrechter Stellung der Platten zu den Strahlen war dagegen die Entladungsgeschwindigkeit in hohem Grade durch die Natur des Metalles bedingt.

Die Entfernung zwischen den Platten war 1 cm. Die Potentialdifferenz war 120 Volt. Die Platte *a* war immer von Stanniol und positiv geladen. Das Mittel mehrerer Beobachtungen ist in folgender Tabelle gegeben.

Tabelle 7.

Metall	Ausschlag des Electrometers.	Metall	Ausschlag des Electrometers.
Platin	16,6	Stanniol	12,1
Blei	15,8	Eisen	11,8
Stahl	13,9	Neusilber	11,8
Zink	13,1	Messing	11,6
Kupfer	12,4	Aluminium	9,8

Man bemerkt, dass im allgemeinen die Aufeinanderfolge der Metalle in dieser Tabelle dieselbe ist, wie in Tabelle 6. Also beweisen die Versuche, dass die grösste Entladungsgeschwindigkeit bei den Metallen, die das kleinste Potentialgefälle zeigen, stattfindet.

1) Compt. rend. 122. p. 779. 1896.

Das Verhältniss des Entladungsstromes bei zwei verschiedenen Metallen ist übrigens, wie folgende Tabelle zeigt, abhängig vom Potential der Platten.

Tabelle 8.

Potentialdifferenz	Ausschlag des Electrometers für <i>b</i>		Verhältniss der Ausschläge
	Aluminium	Platin	
8 Volt	5,3	6,7	1,26
16	7,5	13,3	1,77
30	8,4	15	1,78
60	8,8	16	1,82
120	10	17	1,7

Wie man sieht, tritt der Unterschied in dem Verhalten verschiedener Metalle bei niederem Potential weniger hervor als bei höherem.

Dann wurde die Entfernung zwischen den Platten variirt, indem die Platten so bewegt wurden, dass ihre mittlere Entfernung vom Rohre konstant war.

Die Potentialdifferenz zwischen den Platten war 120 Volt.

Tabelle 9.

Entfernung zwischen den Platten	Ausschlag des Electrometers		Verhältniss der Ausschläge
	Aluminiumplatte	Platinplatte bei <i>b</i>	
0,5 cm	8	15,2	1,79
1	9,3	16,6	1,79
2	10,2	18	1,76
4	11,2	18	1,61
8	10,5	15	1,46

Daraus folgt, dass das Verhältniss zwischen der Entladungsgeschwindigkeit von Platin und Aluminium etwas grösser wird, wenn die Entfernung zwischen den Platten abnimmt.

Wir sehen also, dass unter gewissen Umständen die durch die X-Strahlen verursachte Entladungsgeschwindigkeit in hohem Grade von der Natur des sich entladenden Metalles abhängt, während unter anderen Umständen das Metall nur wenig Einfluss ausübt, und wenn die Strahlen die Platten nicht berühren, sogar gänzlich unabhängig von der Natur des Metalles ist. Diesem Umstande sind zweifellos die voneinander abweichenden Resultate verschiedener Beobachter bezüglich der

Variation der Entladungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Metallen zuzuschreiben.

§ 10. Benoist und Hurmuzescu haben die Behauptung aufgestellt, dass die Metalle, welche X-Strahlen am meisten absorbieren, Electricität unter Wirkung der X-Strahlen am schnellsten entladen. Es war nicht möglich, das Absorptionsvermögen der hier verwendeten Metalle zu bestimmen, und Daten sind dem Verfasser nur für wenige Metalle bekannt. Es ist aber wohl bekannt, dass im allgemeinen die dichter Metalle die X-Strahlen stärker absorbieren. Daraus folgt offenbar, dass die vorhergehenden Versuche die Behauptung von Benoist und Hurmuzescu im allgemeinen bestätigen, und sie zeigen auch, dass das kleinste Potentialgefälle an der Oberfläche der am stärksten absorbierenden Metalle stattfindet.

§ 11. Also zeigen diese Versuche: *erstens, dass ein grosses Potentialgefälle an der Oberfläche der Metalle, wenn Entladung durch X-Strahlen verursacht wird, stattfindet; zweitens, dass dieses Potentialgefälle abnimmt, wenn die X-Strahlen die Platten treffen; und drittens, dass es bei den die X-Strahlen am meisten absorbierenden Metallen am meisten abnimmt.*

Es ist von Interesse diese Resultate mit denen von Elster und Geitel¹⁾ bei der Entladung von electrisirten Körper durch ultraviolettes Licht zu vergleichen. Aus ihren Versuchen folgt offenbar, dass die Absorption des Lichtes durch das Metall eine wichtige Rolle bei der Entladung der Electricität spielt, und die hier beschriebenen Versuche zeigen, dass die Absorption der X-Strahlen eine ebenso wichtige Rolle spielt.

Es leuchtet ein, dass die vorliegenden Resultate, nach welchen das Potentialgefälle zwischen den Platten nicht gleichförmig ist, bei der Bestimmung der Geschwindigkeit der Ionen berücksichtigt werden muss. Es ist möglich diese Geschwindigkeit durch die Untersuchung der Dauer der Entladung nach Aufhören der X-Strahlen zu bestimmen, und thatsächlich ergab sich eine grössere Geschwindigkeit als die von Rutherford²⁾ angegebene. Indessen ist es dem Verfasser noch nicht

1) Elster und Geitel, Wied. Ann. **61**. p. 445. 1897.

2) Rutherford, Phil. Mag. **44**. p. 422. 1897.

gelungen, die gewünschte Genauigkeit zu erreichen, und es erscheint daher rathsam, die Veröffentlichung der Ergebnisse zu verschieben, bis eine genauere Untersuchung vorgenommen werden kann.

Schliesslich möchte ich Hrn. Prof. Warburg für das fördernde Interesse, mit dem er die vorliegende Arbeit begleitet hat, sowie Hrn. Dr. Kaufmann für seine gütige Unterstützung meinen Dank aussprechen.

Berlin, Physik. Inst. d. Universität, März 1898.

(Eingegangen 16. März 1898.)