**2. Ueber die Reflexion der Kathodenstrahlen
und eine damit verbundene neue Erscheinung
secundärer Emission;
von L. Austin und H. Starke.**

1. Vorliegende Arbeit wurde begonnen in der Absicht, die Abhängigkeit der Gesamtreflexion vom Incidenzwinkel zu bestimmen.

Der Gesamtbetrag der diffusen Reflexion, welche Kathodenstrahlen bei normalem Einfallswinkel an einem erdabgeleiteten Metallblech erleiden, ist von dem einen von uns des näheren untersucht worden.¹⁾ Das Hauptresultat der citirten Arbeiten ist, dass 1. sich die einzelnen Metalle in dieser Beziehung verschieden verhalten, indem beispielsweise Kupfer 45 Proc. der auffallenden Menge, Aluminium dagegen nur 28 Proc. zurückwirft, dass 2. die Reflexion unabhängig ist vom Entladungspotential, bei welchem die Kathodenstrahlen entstehen, wenigstens in den Grenzen von 4000—10000 Volt.

Für die Versuche mit schieferm Einfallswinkel wurde zunächst die Methode und Röhre benutzt, welche in der zweitcitirten Arbeit auf p. 98 beschrieben ist. Der Raum, in welchem sich der drehbare Reflector befand, war innerhalb der Röhre allseitig mit engmaschigem Messingdrahtnetz umhüllt, ebenso wie auch das Galvanometer (Siemens & Halske, System Desprez-d'Arsonval mit 10000 Ω Widerstand) und die Leitung zu demselben vollkommen elektrostatisch geschützt wurde. Die Einrichtung war so getroffen, dass es nur der Herausnahme eines Schliffes bedurfte, um Reflectoren verschiedener Metalle leicht auswechseln zu können. Die Kathodenstrahlen wurden durch eine Influenzmaschine mit zwei beweglichen Platten erzeugt.

Mit einer solchen Röhre zeigt sich nun folgendes: Wenn die Kathodenstrahlen senkrecht auf den Reflector treffen, so

1) H. Starke, Wied. Ann. **66**. p. 49. 1898; Ann. d. Phys. **3**. p. 75. 1900.

zeigt das Galvanometer, durch welches hindurch er zur Erde geleitet ist, einen negativen Strom an, herrührend von der in den Strahlen transportirten Elektrizitätsmenge. Der Strom giebt aber nicht diese gesamte Menge an, weil von dieser ein Teil durch die diffuse Reflexion dem Reflector verloren geht. Dreht man nun den Reflector um eine in seiner Ebene liegende Axe, so nimmt der Strom immer mehr ab, wird Null; und dann zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass er bei weiter wachsendem Incidenzwinkel (bei ca. 70°) positiv wird; dieser positive Strom wächst immer mehr, je schiefer die Strahlen auffallen, und kann Werte erreichen, welche grösser sind als der negative Strom bei normaler Incidenz. Folgende Tabelle giebt die Grösse des Galvanometerausschlages für verschiedene Incidenzwinkel bei einem fein polirten Kupferblech:

Winkel	Galvanometer- ausschlag
0°	— 72
20	— 69
40	— 53
60	— 23
70	+ 6
80	+ 57
85	+ 91
87	+ 101

Entladungspotential 6500 Volt.

Eine ähnliche Erscheinung beobachtete auch schon C. Swinton¹⁾, indem er fand, dass ein Platinblech bei schiefer Auffallen von Kathodenstrahlen sich auf einige Volt positiv ladet.

2. Das Auftreten eines positiven Stromes zeigt, dass es nicht die Reflexion allein ist, welche den negativen Reflectorstrom schwächt, sondern dass hier noch ein zweiter unbekannter Effect auftritt, welcher eine Aufnahme positiver oder Abgabe negativer Elektrizität des Reflectors von seiner Umgebung bez. an dieselbe bewirkt.

Durch die Auffindung dieser Thatsache wurde der Plan der Arbeit geändert, welche sich jetzt mit der näheren Untersuchung dieses unbekannten Effectes und der Möglichkeit einer Trennung desselben von dem Vorgang der Reflexion befasste.

1) C. Swinton, Proc. Roy. Soc. 64. p. 395. 1899.

3. Die Frage nach der Natur dieses unbekannten Effectes könnte auf dreierlei Weise beantwortet werden:

a) Die positive Elektrizität kann herrühren von einer von der Entladungsröhre ausgehenden, positive Elektrizität mit sich führenden Strahlung, beispielsweise von Canalstrahlen, welche vielleicht dadurch entstehen könnten, dass trotz Anwendung der Influenzmaschine als Stromquelle doch Entladungen von der der gewöhnlichen entgegengesetzten Richtung durch die Entladungsröhre gehen.

Der + Strom, den diese Strahlen im Galvanometer erzeugen würden, superponirt sich über den negativen Kathodenstrahlenstrom, ihn schwächend. Wenn bei grosser Neigung des Reflectorbleches die Reflexion etwa sehr gross, also der Kathodenstrahlenstrom sehr schwach würde, so könnte dann dieser + Strom überwiegen.

b) Der + Strom kann seine Entstehung verdanken der Bildung einer Art von galvanischem Element in der Röhre. Das direct zur Erde geleitete Messingdrahtnetz, sowie der meist aus anderem Metall bestehende, durch ein Galvanometer zur Erde abgeleitete Reflector befinden sich in einem durch die Kathodenstrahlen leitend gemachten Gase. Dies könnte Veranlassung zu einer sich durch das Galvanometer ausgleichenden Volta'schen Spannungsdifferenz geben, so als ob Drahtnetz und Reflector sich in einer Flüssigkeit befänden. Das Auftreten einer solchen Spannungsdifferenz verschiedener Metalle in leitendem Gas ist von S. Arrhenius¹⁾ beobachtet worden. Auch hat kürzlich Hr. J. Stark²⁾ in Göttingen auf diesen Umstand als Fehlerquelle bei Reflexionsmessungen hingewiesen. Der eine von uns hat indessen a. a. O.³⁾ gezeigt, dass mit dem Auftreten der genannten Spannungsdifferenz die Existenz eines Volta'schen Effectes nicht bewiesen ist, dass es vielmehr für dieselbe eine andere, ungezwungene Erklärung giebt.

c) Als dritte Erklärungsweise des + Stromes kann man endlich eine secundäre Emission negativ geladener Teilchen oder Strahlen annehmen, welche durch das Auftreffen der primären Strahlen erzeugt wird. Dies wäre ein Vorgang

1) S. Arrhenius, Wied. Ann. **33**. p. 638. 1888.

2) J. Stark, Phys. Zeitschr. **3**. p. 161. 1902.

3) H. Starke, Verh. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. **4**. p. 212. 1902.

ähnlich dem Hallwachseffect oder der von Lenard jüngst gefundenen Emission von Kathodenstrahlen, welche durch ultraviolette Bestrahlung hervorgerufen wird.

Welche von den drei Erklärungsweisen hat man nun als die richtige anzunehmen?

4. Die erste a) wird ohne weiteres hinfällig gemacht durch die Beobachtung, dass jeglicher Strom, der — wie der +, sofort aufhört, sobald die Kathodenstrahlen, sei es im Entladungs- oder im Reflectorraum, magnetisch abgelenkt werden, sodass sie den Reflector nicht treffen. Wenn Canalstrahlen den Reflector trafen, so müsste bei deren schwerer Ablenkbarkeit durch einen Magneten der positive Strom bestehen bleiben.

5. 1. Die erste Untersuchung, ob eine Erklärung gemäss b) stichhaltig sei, schien die Richtigkeit dieser Annahme zu stützen. Die Ueberlegung hierbei war folgende: Ein durch eine Volta'sche Spannungsdifferenz erzeugter + Strom müsste um so stärker sein, je höher der Gasdruck in der Röhre ist, weil ja von der Existenz des Gases der Effect überhaupt abhängt, weil auch ferner der elektrische Widerstand des ionisirten Gases geringer wird. Dies ist nun auch in der That der Fall. Es wurde gefunden, dass je weiter man auspumpte, um so mehr der + Strom abnahm. Indessen sind diese Versuche nicht recht beweisend, weil mit dem Gasdruck sich auch gleichzeitig die Entladungsverhältnisse, Entladungspotential, Natur und Intensität der erzeugten Kathodenstrahlen veränderten.

2. Auch ein weiteres Experiment schien indessen sehr für einen Effect gemäss b) zu sprechen. Wenn man, anstatt den Reflector direct durch das Galvanometer zur Erde zu leiten, zwischen Reflector und Galvanometer einige Accumulatorenzellen einschaltete, so erhielt man einen anderen Ausschlag, je nachdem der Reflector durch dieselben + oder — geladen wurde, ein Zeichen, dass im Gas eine Leitung stattfindet. Die Differenz dieser Ausschläge giebt ein ungefähres Maass für die Grösse dieser Leitung ab. Es zeigte sich, dass dieselbe um so grösser ist, je stärker das Metall reflectirt und zwar der Grösse der Reflexion etwa proportional. Bei Platin ist ein grösserer Unterschied der Ausschläge zu beobachten als bei Aluminium; bei schiefer Incidenz, wo die scheinbare

Reflexion auch eine stärkere ist, ein grösserer als bei normaler. Ferner wächst der Unterschied stark mit dem Gasdruck in der Entladungsröhre. Wenn letzterer z. B. so geändert wurde, dass das Entladungspotential von 18000 auf 6000 Volt sank, so nahm die Differenz der Ausschläge bei Ladung des Reflectors auf + bez. - 4 Volt auf den ca. 10 fachen Betrag zu. Diese Versuche liessen ferner erkennen, dass eine Potentialdifferenz von ca. 3—4 Volt zwischen Reflector und Drahtnetz (Drahtnetz 0, Reflector + 4 Volt) den + Strom erklären würde. Wenn man nämlich den Reflector auf ca. + $2\frac{1}{2}$ Volt lud, so nahm der positive Strom bis Null ab, und wenn man ihn auf 4 Volt lud, so war der Ausschlag bereits negativ. Um den unter den gleichen Verhältnissen bei normaler Incidenz auftretenden - Strom auf Null zu bringen, war ein sehr viel grösseres negatives Aufladen (unter Umständen über 2000 Volt) erforderlich.

6. Dem entspricht die Beobachtung, dass bei normaler Incidenz der Reflector sich hoch negativ aufladet, während die + Ladung bei ganz schiefer Incidenz nur wenige Volt beträgt. Es wurden beispielsweise, wenn im Rohr ein Gasdruck von einigen Tausendstel Millimetern herrschte, und die Entladung bei einer Potentialdifferenz von 9000 Volt stattfand, folgende Potentialwerte gefunden, auf welche sich der Reflector unter verschiedenen Incidenzwinkeln lud:

Zn		Pt	
Winkel	Volt	Winkel	Volt
0°	-1400	0°	-20
10	-1200	10	-16
20	-1000	20	- 8
30	- 700	30	- 5
35	- 400	40	- 1
40	- 35	50	± 0
50	- 16,5	60	± 0
60	- 0,5	70	+ 1
70	+ 0,5		
80	+ 2,0		

Potentiale über 100 Volt wurden mit einem Braun'schen, solche unter 100 Volt mit einem Thomson'schen Quadrant-elektrometer gemessen, beide, besonders das letztere, sorgfältig elektrostatisch geschützt.

Sowohl die negative wie auch die positive Ladung ist bei Platin wesentlich geringer als bei dem weniger reflectirenden Aluminium, ein Zeichen, dass die Leitung des Gases im letzteren Falle eine geringere ist.

Die folgende Tabelle zeigt die Aufladung eines polirten Messingreflectors für senkrechte Incidenz bei verschiedenen Drucken, d. h. auch Entladungspotentialen. Bis zu einem Druck, welcher einem Entladungspotential von ca. 7000 Volt entspricht, ist die Aufladung klein, um bei weiterem Evacuiren rasch anzusteigen.

Messingreflector	
Entladungs- potential	Reflector- potential
— 6000 Volt	< — 50 Volt
7000	350
8000	800
9000	1200

7. So sehr die genannten Erscheinungen auch beim ersten Anblick für die Möglichkeit eines Volta'schen Effectes im leitenden Gas sprechen mögen, so sind doch drei gewichtige Gründe, welche eine derartige Erklärung ausschliessen:

Erstens ist eine Volta'sche Spannungsdifferenz von 3—4 Volt in hohem Grade unwahrscheinlich.

Zweitens müssten die einzelnen Metalle einen gemäss der Volta'schen Spannungsreihe verschieden starken, positiven Strom ergeben, ja bei geeigneter Wahl der Metalle müsste ein Voltaeffect einen negativen Strom in die Leitung des Galvanometers schicken. Dies ist alles nicht der Fall. Ein Reflector aus Zink gab ebensogut einen starken, positiven Effect als ein solcher aus Platin, während man bei Zink gegen das Messingdrahtnetz einen umgekehrten Strom erwarten sollte.

Verschiedene Metalle zeigen zwar, wie weiter unten dargelegt werden wird, einen verschieden grossen, positiven Effect; doch geht dies ganz und gar nicht gemäss der Spannungsreihe, vielmehr mit ihrem Reflexionsvermögen für Kathodenstrahlen, d. h. auch mit ihrer Dichte, Hand in Hand. Platin, als das schwerste der untersuchten Metalle, zeigt ihn am stärksten. Mit Aluminium und Magnesium erhält man in der Regel keinen positiven Strom mehr, sondern nur noch eine bedeutende

Schwächung des negativen, nur bei höchster Politur einen schwachen, positiven Strom. Wenn der Effect auf einer Volta'schen Spannungsdifferenz beruhte, so sollte er gar nicht oder wenigstens nur sehr schwach auftreten, wenn man innerhalb des Drahtnetzes einen Reflector aus gleichem Metall hat. Auch dieser Versuch wurde angestellt; der positive Strom zeigte sich aber in seiner ganzen, gemäss der Dichte des Reflectormetallcs zu erwartenden Stärke.

Drittens endlich wurden, um die Erklärung durch die Einwirkung des leitenden Gases vollständig auszuschliessen, Versuche mit *Lenard'schen* Strahlen angestellt, d. h. mit Kathodenstrahlen, welche durch Aluminiumfolie hindurchgegangen waren. Hierbei war es möglich, den Gasdruck in dem Raume des Reflectors beliebig zu verändern, während er im Entladungsraum constant blieb. Die Versuche, für deren Ausführung eine 20 plattige Influenzmaschine von O. Leuner, Dresden, angewandt wurde, waren recht schwierig anzustellen und es kostete bei der grossen Intensität des Entladungsstromes (ca. 0,002 Amp.) viele Mühe, ehe wir befriedigende Messungen, d. h. constante Galvanometerausschläge erhielten. Die Röhre hatte folgende Gestalt (vgl. Fig. 1):

Der Raum *A*, in welchem sich der doppelseitige Reflector befindet, ist ein 6 cm weites Glasrohr, welches seine Längsausdehnung senkrecht zur Zeichnungsebene besitzt. Einseitig ist es durch eine aufgekittete Glasplatte verschlossen, auf der anderen Seite verengt es sich und trägt den Glasschliff, mittels dessen der Reflector um Beträge gedreht werden kann, welche an einem aussen angebrachten Teilkreis abgelesen werden können. Der kurze seitliche Rohransatz *B* endigt mit einem weiteren Schliff, vermittelt dessen das Entladungsrohr *C* angesetzt werden kann. Die Aluminiumkathode ist hohlspiegelförmig; als Anode dient ein eingekittetes Messingrohrstück, dessen Verschlussplatte die 5 mm weite kreisrunde Oeffnung enthält, über welche die Aluminiumfolie (bezogen von J. Trump, Nürnberg; 0,002—0,003 mm dick und auf vollkommene Lochfreiheit mit der Lupe gegen eine mattirte helle Glühlampe geprüft) in einer Weise geklebt ist, dass sie mit dem Messingrohr elektrischen Contact hat. Dieses letztere sowohl, wie die Diaphragmen im Rohr *B* und das eng-

maschige Messingdrahtnetz, mit welchem der Raum *A* innen allseitig ausgekleidet ist, sind durch dicke Drähte zur Erde geleitet. Alle Metallverbindungen wurden durchweg gelötet, um ganz sicheren Contact zu verbürgen. Das zweite Ansatzrohr *D* enthält den für andere Versuche zu benutzenden Faradaycylinder. Bei dessen Benutzung wurde die Metallfolie entfernt und mit directen Kathodenstrahlen gearbeitet. Für die Versuche mit Lenard'schen Strahlen konnten die Räume *A* und *C* nach Belieben gemeinsam oder getrennt ausgepumpt werden.

Fig. 1.

Die Beobachtungen, die wir mit dieser Röhre anstellen konnten, zeigten mit überraschender Schärfe, dass der Druck des Gases, in welchem sich der Reflector befindet, vollkommen ohne Einfluss ist. Das Verhältniss der Reflectorströme bei zwei verschiedenen Metallen unter einem beliebigen Incidenzwinkel, oder das Verhältniss der Galvanometeraus schläge bei zwei verschiedenen Incidenzwinkeln war das nämliche, sei es, dass der Reflector sich im höchsterreichbaren Vacuum (in welchem elektrische Entladungen nicht mehr erreicht werden konnten) oder unter $\frac{1}{10}$ mm Gasdruck befand. Höher im Druck darf man nicht gehen, weil dann die Kathodenstrahlen vollkommen diffus werden, und nicht mehr alle den Reflector treffen.

Der zweite Effect war bei allen Drucken der gleiche und zwar nur sehr klein. Die Abnahme des Reflectorstromes betrug nämlich bei der grössten Neigung (ca. 85°) nur etwa 20 Proc., positiver Strom trat gar nicht mehr ein. Es liegt dies an der grossen Höhe des Entladungspotentiales, welche angewandt werden musste, um merkliche Quantitäten von Kathodenstrahlen durch das Blättchen gelangen zu lassen. Wir haben bereits erwähnt (p. 274) und kommen noch ausführlicher darauf zurück, dass Erhöhung des Entladungspotentiales durch Evacuiren eine starke Verminderung des Effectes herbeiführt; da ferner die Versuche mit den Lenardstrahlen die Unabhängigkeit vom Gasdruck gezeigt haben, so folgt hieraus, dass der verminderte Einfluss des Evacuirens der Erhöhung des Entladungspotentiales allein zuzuschreiben ist. Daher der geringe Effect bei den Lenardstrahlen.

Diese Versuche zeigen also mit aller Sicherheit, dass der zweite Effect nichts mit dem Gase zu thun hat, dass also eine Erklärung gemäss b) nicht die richtige sein kann.

8. Bleibt also nur noch der Erklärungsweisen dritte c), dass eine durch die Kathodenstrahlen erregte secundäre Emission negativer Elektricität stattfindet. Das ultraviolette Licht, welches etwa von der Entladungsröhre ausgehend durch die Diaphragmen der Anode auf den Reflector auftrifft, kann es nicht sein, weil ja mit magnetischer Ablenkung der Kathodenstrahlen der + Strom zu Null abnimmt.

Diese secundäre Emission hat auch nichts zu thun mit einer Erscheinung, welche wohl jeder, der mit Kathodenstrahlen oder Röntgenröhren gearbeitet hat, kennt, und welche von Hrn. Goldstein¹⁾ auch beschrieben worden ist. Bei hohem Vacuum sieht man nämlich an der Antikathode häufig ein Bündel Kathodenstrahlen sich ansetzen, welche in senkrechter Richtung von derselben ausgesandt werden. Diese Erscheinung tritt aber nur ein, wie wir uns des öfteren an Röhren überzeugten, in welchen dieselbe in ausgezeichneter Weise sichtbar war, wenn die Antikathode isolirt ist, und so ihr Gelegenheit geboten ist, sich infolge des Auftreffens von Kathodenstrahlen

1) E. Goldstein, Verhandl. d. Deutschen Physik. Gesellsch. 3. p. 192. 1901.

aufzuladen, sie wird dann einfach zur Kathode eines neuen Entladungsvorganges. Dass diese Erscheinung vorwiegend bei senkrechter Incidenz auftritt, gar nicht bei ganz schiefer, erklärt sich durch die auf p. 275 gezeigte Thatsache, dass unter letzterer Bedingung gar kein Aufladen zu stande kommt. Dass ferner die Ansatzstelle des vom Reflector ausgehenden Bündels immer mit der Auftreffstelle der directen Strahlen coincidirt, liegt daran, dass dort die Leitfähigkeit des Gases die grösste ist, und die secundäre Entladung deshalb an dieser Stelle einsetzt. Das Bündel ist sehr viel diffuser und stärker magnetisch ablenkbar als das directe, weil es schon wegen der Weite des Gefässes, in welchem sich in der Regel der Reflector befindet, unter einem viel geringeren Entladungspotential entsteht.

Die dritte Erklärungsweise, d. h. das Vorhandensein einer Emission neuer Strahlung, direct zu beweisen, ist uns nicht gelungen. Es war uns nicht möglich, die emittirten von den reflectirten Strahlen zu trennen. Im Folgenden sollen Versuche mitgeteilt werden, welche zur Aufklärung unternommen wurden.

9. Die Abnahme des negativen Reflectorstromes mit wachsendem Einfallswinkel der auftreffenden Kathodenstrahlen ist um so grösser, je niedriger das Entladungspotential ist, unter welchem letztere entstehen. Das Verhältniss $\frac{+ \text{Strom bei } 85^\circ}{- \text{Strom bei } 0^\circ}$ wurde bei einer gut polirten Kupferplatte gefunden = 1,25 bei 5000 Volt, = 0,64 bei 8700 Volt. Der Neigungswinkel, bei welchem das Galvanometer stromlos, d. h. die Summe der Verluste des Reflectors an negativer Elektrizität durch Reflexion und durch die Emission gleich der auffallenden Menge war, änderte sich dementsprechend auch mit dem Entladungspotential, indem der Strom Null bei um so schieferer Incidenz erst erreicht wurde, je höher das letztere war. So trat der Strom Null bei derselben hoch polirten Kupferplatte

bei	3500 Volt	unter	68°
„	5000	„	70
„	8700	„	76
„	10000	„	78

Incidenz ein.

Nachstehend (Fig. 2) ist die Abhängigkeit des Reflectorstromes von der Neigung für die Kupferplatte bei den Ent-

ladungspotentialen 5000 Volt und 8700 Volt in Curven wiedergegeben. Abscissen sind die Neigungswinkel, Ordinaten der Scalenausschlag des Galvanometers. Die Aenderung des Ent-

Fig. 2.

ladungspotentialen und damit der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen wurde durch Veränderung des Gasdruckes bewerkstelligt. Letztere ist als solche allein ja, wie die beschriebenen

Versuche mit Lenard'schen Strahlen zeigten, ohne Einfluss. Wir haben also bisher das Resultat, dass der positive Effect mit der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen abnimmt, mit dem Incidenzwinkel zunimmt.

10. Auf die Grösse des positiven Stromes stark einwirkend ist das Material des Reflectormetall. Man kann hier den Satz aussprechen, dass die positive Wirkung um so stärker hervortritt, je schwerer die Reflectorsubstanz ist. Platin zeigt bei 9000 Volt bereits für 62° Incidenz einen Effect, der das Galvanometer stromlos macht, während bei Kupfer unter gleichen Verhältnissen dies erst bei 76° eintritt. Mit Aluminium trat Stromlosigkeit bei diesem Entladungspotential erst bei 81° ein. Die in der Figur für Pt, Cu und Al gezeichneten Curven lassen die besprochene Wirkung der Dichte des Reflectormetall erkennen. Man kann indessen noch nicht hieraus schliessen, dass die Stärke des zu der gewöhnlichen Reflexion hinzutretenden zweiten Effectes von Metall zu Metall eine sehr verschiedene sei. Vielmehr zeigen die Curven eine ungefähr gleiche Abnahme der Ordinate für einen gewissen Winkelbetrag. Der positive Strom tritt nur eher und stärker bei dem specifisch schwereren Metall ein, weil bei diesem der negative Strom bei senkrechter Incidenz wegen der grösseren Reflexion schwächer ist.

11. Von grossem Einflusse ist der Grad der Politur des Metalles, indem der positive Effect mit der Güte der Politur stark zunimmt. Mit einer Kupferplatte, deren eine Seite höchst polirt, deren andere Seite mit Smirgelpapier geraut war, konnte schnell nacheinander unter sonst gleichen Bedingungen die Wirkung an den beiden Flächen verglichen werden. Während die polirte Seite einen positiven Strom ergab, der bei 85° Incidenz grösser war als der negative Strom bei normaler Incidenz, zeigte die rauhe Fläche überhaupt keinen + Strom, der Galvanometerausschlag blieb negativ.

12. Da der Reflector bei allen Versuchen zur Erde abgeleitet war, so vermuteten wir, es werde die von ihm emittirte Strahlung von ganz geringer Geschwindigkeit sein, ähnlich der von Lenard gefundenen, bei ultravioletter Belichtung ausgesandten Strahlung. Es wurde deswegen versucht, die emittirten von den eine Geschwindigkeit gleicher Grössenord-

nung beibehaltenden reflectirten¹⁾ Strahlen durch magnetische Ablenkung zu trennen, und zwar auf folgende Weise: An das Glasgefäss, in welchem sich der drehbare Reflector befand, war ausser dem Entladungsrohr unter 60° gegen dieses geneigt noch ein zweites Rohr angeblasen (vgl. Fig. 1 auf p. 278). In dieses wurde ein sogenannter Faraday'scher Cylinder eingesetzt, bestehend aus einem äusseren, als elektrostatischer Schutz dienenden Metallrohr mit Diaphragma und einem inneren, einseitig geschlossenen Rohrstück, welches durch das Galvanometer abgeleitet wurde. Die Entfernung zwischen dem Ende des Faraday'schen Cylinders und dem Reflector betrug 4 cm. In der Mitte befand sich noch ein zweites Diaphragma. Das 4 mm weite Diaphragma wurde, um ja jede Art Leitung auszuschliessen, mit engmaschigem Drahtnetz überzogen. Sobald Kathodenstrahlen, von der 20 plattigen Influenzmaschine erzeugt, auf den Reflector trafen, zeigte das Galvanometer Strom an, der bei Ablenkung der Strahlen im Entladungsrohr, sowie bei Drehen des Reflectors in eine Stellung, in welcher der Faradaycylinder nicht in der über der reflectirenden Fläche liegenden Halbkugel lag, aufhörte.

Wenn sehr langsame, d. h. sehr leicht magnetisch ablenkbare Strahlen ausser den reflectirten in den Faradaycylinder gelangten, so müsste bei Annäherung eines Magneten der Strom im Galvanometer geschwächt werden. Dies war nicht der Fall, oder vielmehr erst dann, wenn auch die reflectirten Strahlen abgelenkt wurden; dann fiel der Strom plötzlich auf Null. Langsame Strahlen gingen also in diesem Falle nicht mit in den Cylinder. Dies kann daran liegen, dass entweder 1. die secundär emittirten Strahlen nicht langsame sind, sondern eine Schnelligkeit gleicher Grössenordnung wie die reflectirten haben, oder dass 2. die emittirten langsamen Strahlen gleich in der Nähe des Reflectors absorbiert werden (dieser Fall würde etwa dem Hallwachseffect bei grösserem Gasdruck entsprechen), oder dass endlich 3. die emittirten Strahlen in einer solchen Richtung ausgehen, dass sie gar nicht in den Faradaycylinder gelangen können.

1) E. Gehreke, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 20. April 1901.

13. Um hier eine Entscheidung näher zu rücken, wurde folgender Versuch unternommen, welcher die Erklärung 2. ausschliesst. Es wurden die beiden Seiten des drehbaren Reflectors aus je einer polirten Kupferplatte gebildet; die eine derselben wurde mit einer Halbkugel aus feinem Messingdrahtnetz umgeben, welche einen Schlitz hatte, sodass die ankommenden directen Kathodenstrahlen das Netz nicht trafen. Es wurden jetzt durch Drehen des Reflectors um 180° verglichen die Mengen, welche den beiden Seiten durch Reflexion verloren gehen. Nimmt man für die blanke Kupferfläche diesen Verlust als ca. 50 Proc. an (vgl. p. 288), so berechnete sich aus den beobachteten Reflectorströmen der Verlust für die drahtnetzgeschützte Fläche zu ca. 35 Proc., d. h. um etwa $\frac{1}{3}$ geringer. Dies entspricht genau dem aus der Drahtdicke und Maschenweite des Netzes vorausgesehenen Verlust, das Netz fängt $\frac{1}{3}$ der reflectirten Strahlen wieder auf. Genau das Gleiche zeigte sich für schiefe Incidenz. Bei 80° Neigung zeigte die blanke Kupferfläche einen + Strom gleich dem negativen Strome bei normaler Incidenz. Sei 100 die auffallende Menge elektrisch gemessener Kathodenstrahlen, so wird die Menge 50 bei normaler Incidenz und, wie wir Grund haben anzunehmen (vgl. weiter unten), nicht viel mehr bei schiefer Incidenz reflectirt. Existirt bei schiefem Einfallswinkel ein + Strom gleicher Stärke wie – Strom bei senkrechtem Auftreffen, so heisst dies dann, dass ca. 50 Teile reflectirt und ca. 100 Teile emittirt werden, d. h. dass von der Kupferfläche 150 Teile ausgestrahlt werden. Von diesen 150 Theilen muss $\frac{1}{3}$, d. h. 50 Teile vom Drahtnetz, zurückgehalten werden, falls nur die aus den geometrischen Dimensionen berechnete Wirkung des Drahtnetzes stattfindet. In diesem Falle muss also die geschützte Kupferfläche durch das Drahtnetz hindurch 100 Teile emittiren, d. h. ebensoviel als auffällt, das Galvanometer muss stromlos werden. Falls dagegen die 100 emittirten Teile innerhalb des Drahtnetzes vom Gase absorbirt werden, so muss ihre Electricität dem Reflector erhalten und ein negativer Strom von $100 - (50 - \frac{50}{3}) = \text{ca. } 65 \text{ Theilen} = (\text{auffallende} - (\text{reflectirte} - \text{vom Drahtnetz zurückgehaltene}) \text{ Menge})$ bestehen bleiben. Der ausgeführte Versuch zeigte, dass ersteres der Fall ist. Es folgt aus dem Experimente, dass die emittirten Strahlen jedenfalls

nicht nahe dem Reflector absorbiert werden, und dass auch wohl nicht ein dem Hallwachseffect ähnlicher Vorgang stattfindet.

14. Es bleibt von allen Erklärungen demgemäss nur die eine übrig, dass der Reflector bei dem Auftreffen von Kathodenstrahlen zu einem Emissionscentrum neuer Strahlen wird, welche eine Geschwindigkeit gleicher Grössenordnung haben wie die auftreffenden. Diese Emission findet, wie bisher gezeigt, in stärkerem Maasse bei grösserem Einfallswinkel statt, und wenn die directen Kathodenstrahlen bei einem niedrigen Entladungspotential entstehen; sie macht sich ferner bei den specifisch schweren Metallen besonders bemerkbar.

15. Von Interesse mögen einige Beobachtungen der Fluorescenzhelligkeit an einer den Reflector gleichmässig umgebenden Glaswand sein. Die Beobachtungen sind nur ganz qualitativer Art. Entladungspotential war 10000 Volt. Bei normaler Incidenz nahm die Helligkeit gleichmässig mit zunehmendem Reflexionswinkel ab. (Seitz¹⁾ giebt hierfür das cos-Gesetz aus elektrischen Messungen an.) Wenn der Einfallswinkel 45° betrug, war die Helligkeitsverteilung eine nahezu gleichförmige. Wenn der Reflector dagegen auf 80° Incidenzwinkel gedreht wurde, so nahm die Helligkeit der Fluorescenz mit wachsendem Reflexionswinkel zu und war eine ausserordentlich grosse nahe der Stelle, an welcher die Reflector-ebene die Glaswand schnitt, und wo auch jede Fluorescenz plötzlich aufhörte. Die Glaswand zeigt dort ein helles diffuses Leuchten. Je schiefer die Incidenz, um so grösser ist die Helligkeit der Fluorescenz. Wir vermuten, dass die Reflexion sich nicht stark mit dem Einfallswinkel ändert, und dass die Zunahme der Fluorescenzhelligkeit den neu emittirten Strahlen zuzuschreiben ist. Beides, Helligkeitszunahme und Emission, findet besonders bei grossen Einfallswinkeln statt.

16. Von allergrösstem Interesse ist die Frage: Findet auch bei normaler Incidenz ein derartiger positiver Effect, eine solche Emission in bemerkbarer Weise statt? Die Beantwortung dieser Frage ist deshalb so ungemein wichtig, weil im Falle ihrer Bejahung die sämtlichen bisherigen Reflexionsmessungen wertlos sein würden, und nicht nur diese, sondern

1) W. Seitz, Habilitationsschrift, Würzburg 1901.

überhaupt jede Messung, bei welcher eine Kathodenstrahlenintensität galvanometrisch gemessen wurde. Dies gälte beispielsweise auch für die bolometrischen Messungen von W. Cady¹⁾ über die Energie der Kathodenstrahlen. Wir sind in der erfreulichen Lage, mit aller positiver Bestimmtheit aussagen zu können, dass der genannte Effect bei senkrechter Incidenz der Kathodenstrahlen niemals stattfindet, zum wenigsten nicht in einem bemerkbaren Grade. Es ist dies wohl das bemerkenswerteste und merkwürdigste Resultat der vorliegenden Arbeit.

17. Im Folgenden teilen wir die diese Behauptung bekräftigenden Beobachtungen mit:

I. Erstens müssen schon die früheren Beobachtungen des einen von uns als wesentlich mit zum Beweis beiträgend angesehen werden. Dieselben haben nach zwei durchaus verschiedenen Methoden stets denselben Wert für die Grösse der Reflexion bei normaler Incidenz gegeben. Dies wäre bei Vorhandensein des so veränderlichen positiven Effectes gar nicht möglich gewesen.

II. Das Verhältniss der Reflexionsvermögen zweier Metalle für normale Incidenz wurde, wie auch früher der eine von uns bereits fand, als unabhängig gefunden von dem Entladungspotential, bei welchem die Kathodenstrahlen entstehen, und zwar diesmal in den erweiterten Grenzen von 3000 bis 30000 Volt. Bei einem Incidenzwinkel von 50° verändert sich dagegen das Verhältniss der Reflectorströme $\frac{\text{Aluminium}}{\text{Platin}}$ von 10:1 bei 4000 Volt zu 3:1 bei 18000 Volt Entladungspotential, und diese Veränderlichkeit nimmt mit der Schiefe der Incidenz zu.

III. Die Grösse der Reflexion bei senkrechter Incidenz ist unabhängig von der Güte der Politur der reflectirenden Fläche, indem ein hochpolirter Metallspiegel dieselbe Reflexion zeigt, wie eine grob gesmirlte Fläche.²⁾ Bei einem schiefen Einfallswinkel spielt die Beschaffenheit der Oberfläche eine grosse Rolle. Während eine spiegelnde Kupferfläche einen + Strom gleich dem – Strom bei senkrechter Incidenz lieferte, zeigte unter sonst gleichen Bedingungen eine matt gesmirlte Fläche noch negativen Strom. Grosse positive Ströme lassen sich überhaupt nur mit frisch geputzten Metallflächen erreichen.

1) W. Cady, Ann. d. Phys. 1. p. 678. 1900.

2) Vgl. H. Starke, Wied. Ann. 66. p. 56. 1898.

Nach einigem Gebrauch nimmt der positive Effect ab und kann auch ganz verschwinden.

IV. Das Verhältniß der Reflexionsvermögen zweier Metalle ergibt sich nur bei senkrechter Incidenz als genau der gleiche, vom Entladungspotential unabhängige Wert, sei es, dass es gemessen ist, aus dem Verhältniß der in einen Faraday'schen Cylinder reflectirten Elektricitätsmengen, oder aus den durch Ableitung des Reflectors durch ein Galvanometer erhaltenen Strömen. Sobald schiefe Incidenz stattfindet, sind die nach beiden Methoden erhaltenen Werte ganz verschiedene. Bei der Messung mittels des Reflectorstromes tritt jetzt der ganze positive Effect in die Messung ein. Für das Verhältniß $Ag:Al$ ergab sich aus den Reflectorströmen bei normaler Incidenz beispielsweise das Verhältniß 2:1 unabhängig vom Druck. Bei schiefer Incidenz lässt sich dies Verhältniß, das sich mit dem Gasdruck jetzt stark ändert, gar nicht mehr bilden, weil bei einem gewissen Winkel z. B. das eine Metall bereits + Strom, das andere noch – Strom zeigt. Das Verhältniß der gleichzeitig im Faradaycylinder gemessenen Ströme änderte sich von dem dem obigen gleichen Wert 2:1 bei normaler Incidenz zu 1,3:1 bei 50° Incidenz. Ersterer Wert unabhängig vom Druck, letzterer Wert sich mit ihm verändernd, jedoch nicht sehr stark, von 1,3 bei 5000 Volt bis etwa 1,5 bei 12 000 Volt Entladungspotential. Diese, wenn auch nicht sehr bedeutenden Veränderungen lassen erkennen, dass etwas von der den positiven Effect bewirkenden secundären Emission in den Cylinder gelangt ist, was die Versuche mit der magnetischen Ablenkung nicht erkennen liessen. Es zeigt dies, dass die in den Cylinder gelangenden emittirten Strahlen eine Geschwindigkeit von der Grössenordnung derjenigen der reflectirten, d. h. auch der primären Kathodenstrahlen besitzen müssen, d. i. die unter 1. ausgesprochene Vermutung von p. 283; und dass wohl auch wegen der Kleinheit der Aenderung die eben dort unter 3. ausgesprochene Ansicht teilweise richtig ist, wofür ja auch die Beobachtung mit der Fluorescenz (p. 285) spricht.

V. Die im Folgenden mitgeteilte Messung ist nur eine Erweiterung des unter II. Gesagten. Wenn das Verhältniß der Reflexionen zweier Metalle bei senkrechter Incidenz unab-

hängig ist vom Entladungspotential, so gilt dies noch nicht ohne weiteres von den absoluten Reflexionen selbst. Die Reflexionsvermögen könnten sich ja in proportionaler Weise ändern. Um dies zu prüfen, wurde ein Metallkörper hergestellt, der einerseits eine blanke Kupferfläche, andererseits einen kleinen Faraday'schen Cylinder besass. Durch Drehung um 180° konnte die Stellung der beiden vertauscht und auf diese Weise unmittelbar hintereinander die vom Faradaycylinder aufgenommene Gesamtmenge Q mit der vom Kupfer absorbirten Menge (d. h. Gesamtmenge Q — reflectirter Menge kQ) verglichen, d. h. die Reflexion an der Kupferfläche direct bestimmt werden. Bei normaler Incidenz ergab sich das Verhältniss der Galvanometerströme $Q(1-k)/Q = (1-k)$ als

$1 - k$		k
0,50	bei 7 000 Volt	0,50
0,49	„ 12 000 „	0,51
0,53	„ 18 000 „	0,47
0,51	„ 25 000 „	0,49

Die Zahlen zeigen die Unveränderlichkeit von k mit dem Entladungspotential. Dass k nicht den früher gefundenen Wert 0,45 hat, ist der Unterlassung der Correctionen zuzuschreiben, welche wegen des Verlustes durch das Diaphragma im Faradaycylinder, sowie wegen doppelter Reflexion nötig sind.

VI. Bei senkrechter Incidenz ist der Reflectorstrom stets ein constanter Bruchtheil der pro Secunde auffallenden Gesamtmenge, wie gross dieselbe auch sein mag; d. h. der Quotient

$$\frac{Q(1-k)}{Q} = 1 - k,$$

also auch k selbst, ist unabhängig von der Intensität Q des auffallenden Kathodenstromes. Dies ist für schiefe Incidenz nicht mehr der Fall. Hier kann es sogar eintreten, dass bei einfallenden intensiven Kathodenstrahlen der Reflectorstrom bereits positiv ist, während er für ein schwaches einfallendes Bündel *et. par.* noch negativ ist. Solche Beobachtungen wurden in gleicher Weise wie die sub V. angegebenen gemacht. Einige Zahlen seien angegeben: Q ist der mit dem Faradaycylinder, J der bei 75° Incidenz mit dem Kupferreflector ge-

gemessene Strom; beide Ströme in Scalenteilen des Galvanometers. Ein Scalenteil gleich ca. $7 \cdot 10^{-10}$ Amp. Entladungspotential 6000 Volt.

Q	J
- 210	+ 130
- 120	+ 62
- 50	+ 8
- 40	- 4

Die Tabelle zeigt, wie mit wachsender Intensität des Kathodenstromes auch der positive Strom wächst, aber durchaus nicht proportional, indem bei $Q = 40$ Sct. J bereits aufhört positiv zu sein. Bei senkrechter Incidenz ist dagegen das Verhältnis $Q:J$ durchaus constant und zwar ca. 2:1, wie folgende Tabelle zeigt.

Senkrechte Incidenz. Entladungspotential 6500 Volt.

Q	J
- 225	- 110
- 100	- 50
- 60	- 30
- 30	- 16

(Anmerkung. Wie sich bei ein und demselben Metall der positive Effect bei verschiedenen Entladungspotentialen verhält, kann man daher nur bei angenähert gleichen bei senkrechter Incidenz gemessenen Stromstärken untersuchen. So ist es bei den beiden Kupfercurven auf p. 281 geschehen. Ueberhaupt gestalten sich bei schiefer Incidenz die quantitativen Verhältnisse bei verschiedenen Kathodenstrahlintensitäten verschieden, ohne hingegen ihren qualitativen Charakter, wie er im bisherigen beschrieben ist, zu ändern.)

18. Die sub I. bis VI. angegebenen Beobachtungen lassen sich kurz dahin zusammenfassen: Wir haben bei dem Auftreffen von Kathodenstrahlen auf ein Metallblech zwei Vorgänge vor uns, eine Reflexion und eine Emission. Bei senkrechter Incidenz sind beide unabhängig von der Intensität und von der Geschwindigkeit der Strahlen, von der Politur des

Metallbleches und anderen mehr. Bei schiefer Incidenz sind beide oder ist einer von ihnen von genannten Factoren abhängig.

Zwei ihrer Natur nach verschiedene Vorgänge müssen sich hiernach bezüglich des Incidenzwinkels gleich verhalten, indem beide bei senkrechtem Einfall der Kathodenstrahlen sich als in hohem Grade von äusseren Versuchsbedingungen unabhängig erweisen. Uns scheint daher erst der Specialfall dieser allgemeinen Folgerung Bedeutung zu haben, dass bei allen Incidenzwinkeln der eine Vorgang (wir bezeichnen ihn mit Reflexion), unabhängig von Politur etc., der andere Vorgang (die Emission), davon abhängig ist. Dann muss dieser letztere für senkrechte Incidenz verschwinden. Dafür sprechen auch schon in hohem Grade die Beobachtungen, welche auf p. 281 in Curven wiedergegeben sind, dass der positive Effect mit wachsendem Incidenzwinkel immer stärker hervortritt, bei senkrechter Incidenz niemals ein positiver Strom beobachtet wird, sondern immer ein negativer Strom, der (vgl. VI.) unter allen Umständen ein constanter Bruchtheil der pro Secunde auffallenden Elektrizitätsmenge ist, welches auch Entladungspotential, Politur, Intensität des auffallenden Kathodenstromes sein mag.

Der, wie wir meinen, einzig mögliche Schluss ¹⁾ aus den sub I. bis VI. gegebenen Beobachtungen ist also der, dass bei senkrechter Incidenz eine reine Reflexion stattfindet, ohne sich darüber lagernde Emission. Je mehr man die Reflectorfläche gegen das einfallende Bündel neigt, um so mehr tritt eine mit den äusseren Versuchsbedingungen sehr variable secundäre Emission hinzu. Die Emission ist also jedenfalls eine Function des Einfallswinkels. Ob mit einer Aenderung desselben auch die Grösse der Reflexion sich ändert, diese Frage kann aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial gar nicht beantwortet werden. Da die Grösse der Reflexion bei senkrechter Incidenz sich mit Entladungspotential und Intensität der directen Strahlen nicht ändert, andererseits aber (vgl. p. 279) die Versuche mit den wenig intensiven Strahlen hohen Entladungspotentiales

1) Vgl. die „kritischen Bemerkungen“ des Hrn. J. Stark zu unserer ersten Mitteilung, sowie unsere Antwort auf dieselben. Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 4. p. 167 u. 212. 1902.

(Lenardstrahlen) zeigten, dass nur eine geringe Abnahme (10—20 Proc.) im Reflectorstrom bei Verändern der Reflector-
neigung von $0-85^{\circ}$ eintritt, so glauben wir, ein gleiches Verhalten auch bei der Reflexion überhaupt annehmen, demnach auf eine Unabhängigkeit oder wenigstens nur geringe Aenderung der *Reflexion* mit dem Einfallswinkel schliessen zu können. Indessen kann dies nur mit aller Vorsicht ausgesprochen werden.

Resultate.

Wenn wir die Ergebnisse vorliegender Untersuchung zusammenfassen, so ergeben sich folgende Resultate:

I. Bei dem Auftreffen von Kathodenstrahlen auf ein Metallblech erhält man unter gewissen Umständen positive Elektrizität auf demselben. Dies zeigt, dass ausser dem gewöhnlichen Reflexionsvorgang noch eine weitere Abgabe negativer Elektrizität stattfindet.

II. Die Abgabe negativer Elektrizität ist Folge einer secundären Emission negativ geladener Teilchen, deren Geschwindigkeit von derselben Grössenordnung wie diejenige der auftreffenden Kathodenstrahlen ist.

III. Diese Emission nimmt mit der Geschwindigkeit der auftreffenden Kathodenstrahlen ab, mit deren Intensität zu, ist aber unabhängig vom Gasdruck.

IV. Die Emission wird um so grösser, je besser die Politur, und giebt sich um so mehr durch Eintreten eines positiven Reflectorstromes zu erkennen, je grösser die Dichte des Reflectormetalles ist.

V. Die Emission ist um so grösser, je schiefer die Incidenz der auftreffenden Kathodenstrahlen ist, *und verschwindet vollständig bei senkrechtem Einfall.*

VI. Bei senkrechter Incidenz haben wir mithin den reinen Vorgang diffuser Reflexion vor uns. Dieselbe ist unabhängig vom Gasdruck, von der Intensität der Kathodenstrahlen, sowie vom Entladungspotential. Letzteres ist innerhalb der Grenzen 3000—30000 Volt bestimmt. Auch eine Unabhängigkeit des Reflexionsvermögens von der Neigung der einfallenden Strahlen scheint uns wahrscheinlich.

VII. Die bei normaler Incidenz früher bestimmten Zahlen behalten ihre Bedeutung als Reflexionscoefficienten demnach

bei. Diese Coefficienten sind für eine Anzahl weiterer Metalle für normale Incidenz durch Vergleichung mit Kupfer bestimmt worden. Dieselben seien zum Schluss hier angegeben:

	Dichtigkeit	Reflexion in Proc.
Pt	21,5	72
Pb	11,3	63
Ag	10,5	59
Bi	9,9	58
Ni	8,9	48
Cu	8,5	45
Messing	8,1	43
Fe	7,7	40
Zn	7,1	40
Al	2,6	25
Mg	1,7	25

Die Zahlen zeigen, dass das Reflexionsvermögen mit der Dichte wächst, ohne dass jedoch ein bestimmtes Gesetz festzustellen wäre.

Berlin, Physik. Institut der Universität.

(Eingegangen 7. Juli 1902.)