Über den Austritt negativer Ionen aus glühenden Metallverbindungen und damit zusammenhängende Erscheinungen.[1]

Von A. Wehnelt.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingegangen am 18. Dezember 1903.

In zwei früheren Mitteilungen[2]) habe ich die Eigenschaften der sehr weichen Kathodenstrahlen besprochen, welche an glühenden Elektroden auftreten. In der vorliegenden Notiz soll die Erzeugungsart dieser Strahlen mitgeteilt und vor allem die Abhängigkeit der aus glühenden Elektroden austretenden Elektrizitätsmengen von der Temperatur behandelt werden.

Erhitzt man einen sorgfältig mit HNO_3 und destilliertem Wasser (nicht mit Alkalien) gereinigten und im Gebläse ausgeglühten Platindraht im Vakuum, so tritt, wie Cunningham[3]) gezeigt, bei Temperaturen über 1500° C. ein starkes Sinken des Kathodenfalles ein. Ist der Draht nicht sehr sorgfältig gereinigt, so tritt nach meinen Versuchen häufig bereits bei Temperaturen von ca. 800° C. ein starkes Sinken des Kathodenfalles ein, wobei von einer oder mehr Stellen des Drahtes die bereits von mir behandelten weichen Kathodenstrahlen ausgehen.

---

[1]) Auszug aus einer später in den Annalen der Physik erscheinenden Arbeit.

[2]) A. Wehnelt, Verhandl. d. D. physik. Ges. V, p. 255—258, und p. 423—426, 1903.

[3]) Cunningham, Phil. Mag. 4 (Serie 6), p. 684—703, 1902.

Ich habe geprüft, durch welche Körper dieser anormal niedrige Kathodenfall hervorgerufen wird, und gefunden, daß eine ganze Reihe von Metallverbindungen in dieser Beziehung wirksam sind. Die Metalle wurden meist als Oxyde, entstanden durch Erhitzung der Nitrate auf einem 0,5 mm starken Platindraht, häufig jedoch auch als Chloride, Hydroxyde, Sulfate und Fluoride untersucht, wobei zunächst noch dahingestellt sein mag, ob nicht in einzelnen Fällen die auf den Draht aufgetragenen Verbindungen sich bei der hohen Temperatur in Oxyde verwandeln.

In der ersten Spalte der Tabelle I stehen diejenigen Metalle, bei deren Verbindungen ich bisher eine Erniedrigung des Kathodenfalles unterhalb von 1000° C. wahrnehmen konnte, in der zweiten Spalte diejenigen, bei denen ich bisher nicht mit Sicherheit ein Sinken des Kathodenfalles bei der gleichen Temperatur beobachten konnte.

Der Platindraht, auf den die zu untersuchenden Metallverbindungen aufgetragen waren, wurde durch einige Akkumulatoren zur Glut gebracht. Die Bestimmung der Temperatur dieses Drahtes geschah durch Bestimmung seines Widerstandes aus einer Strom- und Spannungsmessung. Die Stärke des Heizstromes wurde mit einem Präzisionsamperemeter gemessen. Die Spannung wurde nicht an den Enden des Drahtes gemessen, sondern zwischen zwei hinreichend von den Enden entfernten Punkten, an denen sicher die Maximaltemperatur herrschte, da ich mich durch Versuche überzeugt hatte, daß durch Nichtberücksichtigung der Abkühlung der Drahtenden durch die starken Zuleitungsdrähte bei höheren Temperaturen Fehler von mehreren 100° C. entstehen können. Die Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur des benutzten Drahtes wurde in einem elektrischen Ofen bis 1200° C. festgestellt. Die Temperaturen wurden so bis auf ca. 10° genau bestimmt. Wurde ein und derselbe Draht sehr viel benutzt, so änderte sich sein Querschnitt infolge von Zerstäubung und dadurch auch die ursprüngliche Aichung, es mußte daher von Zeit zu Zeit ein neuer Draht benutzt werden. Bemerkt sei noch, daß bei einem Draht, der während 3 Wochen fortdauernd zu Versuchen gedient hatte, bei einer Nachprüfung sich ein Fehler von noch nicht 100° ergab.

Tabelle I.

Anormal niedrigen Kathodenfall zeigten unter 1000° C.	Keine wesentliche Änderung des normalen Kathodenfalles unter 1000° C. zeigten
A. Alkalimetalle:	
Kalium	Lithium
Natrium	
B. Erdalkalimetalle:	
Calcium	
Baryum	
Strontium	
C. Magnesiumgruppe:	
Magnesium	Zink
	Kadmium
	Quecksilber
D. Erdmetalle:	
Aluminium	Thallium
Lanthan	Zirkon
Yttrium	Cer
	Thor
E. Eisengruppe:	
Mangan	Eisen
	Nickel
	Kobalt
	Chrom
	Uran
F. Zinngruppe:	
	Blei
	Silber
	Kupfer.

Eine eingehendere Untersuchung der verschiedensten Verbindungen der einzelnen Metalle, die ich in Kürze veröffentlichen werde, dürfte die Zahl der Metalle, die in ihren Verbindungen einen so anormal niedrigen Kathodenfall besitzen, noch erhöhen.

Beziehung zwischen Kathodenfall einerseits, Stromstärke, Temperatur und Druck andererseits.

Die für die Beziehungen zwischen diesen Größen erhaltenen Resultate seien hier nur für Calcium- und Baryumoxyd mitgeteilt, bei anderen Substanzen sind sie ganz analog.

Zu den Versuchen wurde der mit dem zu untersuchenden Oxyde überzogene Platindraht als Kathode in ein Entladungs-

rohr gebracht. Eine Sonde, verbunden mit einem Warburgschen Elektrometer, gestattete den Kathodenfall zu messen. Als Stromquelle diente eine Hochspannungsbatterie. Zum Erhitzen des Drahtes diente eine Akkumulatorenbatterie. Die Temperatur des Drahtes wurde, wie erwähnt, aus dem Widerstande desselben ermittelt.

Aus den gefundenen Zahlen und den nach ihnen konstruierten Kurven ergeben sich folgende Resultate.

1. Steigert man bei einer konstanten über 600° C. liegenden Temperatur der mit Metalloxyd bedeckten Drahtkathode die Stromstärke, so ist bis zu einer für jede Temperatur bestimmten Stromstärke der Kathodenfall sehr klein (1—2 Volt). Nach Überschreitung dieser Stromstärke wächst der Kathodenfall schnell an, wobei starke Kathodenstrahlen nach allen Seiten hin ausgesandt werden.

Wir haben es hier wohl mit derselben Erscheinung zu tun wie bei einer gewöhnlichen kalten Metallkathode. Bis zur völligen Bedeckung mit Glimmlicht bleibt der Kathodenfall normal, um dann schnell anzusteigen. Bei der großen Helligkeit des glühenden Drahtes war bisher nicht mit Sicherheit festzustellen, ob tatsächlich der völligen Bedeckung mit Glimmlicht das starke Ansteigen des Kathodenfalles entspricht.

2. Je höher die Temperatur des Metalloxydes ist, um so größer ist die Stromstärke, bei der der Kathodenfall zu wachsen beginnt. Die Stromdichte, d. h. die pro cm^2 glühender Oberfläche hindurchgehende Strommenge, kann bei Temperaturen von 1200° bis zu einigen Ampere betragen, so daß man imstande ist, bei Benutzung glühender Metalloxydkathoden von einigen cm^2 Oberfläche bei sehr niedrigen Potentialen (30 bis 40 Volt) sehr starke Ströme durch Entladungsröhren zu senden.

Da nach Nernst[1]) die reinen Metalloxyde ein außerordentlich geringes Leitvermögen besitzen, so muß es auf den ersten Blick überraschen, daß man so große Stromstärken bei so niedrigen Potentialen durch die Oxyde senden kann. Eine einfache Überlegung zeigt jedoch, daß die Leitfähigkeit keineswegs groß zu sein braucht und es in der Tat auch nicht ist, denn wir haben es ja mit sehr dünnen Schichten zu tun.

---

[1]) W. Nernst u. Reynolds, Göttinger Anzeigen, p. 328—330, 1900.

Bei den glühenden Metalloxyden ist aus mehrfachen Gründen, worauf mich Herr Professor E. Wiedemann aufmerksam machte, zunächst zweifelhaft, ob die Leitung eine rein elektrolytische ist, oder ob sich zu dieser eine metallische Leitung gesellt.

Gegen eine rein elektrolytische Leitung spricht, daß bei Stromdurchgang keine bemerkenswerte Drucksteigerung stattfindet, die auf eine starke Gasentwicklung schließen ließe, trotzdem bei einer Stromstärke von 1 Ampere doch pro Sekunde 0,058 ccm Sauerstoff bei 0° und 760 mm Druck ausgeschieden werden müßten, die in dem ca. 200 cm^3 fassenden evakuierten Raume eine sekundliche Drucksteigerung von 0,22 mm Hg hervorrufen müßten. Die Substanzmengen sind überhaupt so gering, daß die gesamte Menge (pro cm^2 nur 0,5 mg) bei 1 Ampere Stromdichte in einer Zeit von 2 Sekunden zersetzt sein müßte. Bisher war aber irgend ein Verlust an Metalloxyd selbst bei langdauerndem Durchleiten starker Ströme nicht zu bemerken[1]).

3. Ändert man bei konstanter Temperatur den Druck, so nimmt die Stromstärke, bei der der starke Anstieg des Kathodenfalles eintritt, in dem bisher untersuchten Druckbereich mit wachsendem Druck ein wenig ab.

4. Der Anodenfall wird durch glühende Metalloxyde nicht wesentlich herabgesetzt. Mit steigender Temperatur sinkt er nur wenig. Es stimmt dies mit der Tatsache überein, daß auch bei gewöhnlichen Metallelektroden ein Erhitzen der Anode keinen Einfluß auf das Entladungspotential hat.

Aussendung negativer Ionen durch glühende Metalloxyde.

Die Fähigkeit der untersuchten Metalloxyde, so hohe Stromdichten an der Kathode bei ganz niedrigem Kathodenfall hindurchzulassen, weist darauf hin, daß ein starker Austritt negativer Ionen aus glühenden Metalloxyden stattfindet.

Um dies zu prüfen, bestimmte ich die Sättigungsstromstärken bei nicht leuchtender Entladung. Zu diesem Zwecke benutzte ich ein Rohr, in welchem sich ein mit CaO über-

---

[1]) Herr Prof. Wiedemann hofft zusammen mit mir in Kürze entscheidende Versuche über diesen Gegenstand mitteilen zu können.

zogener Platindraht in der Achse eines Aluminiumzylinders befand, der durch ein Galvanometer zur Erde abgeleitet war. Die den Draht erhitzende Stromquelle war isoliert aufgestellt, so daß er auf beliebige Potentiale geladen werden konnte.

Bei diesen Messungen mußten besondere Kunstgriffe angewandt, vor allem plötzliche Stromunterbrechungen vermieden werden, um das Einsetzen einer leuchtenden Entladung hintanzuhalten, denn dann kommt zu der dem Sättigungsstrom entsprechenden selbständigen Leitung noch eine unselbständige, welche weit größeren bewegten Elektrizitätsmengen entspricht und mit dem Auftreten von Kathodenstrahlen verknüpft ist.

Aus den erhaltenen Sättigungsstromstärken berechnete ich nach bekannter Methode die pro Flächeneinheit ausgesandte Zahl von Elektronen, falls man davon absieht, daß durch den heißen Draht in der Luft Elektronen gebildet werden.

Die von mir an den glühenden Metalloxyden erhaltenen Werte für die ausgesandte Zahl von Elektronen sind 10000mal größer als die von O. W. Richardson[1]) an reinem Platin bei der gleichen Temperatur gefundenen. Das beweist, daß die durch Temperaturerhöhung der Luft erzeugten Elektronen nur einen kleinen Einfluß haben können.

Nimmt man die Gültigkeit der von Richardson[2]) aus dem Boltzmann-Maxwellschen Verteilungsgesetz berechneten Formel, welche den Zusammenhang zwischen der ausgesandten Zahl von Elektronen zu der in einem cm^3 des Drahtes enthaltenen und zur absoluten Temperatur darstellt, an, so folgt aus meinen Versuchen, daß die Zahl der Elektronen in einem cm^3 CaO rund 10^{25} ist, während in einem cm^3 Platin nur rund 10^{21} Elektronen enthalten sind. Aus der Zahl 10^{25} würde folgen, daß auf 1 Molekül CaO eine große Anzahl von negativen Elektronen käme, ein zum mindesten sehr überraschendes Resultat, das zu weitgehenden theoretischen und experimentellen Untersuchungen veranlassen muß.

Da an einem Platindraht in Luft von Atmosphärendruck bei höheren Temperaturen stark negative Elektrizität zerstreut wird, war zu erwarten, daß Platindrähte, die mit einem der

[1]) O. W. Richardson, Proceed. of the Cambridge philos. Soc. 11, p. 286 ff., 1901.

[2]) l. c. p. 287.

wirksamen Metalloxyde, z. B. CaO, überzogen waren, bei gleicher Temperatur einen noch stärkeren Elektrizitätsverlust erfahren würden.

Ein Vergleich der Zerstreuungsgeschwindigkeit von mit Metalloxyd überzogenen Platindrähten mit derjenigen von reinen Platindrähten zeigte, daß bei gleicher Temperatur erstere etwa 50mal stärker negative Elektrizität verloren. Positive Elektrizität wurde leichter durch reine Platindrähte abgegeben, wodurch eine interessante Wechselbeziehung erhalten ist.

Benutzung der Metalloxyde zur Erzeugung sehr weicher Kathoden- und Kanalstrahlen.

Benutzt man in einem Entladungsrohr als Kathode einen elektrisch geglühten schmalen Streifen Platinblech, auf den mit Hilfe eines feinen Pinsels nur ein kleiner Fleck CaO aufgetragen ist, und schickt man durch das Rohr einen Strom von der Influenzmaschine oder Hochspannungsbatterie und steigert allmählich die Temperatur des Platinbleches, so geht von gewissen Temperaturen an plötzlich, soweit man es nach dem äußeren Aussehen beurteilen kann, die gesamte Entladung durch den kleinen Metalloxydfleck an der Kathode, wobei intensiv blaugefärbte Kathodenstrahlen senkrecht zur Oberfläche des Bleches stehend von dem CaO-Fleck ausgehen. Dabei nimmt die Begrenzung des dunklen Kathodenraumes die Gestalt einer Nabelfläche an, gerade wie bei Hohlkathoden. Aus früheren Versuchen von mir folgt aber, da je kleiner die Stromstärke, um so größer der dunkle Kathodenraum ist, daß der Hauptteil der Entladung durch den auf der Kathode befindlichen Metalloxydfleck geht. Spätere Versuche mit unterteilten Kathoden sollen in ähnlicher Weise, wie in den Annalen der Physik 7, p. 237—255, 1902 von mir beschrieben, dies noch genauer feststellen.

Da, wie oben gezeigt, der Kathodenfall mit steigender Temperatur sinkt und mit steigender Stromstärke wächst, so kann man durch Änderung von Temperatur oder Stromstärke den Kathodenfall innerhalb sehr weiter Grenzen ändern und dadurch den Kathodenstrahlen Geschwindigkeiten von 1 Volt an erteilen. Bis zu ca. 5 Volt sind die Strahlen sehr diffus,

daher sind Messungen von $\frac{\varepsilon}{\mu}$ und v nur schwierig durchzuführen, bei Potentialen über 5 Volt hingegen sind sie der Messung leicht zugänglich[1]).

Da die Strahlen sehr hell blau leuchten, eignen sie sich sehr gut zur Demonstration der elektrostatischen und magnetischen Ablenkung der Kathodenstrahlen[2]). Durch homogene Magnetfelder (große Spulen) kann man die Strahlen im Rohr leicht zu geschlossenen Kreisen zusammenbiegen, so daß die Messung des Krümmungsradius sehr einfach ist. Mißt man gleichzeitig mittelst einer Sonde den Kathodenfall, so erhält man nach bekannten Methoden $\frac{\varepsilon}{\mu}$ und v. Auf diese Weise sind die Bestimmungen dieser Größen in meiner Arbeit[3]) über die weichen Kathodenstrahlen ausgeführt.

Durchlöchert man ein auf einer Seite mit CaO bestrichenes Platinblech und benutzt es in glühendem Zustande als Kathode, so treten nach rückwärts Kanalstrahlen aus den Öffnungen aus. Da die an der Vorderseite austretenden Kathodenstrahlen nur geringe Geschwindigkeit besitzen, so ist anzunehmen, daß dasselbe auch für die Kanalstrahlen gilt und diese magnetisch leicht ablenkbar sind. Zu Versuchen in dieser Richtung wurden die Kathodenstrahlen gut magnetisch geschützt und dann ein kräftiger Hufeisenmagnet den Kanalstrahlen genähert. Eine magnetische Beeinflussung der Kanalstrahlen ließ sich bisher nicht mit Sicherheit nachweisen; freilich waren die Beobachtungen durch die große Diffusion der Kanalstrahlen sehr erschwert.

Resultate.

1. Der normale Kathodenfall von einigen glühenden Metalloxyden beträgt nur 1—2 Volt. Steigert man die Stromstärke, so tritt Erhöhung des Kathodenfalles nach völliger Bedeckung der Kathode mit Glimmlicht ein.

---

[1]) A. Wehnelt, Verhandl. d. D. physik. Ges. V, p. 255 ff., 1903.

[2]) Dies habe ich bereits im Ferienkurs für Oberlehrer der Physik im Juli 1903 in Erlangen benutzt, um die Bestimmung von $\frac{\varepsilon}{\mu}$ und v der Kathodenstrahlen zu demonstrieren.

[3]) l. c.

2. Mit zunehmender Temperatur wächst die Stromstärke, bei der der Kathodenfall an glühenden Metalloxydkathoden zu steigen beginnt. Vom Druck ist die Erscheinung wenig abhängig.

3. Der niedrige Kathodenfall an heißen Metalloxyden gestattet unter Verwendung derselben als Kathoden beträchtliche Stromstärken (mehrere Ampere) durch ein Entladungsrohr zu senden.

Das von Bose am glühenden Nernstkörper im Vakuum beobachtete „himmelblaue Leuchten“ entspricht dem Glimmlicht von Strömen, die parallel zum Nernstkörper durch das Gas gehen, da ja der Nernstkörper auch aus zum Teil wirksamen Metalloxyden besteht.

4. Die Leitung der heißen Metalloxyde ist keine rein elektrolytrische.

5. Der Anodenfall wird durch glühende Metalloxyde nicht wesentlich beeinflußt.

6. Die Zahl der von Metalloxyden pro Flächeneinheit ausgesandten Elektronen ist 10000 mal größer als die von gleich heißen Platindrähten ausgesandten.

7. Die Zahl der Elektronen in 1 cm^3 CaO ist 10^{25}, so daß auf jedes Molekül CaO nicht 1, sondern sehr viele Elektronen kommen würden.

8. Die Zerstreuungsgeschwindigkeit negativer Elektrizität ist an glühenden Metalloxyden ca. 50 mal stärker als an gleich heißen Platindrähten.

9. Heiße Metalloxydkathoden eignen sich zur Erzeugung und Demonstration von Kathoden- und Kanalstrahlen mit sehr kleinen Geschwindigkeiten.

Aus den obigen Untersuchungen ergibt sich auch der Grund für zahlreiche widersprechende Angaben über den Elektrizitätsverlust glühender Platindrähte, die dem Verhalten von zum Teil kaum nachweisbaren Verunreinigungen zuzuschreiben sind. Vor allem dürften bei solchen Oberflächen, die Spuren von Fett enthalten, die in demselben enthaltenen anorganischen Salze die Erscheinungen in hohem und unübersehbarem Grade modifizieren. Änderungen bei langem Erhitzen rühren von der allmählichen Zerstäubung der Oberflächenschichten her.

Erlangen, Physikalisches Institut der Universität im Dezember 1903.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1901-1903

Band/Volume: 35

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

Artikel/Article: Über den Austritt negativer Ionen aus glühenden Metallverbindungen und damit zusammenhängende Erscheinungen 115-123