# Über die Bedeutung des dunklen Kathodenraums für die Vorgänge der Entladung

von A. Wehnelt.

Zum Druck eingereicht am 18. Dezember 1897.

1. Während in zahlreichen Untersuchungen die Eigenschaften des positiven Lichtes, des Glimmlichtes und der Kathodenstrahlen eingehend erforscht worden sind, fehlen derartige Untersuchungen über den dunkelen Raum, das von Goldstein als zweite Kathodenschicht bezeichnete Gebilde, noch in mancher Hinsicht, trotzdem derselbe bei dem Vorgange der Entladung eine ganz hervorragende Rolle spielt. Die Untersuchungen von Herrn W. Hittorf[1]) haben ergeben, dass an der Kathode ein grosser Übergangswiderstand besteht. Die Herren A. Schuster, E. Warburg und andere haben das Kathodengefälle genau untersucht. Versuche von Herrn E. Wiedemann[2]) haben gezeigt, dass, sobald eine bis auf die Spitze mit Glas isolierte Anode, oder die Mündung einer Glasröhre[3]), an deren Ende sich die Anode befindet, in den um eine kreisförmige Platte entstehenden dunkelen Kathodenraum eingeführt wird, das Entladungspotential sehr hoch steigt. An Stelle des gleichmässig fliessenden Stromes treten einzelne Funken.

Nach diesen Untersuchungen setzen die Stellen der Entladungsröhre, denen bei der Entladung selbst der dunkle Kathodenraum entspricht, der Bildung der positiven Entladung einen sehr grossen Widerstand entgegen; mag ihnen dieselbe durch die metallische Anode oder durch die positive, leuchtende Gassäule zugeführt werden.

2. Für die Beurteilung der Wirkung des dunkelen Raumes erschien es von Wichtigkeit, zu untersuchen, ob der Widerstand

1) W. Hittorf, Pogg. Ann. 136 p. 1 und 197. 1869.
2) E. Wiedemann, Wied. Ann. 20. p. 767. 1883.
3) E. Wiedemann. Wied. Ann. 63. p. 242 1897.

in demselben von derjenigen Art sei, wie ihn ein Dielektrikum darbietet, in welchem die Entladungen in Form von schnell gedämpften Funken entstehen, oder von der Art eines schlechten Leiters. Untersuchungen der Herren E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) haben ergeben, dass, während die leuchtende Gassäule in hohem Grade befähigt ist, die von dem Endkondensator eines Lecherschen Drahtsystemes ausgehenden Schwingungen aufzunehmen, der dunkele Kathodenraum keine solche Wirkung zeigt, sich also herin wie ein Dielektrikum verhält.

Auf Grund dieser Versuche war also anzunehmen, dass der oben erwähnte Widerstand von der Art desjenigen eines Dielektrikums sei, und dass daher, falls man unter geeigneten Versuchsbedingungen eine Entladung durch den dunkelen Raum erzwingen würde, die Entladung einen disruptiven Charakter wie in Paraffinöl etc. annehmen würde.

**Disruptiver Charakter der Entladungen im dunklen Raume.**

3. Die im Folgenden beschriebenen Versuche bestätigen diese Annahme vollkommen. Sie haben ergeben, dass, sobald der positiven Entladung der Weg zum Glimmlicht durch den dunkelen Raum abgeschnitten ist, die Entladungen disruptiv und schnell abgerissen sind.

Als Reagenz auf die Disruptivität diente mir die Eigenschaft dieser Entladungen, sei es eine Frittröhre[2]) zu beeinflussen, sei es, in einem Lecherschen Drahtsysteme schwach gedämpfte Resonanzschwingungen zu erregen.

Um zunächst zu untersuchen, ob überhaupt disruptive, schnell gedämpfte Entladungen in Entladungsröhren zu erhalten sind, benutzte ich ein cylindrisches Rohr von 10 mm lichter Weite mit zwei kreisförmigen, den Querschnitt des Rohres fast ausfüllenden Aluminiumelektroden. (Fig. 1.) Der Abstand der

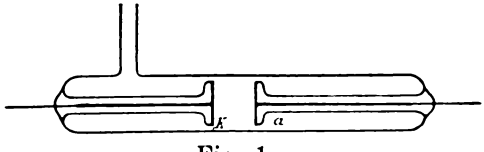



Fig. 1.

1) Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. 62 p. 462. 1897.

2) Ich benutze im Anschluss an Herrn Slaby statt des englischen Wortes „Coherer“ den deutschen Ausdruck „Frittröhre“.

Elektroden betrug circa 2 cm. Das Rohr war mittelst eines Schliffes an eine Quecksilberluftpumpe angesetzt. Als Stromquelle diente eine grosse 20 plattige Influenzmaschine. Als Wellenempfänger wurden zwei Stahlnadeln, auf denen lose eine dritte auflag, benutzt. Dieser Empfänger war mit einem Spiegelgalvanometer in den Stromkreis einer kleinen Thermosäule geschaltet.

Der Versuch ergab, dass bei geringer Evakuation keine erregenden Wellen ausgesandt wurden, dass aber bei starker Evakuation mit dem Moment des Verschwindens des blauen Kathodenstrahlenbündels, eine ganz andere Form der Entladung auftrat, indem starke elektrische Wellen von dem Rohre ausgingen, die sich sofort durch einen Ausschlag des Galvanometers erkenntlich machten, selbst noch, wenn der Empfänger 5 m von der Röhre entfernt war.

Die Herren H. Ebert und E. Wiedemann[1]), deren Resultate später von Herrn Apt[2]) bestätigt worden sind, haben gefunden, dass eine kräftige Anregung von elektrodenlosen Entladungsröhren am Endkondensator eines Lecherschen Drahtsystems nur dann auftritt, wenn die erregenden Funken schnell gedämpfte sind, und dass keine Anregung vorhanden ist, wenn statt des Funkens in Luft von höherem Druck die Entladung in einer Geisslerröhre verwandt wird, und zwar selbst dann nicht, wenn das Entladungspotential in letzterem Falle ein wesentlich höheres ist, als im ersteren.

Diese letzten Versuche waren nur mit Röhren, in denen noch verhältnismässig hohe Drucke (1 mm u. m.) herrschten, angestellt worden; ich habe geprüft, ob die bei meinem ersten Versuche benutzte Röhre (Fig. 1), statt der primären Funkenstrecke in ein Lechersches System eingeschaltet, bei genügender Evakuation eine kräftige Resonanz und dadurch ein Ansprechen einer Entladungsröhre am Endkondensator herbeiführen würde.

Das von mir im Folgenden benutzte Lechersche System entsprach der von den Herren H. Ebert und E. Wiedemann[3]) angegebenen Form. Die primären Kandensatoren, deren Kapacität beliebig geändert werden konnte, bestanden aus quadratischen

---

1) H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. 49 p. 36 ff. 1893.
2) R. Apt, Wied. Ann. 61 p. 301 ff. 1897.
3) H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. 48, 49 ff. 1893.

Zinkplatten von 30 cm Seitenlänge. An Stelle der primären Funkenstrecke waren mit möglicst kurzen Drähten die zu untersuchende Röhre und ein Funkenmikrometer mit Messingkugeln von 1 cm Radius parallel geschaltet. Letzteres diente zur Bestimmung der Entladungspotentiale nach der im Heydweiller, „Hilfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen“ gegebenen Tabelle Nr. 13 (Funkenpotentiale bei gleichen Kugelelektroden; r = 1,0 cm nach Czermak, Freyberg, Paschen, Quincke) Die Drahtlänge betrug 600 cm, der Abstand der Drähte 30 cm. An den Enden der Drähte befand sich ein Condensator mit runden Platten von 20 cm Durchmesser, deren Abstand beliebig geändert werden konnte. An diesen Kondensator wurden die von den Herren H. Ebert und E. Wiedemann in den obengenannten Arbeiten beschriebenen empfindlichen elektrodenlosen Röhren als Indikatoren etwaiger auftretender Resonanz angelegt. Als Stromquelle diente teils eine 20plattige Influenzmaschine, die die Resonanzerscheinungen besonders rein zeigte oder, falls grössere Entladungspotentiale erforderlich waren, ein Induktionsapparat[1]) für 30 cm Funkenlänge, betrieben mittelst Deprezunterbrecher.

Die Evakuation der Röhren geschah teils durch eine kleine, sehr praktische und bequeme Quecksilberluftpumpe nach Spiess[2]), teils durch eine solche von Raps[3]). Der Druck wurde in allen Fällen mit einem gleichzeitig mit der Pumpe verbundenen Mac Leodschen Manometer gemessen.

1. Die oben beschriebene Röhre (Fig. 1), statt der Funkenstrecke am primären Kondensator, ergab eine deutliche Resonenz, sowie wiederum so weit evakuiert war, dass der dunkele Raum die Anode umhüllte. Um zu untersuchen, ob stets, wenn die positive Entladung durch den dunkeln Raum zum Glimmlicht

---

1) Bezogen von der Firma F. Ernecke in Berlin. Dieser Apparat zeichnet sich durch ein vorzügliches regelmässiges Funktionieren aus, was für die Beobachtung der Resonanzerscheinungen von wesentlichem Werte ist.

2) P. Spiess, Z. f. d. phys. und chem. Unterricht 1895. VIII. Jahrg. p. 363.

3) Wied. Ann. 43. p. 629. 1891 und Zeitschrift für Instr.-Kunde. 1891. p. 256.

gehen muss, solche disruptive Entladungen auftreten, wurden folgende Versuche angestellt.

2. Zunächst wurde die Anode a (Fig. 2), die aus einem

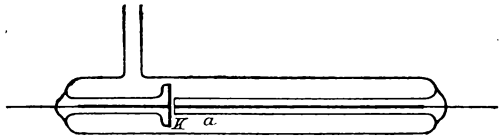



Fig. 2.

bis zum Ende in einer Glasröhre steckenden Aluminiumdrahte bestand, bis auf ungefähr 0,2 mm der scheibenförmigen Kathode K genähert. Schon bei einem Druck von 0,1 mm Quecksilbersäule und einem Entladungspotential von 5000 Volt trat eine ausserordentlich reine und kräftige Resonanz im Drahtsysteme auf. Wurde die Anode nicht bis zur Spitze vom Glas eingehüllt, sondern blieb sie auf eine Länge von ungefähr 5 mm frei, so trat die Erscheinung erst sehr viel später bei einem Drucke von 0,03 mm Hg auf, wobei auch das Entladungspotential wuchs und zwar bis auf 15000 Volt.

3. Es wurde nun eine Röhre untersucht, in der die positive Entladung durch ein längeres Glasrohr[1]) in den dunkelen Raum eingeführt wurde. Die Röhre (Fig. 3) besass eine kreisförmige

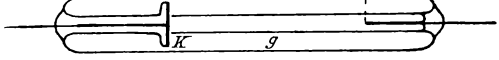



Fig. 3.

Kathode K. Die kurze Anode aus Aluminiumdraht befand sich am Ende einer ungefähr 10 cm langen Glasröhre g von 3 mm innerem Durchmesser, deren Ende wieder bis auf 0,2 mm der Kathode genähert war. Die disruptive Entladung trat hier schon bei einem Drucke von 0,2 mm Hg und einem Potentiale von 13000 Volt ein.

Wurde die Mündung der Glasröhre zu einer engen Spitze ausgezogen, so trat die typische Entladung schon bei einem Drucke von 0,3 mm Hg ein, das Entladungspotential betrug 6500 Volt. Ein vorzüglicher Beweis, dass nur dadurch, dass der

1) Vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. 63 p. 243. 1897.

dunkele Raum die Mündung der die positive Entladung zuführenden Röhre verschliesst, die disruptive Entladung eintritt, ergab sich ganz zufällig. Am Ende der Anode schlug plötzlich bei a Fig. 3 die Entladung die enge Glasröhre durch und sofort hörte die disruptive Entladung auf, denn jetzt war dem positiven Licht ein Weg zur Vereinigung mit dem Glimmlicht gegeben, ohne erst den dunkelen Raum durchbrechen zu müssen, und in der That sah man auch deutlich aus der bei a entstandenen Öffnung geschichtetes positives Licht austreten.

4. Zum Beweise, dass nicht etwa durch ein besonders hohes Ansteigen des Entladungspotentials die Resonanzerscheinungen veranlasst werden, wurden zwei Röhren ausgewählt, die bei gänzlich verschiedener Form, (die eine entsprach der Fig. 2, die andere einer Geisslerschen Röhre, wie sie zur Spektralanalyse gebraucht werden, nur betrug die Länge der Kapillare 75 cm) bei einem gleichen Drucke von 0,24 mm Hg dasselbe Entladungspotential nämlich 10000 Volt besassen. Es zeigte sich, dass mun mit der ersteren Röhre vorzügliche Resonanz erhielt, während bei der zweiten Röhre nicht das geringste Anzeichen einer solchen zu erkennen war.

In den oben besprochenen Fällen beruht das Auftreten der abgerissenen disruptiven Entladungen darauf, dass, sei es die Anode selbst, oder sei es die positive Lichtsäule, in den dunklen Raum eingeführt wird. Man beobachtet aber das Auftreten eines sehr grossen Entladungspotentiales und von Entladungen von ganz demselben Aussehen, wie in dem obigen Fall auch in Röhren von solcher Länge, dass sicher nicht die Anode in den dunkelen Raum der Kathode hineinragt. Es war zu untersuchen ob auch hier dunkle Räume eine entsprechende Rolle wie im ersten Falle spielten. Herr E. Wiedemann[1]) hat darauf aufmerksam gemacht, dass dadurch, dass die Glaswände in der Nähe der Kathode die Rolle von Kathoden übernehmen, die Kathodenstrahlen von denselben nach der Mitte des Rohres gedrängt werden. Diese Ansicht und ihre Beziehung zur obigen Frage ist in Folgendem eingehender behandelt[2].)

---

1) E. Wiedemann und H. Ebert. Sitzungsbericht der phys.-med. Soc. zu Erlangen. Sitzung v. 14. Dez. 1891. p. 41.

2) Dass die dunklen Räume, die die positive Lichtsäule von den Wänden des Gefässes trennen, dunklen Kathodenräumen entsprechen,

**Veränderungen der Dimensionen der Kathodenerscheinungen mit der Weite der Röhren und mit dem Druck.**

Es wurden drei Röhren mit den Durchmessern 10,20 und 30 mm mittelst dreier Schliffe gleichzeitig an die Quecksilberluftpumpe gesetzt. Die Länge der Röhren war gleich, ebenso der Abstand der Elektroden, und zwar betrug derselbe 65 cm. Die kreisförmigen Elektroden füllten bei allen Röhren den Querschnitt vollkommen aus, ohne indess die Glaswandungen zu berühren.

Die nachstehende Tabelle ergibt die Abhängigkeit der Dimensionen der Kathodenerscheinungen und des Entladungspotentiales von der Weite der Röhren und dem Druck.

| Druck in mm Hg | Ausdehnung des dunklen Raumes in mm. Für die Durchmesser. | | | Stärke des Kathodenstrahlenbündels in mm. Für die Durchmesser. | | | Funkenpotential in Volt. Für die Durchmesser. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P = | 10 mm | 20 mm | 30 mm | 10 mm | 20 mm | 30 mm | 10 mm | 20 mm | 30 mm |
| 0,65 | 1 | | | 10 | | | 2475 | 2250 | 1935 |
| 0,424 | 2 | 2,6 | | 9 | 20 | | 1575 | 1350 | 1125 |
| 0,28 | 3,2 | 4,4 | | 8 | 18 | | 1530 | 1485 | 990 |
| 0,2 | 5,3 | 7,5 | 8 | 7 | 15,4 | 30 | 1665 | 1080 | 1035 |
| 0,164 | 7,1 | 8 | 10 | 5,7 | 14 | 26 | 1800 | 1080 | 990 |
| 0,12 | 8,4 | 9,3 | 12 | 4,3 | 13 | 21 | 1665 | 900 | 1080 |
| 0,063 | 10,2 | 12,9 | 13,7 | 3,8 | 12 | 19,1 | 1755 | 1035 | 1080 |
| 0,057 | 12,8 | 14 | 16,4 | 2,9 | 9,8 | 17,5 | 2916 | 1080 | 1080 |
| 0,055 | — | 17 | 20 | 2 | 8 | 15 | 4320 | 1440 | 1125 |
| 0,05 | — | 18,9 | 21,5 | 1,2 | 7,7 | 14,5 | 5220 | 1300 | 945 |
| 0,034 | — | 21 | 23,6 | 1 | 6 | 12,8 | 8760 | 1575 | 1170 |
| 0,029 | *) | 24,5 | 26 | 0,5—0 | 5,2 | 12 | 15300 | 2025 | 1260 |
| 0,026 | *) | 27 | 33,2 | — | 3,4 | 9,1 | 21990 | 2475 | 1395 |
| 0,023 | — | 32 | 36 | — | 2,9 | 7,9 | | 3996 | 2475 |
| 0,021 | — | — | 44 | — | 2 | 5 | | 7020 | 3816 |
| 0,018 | — | *) | — | — | 1,4—0 | 3,3 | | 14100 | 7020 |
| 0,016 | — | *) | *) | — | — | — | | 21450 | 14700 |

Die mit einem Stern*) versehenen Stellen bezeichnen, dass an diesen Stellen die ursprüngliche Entladungsform in die neue Form der kurz abgerissenen disruptiven Entladung überging.

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, wie bei abnehmendem Drucke die von den der Kathode benachbarten Glaswänden hereindringenden dunklen Räume das Kathodenstrahlenbündel immer mehr und mehr zusammendrängen, bis schliesslich in dem

---

lässt sich aus Versuchen von H. Ebert und E. Wiedemann schliessen. (Wied. Ann. 50, 235 u. 238, 1893),

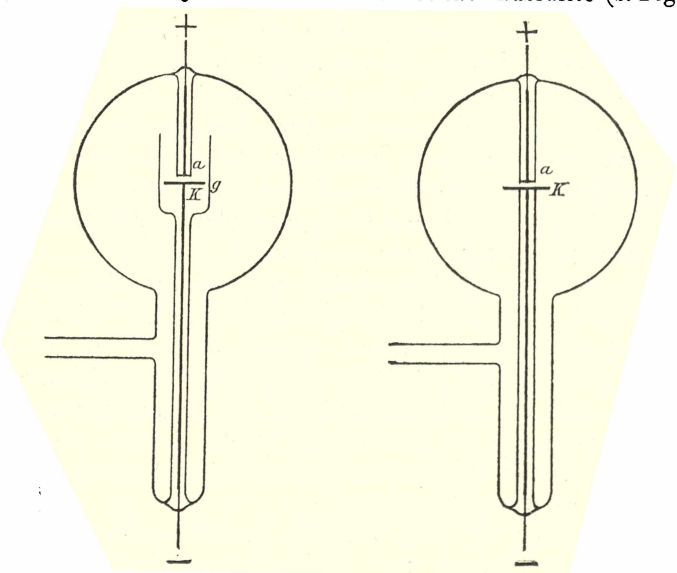
Moment, wo das Kathodenstrahlenbündel vollkommen verschwindet, die kurz abgerissene disruptive Entladung eintritt, denn in diesem Moment leuchtete die Röhre am Endcondensator auf. Naturgemäss tritt diese Erscheinung in den engeren Röhren viel früher auf, als in den weiteren. Ferner ist aus der Tabelle zu ersehen, dass bei gleichen Drucken die dunklen Räume fast unabhängig von der Weite der Röhren sind. Auch das schnelle Anwachsen der Entladungspotentiale in dem Moment des Abschneidens der Kathodenstrahlen ist ersichtlich. Bemerkenswert ist hierbei noch, dass beim Vorhandensein der Funkenentladung beide Elektroden den Charakter einer Kathode annehmen.

Eine entsprechende Potentialänderung bei Veränderungen des Querschnittes eines Kathodenstrahlenbündes bei Einwirkung eines Magneten haben E. Wiedemann und H. Ebert nachgewiesen[1]). Sie fanden nämlich, dass durch die Wirkung des Magneten auf die Kathodenstrahlen das Entladungspotential sowohl herabgesetzt als auch erhöht werden konnte, und zwar je nachdem ob der Magnet den Querschnitt des Kathodenbündels vergrösserte oder verkleinerte.

Anschliessend an diese Versuche wurde noch der Einfluss des Zusammendrängens und schliesslichen Abschneidens der Kathodenstrahlen durch die an den Wänden entstehenden dunklen Räume bei denjenigen Röhren, bei denen die bis zur Spitze mit Glas umhüllte Anode in den dunkelen Raum eingeführt wurde, untersucht. Eine kugelförmige Röhre mit einer kreisförmigen Kathode und einer Anode der oben beschriebenen Form (s. Fig. 4 u. 5) wurde einmal mit freistehender Kathode (Fig. 4) ein andermal mit einer von einer Glasröhre umgebenen Kathode (Fig. 5) untersucht. Die abgerissene disruptive Form der Entladung trat bei Röhre Fig. 4 bei einem Drucke von 0,04 mm Hg und einem Entladungspotential von 14000 Volt ein, während dieselbe Erscheinung in Röhre Fig. 5 durch frühzeitiges Abschnüren der Kathodenstrahlen schon bei einem Drucke von 0,12 mm Hg und einem Entladungspotential von 10500 Volt eintrat. Ein ähnlicher Einfluss auf das frühzeitigere Eintreten der kurz abgerissenen disruptiven Entladungen machte sich auch

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungs-Bericht der physik.-med. Societät zu Erlangen 14. Dez. 1891. p. 36, 37.

bei der in Fig. 2 abgebildeten Röhre bemerkbar, sobald das die Anode umhüllende Glasrohr an der Mündung derart verstärkt war, dass es den Querschnitt des Rohres fast ausfüllte (s. Fig. 6).




Eig. 4. Fig. 5.

Während bei der Röhre wie Fig. 2 der Druck bis auf 0,14 mm Hg erniedrigt werden musste, trat bei Röhre Fig. 6 die typische

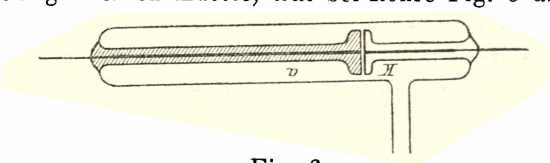



Fig. 6.

Entladungsform schon bei einem Drucke von 0,3 mm Hg ein.

Besondere Beobachtungen zeigten, dass sowie die ersten disruptiven, kurz abgerissenen Entladungen auftraten, sowie eine Resonanz im Lecherschen Drahtsystem oder ein Ansprechen der Branlyischen Frittröhre sich zeigte, die Entladungsröhre Röntgenstrahlen aussandtet. Aber was das Auftreten der abgerissenen disruptiven Entladung befördert, befördert auch die Entwicklung von Röntgenstrahlen. So erklärt sich, dass eine Röhre, bei der die Kathode von einem Glasrohr eng umgeben ist, bei höherem

Drucke Röntgenstrahlen aussendet, als eine solche, wo die Kathode frei in einem Gasraum sich befindet. Auch der Grund für die Wirksamkeit der Röhre von Colardeau wo die Anti-Kathode der Kathode ziemlich nahe ist, folgt aus dem Obigen, vor allem aber die relativ guten Resultate bei der Röhre von Wood, wo Anode und Kathode sich in einem sehr kleinen Abstand befinden, wobei eben solche abgerissenen Funkenentladungen auftreten, ferner der Kunstgriff vieler Rohrfabrikanten die Kathode in ein an die Kugel angeblasenes engeres Glasrohr einzusetzen. Im Gegensatz zu Trowbridge[1]), welcher angiebt, dass nach seinen Versuchen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen ein Mindestpotential von 100000 Volt gehört, habe ich unter Anwendung aller derjenigen Umstände, die nach vorstehendem ein möglichst frühes Eintreten disruptiver kurz abgerissener Entladungen begünstigen mussten, gefunden, dass schon bei einem Entladungspotentiale von 6600 Volt und einem Drucke von 0,26 mm Röntgenstrahlen entstehen, die einen Fluorescenzschirm zur deutlichwahrnehmbaren Fluorescenz erregten.

Als Resultat der Arbeit hat sich ergeben:

1. Der dunkle Raum verhält sich wie ein vollkommenes Dielektrikum. In demselben erzwungene Entladungen verlaufen genau wie eine Entladung in Paraffinöl oder anderen Dielektricis.

2. Die an den äusseren Wänden eines Entladungsrohres sich bildenden sekundären dunklen Räume setzen dem Eindringen der von der Anode kommenden Entladungsform einen sehr grossen Widerstand entgegen, so dass diese Entladungsformen ihren Weg nur in den von den dunklen Kathodenräumen freien Raum nehmen können.

3. Röntgenstrahlen treten in Entladungsröhren ohne vorgeschaltete Funkenstärke vor allem dann auf, wenn der Elektrizitätsübergang in ihnen als abgerissener Funken stattfindet.

Zum Schlusse meiner Arbeit erlaube ich mir, meinem Lehrer Herrn Professor E. Wiedemann für die vielseitige Unterstützung und Anregung während dieser Arbeit meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Erlangen, Phys. Inst. der Universität, November 1897.

---

1) J. Trowbridge. Beilb. 21. p. 777.

# 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: 1895-1897

Band/Volume: 29

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

Artikel/Article: Über die Bedeutung des dunklen Kathodenraums für die Vorgänge der Entladung 114-123