

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Gesammelte Werke

Schriften vermischten Inhalts

Hertz, Heinrich

Vaduz/Liechtenstein, 1987

12. Über eine die elektrische Entladung begleitende Erscheinung

[urn:nbn:de:bsz:31-269592](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269592)

12. Über eine die elektrische Entladung begleitende Erscheinung.

Aus WIEDEMANN'S Annalen der Physik und Chemie. Bd. 19, S. 78—86, 1883.

Im Folgenden wird eine Erscheinung beschrieben, welche die elektrische Entladung, insbesondere den Flaschenfunken, in Luft und anderen Gasen bei nicht zu geringer Dichte häufig begleitet. Unter den meisten Verhältnissen ist dieselbe allerdings so unscheinbar, daß sie nicht der Erwähnung wert gehalten worden zu sein scheint; dieselbe trat mir aber, als ich sie zuerst bemerkte, in so auffälliger Form entgegen, daß ich veranlaßt wurde, einige Versuche über ihre Natur anzustellen. Vorweg sei bemerkt, daß zu den Versuchen ein größeres Induktorium benutzt wurde, welches in freier Luft Funken von 4 bis 5 cm gab, daß die mehrfach erwähnte Leydener Flasche eine solche von etwa zwei Quadratfuß Belegung war, und daß die Einschaltung derselben in den Stromkreis einfach in der Weise bewirkt wurde, daß die eine Belegung mit dem einen, die andere mit dem anderen Pole des Induktoriums verbunden wurde, ohne daß sonst etwas am Stromkreise geändert worden wäre.

1. In Fig. 25 ist eine Entladungsvorrichtung dargestellt, welche aus einem nicht zu eng ausgezogenen Glasrohre, einer innerhalb desselben befindlichen und einer außerhalb desselben in der Nähe der Mündung angebrachten Elektrode besteht. Bringt man diese Vorrichtung unter die Glocke der Luftpumpe, füllt die Glocke mit gut getrockneter Luft, entleert bis auf 30 bis 50 mm Druck und leitet die Ent-

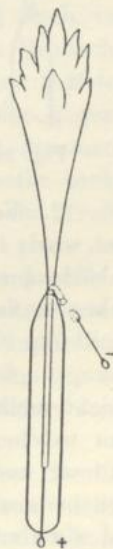


Fig. 25.

ladungen des Induktoriums ein, so beobachtet man die folgende Erscheinung: An der Kathode sitzt das blaue Glimmlicht, es folgt gegen die Anode hin der einen oder einige Millimeter breite dunkle Raum, von dessen Grenze bis zur Anode ein roter Streifen von 1 bis 2 mm Durchmesser den Weg des Stromes bezeichnet. Dieser Streifen füllt bei jeder der beiden Stromrichtungen den größten Teil der Länge des Glasrohres und biegt an dessen Mündung scharf gegen den außerhalb befindlichen Pol um. Außerdem aber bemerkt man einen aus der Mündung des Rohres geradlinig hervorspringenden, scharf begrenzten Strahl von braungelber Farbe, von etwa 4 cm Länge und von der in der Zeichnung, Fig. 25, angedeuteten Gestalt. Der größte Teil des Strahles scheint unbeweglich zu stehen, nur an der Spitze läuft er in einzelne flatternde Zungen aus. Der Strahl ändert seine Gestalt nicht merklich bei Umschaltung des Stromes. Wird aber eine Flasche eingeschaltet, so tritt eine wesentliche Änderung ein, der Strahl erscheint heller und geht nur auf eine Strecke von 1 bis 2 cm geradlinig fort, um sich dann in ein Büschel heftig bewegter, nach allen Seiten auseinandergehender Zweige aufzulösen, in der Art, wie dies Fig. 26 andeutet.



Fig. 26.

2. Vergrößern oder verkleinern wir den Druck der Luft, so wird, falls wir zunächst von der Benutzung der Flasche absehen, nach beiden Richtungen hin der Strahl unscheinbarer, aber in verschiedener Weise. Vergrößern wir den Druck, so füllt die Funkenbahn den Querschnitt der Mündung nicht mehr aus, auch der austretende Strahl füllt dann den Querschnitt nicht mehr, sondern tritt nur auf der Seite der Mündung aus, an welcher der Funke sich zeigt; er wird dabei schmaler, kürzer und nimmt eine dunklere, rotbraune Färbung an. Verkleinern wir den Druck, so wird der Strahl gleichfalls kürzer, aber er verbreitert sich gleichzeitig, nimmt eine hellere gelbe Färbung und eine geringere Lichtstärke an. Wenn sich die ersten Schichten in dem Rohre bilden, ist er nur noch eben wahrzunehmen, er erfüllt dann einen kleinen, halbkugelförmigen Raum vor der Mündung des Rohres. Bei Anwendung der

Flasche zeigt sich ein analoger Verlauf, das Maximum der Entwicklung aber liegt bei kleineren Drucken, und es wird vorteilhaft, die Mündung des Rohres weiter zu wählen. Die auffälligsten Formen in Luft habe ich beobachtet bei folgender Versuchsanordnung: die Glasröhre war 5 mm weit, 3 cm lang, ohne alle Verengung an der Mündung, die Luft war auf 10 bis 20 mm Druck gebracht und wurde durch ein unter die Glocke der Luftpumpe gestelltes Schälchen mit Schwefel- oder Phosphorsäure gut trocken gehalten, eine große Flasche war eingeschaltet und der Glanz der Entladungen selbst dadurch abgeblendet, daß als äußere Elektrode ein über das Glasrohr gestülptes und dasselbe etwas überragendes Metallrohr benutzt wurde. Der Strahl zeigte sich unter diesen Bedingungen als ein baumartiges Gebilde, welches bis zu 12 cm Höhe annahm, der dem Stamme entsprechende Teil schloß geradlinig auf eine Länge von 3 bis 5 cm aus dem Rohre auf, während die Krone aus Flammen gebildet wurde, die lebhaft nach allen Seiten auseinanderflatterten. Die Helligkeit läßt sich etwa nach der Angabe bemessen, daß die Erscheinung auch im hellen Zimmer noch wahrnehmbar war, daß aber zur Beobachtung der Einzelheiten das Zimmer verdunkelt werden mußte.

3. Kann der Strahl wegen zu großer Nähe der gegenüberliegenden Wand nicht zu voller Entwicklung kommen, so breitet er sich an der Wand aus. Trifft er dieselbe senkrecht, so bildet er einen kreisförmigen Wulst um den Treffpunkt; trifft er unter einiger Neigung auf, so gleitet er an der Wand fort nach der Seite, nach welcher ein die Wand treffender Körper reflektiert werden würde. Die hier auftretenden Erscheinungen lassen sich am einfachsten beschreiben, indem man sagt, die Strahlen verhalten sich sehr ähnlich, wie es Flüssigkeitsstrahlen, die aus den Mündungen der Rohre austräten, thun würden.

4. Der Magnet zeigt keine Wirkung auf den Strahl. Ebenso wenig thun dies genäherte Leiter, auch dann nicht, wenn dieselben geladen sind, z. B. wenn dieselben mit einem der beiden Pole verbunden werden.

5. Der Strahl erzeugt eine beträchtliche Erwärmung in den Körpern, auf welche er auftritt. Ein Thermometer in den Strahl gebracht, steigt nach den Umständen um zehn und

mehr Grad, trifft der Strahl die Glaswand, so erhitzt er dieselbe fühlbar, kleine Gegenstände, mit Klebwachs an Drähte befestigt, werden im Strahl abgeschmolzen. Erzeugt man den Strahl in freier Luft (siehe unter 10), so kann die erzeugte Hitze direkt durch das Gefühl wahrgenommen werden. Hingegen gelang es nicht, einen noch so dünnen, in den Strom gehängten Platindraht zum Glühen zu bringen.

6. Der Strahl übt eine beträchtliche mechanische Wirkung aus. Ein in denselben gehängter Draht gerät in heftige Oscillationen, ebenso ein elastisches Glimmerblatt, durch welches man den Strahl ablenkt. Legt man ein Glimmerblättchen über die Mündung des Rohres, so wird es durch die erste Entladung weit fortgeschleudert. Radiometerartige Flugrädchen verschiedener Art können durch den Strahl in kontinuierliche Rotation versetzt werden. Indessen ist die Stofswirkung nicht einseitig von der Mündung fortgerichtet. Befestigt man vor derselben ein Glimmerblättchen so, dafs es nur in der Richtung gegen die Mündung hin beweglich ist, so gerät es gleichwohl in Schwingungen, beweisend, dafs nach jedem von der Mündung abgerichteten Stofs ein, wenn auch weniger energischer Rückstofs erfolgt.

7. Der Strahl ist keine momentan aufblitzende Erscheinung, sondern entwickelt sich in bequemer mefsbarer Zeit. Seinen zeitlichen Verlauf habe ich untersucht einmal mit dem Drehspiegel, sodann mit einem eigens hierfür konstruierten Apparate, welcher übrigens schon von anderen angegeben ist, und der folgende Einrichtung hat: Auf die Axe eines BECQUEREL'schen Phosphoroskopes ist eine Scheibe mit schmalem, radialem Schlitze aufgesetzt; bei jeder Umdrehung der Scheibe bewirkt der Apparat bei einer bestimmten Stellung derselben die Öffnung des primären Stromes. Rotiert nun die Scheibe schnell, so erscheint sie durchsichtig, blickt man aber an verschiedenen Stellen hindurch, so sieht man die Dinge so, wie sie zu bestimmten verschiedenen Zeiten nach Öffnung des Stromes erscheinen. Dieser Apparat leistet meist viel bessere Dienste als der Drehspiegel, in dem vorliegenden Falle aber genügt der letztere. Beide Versuchsmethoden ergeben das Folgende: Die Erscheinung verläuft nicht momentan, sondern hat eine Dauer von etwa $\frac{1}{30}$ Sekunde. Nicht alle Teile des

Strahles erscheinen gleichzeitig; die unteren leuchten schon, ehe die oberen beginnen; die oberen sind sichtbar, nachdem die unteren schon erloschen sind. Die Erscheinung ist daher nur für das unbewaffnete Auge ein Strahl, in Wirklichkeit besteht dieselbe in einer leuchtenden Wolke, die aus dem Rohre mit endlicher Geschwindigkeit aufsteigt. Diese Geschwindigkeit ist, wenn keine Flasche benutzt wird, im Mittel für den ganzen Weg von der Ordnung von 2 m in der Sekunde, aber sie scheint bei Beginn des Vorganges weit größer zu sein, und ebenso scheint sie weit größer zu sein für Flaschenfunken, es war für solche häufig wohl das Nachleuchten des Gases, aber nicht die Entwicklung des Strahles zu beobachten.

8. Den beschriebenen analoge Erscheinungen treten auf in anderen Gasen, doch zeigen die Strahlen nach Farbe, Gestalt, Abhängigkeit von der Dichte etc. charakteristische Unterschiede. In Sauerstoff ist der Strahl sehr schön, sehr ähnlich demjenigen in Luft, jedoch die Färbung ein reineres Gelb. Die Erscheinung in Stickoxydul ist derjenigen in Sauerstoff fast gleich. In Stickstoff gelang es nur, sehr schwach sichtbare Strahlen herzustellen, die Färbung war am ehesten ein dunkles Rot. In Wasserstoff haben die Strahlen die beste Entwicklung bei circa 100 mm Druck, bei Anwendung kräftiger roter Flaschenfunken; die Färbung ist ein schönes Blau-Indigo, die Lichtstärke nicht groß. Dagegen sind die räumlichen Dimensionen weit beträchtlicher, als in Luft, sodass selbst in einer Glasglocke von 20 cm Höhe der Strahl sich nicht frei entwickeln kann, sondern sich an der oberen Wölbung ausbreitet. In Dampf von Terpentinöl und Äther, sowie in Leuchtgas sind die Strahlen grünlich weiß, kurz, scharf gezeichnet. Das Spektrum des Lichtes ist in Luft und Sauerstoff ein kontinuierliches, besonders in Rot, Gelb und Grün hervortretendes; in den kohlehaltigen Dämpfen ein Bandenspektrum, welches sicher als ein Kohlenspektrum erkannt werden konnte; in Wasserstoff war es wegen der Lichtschwäche äußerst schwer wahrzunehmen, doch sah ich zu verschiedenen Malen mit Sicherheit einige Banden, deren bemerkenswerteste mindestens sehr nahezu an der Stelle der grünblauen Wasserstofflinie lag, die übrigen lagen von hier aus in der Richtung des Violett. In Stickstoff konnte ein Spektrum nicht erhalten werden.

9. In den genannten Gasen kann man das Vorhandensein eines Strahles immer durch die mechanische Wirkung desselben nachweisen, indessen ist der Strahl keineswegs unter allen Umständen deutlich sichtbar, und seine Sichtbarkeit scheint teilweise an sehr sonderbare Bedingungen geknüpft. Ungetrocknete Zimmerluft giebt ein außerordentlich viel schwächeres Bild, als solche, welche gut getrocknet wurde. Stellt man unter die Glocke der Luftpumpe eine Schale mit Schwefelsäure oder Phosphorsäure oder Chlorcalcium, so sieht man die Erscheinung an Deutlichkeit gewinnen, in dem Maße als die Luft trockener wird. Rätselhafter noch erscheint das Verhalten des Wasserstoffes. Füllte ich die Glocke mit demselben, so riefen die Entladungen des Ruhmkorff's nicht ohne weiteres das Leuchten hervor, sondern Flaschenfunken waren hierzu erforderlich; war der Strahl indes einmal sichtbar geworden, so konnte er ohne die Einschaltung der Flasche unterhalten werden. Er dauerte aber nur einige Minuten an, dann erlosch er, ohne daß ich ihn wieder hervorrufen konnte. Ich habe die Bedingung des Leuchtens nicht ausfindig zu machen vermocht. Die größere oder geringere Feuchtigkeit schien von keinem Einflusse, ebensowenig die Anwesenheit einer kleinen Menge Sauerstoffs. Blieb der Wasserstoff stundenlang unter der Glocke, ohne benutzt zu werden, so verlor er sein Leuchtvermögen nicht, war dasselbe durch die Entladungen aber einmal zerstört, so stellte auch stundenlange Ruhe dasselbe nicht wieder her. Ich würde das Leuchten auf Verunreinigungen schieben¹⁾, wenn ich nicht glaubte, das Spektrum des ausgesandten Lichtes als ein Wasserstoffspektrum erkannt zu haben. Übrigens erfolgen die Schwingungen eines dem Strahle entgegengestellten Glimmerblättchens ebenso lebhaft in feuchter wie in trockener Luft, in frisch bereitetem Wasserstoff, wie in solchem, welcher zu leuchten aufgehört hat, so daß das Sichtbarwerden der Strahlen nur als eine nebensächliche Eigenschaft derselben erscheint.

10. Man kann die Strahlen auch in Gasen von Atmosphärendruck hervorrufen; man thut zu dem Ende gut, eine

¹⁾ Der Wasserstoff war bereitet aus reinem Zink und verdünnter Schwefelsäure.

der bisher benutzten ähnliche, aber kleinere Entladungsvorrichtung anzuwenden. Die Erscheinung ist allerdings nur einige Millimeter lang und sehr unscheinbar, aber man kann an derselben mit Bequemlichkeit einige weitere Beobachtungen anstellen. Man kann die Hitze und den Stofs des Strahles dem Gefühle direkt wahrnehmbar machen. Der Strahl treibt Rauch und kleine Flammen auch in einer Entfernung von 2 bis 3 cm von der Mündung des Glasrohres auseinander. Durch einen starken Luftstrom wird der Strahl umgeknickt und bei Seite getrieben. Bläst man durch die Mündung, an welcher sich der Strahl bildet, so verlängert sich derselbe, saugt man Luft ein durch die Mündung, so verkürzt er sich. Leitet man durch die Mündung ein anderes Gas und stülpt gleichzeitig ein Reagensgläschen über dieselbe, so erhält man die Erscheinung in dem betreffenden Gase; beispielsweise erhält man so in Wasserstoff einen nur wenige Millimeter langen, aber deutlich sichtbaren blauen Strahl. Leitet man durch die Mündung Leuchtgas und entzündet dasselbe, so oscilliert die Flamme heftig beim Durchgange der Funken; der unter 7 beschriebene Apparat zeigt, dafs durch jeden Funken eine kleine Gaswolke ausgestofsen wird, die oberhalb der Mündung getrennt von der übrigen Gasmasse verbrennt.

11. Nach allem Gesagten kann es kaum zweifelhaft erscheinen, dafs der Strahl gebildet wird durch eine aus dem Rohre austretende leuchtende Gasmasse, und es liegt die Annahme nahe, dafs die austreibende Ursache in der Expansivkraft zu suchen sei, welche die gesteigerte Temperatur dem Gasinhalte erteilt. Bringt man indes die Elektrode, welche bisher aufserhalb des Rohres lag, im Inneren desselben nahe der Mündung an, oder läfst man die Funken in einem beiderseits geschlossenen Glasrohre überschlagen, welches in irgend einem seitlichen Punkte eine Öffnung besitzt, so treten zwar auch in diesen Fällen aus den Mündungen Strahlen aus, aber dieselben sind viel schwächer, als diejenigen, welche an den gleichen Öffnungen entstehen würden, falls auch die Funken die Öffnungen passierten. Wäre erhöhte Temperatur die Ursache des Austretens, so könnte ein solcher Unterschied nicht bestehen. Deutlicher, als diese immerhin zweideutigen Versuche sprechen gegen die obige Annahme die Formen, in

welche der Strahl übergeht, wenn die Entladungsvorrichtung gänzlich geändert wird.

12. Verkürzt man nämlich das Rohr mehr und mehr und ändert die Entfernung und Gestalt der Elektroden, so kann man die bisher benutzte Entladungsvorrichtung kontinuierlich in jede andere überführen, dabei verändert der Strahl seine Gestalt, aber er verschwindet nicht, sondern geht kontinuierlich in andere Formen über. Es zeigt sich, daß die bisher benutzte Entladungsvorrichtung vor allen übrigen nur deshalb den Vorzug verdient, weil sie die hier betrachtete Erscheinung von der übrigen Lichtmasse der Entladung isoliert. Die auftretenden Gebilde sind sehr mannigfaltig und oft sehr zierlich, mein Beobachtungsmaterial reicht nicht aus, dieselben in Ordnung darzustellen. Im allgemeinen zeigt sich die Form derselben abhängig von der Richtung des Stromes, und es läßt sich deutlich erkennen, daß die bewegten Gasmassen Geschwindigkeitskomponenten in Richtung der Strombahn besitzen, deren Ursache nicht einfach in der erhöhten Temperatur

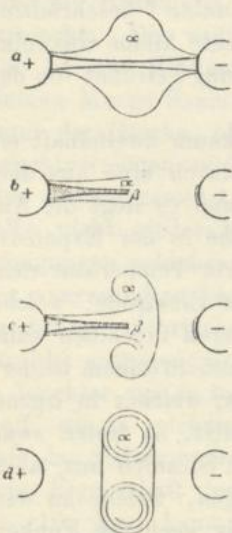


Fig. 27.

der Funkenbahn gesucht werden kann. Zur Bestätigung genügt das einzige Beispiel, welches ich anführen will. Läßt man den Funken der Flasche zwischen kugelförmigen Elektroden von nicht zu großem Abstände überspringen, so erscheint das dem Strahle analoge Gebilde als ein die Mitte der Funkenbahn umgebender Wulst. (Fig. 27, a, α .) Die Farbe desselben ist entsprechend der Farbe des Strahles gelb bei geringen Dichten, rotbraun bei atmosphärischem Drucke. In dieser letzteren Färbung kann der Wulst mit einiger Aufmerksamkeit an jedem Funken gesehen werden, der zwischen den Elektroden einer Holtz'schen Maschine überspringt, wenn die (nicht allzu kleinen) Flaschen derselben benutzt werden. Interessant ist

der Aufschluss, welchen das unter 7 erwähnte Instrument über die Bildung dieses Wulstes giebt. Zunächst erscheint der

helle geradlinige Funke, während dessen Dauer das gelbe Licht entweder noch nicht vorhanden ist oder wegen der Blendung des Auges nicht gesehen werden kann, ihm folgt die Aureole (Fig. 27, *b*, β), vom positiven Pole als roter Streif ausgehend und mit dem gelben Lichte α umgeben, letzteres staut sich etwas jenseits der Mitte des Weges zur Kathode und bildet einen Wirbel (Fig. 27, *c*); diesen Wirbel sieht man noch einige Zeit in der Luft zwischen den Elektroden stehen (Fig. 27, *d*), nachdem die übrige Erscheinung erloschen ist; das ganze hat übrigens nur eine Dauer von etwa $\frac{1}{10}$ Sekunde.

Die hier beschriebenen Erscheinungen habe ich in der Litteratur nicht erwähnt gefunden; Hr. Dr. GOLDSTEIN hatte bei seinen zahlreichen Versuchen über die Entladung in verdünnten Gasen analoge Erscheinungen schon häufig beobachtet, auch machte er mich erst aufmerksam auf den vorteilhaften Einfluss, den ein sorgfältiges Trocknen der Luft auf die Helligkeit des gelben Lichtes ausübt.