UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

281. Leitung in Gasen. Geißlersche Röhren

urn:nbn:de:hbz:466:1-83789

Visual Library

Betrag der Kraft $\mathfrak{H} \cdot u \cdot e_m$ Dynen, oder bei Messung in Coulomb $\frac{\mathfrak{H} \cdot u \cdot e_m}{10}$ Dynen.

Die Gesamtheit der gewonnenen Erkenntnisse läßt sich dann zu der Vorstellung zusammenfassen, daß alle elektrischen und magnetischen Vorgänge in letztem Grunde auf dem Spannungszustande beruhen, den elektrische Ladungen in der Ruhe oder in der Bewegung in dem umgebenden Äther hervorrufen. Über die Beschaffenheit dieser elektrischen Ladungen hat man schließlich noch eine weitere Hypothese entwickelt, die zunächst an die Tatsachen der Elektrolyse und der Ionenladungen anknüpft. An jeder freien Valenz eines Ions haftet die gleiche Elektrizitätsmenge (210). Erzeugen wir einen elektrischen Strom mit Hilfe eines galvanischen Elements, so ist der Strom die Summe der in dem Innern des Elektrolyten an die Polplatten abgegebenen Ionenladung, also ein ganzes Vielfaches der an einer Valenz haftenden Ladung. Dies führt zu der Vorstellung, daß die Elektrizität, ebenso wie die Materie, eine atomistische Struktur habe, d. h. jede Ladung aus gewissen kleinsten, nicht weiter teilbaren Elementarladungen sich zusammensetze. Als diese kleinste in der Natur vorkommende Elektrizitätsmenge hat man die an der freien Valenz eines Ions haftende Ladung anzusehen. Man bezeichnet sie deswegen als elektrisches Atom oder als elektrisches Elementarquantum. Die Größe dieser Elektrizitätsmenge läßt sich berechnen, wenn man die Zahl der Atome z. B. in 1 cm^3 Wasserstoff kennt. Diese Zahl ist zuerst von Loschmidt aus Überlegungen abgeleitet worden, die sich auf die kinetische Theorie der Gase (129) gründen. Danach sind in 1 cm^3 eines Gases bei 760 mm Druck und 0^0 ungefähr 30 Trillionen (30×10^{18}) Moleküle vorhanden. Da 2 Wasserstoff-Ionen bei der Entladung 1 neutrales Wasserstoff-Molekül geben, so ist die Zahl der Wasserstoff-Ionen, die 1 cm^3 neutralen Wasserstoff liefern, 60×10^{18}. Nun haften an 1 g Wasserstoff 96540 Coulomb (211); 1 cm^3 neutraler Wasserstoff aber wiegt 0,00009 g (88). Folglich verteilt sich die Ladung von $96540 \times 0{,}00009 = 8{,}69$ Coulomb $= 8{,}69 \times 3 \times 10^9 = 26 \times 10^9$ elektrostatischen Einheiten auf 60×10^{18} Ionen; an jedem Ion haftet also die Ladung $4{,}3 \times 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten. Diese Hypothese von der atomistischen Struktur der Elektrizität und der Existenz eines elektrischen Elementarquantums hat eine weitere Stütze in neueren Untersuchungen über die Leitung der Elektrizität in Gasen gefunden.

281. **Leitung in Gasen. Geißlersche Röhren.** Wir haben in der Elektrostatik die Gase im wesentlichen als Nichtleiter behandelt (152). Aber wir haben bereits einige Fälle kennen gelernt, in denen elektrische Ströme durch Gase hindurchgehen, so den kurz dauernden elektrischen Funken (179) und den mit konstantem Strom brennenden galvanischen Lichtbogen (236). Auch die Büschel- und Glimmentladung (191, 168) stellt einen konstanten Strom von Elektrizität durch die Luft hindurch dar; im Gegensatz zu dem galvanischen Lichtbogen, der durch verhältnismäßig geringe Spannungen bei hoher Stromstärke unterhalten wird, gehen in dem sogenannten Spitzenstrom, der überhaupt erst bei einer gewissen Minimalspannung einsetzt, bei Spannungen von Tausenden von Volts nur geringe Elektrizitätsmengen über. Die genannten Fälle haben das gemeinsam, daß bei ihnen die Fähigkeit der Luft, den Elektrizitätsübergang zu vermitteln, durch den Entladungsvorgang selbst geschaffen und unterhalten wird. Man bezeichnet deswegen solche Strömungen in Gasen als selbständige Strömungen. Einem Gase kann aber seine Isolationsfähigkeit auch durch eine äußere Ursache genommen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

werden. In einem solchen Falle erzeugt eine Potentialdifferenz ebenfalls einen elektrischen Strom in dem Gase, der aber aufhört, sobald jene Ursache aufhört wirksam zu sein; man nennt deshalb solche Ströme unselbständige Strömungen. Sie sind dadurch ausgezeichnet gegenüber den selbständigen Strömungen, daß es keiner Minimalspannung bedarf, um sie einzuleiten, sondern daß schon die kleinste Spannungsdifferenz eine entsprechende Elektrizitätsbewegung hervorruft. Wir haben einen Fall dieser Art ebenfalls bereits kennen gelernt in der Leitfähigkeit der Flammengase (168). Ein geladener Körper wird entladen, nicht bloß, wenn man ihn etwa mit einer Bunsenflamme bestreicht, sondern auch, wenn er in größerer Entfernung mit den von der Flamme aufsteigenden, aber abgekühlten Gasen in Berührung kommt, und ebenso, wenn er einfach in der Nähe der Flamme steht und mit deren Gasen gar nicht in Berührung kommt. Die gleiche Eigenschaft zeigt die Luft in der Nähe glühender Metalle; sie wird ihr ferner zuteil, wenn sie von den weiterhin zu besprechenden Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen oder den Strahlungen radioaktiver Körper getroffen wird. Die durch solche Umstände hervorgerufene Leitfähigkeit der Gase ist auf alle Fälle eine sehr geringe, selbst im Vergleich zu der neben der metallischen Leitung doch schon sehr geringen Leitfähigkeit der Elektrolyte. Man mißt daher auch in den meisten Fällen diese Ströme in Gasen nicht mit den üblichen Mitteln der Strommessung, sondern auf elektrometrischem Wege, indem man die Entladungsgeschwindigkeit eines geladenen Körpers mißt. Die Untersuchung dieser Erscheinungen hat nun in allen Fällen zu der Vorstellung geführt, daß die elektrische Strömung in Gasen, ebenso wie in Elektrolyten, eine Konvektionsströmung ist, d. h. daß die elektrischen Ladungen an materielle Teilchen gebunden sind und diese letzteren unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes mit ihren Ladungen, je nach deren Vorzeichen, in dem einen oder anderen Sinne wandern. Zum Unterschiede von den elektrolytischen Ionen, die in Lösungen durch Dissoziation entstehen (210), bezeichnet man diese materiellen Träger der elektrischen Strömung in Gasen als Gasionen und nennt die Gase, wenn sie leiten, ionisiert. Die Flammengase z. B. sind ionisiert. Bringt man einen negativ geladenen Körper in die Nähe einer Flamme, so zieht die Kraft des elektrischen Feldes die positiven Ionen aus der Flamme nach dem Körper hin und der Körper entladet sich. Bringt man eine Flamme zwischen die entgegengesetzt geladenen Platten eines Kondensators, so sieht man, daß der leuchtende äußere Mantel der Flamme nach der negativen Platte, der innere Teil in geringerem Maße nach der positiven Platte hin gezogen wird, und schließt daraus, daß der äußere Teil überwiegend positive, der innere negative Ionen enthält.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Gasionen unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes durch ein Gas hindurchbewegen, ist sehr viel größer als diejenige der elektrolytischen Ionen in den so viel dichteren Flüssigkeiten. Während ein Wasserstoffion in einer Lösung unter einem Potentialgefälle von

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

1 Volt auf 1 cm nur 0,003 cm in 1 Sekunde zurücklegt (210), durchwandern die Gasionen unter der gleichen Kraft in der gleichen Zeit Strecken von 1 cm und mehr. Diese Geschwindigkeiten sind im allgemeinen für negative Gasionen etwas größer als für positive. Sie sind ferner in feuchten Gasen geringer als in trockenen, was durch die Annahme erklärt wird, daß die Ionen in feuchten Gasen durch Anlagerung von Wasserdampfmolekülen ihre Masse vermehren. Die Gasionen haben ferner die Eigentümlichkeit, bei Nebelbildung als Kondensationskerne zu wirken. Wird eine ionisierte feuchte Gasmasse adiabatisch ausgedehnt und dadurch abgekühlt (127), so schlägt sich der Wasserdampf auf den Gasionen nieder, und zwar zuerst auf den negativen, bei weiterer Abkühlung auch auf den positiven (C. T. R. Wilson, 1897). Diese Eigenschaft ist benutzt worden, um zu bestimmen, wie groß die Ladung eines einzelnen Gasions ist. Man kann nämlich auf Grund des bekannten Reibungswiderstands der Luft auf eine bewegte Kugel aus der Geschwindigkeit, mit der die Nebeltröpfchen heruntersinken, die Größe der Tröpfchen und daraus ihre Masse berechnen; dividiert man nun die Gesamtmasse des gebildeten Nebels, die man ebenfalls aus Beobachtungsdaten berechnen kann, durch die Masse der einzelnen Tropfen, so erhält man die Zahl der Nebeltröpfchen. Bestimmt man andererseits die Gesamtladung der zur Nebelbildung benutzten Ionen und dividiert diese durch die Zahl der Tröpfchen, so erhält man die Ladung des einzelnen Ions. Untersuchungen nach dieser Methode von J. J. Thomson, Townsend und Wilson ausgeführt, haben übereinstimmend das interessante Ergebnis gehabt, daß die Ladung des einzelnen Gasions dieselbe Größe hat, wie die Valenzladung eines elektrolytischen Ions, also mit dem oben berechneten Elementarquantum übereinstimmt. Diese Ladungen haften aber bei den ionisierten Gasen nicht an den Valenzen einzelner Atome oder Atomgruppen, wie in den Elektrolyten, sondern scheinen als Mittelpunkte zur Anlagerung neutraler Moleküle zu dienen, so daß die Träger dieser Ladungen schließlich Komplexe von Molekülen sind, die man dann im Gegensatz zu den Atomionen als Molionen bezeichnet.

Da die Ionen entgegengesetzter Ladung natürlich das Bestreben haben, sich wieder zu vereinigen, so verschwindet die Ionisierung des Gases nach kurzer Zeit, sobald die ionisierende Ursache aufhört zu wirken. Solange sie aber wirkt, wird sich ein gewisses Gleichgewicht zwischen der ionisierenden Wirkung und dem Vereinigungsbestreben der Ionen herstellen. Wenn nun ein elektrisches Feld die entgegengesetzten Ionen nach entgegengesetzten Richtungen auseinanderführt, so wird zwar anfangs mit wachsender Potentialdifferenz die Zahl der in der Zeiteinheit an die Elektrode gelangenden Ionen, d. i. die Stromstärke, zunehmen; wenn aber die Kraft schließlich so groß wird, daß so viel Ionen an die Elektrode übergeführt werden, wie die ionisierende Ursache in derselben Zeit erzeugt, so kann eine Vermehrung der übergeführten Ionenzahl durch eine Steigerung der Potentialdifferenz offenbar nicht mehr erreicht werden; der Strom hat dann sein Maximum erreicht. Die unselbständige Strömung in Gasen folgt also nicht dem Ohmschen Gesetz, nach dem Strom und Spannung einander proportional sind, sondern die Stromstärke strebt mit wachsender Spannung einem Maixmalwerte zu, der natürlich von der Stärke der ionisierenden Wirkung abhängt. Diesen Maximalwert nennt man den Sättigungsstrom.

Die Erscheinungen der Glimmentladung nehmen besonders auffallende und glänzende Formen an, wenn sie in luftverdünnten Räumen erfolgen. Wir haben die dabei auftretenden Veränderungen der Entladungsform bereits oben (191) kurz beschrieben. Man erzeugt diese Erscheinungen bequemer mit Hilfe des Funkeninduktors. Kommt es aber darauf an, die Strom- und Spannungsverhältnisse bei diesen Entladungsformen zu untersuchen, so ist es nötig, sie in Gestalt eines konstanten Stromes mit Hilfe einer Hochspannungsbatterie zu erzeugen, die man sich am zweckmäßigsten durch Hinter-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einanderschaltung von tausend oder mehr kleinen Akkumulatoren herstellt.

Die verdünnten Gase werden dabei in Glasröhren eingeschlossen, in die an geeigneten Stellen eingeschmolzene Platin- oder Aluminiumdrähte als Elektroden hineinragen, welche außerhalb mit Ösen zum Einhängen der Leitungsdrähte versehen sind (Gassiot, 1854, Geißler und Plücker, 1858). Von den mannigfaltigen Formen, welche man diesen Geißlerschen Röhren zu geben pflegt, ist eine der einfachsten in Fig. 255 dargestellt. Enthält die Röhre mäßig (z. B. auf $^1/_{300}$) verdünnte Luft, so erscheint beim Durchgang des Stromes die negative Elektrode (Kathode) von einer zarten tiefblauen Licht-

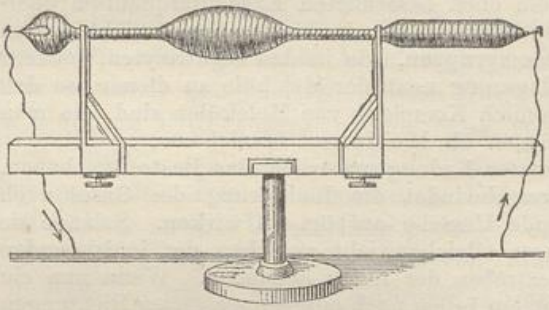

Fig. 255.
Geißlersche Röhre.

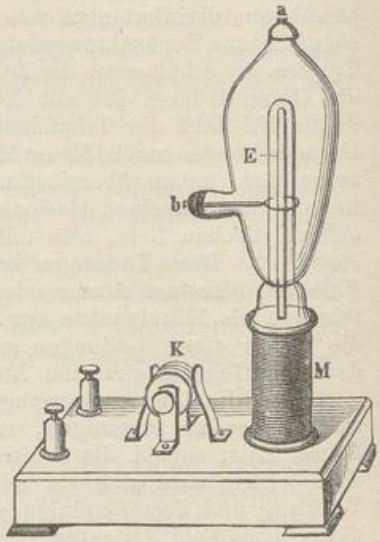

Fig. 256.
Drehung des Lichtstromes um einen Magnet.

hülle, dem Glimmlicht (191), umgeben; von der positiven Elektrode (der Anode) aber ergießt sich eine pfirsichblütrote Lichtgarbe durch die ganze Röhre fast bis zur negativen Lichthülle, bleibt aber von dieser durch einen dunklen Zwischenraum, den man wohl auch als den Faradayschen Dunkelraum bezeichnet, getrennt; diese Garbe, die positive Lichtsäule, löst sich bei weiterer Verdünnung des Gasinhalts der Röhre in eine Reihe heller nnd dunkler Schichten auf, welche zur Achse der Röhre senkrecht stehen. Einem genäherten elektrischen Strom oder einem Magnet gegenüber verhält sich die positive Lichtgarbe wie ein beweglicher Stromleiter; sie wird z. B. von einem Magnet abgelenkt nach denselben Gesetzen wie ein beweglicher Leitungsdraht, und gerät in dauernde Umdrehung um einen Magnetpol. Man zeigt dies bequem mittels der Vorrichtung Fig. 256; in ein eiförmiges Glasgefäß, in welchem die Luft hinreichend verdünnt ist, ragt ein mit einer Glas-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hülle bedeckter Eisenstab *E* hinein; der Lichtstrom ergießt sich parallel zum Eisenstab zwischen den beiden Platinelektroden, deren eine (*a*) am oberen Ende des Eies angebracht ist, während die andere (*b*) weiter unten den Eisenstab ringförmig umgibt; stellt man das Ei auf den Pol eines Elektromagnets *M*, so wird der Eisenstab magnetisch, und die Lichtgarbe dreht sich nun um ihn ebenso, wie ein beweglich aufgehängter Leitungsdraht (254); die Richtung der Drehung kehrt sich um, wenn man mittels des Kommutators *K* die Pole des Elektromagnets wechselt oder wenn man die Richtung des Lichtstroms umkehrt.

Die Farbe des positiven Lichtstromes ist je nach der Beschaffenheit des in der Röhre enthaltenen Gases verschieden, z. B. in Wasserstoffgas purpurrot, in Kohlensäure grünlich. Immer aber ist sein Licht reich an jenen violetten und ultravioletten Strahlen, welche das als „Fluoreszenz" bezeichnete Selbstleuchten des Glases hervorzurufen imstande sind; indem man Teile der Röhre aus stark fluoreszierenden Glassorten, z. B. dem hellgrün leuchtenden Uranglas, in zierlichen Formen herstellt, wird die Pracht und Mannigfaltigkeit der Lichterscheinungen noch bedeutend gesteigert.

Bei näherer Betrachtung sieht man, daß das Glimmlicht der Kathode nicht unmittelbar anliegt, sondern durch einen zweiten dunklen Raum, den man den dunklen Kathodenraum oder den Crookesschen Dunkelraum nennt, von ihr getrennt ist. Unmittelbar auf der Oberfläche der Kathode aber liegt eine dünne, meist rötlich-gelbe Lichthaut, die man als erste Kathodenschicht bezeichnet. Bis zu Drucken von einigen Millimetern herunter nimmt die positive Säule den größten Teil des ganzen Entladungsrohres ein, während das Glimmlicht nur eine schmale Lichthülle über der Kathode bildet. Bei weiterer Verdünnung des Gasinhalts der Röhre zieht sich das positive Licht allmählich zurück, das Glimmlicht dehnt sich aus und entfernt sich von der Kathode, indem der Crookessche Dunkelraum sich ebenfalls ausdehnt.

Untersucht man die Spannungsdifferenz, die man an die Elektroden einer Geißlerschen Röhre anlegen muß, um einen Strom von bestimmter Stärke durch die Röhre hindurchzuschicken, so findet man, daß mit abnehmendem Druck des Gases diese Spannungsdifferenz abnimmt bis zu einem Minimalwerte, der von Gestalt und Größe der Röhre und der Elektroden abhängt, und bei weiterer Verdünnung wieder stark anwächst. In der Nähe dieses Umkehrdrucks ist die zum Betrieb der Röhre erforderliche Spannung unter Umständen so gering, daß nicht bloß der Öffnungs- sondern auch der Schließungsstrom eines Induktoriums (264) durch die Röhre hindurchgeht; die Röhre zeigt dann negatives Glimmlicht an beiden Elektroden.

Indem man in die Glaswand der Röhre Metalldrähte, sog. Sonden, senkrecht zur Strombahn einschmilzt, kann man feststellen, wie sich die an die Elektroden angelegte Potentialdifferenz auf die einzelnen Teile der Entladung verteilt. Diese Verteilung ist sehr ungleichmäßig. Von der Anode aus fällt das Potential zunächst ziemlich steil ab; dann vermindert sich der Potentialfall und bleibt innerhalb der positiven Lichtsäule nahezu konstant; innerhalb des Faradayschen Dunkelraumes tritt eine weitere Verminderung bis zu einem geringsten Werte des Potentialfalles im negativen Glimmlicht ein; in diesem ist

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die Abnahme des Potentials am kleinsten. Dann aber folgt von der Grenze des negativen Glimmlichtes durch den Kathodendunkelraum hindurch bis zur Kathode ein sehr steiler Abfall des Potentials, der sog. Kathodenfall. Er hat bei allmählich steigender Verdünnung einen konstanten Wert, solange das Glimmlicht die Kathode noch nicht vollständig bedeckt (normaler Kathodenfall); bei abnehmendem Druck oder gesteigerter Stromstärke dehnt sich dann das Glimmlicht nur weiter über die Kathode hin aus. Sobald aber die Kathode vom Glimmlicht ganz eingehüllt ist, tritt bei weiterer Verdünnung oder steigender Stromstärke eine Zunahme des Kathodenfalles ein (anormaler Kathodenfall).

Eine Erklärung der komplizierten Erscheinungen in Geißlerschen Röhren läßt sich auf Grund der Vorstellung entwickeln, daß zunächst durch das elektrische Feld eine Ionisierung des Gases hervorgerufen wird, und daß die gebildeten Ionen unter dem Einfluß der elektrischen Kraft in dem verdünnten Gase so hohe Geschwindigkeiten erlangen, daß sie einerseits beim Zusammenstoß mit den Gasmolekülen Lichtschwingungen hervorrufen, andrerseits durch den Stoß eine weitere Ionisierung des Gases bewirken.

282. **Kathodenstrahlen. Elektronen. Röntgenstrahlen.** Bei fortgesetzter Verdünnung des Gases in einer Geißlerschen Röhre verschwindet schließlich das positive Licht ganz; die Röhre zeigt nur noch ein schwaches Leuchten des negativen Glimmlichts. Gleichzeitig aber sieht man die Glaswand an den der Kathode gegenüberliegenden Stellen in grünlichem Lichte aufleuchten. Diese bei hohen Verdünnungen auftretende Erscheinung rührt von einer Wirkung her, die in Form einer Strahlung senkrecht von der Kathode ausgeht; man hat ihr deswegen nach Goldsteins Vorschlag den Namen Kathodenstrahlen gegeben.

Während der positive Lichtstrom in einer gewöhnlichen Geißlerschen Röhre wie ein beweglicher Stromleiter die Verbindung nach der negativen Elektrode herstellt, sich stets nach dieser hinwendet und allen etwa vorhandenen Krümmungen der Röhre folgt, gehen in Röhren, in denen die Luft bis auf etwa ein Milliontel einer Atmosphäre verdünnt ist, die Kathodenstrahlen in geraden Linien senkrecht von der Kathode aus und werden in ihrer Richtung durch die Lage der Anode nicht im mindesten beeinflußt. Crookes (1879) bediente sich zum Nachweis dieser von Hittorf (1869) entdeckten Eigentümlichkeit der folgenden Einrichtung. In die V-förmige Röhre Fig. 257 sind die Drähte $a\,b\,c$ eingeschmolzen, deren jeder eine kleine kreisförmige Blechplatte trägt; setzt man a mit dem negativen, b mit dem positiven Pol des Induktionsapparats in Verbindung, so pflanzen sich die Kathodenstrahlen in gerader Linie nur bis c fort, ohne dort um die Ecke zu biegen; denn nur der Schenkel $a\,c$ leuchtet in grünem Licht. Verbindet man aber a mit dem positiven, c mit dem negativen Pol, so ergießen sich die Kathodenstrahlen in der zur Kathodenplatte c senkrechten Richtung geradlinig nach b hin, und nur der Schenkel $b\,c$ zeigt die grüne Phosphoreszenz, obwohl die Entladung nur durch den Schenkel $a\,c$ hindurchgeht. Die Kathodenstrahlen gehen also senkrecht von der Kathode aus, unbekümmert um den Weg, den die Entladung befolgt. Man kann diesen wesentlichen Unterschied zwischen der elektrischen Entladung in mäßig verdünnter und sehr stark verdünnter Luft sehr auffallend an den beiden ganz gleichen, kugel-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN