

SAMMLUNG VIEWEG

**TAGESFRAGEN AUS DEN GEBIETEN
DER NATURWISSENSCHAFTEN
UND DER TECHNIK**

Heft 66

Über

**Schwingungserscheinungen
in Entladungsröhren**

Von

Dr. Walter Schallreuter



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH



Die „Sammlung Vieweg“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig, und zwar für:

Physik (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):

Herr Professor Dr. Karl Scheel, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;

Chemie (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):

Herr Professor Dr. B. Neumann, Techn. Hochschule, Breslau;

Technik (Wasser-, Straßen- und Brückenbau, Maschinen- und Elektrotechnik, Schiffsbau, mechanische, physikalische und wirtschaftliche Probleme der Technik):

Herr Professor Dr.-Ing. h. c. Fritz Emde, Techn. Hochschule, Stuttgart.

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 1. Dr. Robert Pohl und Dr. P. Pringsheim-Berlin: *Die lichtelektrischen Erscheinungen*. Mit 36 Abbildungen. Vergriffen.
- Heft 2. Dr. C. Freiherr von Girssewald-Berlin-Halensee: *Peroxyde und Persalze*. M. 2,50.
- Heft 3. Diplomingenieur Paul Béjeuhr-Charlottenburg: *Der Blériot-Flugapparat und seine Benutzung durch Pégoud vom Standpunkte des Ingenieurs*. Mit 26 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 4. Dr. Stanislaw Loria-Krakau: *Die Lichtbrechung in Gasen als physikal. und chem. Problem*. Mit 3 Abbild. und 1 Tafel. M. 3,—.
- Heft 5. Professor Dr. A. Gockel-Freiburg i. d. Schweiz: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 6. Ingenieur D. Sidersky-Paris: *Brennereifragen: Kontinuierliche Gärung der Rübensäfte. — Kontinuierliche Destillation und Rektifikation*. Mit 24 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 7. Hofrat Professor Dr. Ed. Donath und Dr. A. Gröger-Brünn: *Die flüssigen Brennstoffe, ihre Bedeutung und Beschaffung*. Mit 1 Abbildung. M. 2,50.
- Heft 8. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Max B. Weinstein-Berlin: *Kräfte und Spannungen. Das Gravitations- und Strahlenfeld*. M. 2,—.
- Heft 9/10. Geh. Reg.-Rat Professor Dr. O. Lummer-Breslau: *Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur*. Mit 50 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Oppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen und Gewebepflege im Explantat*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 13. Dr. Wilhelm Foerster-Berlin: *Kalenderwesen und Kalenderreform*. M. 1,50.
- Heft 14. Dr. O. Zoth-Graz: *Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese*. Mit 3 Textfiguren und 10 Kurventafeln. M. 3,—.

Über
Schwingungserscheinungen
in Entladungsröhren

Von
Dr. Walter Schallreuter

Mit 14 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
1923

Herausgeber dieses Heftes:
Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Scheel, Berlin

ISBN 978-3-322-98054-0

ISBN 978-3-322-98687-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-98687-0

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Die Grundlage des vorliegenden Heftes bildet meine Inaugural-Dissertation über die „Erzeugung elektrischer Glimmlichtschwingungen in Röhren mit Edelgasfüllungen“. Während die Lichtbogenschwingungen schon vielfach Gegenstand ausführlicher Abhandlungen gewesen sind — vgl. z. B. H. Barkhausen, „Das Problem der Schwingungserzeugung“ oder K. W. Wagner, „Der Lichtbogen als Wechselstromerzeuger“ —, fehlte es bislang an einer zusammenfassenden Darstellung der Schwingungserscheinungen in Entladungsröhren. Herr Prof. Dr. W. Nernst legte mir daher den Gedanken nahe, durch die Herausgabe der erweiterten Dissertation eine Übersicht über die den Gegenstand betreffenden Arbeiten zu geben. Entsprechend dem allgemeinen Ziele wurde die Darstellung umgearbeitet und in geschichtlicher Beziehung ergänzt, besonders durch die nähere Beschreibung des Glimmlichtgenerators.

Ergebenen Dank schulde ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. W. Nernst, für die Anregung und fortdauernde Anteilnahme an meinen Arbeiten, sowie Herrn Prof. Dr. E. Gehrcke, durch den ich zur Kenntnis der Patente der Polyphos-Elektrizitätsgesellschaft gelangt bin.

Berlin, im Mai 1923.

Walter Schallreuter.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Kapitel. Einleitung	1
2. Kapitel. Geschichtliche Übersicht	3
3. Kapitel. Die Vorversuche	11
4. Kapitel. Vergleichende Messungen über die Abhängigkeit der Schwingungsenergie von der Edelgasart und dem Druck	16
5. Kapitel. Die Spitzen- und Entladungsspannungen des Kondensators bei Schwingungen zweiter Art	21
6. Kapitel. Nebenerscheinungen	31
7. Kapitel. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	36
Literaturverzeichnis	38
Register	39

I. Einleitung.

Der Grundgedanke zur Erzeugung von Glimmlichtschwingungen besteht in folgendem:

Ein Kondensator wird durch einen großen Widerstand von einer Stromquelle allmählich aufgeladen; der Kapazität parallel liegt eine Entladungsröhre. Sobald der Kondensator die für die Röhre charakteristische Zündspannung angenommen hat, wird er sich durch die Röhre entladen bis zu der Spannung, bei der sie gerade noch stromdurchlässig ist; denn es ist eine wesentliche Eigenschaft solcher Entladungsröhren, nur oberhalb einer gewissen Spannung eine selbständige Strömung liefern zu können. Nun wird wegen des großen Widerstandes der Kondensator erst allmählich wieder das Zündpotential annehmen, so daß sich im Stromkreise in bestimmten Zeitabschnitten Stromstöße bilden, deren Anzahl in der Zeiteinheit wesentlich abhängig sein wird von der Spannung der Gleichstromquelle, der Größe des Widerstandes, der Kapazität des Kondensators und dessen Potentialdifferenz im aufgeladenen und durch die Röhre entladenen Zustande. Diese Stromstöße kann man nun zur Erzeugung von Wechselstrom verwenden. — Meine Aufgabe bestand darin, festzustellen, unter welchen Bedingungen diese Schwingungen in Edelgasen entstehen, welches ihre Eigentümlichkeiten sind und ob der erzeugte Wechselstrom energiereich genug wäre, um ihn im Laboratorium zur Messung von Leitfähigkeiten u. ä. zu verwenden.

Die Vorzüge der geschilderten Art der Schwingungserzeugung dem Induktorium gegenüber sind das Fehlen beweglicher Teile, der Fortfall aller Nebengeräusche, die sich bei diesem oft sehr störend bemerkbar machen, dann eine überaus einfache Einstellung der gewünschten Tonhöhe durch Veränderung des Widerstandes im Hauptkreise; da ferner eine Glimmentladung durch Röhren mit Edelgasfüllung mit 220 Volt möglich ist, so kann man als Stromquelle die Lichtleitung benutzen und wird also von Akkumulatoren unabhängig, und endlich ist der Stromverbrauch äußerst gering.

Den Ausgangspunkt für die Versuche bildeten die im Handel befindlichen Neonlampen, deren Füllung aus einem Neon-Heliumgemisch besteht (Verhältnis 3:1). Untersucht wurden außerdem reines Neon, Argon und Helium.

Im folgenden soll zunächst ein Überblick gegeben werden über die Bedingungen, die für das Auftreten von Glimmlichtschwingungen charakteristisch sind, sowie ein Abriss über die Arbeiten von Hittorf, Righi, Gehrcke, Reichenheim, Wertheimer, Herweg und Valle, die die Grundlage meiner Experimentaluntersuchung über diese Schwingungen bildeten. Die Versuche bewiesen in erster Linie, daß es in der Tat möglich ist, so energie-

reiche Schwingungen zu erzeugen, wie sie ein kleineres gebräuchliches Induktorium nicht zu liefern vermag, und Messungen über Leitfähigkeiten und Dielektrizitätskonstanten bewiesen die praktische Verwendbarkeit.

Die Bedeutung der Edelgase für die Schwingungserzeugung beruht auf ihrer hohen Stromdurchlässigkeit, die sich beim selbständigen Glimmstrom z. B. durch den niedrigen Kathodenfall äußert. So kann

man mit 220 Volt in den käuflichen Glimmlampen, also mit eisernen Elektroden bei Drucken bis zu 50 mm bei gewöhnlicher Temperatur leicht die Glimmentladung erzielen.

Aus der Charakteristik der Gase lassen sich, wie Kaufmann gezeigt hat ¹⁾, die Bedingungen ableiten, unter denen Schwingungen in dem Gase auftreten können.

In einem Kreise, wie er durch die Fig. 1 angedeutet ist (im äußersten Fall kann die Kapazität C fortfallen, da schon die metallischen Elektroden in der Gasstrecke selber einen Kondensator bilden), sind Intermittenzen unmöglich, sobald

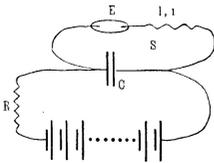
$$\frac{1}{CR} + \frac{1}{l} \frac{\partial E}{\partial i} > 0 \quad (1)$$

und

$$R + \frac{\partial E}{\partial i} > 0 \quad (2)$$

ist. (Kaufmannsche Stabilitätsbedingungen.)

Fig. 1.



R Widerstand, C Kondensator, S Schwingungskreis, E Spannung der Elektroden an der Röhre, l Selbstinduktion, i Stromstärke im Kreise S .

Beide Bedingungen sind stets erfüllt, sobald $\frac{\partial E}{\partial i} > 0$, d. h. die Spannung mit zunehmendem Strome steigt, oder Schwingungen können nur bei fallender Charakteristik eintreten. — Die in einer Gasstrecke möglichen diskontinuierlichen Entladungen zerfallen in drei Klassen *): Schwingungen erster Art sind solche, denen ein konstanter Gleichstrom überlagert ist; der Strom durch die Gasstrecke behält dauernd gleiche Richtung und wird nie Null; für diese Schwingungen gilt die Thomsonsche Formel $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Zweiter Art sind solche Schwingungen, bei denen die Stromstärke eine gewisse Zeit lang (während der Aufladungszeit des Kondensators) Null ist. Die Intermittenzen bestehen in den stark gedämpften aperiodischen Einzelentladungen des Kondensators, für deren Frequenz die Thomsonsche Formel auch nicht angenähert gilt. Bei den Schwingungen dritter Art endlich erfolgt eine Rückzündung in umgekehrter Richtung.

Bei den von mir untersuchten Glimmlichtschwingungen sind solche dritter Art nicht aufgetreten; die Dämpfung im Entladungswege des Kondensators ist so groß, daß die Spannung nie negativ wird und infolgedessen eine Rückzündung nicht möglich ist.

Von praktischer Bedeutung sind die Schwingungen zweiter Art, die sehr leicht zu erzeugen sind, und die schon von Hittorf in Wasserstoff beobachtet sind. Hittorf kannte auch schon die Grundeigentümlichkeiten dieser diskontinuierlichen Glimmentladungen, so daß ein Eingehen auf diese Arbeiten geboten erscheint.

II. Geschichtliche Übersicht.

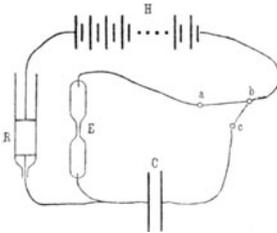
Hittorfs Untersuchungen über die „Elektrizitätsleitung der Gase“²⁾ sollten zunächst beweisen, daß eine stetige Glimmentladung durchaus möglich wäre; Gassiot hatte mit dem Drehspiegel gefunden, daß eine Kette von 400 Elementen in seinen Entladungsröhren entschieden diskontinuierliche Glimmentladungen gab, trotzdem dieselbe Kette eine sicher stetige Bogenentladung von unvergleichlich größerer Stromstärke lieferte. Aus diesem Ergebnis zog Gassiot den Schluß, daß die geschichtete Entladung niemals eine kontinuierliche sei.

*) Diese Einteilung entspricht der für den Lichtbogen üblichen.

Hittorf erzielte mit einer Tauchbatterie von 1600 Bunsen-
elementen die stetige Glimmentladung; er erhielt Intermittenzen,
wenn hinreichend große Widerstände in den äußeren Schließbogen
aufgenommen waren oder sich im Gase selbst befanden, wie es in
den Gassiot'schen Vakuumröhren der Fall war (der die Entladungen
in sehr stark verdünnten Gasen untersuchte).

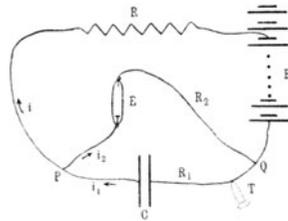
Die Fig. 2 zeigt das Schema der Hittorf'schen Versuchs-
anordnung. Ist der Stromkreis durch den Verbindungsdraht *a, b*
geschlossen und der Kondensator zunächst noch nicht eingeschaltet,
so kann der stetig veränderliche Jodcadmiumwiderstand *R* leicht
so eingestellt werden, daß in der Entladungsröhre *E* diskontinuierliche
Entladungen auftreten; denn in der Zeit, in der die einzelne

Fig. 2.



H Hochspannungsbatterie, *R* Flüssigkeits-
widerstand (Auflösung von Jodcadmium in
Amylalkohol, stetig veränderlich),
E Entladungsröhre (mit Wasserstoff gefüllt),
C Paraffinkondensator, *a, b, c* isolierte Queck-
silbernäpfchen.

Fig. 3.



B Hochspannungsakkumulatorenbatterie,
R Widerstand (Flüssigkeitswiderstand),
E Entladungsröhre, *C* Kondensator,
T Telephon.

Partialentladung im Gase erfolgt, vermag die elektromotorische
Kraft der Kette den Verlust der Leiter auf beiden Seiten der
Gassäule wegen des geringen Leitvermögens der Jodcadmiumlösung
nicht zu ersetzen. Verringert man den Widerstand, so kann man
erreichen, daß das Licht im rotierenden Spiegel eben kontinuierlich
erscheint; fügt man jetzt den Verbindungsdraht *b, c* hinzu, so
vermehrte man die Kapazität der Leiter und der Widerstand muß
weiter verkleinert werden, wenn das Licht derselben Gassäule
wieder einen stetigen Streifen im Drehspiegel liefern soll.

Liegt die Entladungsröhre *E* parallel zum Kondensator, so
rühren bei unstetiger Entladung die Intermittenzen von den auf-
einanderfolgenden Entladungen des Kondensators durch die Gas-
säule her. Sie folgen sich in der Röhre um so langsamer, je
größer der Widerstand *R* und die Kapazität des Kondensators ist.

Hittorf hat also schon qualitativ die Abhängigkeit der Frequenz dieser Schwingungen zweiter Art von den Konstanten des Stromkreises erkannt. Righi hat 1902 genaue Formeln angegeben, die wegen ihrer Wichtigkeit für das Folgende hier kurz betrachtet werden müssen.

Die Fig. 3 zeigt die von Righi³⁾ angegebene Schaltung. Es möge E die elektromotorische Kraft der Batterie B bedeuten, u die Potentialdifferenz zwischen P und Q und v die Spannung am Kondensator; ferner seien in den einzelnen Verzweigungen die diesbezüglichen Stromstärken i , i_1 und i_2 mit den entsprechenden Widerständen R , R_1 und R_2 , wie in der Skizze bezeichnet. Righi geht nun zur Ableitung der Schwingungsformel aus von dem folgenden Gleichungssystem:

$$\left. \begin{aligned} E - u + R i &= 0, \\ u - v + R_1 i_1 &= 0, \\ -u + R_2 i_2 &= 0, \\ i_1 - i - i_2 &= 0, \\ i_1 dt &= -C dv, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

das sich (unter Vernachlässigung der Selbstinduktionen) unmittelbar aus der Figur ergibt und für jede beliebige Zeit t Gültigkeit besitzt. Eliminiert man aus diesen Gleichungen i , i_1 , i_2 und u , so erhält man

$$E R_2 = (R + R_2) v + C \varrho \frac{dv}{dt}, \quad (4)$$

wobei

$$\varrho = R R_1 + R_1 R_2 + R_2 R,$$

und durch Integration dieser Beziehung:

$$v = E \frac{R_2}{R + R_2} + k e^{-\frac{R + R_2}{C \varrho} t}, \quad (5)$$

wobei k die Integrationskonstante ist.

Also wird, da

$$\begin{aligned} u &= v + R_1 C \frac{dv}{dt}, \\ u &= E \frac{R_2}{R + R_2} + k \frac{R R_2}{\varrho} \cdot e^{-\frac{R + R_2}{C \varrho} t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Wendet man diese Formeln zunächst für die Aufladung des Kondensators an, für die $R_2 = \infty$ zu setzen ist, so ergibt sich:

$$v = E + k e^{-\frac{t}{C(R+R_1)}}, \quad (7)$$

$$u = E + k \frac{R}{R+R_1} \cdot e^{-\frac{t}{C(R+R_1)}}. \quad (8)$$

Zur Bestimmung von k bedenke man, daß zur Zeit $t = 0$, wenn die Entladung durch die Röhre aufgehört hat und die Aufladung des Kondensators einsetzt, die Potentialdifferenz u an den Elektroden nicht Null sein wird, sondern den Wert U_0 besitzt.

Mithin

$$U_0 = E + k \frac{R}{R+R_1}, \quad (8a)$$

und mit dem hieraus zu berechnenden Wert von k werden (7) und (8)

$$v = E - \frac{R+R_1}{R} (E - U_0) \cdot e^{-\frac{t}{C(R+R_1)}}, \quad (9)$$

$$u = E - (E - U_0) \cdot e^{-\frac{t}{C(R+R_1)}}; \quad (10)$$

beginnt nun die Entladung durch die Röhre bei dem Werte U , und bezeichnet t' die Dauer der Aufladung, so ist

$$U = E - (E - U_0) \cdot e^{-\frac{t'}{C(R+R_1)}} \quad (11)$$

oder

$$t' = C(R+R_1) \ln \frac{E - U_0}{E - U}. \quad (12)$$

Bezeichnen wir jetzt mit $t = 0$ das Einsetzen der Entladung, wenn also $u = U$, so wird (6)

$$U = E \frac{R_2}{R+R_2} + k \frac{R \cdot R_2}{\varrho}, \quad (13)$$

und mit diesem Werte für k ergeben sich aus (5) und (6) die Beziehungen:

$$v = E \frac{R_2}{R+R_2} + \frac{\varrho}{R R_2} \cdot \left(U - E \frac{R+R_2}{R_2} \right) \cdot e^{-\frac{R+R_2}{C \varrho} t}, \quad (14)$$

$$u = E \frac{R_2}{R+R_2} + \left(U - E \frac{R_2}{R+R_2} \right) \cdot e^{-\frac{R+R_2}{C \varrho} t}. \quad (15)$$

Ist die Dauer der Entladung gleich t'' , bis also u wieder gleich U_0 ist, so erhalten wir

$$U_0 = E \frac{R_2}{R + R_2} + \left(U - E \frac{R_2}{R + R_2} \right) \cdot e^{-\frac{R + R_2}{C Q} t''} \quad (16)$$

oder

$$t'' = \frac{C Q}{R + R_2} \ln \frac{E R_2 - U (R + R_2)}{E R_2 - U_0 (R + R_2)}. \quad (17)$$

Mithin ergibt sich für die Dauer T einer ganzen Schwingung, da $T = t' + t''$,

$$T = C (R + R_1) \ln \frac{E - U_0}{E - U} + \frac{C Q}{R + R_2} \ln \frac{E R_2 - U (R + R_2)}{E R_2 - U_0 (R + R_2)}, \quad (18)$$

oder, wenn $R \gg R_1$ und $R \gg R_2$, mit genügender Annäherung

$$T = C R \ln \frac{E - U_0}{E - U} + C (R_1 + R_2) \ln \frac{U}{U_0}. \quad (19)$$

In dem theoretischen Teil seiner Arbeit untersucht Righi noch den Einfluß der Vernachlässigungen, und kommt dabei und auch durch experimentelle Erfahrungen zu dem Ergebnis, daß die Formel (19) mit guter Annäherung für ein weites Gebiet der Schwingungen Gültigkeit besitzt. Er kann bei seinen Versuchen den Widerstand R , die Kapazität des Kondensators C , den Druck des Gases und den Elektrodenabstand in der Entladungsröhre verändern, und mit diesen die Frequenz der Schwingungen. Er arbeitet mit Luft und Wasserstoff von 5 bis 10 mm Druck, mit einer Spitze als Anode und einer Platte als Kathode; als Anode dient ihm ein Platindraht, die Kathode ist eine gut polierte Aluminiumplatte oder Quecksilber. Ferner untersucht er den zeitlichen Verlauf der Stromstärke im Kondensatorkreise mit der Braunschen Röhre.

Die Versuche Hittorfs und Righis blieben zunächst unbeachtet, denn die geringe Energie der Glimmlightschwingungen schloß eine Verwendung in der Technik aus. Da die Intermitenzen nur bei fallender Charakteristik auftreten, schien es unmöglich zu sein, die Energie der Schwingungen zu erhöhen, da bei wachsender Stromstärke die Charakteristik wieder ansteigt. Gehrecke, Reichenheim und Wertheimer⁴⁾ ist es jedoch gelungen, die Energie der Schwingungen so zu steigern, daß das Geißlersche Rohr als Generator für starke ungedämpfte Schwingungen — als Glimm-

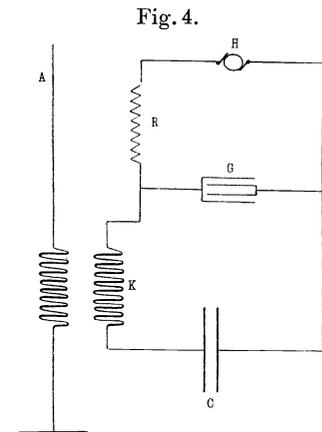
lichtgenerator — für die Zwecke der Technik (drahtlose Telegraphie usw.) benutzt werden kann.

Erhöht man nämlich den Druck in der Entladungsröhre auf einen von der Spannung abhängigen Wert, so verschiebt sich der abfallende Ast der Charakteristik im Sinne der steigenden Stromstärke auch bei hohen Frequenzen. Wesentlich ist also das Negativbleiben von $\frac{\partial E}{\partial i}$ in dem Entladungsrohr bei hohen Frequenzen

großer Energie infolge des (z. B. auf einige Zentimeter) gesteigerten Gasdruckes und der vergrößerten Kapazität. Infolgedessen ist die

Erscheinung des intermittierenden Glimmlichtes bei hohen Stromstärken nur dann stabil, wenn das Glimmlicht nur einen Teil der Kathode bedeckt. (Vgl. weiter unten Herweg.)

Die Fig. 4 zeigt die von den Erfindern angegebene Ausführungsform für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie. Die Kapazität des Kondensators beträgt etwa 0,1 MF; die Gasfüllung des Glimmlichtgenerators besteht z. B. aus Wasserstoff oder Helium bei 30 mm Druck; besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn die Elektroden aus zwei konzentrisch angeordneten Kupferrohren gefertigt sind, wobei die Anode dicht an das negative Glimmlicht heran-



H Gleichstromhochspannungsmaschine (1200 Volt), R Widerstand, G Glimmlichtgenerator, C Kondensator, K magnetische Kopplung, A Antenne.

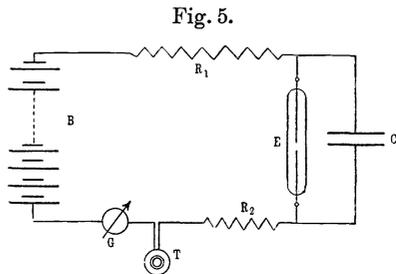
gesetzt wird, ohne es jedoch zu berühren; bewährt hat sich auch eine Unterteilung der Kathode, d. h. die Benutzung mehrerer miteinander verbundener Kathoden. — Unter solchen Bedingungen flossen durch die Entladungsröhre bei Frequenzen bis zu 40000/sec Stromstärken von über zwei Ampere. Die Änderung der Wellenlänge ließ sich leicht durch Veränderung des Vorschaltwiderstandes R oder der Kapazität des Kondensators C bewirken.

Herwegs Versuche⁵⁾ über Schwingungen bei Glimmentladungen sind unter dem Gesichtspunkte der Kaufmannschen Stabilitätsbedingungen (1) und (2) unternommen. Die von Kaufmann theoretisch abgeleitete Bedingung, daß Schwingungen nur bei

fallender Charakteristik möglich sind, wird durch die Erfahrung bestätigt. Dabei bedient sich Herweg einer Versuchsanordnung, die der Hittorfs ganz ähnlich ist. Um die Spannung an den Elektroden in der Gasstrecke ablesen zu können, benutzt er ein Zeigerquadrantenelektrometer. Er arbeitet bei Drucken von 5 mm Quecksilber bis zu Bruchteilen eines Millimeters mit Luft, Stickstoff und Wasserstoff; seine Stromquelle ist eine Hochspannungsbatterie von 1000 Volt. Die Kaufmannsche Formel wird geprüft, indem zunächst eine kontinuierliche Entladung hergestellt wird; dann wird bei gleichzeitiger Ablesung von Stromstärke und Spannung der Vorschaltwiderstand vergrößert, bis Schwingungen einsetzen. Diese treten in der Tat erst dann auf, nachdem $\frac{\partial E}{\partial i}$ negativ geworden ist, wie es die Stabilitätsbedingung fordert. Durch Verbindung dieses Satzes mit dem allgemeinen Gesetze, daß in dem Gebiete des anomalen Kathodenfalls die Charakteristik stets steigt, kommt Herweg zu dem Schlusse, daß Schwingungen nur bei noch nicht ganz mit Glimmlicht bedeckter Kathode, d. h. bei normalem Kathodenfall eintreten können.

Bei den Herwegschen Versuchen traten Schwingungen erster und zweiter Art auf. Die nahezu sinusförmigen Intermissionen erster Art waren nur in einem ganz eng begrenzten Bereich des Vorschaltwiderstandes zu erhalten; der Übergang zu den Schwingungen zweiter Art geschah stets sprunghaft, niemals stetig*).

Die der Righischen Formel folgenden Schwingungen zweiter Art sind weiterhin von Giorgio Valle⁶⁾ eingehend beobachtet worden. Das Schaltungsschema Valles zeigt (Fig. 5), daß er wie



B Hochspannungsakkumulatorenbatterie, *R*₁, *R*₂ Widerstände (Wasserwiderstände oder Stöpselrheostaten), *G* Galvanometer, *T* Telefon, *E* Entladungsröhre, *C* Kondensator.

*) Herwegs Ergebnisse bestätigen also die in den Patenten der Polyphos-Gesellschaft (Gehrcke, Reichenheim, Wertheimer) beschriebenen Erscheinungen. Die Herwegsche Arbeit diente in den Verhandlungen vor dem Patentamt dazu, als eine Art unparteiisches Gutachten die Richtigkeit der Polyphos-Patente, die angezweifelt wurden, zu erweisen.

Hittorf und Righi arbeitete mit veränderlichem Widerstand R und veränderlicher Kapazität des Kondensators C . Dagegen war seine Entladungsröhre, ein Gehrkescher Glimmlichtoszillograph, bei allen Versuchen die gleiche.

Valle findet in seiner Röhre das Auftreten zweier Arten diskontinuierlicher Entladungen, die aus einem Wechselspiele zwischen Partialentladung und statischem Zustande bestehen. Die erste Art zeigte eine längere Glimmlichtbedeckung und eine kleinere Frequenz als die zweite. Die Glimmlichtlänge nimmt bei beiden Gattungen, sobald man sie nicht in der Nähe eines Übergangspunktes beobachtet, mit abnehmendem Widerstande zu. Dasselbe gilt für die Stromstärke und die Frequenz. Die erste Art trat bei großem, die zweite bei kleinerem Werte des Widerstandes $R_1 + R_2$ auf. Zwischen dem kleinsten Widerstand, für den nur die Entladung erster Art, und dem größten, für den nur die Entladung zweiter Art bestehen kann, liegt ein Intervall, in dem beide möglich sind, in dem aber das Entstehen einer dritten Art, der kombinierten Entladungen, normal ist. Diese bestehen in dem periodischen Aufeinanderfolgen von Entladungsgruppen, von denen jede aus einer Partialentladung der ersten Gattung besteht, der eine oder mehrere der zweiten Gattung folgen. Der Übergang der Entladungen ineinander geschieht in folgender Reihenfolge: Entladung erster Art, doppelte, dreifache, ... Übergangsentladung, Entladung zweiter Art, stetige Entladung, falls man den Übergang durch kontinuierliche Verminderung des Widerstandes bewirkt. Geschieht der Übergang bei Vergrößerung des Widerstandes, so kehrt sich die Reihenfolge um. Jeder Übergang ist durch sprunghafte Veränderungen der Stromintensität, Tonhöhe und Glimmlichtbedeckung gekennzeichnet.

In einer weiteren Arbeit⁷⁾ bestimmt Valle die dynamischen Charakteristiken bei diesen Entladungsgattungen. In Übereinstimmung mit den Kaufmannschen Bedingungen ist bei unstetiger Entladung stets

$$\frac{\partial E}{\partial i} < 0,$$

d. h. bei allen diskontinuierlichen Entladungsgattungen zeigt die Stromspannungskurve immer einen sinkenden Verlauf.

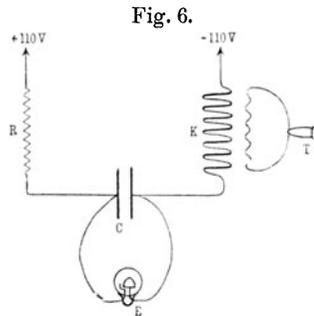
Endlich mag noch erwähnt werden, daß auch die Glimmlichtschwingungen erster Art, für die angenähert die Thomsonsche

Formel gilt, Anwendungen in der Technik gefunden haben*). Sie treten auf in einem Generator der Lorenz-Aktien-Gesellschaft, und zwar sind es Glimmentladungen bei Atmosphärendruck zwischen Silberelektroden in Spiritusdämpfen.

III. Die Vorversuche.

Unabhängig von diesen Vorarbeiten hat Nernst ein Aggregat nach dem Schema der Fig. 6 zur Messung von Leitfähigkeiten benutzt; die Entladungsröhren waren die käuflichen Neon-Glimmlampen**). Dieses Aggregates bedienten sich im Frühjahr 1921 P. Günther und M. N. Saha⁸⁾ bei ihren Versuchen über thermische Atomdissoziation. Da jedoch die Leistungsfähigkeit der im Handel befindlichen Neonröhren recht gering ist, wurde mir die Aufgabe zuteil, die Methode zur Messung größerer Widerstände und Dielektrizitätskonstanten auszubauen***).

Auch meine Untersuchungen gingen aus von den Edelgasentladungsröhren, die von der Glimmlampen-Industrie (Osram und Pintsch) in den Handel gebracht werden †). Bei diesen Versuchen konnte man jedenfalls die allgemeinen Gesichtspunkte erkennen, wie die Energie und Stabilität der Schwingungen abhängen von den Bedingungen des äußeren



R Widerstand, C Kondensator, K Kopp-
lung, T Telephon, E Entladungsröhre.

*) Vgl. hierzu z. B. O. Lueger, Lexikon der gesamten Technik, 1. Ergänzungsband zur 2. Auflage, S. 780. Stuttgart und Leipzig 1914.

**) Gelegentlich wurde auch eine Funkenstrecke parallel zum Kondensator gelegt. Bei stetiger Verminderung des Vorschaltwiderstandes nahm die Anzahl der Funken in der Zeiteinheit ständig zu, bis plötzlich der Lichtbogen die stetige Entladung einleitete.

***) Die nachstehenden Untersuchungen wurden in den Jahren 1921/22 im Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Berlin unter Leitung von Herrn Prof. Dr. W. Nernst ausgeführt. Für die Anregung und Förderung der Versuche erlaube ich mir, Herrn Prof. Nernst meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen; ebenso schulde ich Herrn Dr. P. Günther für seinen wertvollen Rat aufrichtige Dankbarkeit.

†) Über die technische Neon-Glimmlampe vgl. z. B. F. Schröter, Die Bedeutung der Edelgase für die Elektrotechnik, Naturwissenschaften 8, 32 (1920), sowie die neuere Arbeit von F. Skaupy, Einiges über die Glimmlampe und über neue Typen derselben. Zeitschr. f. Techn. Phys. 3, 61—63 (1922).

Stromkreises, d. h. von der Schaltungsart, der Größe des im Kreise liegenden Widerstandes, der Kapazität des Kondensators und der Kopplung. Kennt man die äußeren Bedingungen, so kann man den Einfluß der Entladungsröhre selbst auf die Schwingungen prüfen.

Deshalb wurde zunächst nur eine Lampe verwendet, und zwar die (ältere Form der) Kappenlampe von Pintsch, von deren Gestalt die Fig. 6 u. 7 eine Vorstellung geben. Als Stromquelle diente bei diesen Versuchen die Lichtleitung von 220 Volt Spannung. Diese Stromquelle wurde durch den Widerstand R mit dem Kondensator C verbunden, dem parallel die Entladungsröhre E lag. Um mit den im Kreise entstehenden Schwingungen einen Wechselstrom zu erzeugen, wurde eine magnetische Kopplung K verwendet. Der Widerstand R war eine Magnanini-Lösung und ließ sich stetig von 100 bis 500 000 Ohm verändern; als Kapazitäten dienten Sätze von Paraffinkondensatoren von 0,05 MF bis 10 MF, sowie ein Drehglimmerkondensator von 3000 bis 5000 cm. Ein kleines Induktorium mit starker Kopplung diente zur Abnahme der Schwingungen; die hochohmige Spule (Widerstand 1900 Ohm) lag stets in dem die Schwingungen erzeugenden Kreise, der Widerstand der gekoppelten Spule betrug 3 Ohm.

Wurde der Kreis geschlossen, so konnte man bei genügend hohem Widerstande R stets das Auftreten der Schwingungen (zweiter Art, von denen hier ausschließlich gesprochen wird) beobachten. Einen Anhaltspunkt über die Frequenz und Energie der Intermittenzen lieferte der vom Telephon T emittierte Ton. Verringerte man den Abstand der Elektroden in der Magnanini-Lösung, so nahmen Tonstärke und Tonhöhe zu bis zu einem Grenzwerte, bei dem die Entladung durch das Edelgas stetig erfolgte, die Lampe sozusagen „durchschlug“. Die Energie des Wechselstroms wächst also mit abnehmendem Widerstande R (bei gleicher Kapazität des Kondensators), und die Schaltung ist die günstigste, bei der R am kleinsten gewählt werden kann, ohne daß die stetige Entladung einsetzt. Es zeigte sich nun, daß die Lage des Widerstandes nur einen sehr geringen Einfluß hat auf Frequenz und Energie, daß jedoch die Schwingungszahl sich sehr stark ändert, je nachdem die Kopplung im Hauptkreise (Fig. 6) oder im Nebenschluß (Fig. 7) lag; bei gleichem Werte von R , dem Gesamtwiderstande im äußeren (Auflade-) Kreise, war die Frequenz bei der

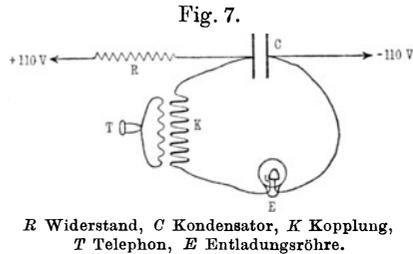
zweiten Schaltungsart erheblich niedriger, da der Widerstand des Entladungsweges bedeutend größer war.

Um nun einen schärferen Anhalt für die vorteilhaftere Schaltung zu gewinnen, ferner den Einfluß der Kapazität des Kondensators C zu erkennen und endlich die praktische Brauchbarkeit der Schwingungen zu erproben, versuchte ich den Wechselstrom zur Messung von Leitfähigkeiten zu verwenden. Ich untersuchte hierzu in der Kohlrauschschen Brückenordnung eine Kaliumchloridlösung, deren Konzentration von $\frac{1}{1}$ n bis $\frac{1}{100}$ n verändert wurde. Es ergab sich allgemein, daß die Frequenz abnimmt mit wachsender Kapazität und daß die stetige Entladung in der Röhre (ungefähr) bei einem konstanten Wert des Produktes $R \cdot C$ einsetzt. Nur bei sehr großen Werten der Kapazität (2 MF und darüber) schlug die Lampe

viel früher durch, wenn man den Widerstand stetig verminderte, als jenem Produkte entspricht; infolgedessen konnte man bei beiden Schaltungen keinen Ton mehr erzielen, sondern hörte nur im Telephon die stoßartigen Ent-

ladungen, die namentlich dann äußerst kräftig waren, wenn bei großer Kapazität (5 bis 20 MF) die Kopplung im Entladungskreis lag (Fig. 7). Trotz der hohen Energie der einzelnen Entladungen waren diese Schwingungen für die Meßzwecke wenig geeignet; aber auch bei höheren Frequenzen der Intermittenzen, also bei Verwendung kleinerer Kapazitäten, bewährte sich diese Schaltung nicht; denn infolge vieler Obertöne erhielt man immer einen schnarrenden Ton, der ein genaues Einstellen des Minimums unmöglich machte. Lag dagegen die Kopplungsspule im Hauptkreise, so waren scharfe Leitfähigkeitsmessungen möglich, solange der Widerstand der Lösung kleiner als 1200 Ohm war; bei verdünnteren Lösungen reichte die Energie der Schwingungen nicht mehr aus, um gute Ergebnisse zu erzielen. — Diesen Versuchen zufolge wurde bei den späteren Untersuchungen die Kopplung schließlich in den Aufladekreis gelegt (Fig. 6).

Bei allen Leitfähigkeitsmessungen wurde die Lampe so verwendet, daß die kappenförmige Elektrode die Kathode war. Bildete



der kurze Draht den negativen Pol, so war nicht entfernt die gleiche Schwingungsenergie zu erreichen. Eine Erklärung für dieses Verhalten ergibt sich leicht aus dem Satze, daß Schwingungen nur bei noch nicht völlig mit Glimmlicht bedeckter Kathode möglich sind (vgl. oben Herweg), und der bei dieser Entladungsröhre beobachteten Erscheinung, daß der kurze Draht bei viel kleinerer Stromstärke (bei stetiger Entladung) völlig vom negativen Licht bedeckt war als die Kappe. Der unsymmetrische Bau der Lampe ist auch die Ursache, weshalb die Lage des Widerstandes R im Kreise einen Einfluß ausübt auf Frequenz und Energie. Da die beiden Elektroden in der Gasstrecke einen Kondensator bilden, und der Widerstand eine Kapazität besitzt, die gegen die des Kondensators nicht zu vernachlässigen ist, so erscheint dieser Einfluß erklärt durch die jeweilige Veränderung der Eigenkapazität der Röhre, die naturgemäß von Bedeutung ist für die Frequenz, Energie und Stabilität der Schwingungen. Bei symmetrisch gebauten Lampen fällt natürlich jener Einfluß des Widerstandes fort, wie an mehreren Formen geprüft wurde.

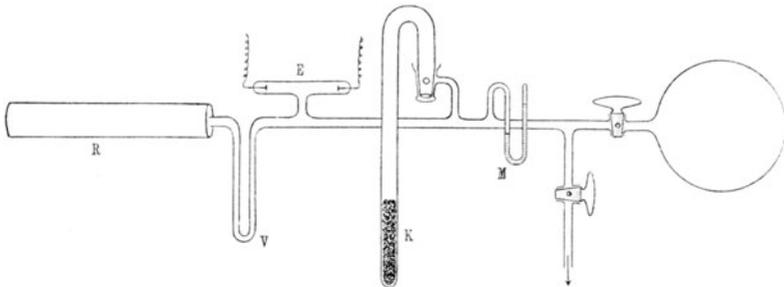
Um einen tieferen Einblick in die Rolle zu erhalten, die die eben erwähnte Eigenkapazität für die Schwingungen spielt, untersuchte ich andere Lampenformen. Hierbei zeigte sich zunächst, daß Lampen mit großer Eigenkapazität für die Schwingungserzeugung ungeeignet sind. Besonders augenfällig zeigte dies die neuere Kappenlampe von Pintsch, die anstatt der drahtförmigen Anode eine Platte hat, die von der halbkugelförmigen Kathode durch ein Glimmerblättchen getrennt ist. Günstiger erwiesen sich für unsere Zwecke symmetrisch gebaute Lampen mit geringer Kapazität, und den stabilsten Schwingungszustand lieferten Entladungsröhren mit sehr ungleichen Elektroden dann, wenn die Elektrode mit größerer Oberfläche als Kathode verwendet wurde. So erwies sich die ältere Kappenlampe allen anderen Formen überlegen; ihr fast gleich kam die Wechselstromspirallampe (ebenfalls von Pintsch), die so gebraucht wurde, daß die drahtförmige Spirale Kathode, die innerhalb dieser Spirale liegende Platte Anode war.

Durch diese Versuche waren zwar die geeignete Schaltung und günstigste Lampenform ermittelt, auch die praktische Anwendbarkeit bis zu einem gewissen Grade erwiesen; es hatte sich jedoch herausgestellt, daß durch Veränderung im äußeren Stromkreise sich die Energie nicht über eine, für die Anwendungen unzu-

reichende, Grenze steigern läßt. Es mußte deshalb versucht werden, die Energie der Schwingungen durch Veränderung der Gasfüllung der Lampe zu erhöhen.

Der in den käuflichen Entladungsröhren enthaltene Gasinhalt besteht aus dem technischen Neon-Heliumgemisch. Die Untersuchung reiner Gase mußte die Entscheidung liefern, ob die Edelgase mit hoher Stromdurchlässigkeit (Neon, Argon) oder das Helium die Energie der Schwingungen im gewünschten Sinne beeinflußt. Zudem war zu erwarten, daß der Druck des Gases für die Energie und Stabilität der Schwingungen von Bedeutung ist.

Fig. 8.



R eisernes Rohr mit Monazitsand gefüllt, *V* Rohr zur Vorkühlung, *E* Entladungsrohr, *K* Kohlerohr mit Kokosnußkohle, *M* Quecksilbermanometer.

Zunächst wurden mit reinem Neon und Argon*) die Untersuchungen aufgenommen. Mit der Lampe war ein Kohlerohr verbunden, um durch Kühlung oder Erhitzen den Druck beliebig verändern zu können, ohne große Verluste an den Edelgasen zu erleiden. Kokosnußkohle besitzt bei tiefen Temperaturen ein so großes Absorptionsvermögen, daß selbst bei Neon, das sehr wenig absorbiert wird, der Druck leicht von 50 mm bis 1 mm Quecksilber geregelt werden konnte.

Es zeigte sich nun, daß weder bei Verwendung von Argon, noch bei reinem Neon, noch bei einem Gemisch beider bei Drucken von 8 bis 10 mm (die in den käuflichen Lampen vorhanden sind) eine Steigerung der Energie der Schwingungen erreichbar war. Da zudem Argon sich als weitaus ungünstiger erwies als Neon, indem die mit Argon gefüllten Lampen nur bei sehr großem

*) Das Argon verdanke ich Herrn Dr. F. Born; das Neon hat mir die Firma Pintsch freundlichst zur Verfügung gestellt.

Werte des im Hauptstromkreise liegenden Widerstandes einen stabilen Schwingungszustand lieferten, so lag die Vermutung nahe, daß die Überlegenheit der käuflichen Lampen an ihrem Heliumgehalt lag, und demnach reines Helium die geeignetste Füllung wäre. Da ferner mit der Zunahme des Druckes eine Steigerung der Schwingungsenergie deutlich erkennbar war, so war zu erwarten, daß Helium unter größeren Drucken die gewünschte Energie liefern würde. Es wurde deshalb zur Darstellung von Helium geschritten, mit einer Versuchsanordnung, von der die Fig. 8 eine Vorstellung geben soll. In bekannter Weise wurde Monazitsand geglüht und das dabei entstehende, namentlich durch Stickstoff stark verunreinigte Gas von den Beimengungen befreit, indem der Gasstrom zunächst mit flüssiger Luft vorgekühlt wurde; zur endgültigen Reinigung wurde das Gemisch einer mehrere Stunden im Hochvakuum ausgeglühten und dann mit flüssigem Wasserstoff gekühlten Kokosnußkohle ausgesetzt. Hierdurch gelang es, reines Helium zu erhalten*).

IV. Vergleichende Messungen über die Abhängigkeit der Schwingungsenergie von der Edelgasart und dem Druck.

Um ein brauchbares Kennzeichen der Abhängigkeit der Schwingungsenergie von der Edelgasart und dem Druck zu erhalten, wurde folgende Versuchsanordnung gewählt. An ein Sechswegestück wurde ein Ballon mit Helium und einer mit Neon angeschmolzen. Die anderen Enden waren mit einem Kohlerohr, einem Entladungsrohr (zur Prüfung des Vakuums und der Reinheit der Gase, betrieben mit einem starken Induktorium), der (Volmer-) Pumpe und endlich mit drei verschiedenen Glimmlampen verbunden. Das Kohlerohr erwies sich als notwendig, denn sowohl die Glaswände als auch Elektroden und Fettdichtungen gaben mit der Zeit Gase ab; da nun schon Spuren namentlich von Stickstoff und Kohlendioxyd die Zündspannung erheblich heraufsetzen und als praktisch wesentlicher Punkt bei der hier geschilderten Art der Schwingungserzeugung die Verwendung der Gebrauchsleitung (220 Volt)

*) Die Farbe des Glimmlichtes war (bei Drucken oberhalb 2 mm) rötlichweiß, wie in den Heliumglimmlampen von Osram. Vgl. hierzu F. Schröter, Eine Neonbogenlampe für Gleichstrom. Zeitschr. f. Elektrochem **24**, 136 (1918).

wünschenswert ist, so mußten diese Verunreinigungen entfernt werden. Als Lampenformen dienten die Spirallampe für Wechselstrom der Firma Pintsch, eine ebenfalls von dieser für meine Versuche besonders hergestellte Kappenlampe (die der älteren Kappenlampe ähnelt) und die Glimmlampe von Osram*). Die beiden ersten eigneten sich besonders für schnelle Schwingungen und große Energien, während die letzte bei langsamen Schwingungen für spätere Untersuchungen gebraucht wurde.

Mit Hilfe der geschilderten Versuchsanordnung war es möglich, den Druck (gemessen an einem Quecksilbermanometer) in den Lampen bequem zu verändern und die Gase beliebig zu mischen, ohne daß wegen des geringen toten Raumes große Verluste an Edelgasen eintraten.

Die Versuche hatten den Zweck, zunächst ein rein qualitatives Maß für die Energie der Schwingungen zu gewinnen. Da die Tonstärke nur einen rohen Überblick geben konnte, wurde die Energie durch die Stromstärke im (Entladungs-)Kreise gemessen. Zwar ist bei den Schwingungen die Stromintensität nicht konstant; aber bei schnell aufeinanderfolgenden Entladungen des Kondensators kann man ihren Mittelwert an einem gewöhnlichen Dosengalvanometer ablesen, da ja die Stromstöße ständig in gleicher Richtung erfolgen. Durch Vergleiche (bei käuflichen Lampen) der Tonstärke des Telephons mit der mittleren Stromstärke ergab sich, daß, soweit es sich mit dem Gehör überhaupt entscheiden ließ, die Lautstärke der Stromintensität proportional ist, diese also ein Maß für die Energie der Schwingungen ist.

Gemessen wurde stets die maximal mögliche Stromstärke, d. h. der Widerstand im Hauptstromkreis wurde stetig so lange vermindert, bis der kontinuierliche Stromdurchgang in der Röhre einsetzte, das Telephon also schwieg. Dieser Augenblick war auch sofort an der Form der Entladung sichtbar; denn während meist, namentlich bei langsamen Schwingungen (eine Schwingung in 25 Sekunden z. B.) zweiter Art, die gesamte Kathode vom Glimmlicht bedeckt war, war bei eben durchgeschlagener Lampe die negative Elektrode stets nur teilweise bedeckt, wie es ja auch die

*) Für die freundliche Überlassung der Glimmlampen Herrn Dr. F. Skaupy von der Osram-Gesellschaft, sowie Herrn Dr. F. Schröter von der Julius Pintsch A.-G. meinen ergebenen Dank auch hier auszusprechen, ist mir eine angenehme Pflicht.

Herwegsche Bedingung fordert. (Durch weitere Verkleinerung des Widerstandes R steigt natürlich die Stromstärke, und mit ihr, dem Hehlschen *) Gesetz zufolge, die Glimmlichtlänge, so daß man durch genügende Verkleinerung von R die Ausbreitung des Glimmlichtes auf die gesamte Kathodenfläche erzielen kann.) Naturgemäß ist die Helligkeit der Entladung bei stetigem Stromdurchgang größer als bei schwingender Lampe. Das Einsetzen der kontinuierlichen Entladung erkennt man auch am Galvanometer, indem die Stromstärke plötzlich auf den etwa doppelten Wert steigt. In der Tat liest man ja dann die wahre Stromintensität ab und nicht mehr einen Mittelwert, indem der Kondensator geladen bleibt und ohne jede Veränderung des Vorganges aus dem Kreise herausgenommen werden kann. Nun hat schon Hittorf hervorgehoben, daß der Grenzwert des Widerstandes, bei dem die Lampe den Schwingungszustand liefert, nicht genau bestimmbar ist. Insbesondere bekommt man erheblich höhere Werte des Widerstandes, wenn man diesen, vom stetigen Stromdurchgang ausgehend, kontinuierlich vergrößert, bis die Schwingungen auftreten. In der Nähe des Grenzwertes schlugen bei festgehaltenem Widerstande R schwingende Lampen häufig nach einiger Zeit um, wobei in der Regel einige Sekunden, zuweilen aber auch Minuten in Frage kamen, während umgekehrt der Übergang vom stetigen Stromdurchgang zur intermittierenden Entladung unter gleichen Bedingungen nur äußerst selten beobachtet wurde. Dies Verhalten ergab sich auch, wenn statt des elektrolytischen Widerstandes, der Magnanini-Lösung, die sich durch Zersetzung verändert, ein Rheostat in den Hauptkreis gelegt wurde, so daß die Ursache in der Lampe selbst zu suchen ist. Endlich war für das Durchschlagen noch die Art der Vorbehandlung von Bedeutung; waren die Röhren vorher längere Zeit im Betrieb (gleichgültig ob leuchtend oder schwingend), so neigten sie leichter zum Durchschlagen. Eine Erklärung für alle diese Erscheinungen ergibt sich, wenn man die bei der Glimmentladung stattfindende Erwärmung in Betracht zieht. Die Kathode ist der Ort größter Wärmeentwicklung, die so beträchtlich sein kann, daß man z. B. bei Heliumlampen bei größeren Drucken die Erwärmung noch an der Glaswand deutlich empfinden konnte.

*) Vgl. z. B. Marx, Handbuch der Radiologie III.

Nun setzt Erwärmung der Kathode die Zündspannung herab, wie unter anderem folgender Versuch ergab. Bei einer mit einem Helium-Wasserstoffgemisch gefüllten Lampe gelang die Zündung erst bei 500 Volt, während, wenn die Entladung mehrere Minuten durch die Röhre geflossen war und infolgedessen eine recht erhebliche Erwärmung der Kathode stattgefunden hatte, die selbstständige Strömung durch die Lampe schon bei 310 Volt einsetzte. Durch die mit der Erwärmung der Kathode verbundene Herabsetzung des Zündpotentials erscheint das plötzliche Einsetzen des stetigen Stromdurchganges bei konstanten äußeren Bedingungen erklärt. Bei den Messungen über die maximal mögliche Stromstärke, deren Endzweck die Auffindung der geeignetsten Edelgasart und des günstigsten Druckes war, wurde deshalb stets mit Lampen gearbeitet, die lange Zeit stromlos waren und während der ganzen Dauer der Messung — mindestens zwei Minuten — den Schwingungszustand beibehielten. Aber selbst dann zeigten sich nicht unbeträchtliche Unterschiede, so daß ich in den Tabellen die Mittelwerte aus mehreren Messungen der maximalen Schwingungsenergie angebe. Wie schon erwähnt, zeigten die Kappenlampen und die Spirallampe ein sehr ähnliches Verhalten; die mitgeteilten Zahlen beziehen sich auf die letzte.

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Messungen verzeichnet; sie zeigt deutlich die Überlegenheit des Heliums bei allen Drucken und die Steigerung der Energie mit dem Druck. Die Schwingungsform erwies sich bei diesem Gase als so stabil, daß bei den höheren Drucken (über 25 mm) der gesamte Vorschaltwiderstand R herausgenommen werden konnte, so daß also im Kreise nur mehr der Widerstand der Kopplungsspule lag (1900 Ohm). Der Ton des Telephons war außerordentlich laut; er ließ sich beliebig verändern bis zu den höchsten musikalischen Tönen; seine Klangfarbe glich in den unteren und mittleren Lagen der eines Flötentones, während sich bei den hohen Frequenzen (über 1000 in einer Sekunde) ein äußerst scharfer, fast stechender Ton erzielen ließ, der für die Meßzwecke (Dielektrizitätskonstanten u. ä.) ganz besonders geeignet war. Die Reinheit des Tones deutet auf das Fehlen der Obertöne, d. h. auf annähernde Sinusform der Schwingungen hin.

Um die Leistungsfähigkeit der Heliumlampe zu erproben, wurden die Untersuchungen über das Leitvermögen von Elektrolyten

Tabelle I.

Abhängigkeit der maximalen Schwingungsenergie vom Druck.

Druck in mm Quecksilber	Maximale Stromstärke (10^{-3} Amp.)		
	Neon	Neon- Helium 3 : 1	Helium
1	—	0,067	—
2	—	0,083	—
3	0,050	0,117	—
4	0,100	0,167	—
5	0,167	0,250	0,300
5,5	0,250	0,333	0,441
6	0,300	0,400	0,500
7	0,433	0,533	0,650
8	0,567	0,650	0,750
9	0,617	0,717	0,833
10	0,684	0,784	0,933
11	0,717	0,817	1,017
12,5	0,817	0,933	1,117
14	0,916	1,033	1,200
15	1,017	1,067	1,300
16	1,050	1,117	1,350
17	1,083	1,184	1,433
18	1,133	1,234	1,533
19	1,200	1,267	1,600
20	1,250	1,333	1,717
22,5	1,317	1,416	1,967
25	1,400	1,500	2,184
27,5	1,466	1,650	2,401
30	1,517	1,734	2,600
32,5	1,600	1,817	2,817
35	1,700	1,847	—
40	1,827	2,183	—
45	—	2,383	—

wieder aufgenommen und die Ergebnisse verglichen mit denen, die ein kleineres Induktorium lieferte. Hierbei zeigten sich nicht nur die in der Einleitung erwähnten Vorzüge dieser Schwingungserzeugung, auch die Energie des Wechselstromes war beträchtlich größer. So erhielt man noch gute Ergebnisse, wenn der Widerstand eines Brückenweiges 50 000 Ohm und darüber war, unter welchen Bedingungen ein gewöhnliches Induktorium nur Näherungswerte lieferte. Als Elektrolyten dienten Kaliumchlorid- und Phenyl-

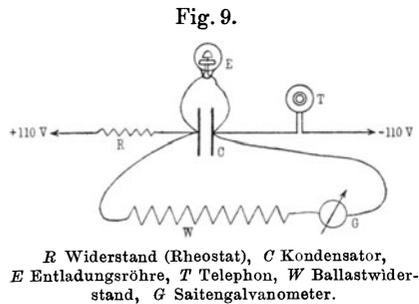
Essigsäurelösungen. Die Messungen wurden in der Wheatstone'schen Anordnung mit einer Kohlrausch'schen Walzenbrücke ausgeführt; bei großen Widerständen erwies sich erwartungsgemäß die symmetrische Nernst'sche Anordnung, die nur Flüssigkeitswiderstände benutzt, bedeutend überlegen. Weiterhin wurden die Schwingungen zur Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten nach der Nernst'schen Kompensationsmethode benutzt, und die Ergebnisse bei Benzol, Toluol, Äther und Wasser bewiesen auch hier die praktische Anwendbarkeit.

Mit der Heliumlampe war die Lösung der Aufgabe, energiereiche Intermittenzen durch die Röhre zu schicken, gefunden. Die nun folgenden Untersuchungen erstreckten sich auf die Ursache des verschiedenen Verhaltens der Edelgase Argon, Neon und Helium gegenüber den Schwingungen zweiter Art.

V. Die Spitzen- und Entladungsspannungen des Kondensators bei Schwingungen zweiter Art.

Bei den hier betrachteten Schwingungen zweiter Art spielt das Potential des Kondensators eine wesentliche Rolle. Hat es einen bestimmten Wert V_1 erreicht (das Zündpotential der Lampe), so entlädt sich die Kapazität durch die Röhre, aber nicht vollständig, sondern bis zu einem Werte V_0 der Spannung, bei der keine Entladung mehr durch die Lampe hindurchgehen kann. Ehe nun eine neue Entladung stattfindet, muß wieder das Zündpotential V_1 erreicht werden, und die Zeit, die zu dieser Aufladung nötig ist, wird wegen der großen im Kreise liegenden Widerstände beträchtlich sein gegen die Entladungsdauer.

Um die oben angegebene Schwingungsformel von Righi an der Erfahrung zu prüfen und gleichzeitig ein Verständnis für das verschiedene Verhalten der Edelgase zu gewinnen, wurden mit beistehend skizzierter Versuchsanordnung (Fig. 9) die Aufladungs- und Entladungsspannungen des Kondensators gemessen. In den



Entladungsweg dieses Kondensators wurde außer der Lampe E über einen großen Widerstand W ein Saitengalvanometer gelegt. Damit der Faden dieses Galvanometers den zeitlichen Spannungsverlauf in der Kapazität richtig angibt, muß der Ballastwiderstand W von viel höherer Größenordnung sein als der (mittlere) Widerstand des Lampenweges. Dieser wurde im Durchschnitt zu 3000 Ohm gefunden; demgemäß hatte W die Ordnung 9,6 Millionen Ohm; er bestand aus Silitstäben, die zum Schutze gegen Feuchtigkeit und Temperatureinflüsse in Paraffinöl eingebettet waren. Bei diesen Versuchen durften weder zu langsame, noch zu schnelle Schwingungen verwendet werden. Bei sehr langsamen Intermittenzen bilden sich Entladungsverzüge, die die Spitzenspannung fälschen, und bei schnellen Schwingungen vermag der Faden des Saitengalvanometers den raschen Änderungen der Spannung des Kondensators nicht mehr zu folgen. Am günstigsten gestaltet sich die Beobachtung, wenn sich die Schwingungen so schnell folgen, daß zwar die Saite jede Spannungsänderung anzeigt, die Einzelheiten ihrer Bewegung jedoch nicht vom Auge wahrgenommen werden können; infolge der Persistenz der Reize auf der Netzhaut hebt sich dann das Bild des schwingenden Fadens scharf vom hell erleuchteten Hintergrunde ab, und Spitzen- und Entladungspotential können deutlich beobachtet werden. Die Ausschläge des Fadens wurden mit einem Mikroskop beobachtet, in dem sich eine nach Millimetern geteilte Skala befand. Da bei Ausschlägen über 15 mm die Genauigkeit nachläßt, wurde die Saite so gespannt und das magnetische Feld so geregelt, daß den 220 Volt der Starkstromleitung 11 Skalenteile entsprachen. Ein Millimeter war also gleich 20 Volt, und da man bei günstiger Beleuchtung die Zehntel noch schätzen konnte, so mußte das Ergebnis bis auf etwa 5 Volt genau zu erwarten sein. Um größtmögliche Genauigkeit zu erzielen, wurde das Galvanometer vor jeder Messung geeicht und nach der Messung geprüft. Dies geschah, indem der Entladungsweg durch die Lampe mit einem Stromschlüssel geöffnet wurde; dann hatte der Kondensator das bekannte Potential der Stromquelle, und Einstellung und Einspannung des Fadens konnten berichtigt werden.

Da mithin nur verhältnismäßig langsame Schwingungen beobachtet zu werden brauchten, so diente bei diesen Versuchen als Entladungsröhre die Glimmlampe von Osram, die auch bei den äußersten Drucken sicher ansprach. Um bei allen Untersuchungen

unter möglichst gleichen Bedingungen zu arbeiten, wurden der Vorschaltwiderstand R im Hauptkreise und die Kapazität des Kondensators C konstant gehalten. Der Widerstand war hierbei ein Rheostat, seine Größe betrug 125000 Ohm. Als Kondensator diente ein geeichter Glimmerkondensator mit der Kapazität von 1 MF. Bei dieser Wahl der Konstanten des äußeren Stromkreises änderte sich die Frequenz der Schwingungen mit der Edelgasart und dem Druck so wenig, daß die oben aufgeführte Bedingung für die Häufigkeit der Intermittenzen (Beobachtung am Saitengalvanometer) stets erfüllt war. Die Schwingungszahl in der Sekunde wurde mit Hilfe des vom Telephon T emittierten Tons bestimmt, das direkt in den Kreis gelegt wurde, um die Selbstinduktion der Kopplungsspule zu vermeiden.

Um die Angaben des Saitengalvanometers zu prüfen, wurden die Spitzenspannungsmessungen gleichzeitig noch nach folgender Methode ausgeführt, die von W. Nernst angegeben war und von E. Spiller ausgebildet wurde. Es wird die Eigenschaft einer gitterlosen Elektronenröhre benutzt, nur dann einen (Elektronen-Konvektions-) Strom tragen zu können, wenn die glühende Elektrode die Kathode bildet. Legt man nun eine wechselnde Spannung an die Elektronenröhre (falls Gleichstromspannung so, daß der Glühdraht die Kathode ist), so wird im allgemeinen ein Strom durch die Röhre fließen, dessen mittlere Intensität man an einem im Kreise befindlichen Gleichstromgalvanometer ablesen kann. Wird jetzt aber die Anode der Röhre mit einer veränderlichen negativen Hilfsspannung verbunden, so wird die Röhre dann stromlos bleiben müssen, wenn dieses Hilfspotential gleich der Spitze der Wechselspannung ist.

Die Fig. 10 zeigt die Anordnung, mit der nach dieser Kompensationsmethode die Aufladungspotentiale des Kondensators von mir gemessen wurden. Da die Methode zwei unabhängige Stromquellen verlangt, so diente zur Schwingungserzeugung eine Akkumulatorenbatterie von 220 Volt Spannung. Solange der Schalter U noch geöffnet war, zeigte das Galvanometer einen Strom an; wurde aber U geschlossen, so konnte man durch passende Einstellung des Regulierwiderstandes W Stromlosigkeit erreichen; das Voltmeter S zeigte dann unmittelbar die Spitzenspannung.

Beide Messungen des Aufladepotentials wurden unter gleichen äußeren Bedingungen (Vorschaltwiderstand R , Kapazität des

Kondensators C , Entladungsröhre E) für alle in Betracht kommenden Drucke und Edelgase ausgeführt und lieferten in allen Fällen innerhalb der Versuchsgenauigkeit der Galvanometermethode übereinstimmende Werte. Mit Hilfe der Kompensationsmethode, die die Spitzenspannung bis auf 1 Volt genau liefert, konnte noch die Unabhängigkeit des Zündpotentials der Glimmlampe von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle (die Spannung der Akkumulatorenbatterie wurde von 200 bis 330 Volt verändert), der Kapazität des Kondensators C (Änderung von 0,1 MF bis zu einem Mikrofarad) und der Größe des vorgelegten Widerstandes R (10000 bis 250000 Ohm) festgestellt werden. Die einzelnen Lampenformen zeigten jedoch hiernach Unterschiede*).

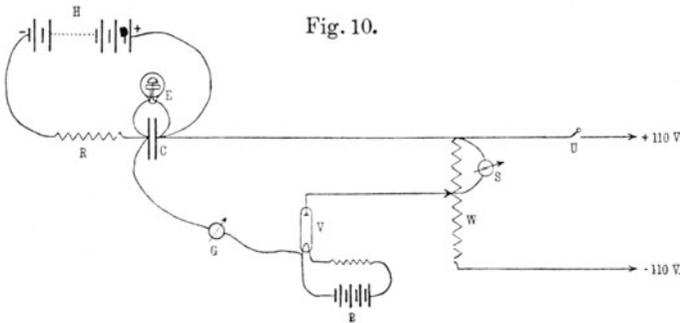


Fig. 10.

H Akkumulatorenbatterie (220 Volt), R Vorschaltwiderstand, C Kondensator, E Edelgasentladungsröhre, G Galvanometer, V Elektronenröhre, B Heizbatterie für die Glühkathode, W Regulierwiderstand, S Voltmeter, U Schalter.

Aus den im nachstehenden verzeichneten Ergebnissen dieser Messungen der Auflade- und Entladespannungen bei Helium, Neon und Argon, sowie Gemischen dieser Edelgase bei wechselndem Druck erkennt man, daß in allen Fällen die Differenz dieser Spannungen mit dem Drucke wächst. Da nun offensichtlich der Schwingungszustand um so stabiler ist, je größer dieser Potentialunterschied des Kondensators im aufgeladenen und entladenen Zustande ist, so ist damit die Zunahme der maximal möglichen Schwingungsenergie erklärt. Ferner findet man bei einem Vergleich der Tabellen, daß die Spannungsdifferenzen beim Helium beträchtlich größer sind als beim Neon unter gleichem Druck, und

*) Die Osramlampe zeigte kleinere Differenzen der Spannungen als die Glimmlampen von Pintsch.

daß bei Argon die kleinsten Unterschiede auftreten, womit das verschiedene Verhalten der Edelgase gegenüber den Schwingungen verständlich erscheint. Die folgende Tabelle 2 zeigt die Verhältnisse noch deutlicher.

Tabelle 2.

Differenzen der Auflade- und Entladespannungen des Kondensators bei Helium, Neon und Argon unter wechselndem Druck.

Druck mm Hg	He Volt	Ne Volt	Ar Volt	Druck mm Hg	He Volt	Ne Volt	Ar Volt
40	—	42	—	13	34	31	—
35	54	41	—	12	32	31	—
33	53	40	—	10	31	30	—
32	53	39	—	9	30	29	—
30	52	38	—	8	30	26	—
29	52	38	—	7,5	30	25	—
27,5	51	37	—	7	30	24	—
26	50	36	—	6	28	23	—
25	50	36	—	5	27	22	20
23	48	35	—	4	26	21	19
21	47	34	—	3	24	21	18
20	45	33	—	2,5	24	20	17
19	43	33	—	2	—	18	16
17,5	40	32	—	1,5	—	17	15
15	37	32	—	1	—	—	14

In den nachstehenden Tabellen und graphischen Darstellungen sind die einzelnen Ergebnisse der Messungen des Spitzenpotentials und der Entladungsspannung des Kondensators verzeichnet. Verfolgt man die Abhängigkeit dieser Potentiale vom Druck, so findet man sowohl bei den reinen Gasen als auch bei Gemischen (aufgenommen sind die Ergebnisse bei einem Neon-Heliumgemisch zu gleichen Teilen und bei dem technischen Griessheimer Gemisch Neon-Helium im Verhältnis 3:1) übereinstimmend, daß für beide Spannungen bei mittleren Drucken ein Minimum liegt, dort also die Stromdurchlässigkeit des Gases in der untersuchten Entladungsröhre ein Maximum besitzt.

Die gemessenen Aufladungs- und Entladungspotentiale des Kondensators lassen sich unmittelbar verwenden, um die Schwingungsformel an der Erfahrung zu prüfen. Dabei ist folgendes zu bemerken. In dem Ausdrucke (19) für die Zeit einer Schwingung

Tabelle 3.
Spitzen- und Entladungspotentiale beim Helium.

Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt	Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt
35	218	164	54	15	192	155	37
33	216	163	53	13	188	154	34
32	215	162	53	12	186	154	32
30	213	161	52	10	183	152	31
29	212	160	52	9	181	151	30
27,5	210	159	51	7,5	180	150	30
26	208	158	50	7	182	152	30
25	207	157	50	6	184	156	28
23	206	156	49	5	185	158	27
21	203	156	47	4	190	164	26
20	201	156	45	3	201	177	24
19	198	155	43	2,5	212	188	24
17,5	195	155	40				

Tabelle 4.
Spitzen- und Entladungspotentiale beim Neon.

Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt	Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt
45	216	172	44	19	186	153	33
42,5	213	170	43	17,5	185	153	32
40	210	168	42	15	184	152	32
38	208	166	42	13	183	152	31
36	206	165	41	12	182	151	31
35	205	164	41	10	180	150	30
33	201	161	40	9	178	149	29
32	200	161	39	7,5	180	155	25
30	198	160	38	7	182	158	24
29	197	159	38	6	184	161	23
27,5	195	158	37	5	186	164	22
26	193	157	36	4	192	171	21
25	192	156	36	3	201	180	21
23	190	155	35	2,5	205	185	20
21	188	154	34	2	209	190	19
20	187	154	33	1,5	215	198	17

Tabelle 5.

Spitzen- und Entladungspotentiale beim Argon.

Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt	Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt
5	212	192	20	2	202	186	16
4,5	206	187	19	1,5	207	192	15
4	198	179	19	1	209	195	14
3,5	192	174	18	0,75	210	196	14
3	188	170	18	0,5	212	198	14
2,5	193	176	17	0,25	215	201	14

gibt der erste Ausdruck die Zeit der Aufladung, der zweite die Zeit der Entladung an. Da diese nun jedenfalls proportional dem Widerstande R' in der Entladungsröhre ist, so ist die Entladungsdauer bei langsamen Schwingungen zu vernachlässigen (vgl. auch weiter unten). Bei schnelleren Intermittenzen dagegen, wenn der Widerstand des Entladungsweges vergleichbar wird mit R , kann die Zeit der Entladungen nicht mehr vernachlässigt werden.

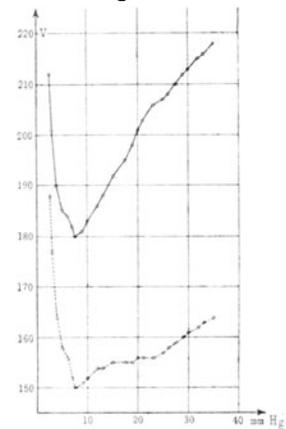
Beobachtet man bei langsamen Schwingungen den zeitlichen Verlauf der Spannung in der Kapazität mit dem Saitengalvanometer, so findet man in Übereinstimmung mit den obigen Ausführungen ein allmähliches Ansteigen des Potentials, dagegen ein ruckartiges Entladen des Kondensators.

Bezeichnet E die elektromotorische Kraft der Stromquelle, so ist die Dauer t' der Aufladung durch den Ausdruck gegeben:

$$t' = R \cdot C \ln \frac{E - V_0}{E - V_1}; \quad (20)$$

denn während der Aufladung gehört zu dem Potential V des Kondensators die Ladungsstromstärke $\frac{E - V}{R}$, also in der Zeit dt

Fig. 11.



Spitzen- und Entladungsspannung beim Helium.

die zugeflossene Elektrizitätsmenge $dt \frac{E-V}{R}$; andererseits ist diese Elektrizitätsmenge auch gleich $C \cdot dV$.

Also

$$dt \frac{E-V}{R} = C \cdot dV$$

$$dt = C \cdot R \cdot \frac{dV}{E-V},$$

$$t' = C \cdot R [\ln(E - V_0) - \ln(E - V_1)].$$

Hingegen findet man für die Entladungsdauer den Wert

$$t'' = R' \cdot C \cdot \ln \frac{V_1}{V_0}; \quad (21)$$

denn sinkt an dem Kondensator von der Kapazität C das Potential in der Zeit t'' von dem Werte V_1 auf V_0 , und ist der Widerstand des Entladungsweges R' , so entspricht dem Potentiale V des Kondensators die Entladungsstromstärke $V:R'$, also in der Zeit dt die abfließende Elektrizitätsmenge $dt \cdot \frac{V}{R'}$. Andererseits ist dieser Verlust auch gleich $-C \cdot dV$.

Also

$$dt \cdot \frac{V}{R'} = -C \cdot dV, \quad dt = -C \cdot R' \cdot \frac{dV}{V}, \quad t'' = C \cdot R' \cdot \ln \frac{V_1}{V_0}.$$

An dem Bau des Ausdruckes (21) erkennt man sofort, daß stets die Entladungsdauer klein ist gegen die Zeit der Aufladung, auch wenn der Widerstand in der Entladungsröhre größer ist als der Vorschaltwiderstand, denn das logarithmische Glied in (21) ist sehr viel kleiner als das entsprechende in der Formel (20) für die Aufladungszeit; die Berechnung bestätigt dies (vgl. Tabelle 8).

Die kurze Dauer der Entladung macht sich auch durch das Tönen des Kondensators bemerkbar, das von Hittorf zuerst beobachtet wurde. Wenn ich zu meinen Schwingungsversuchen einen Paraffinkondensator benutzte, so konnte man dieses (leise) Tönen sowohl bei ganz langsamen als auch bei schnellen Schwingungen deutlich hören; dabei entsprach die Frequenz der des vom Telephon emittierten Tones. Das Geräusch hat nach Hittorf seine Ursache in der raschen Veränderung im Dielektrikum, weshalb es eben nur bei der Entladung des Kondensators auftritt.

Tabelle 6.
Spitzen- und Entladungspotentiale bei einem
Neon-Heliumgemisch 1:1.

Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt	Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt
45	218	166	52	12,5	183	151	32
43	216	165	51	10	181	150	31
40	214	164	50	9	180	150	30
37,5	213	163	50	7,5	178	149	29
33	210	161	49	6	184	156	28
30	205	158	47	5	185	158	27
27,5	202	156	46	4	183	163	25
25	199	154	45	3	192	168	24
22	196	153	43	2,5	206	182	24
20	194	153	41	2	212	188	24
17,5	190	152	38	1,5	217	193	24
15	187	151	36				

Tabelle 7.
Spitzen- und Entladungspotentiale
beim technischen Neon-Heliumgemisch 3:1.

Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt	Druck mm Hg	Spitzen- potentiale Volt	Entladungs- potentiale Volt	Diffe- renz Volt
50	218	168	50	15	189	153	36
47,5	217	167	50	12,5	187	152	35
45	216	167	49	10	185	150	35
42,5	215	166	49	9	182	149	33
40	214	166	48	8	179	147	32
37,5	213	165	48	7,5	180	149	31
35	212	165	47	7	182	153	29
32,5	210	164	46	6	184	157	27
30	208	163	45	5	185	160	25
27,5	202	160	42	4	187	163	24
25	196	156	40	3	198	174	24
22,5	195	155	40	2,5	205	181	24
20	193	154	39	2	211	187	24
17,5	191	154	37	1,5	216	192	24

Tabelle 8. Übersicht über die berechneten und beobachteten Schwingungszahlen.

Edelgas	Druck		Kapazität	Vorschalt- widerstand	Auflade- spannung		Entlade- spannung	Aufladungs- zeit		Entladungs- zeit	Schwingungszahlen		Bemerkungen
	mm Hg				Volt	Volt		sec	sec		ber. (Righi)	beob.	
He	35		0,8	9,5 · 10 ⁶	218	164	25	1/1000	2,4	10	2,4		Schwingungen in 1 Minute
Ne	35		0,5	9,5 · 10 ⁶	205	164	6	1/2500	10	10			
Ne		1,5	5	400000	215	198	2,96	13/10000	20	20			
Ne-He 3:1		5	10	500000	185	164	2,35	36/10000	24	24			
He	15		0,6	2500000	192	155	1,26	4/10000	96	96			
He	35		1	125000	218	164	0,4	1/1000	144	144			
Ne	40		1	250000	210	168	0,4	74/100000	145	145			
Ar	5		1	62500	212	192	78/1000	26/100000	13	—			
Ne	5		1	60000	186	164	299/10000	365/1000000	33	32			
He	20		1	12500	201	156	152/10000	76/100000	63	63			
Ne	3		0,1	200000	201	180	149/10000	34/1000000	67	69			
Ne-Ar 3:1	5		0,3	50000	200	176	118/10000	11/100000	84	86			
He	30		0,5	10000	213	161	107/10000	45/100000	90	90			
Ne	20		1	12500	187	154	866/100000	582/1000000	108	109			
He	5		0,3	50000	185	158	858/100000	16/100000	114	115			
Ar	1		0,2	50000	209	195	82/10000	36/100000	121	122			
Ne-Ar 1:3	4		0,1	100000	198	178	65/10000	32/1000000	153	154			
Ne	25		0,1	65000	192	156	537/100000	62/1000000	184	182			
Ne	7		0,2	50000	182	158	49/10000	74/1000000	201	205			
He	7		0,2	40000	182	152	466/100000	12/100000	209	205			
Ne	30		0,5	6000	198	160	301/1000000	352/1000000	297	290			
Ne	15		0,3	12500	184	152	238/100000	16/100000	394	387			
Ar	3		0,5	10000	188	170	22/10000	126/1000000	430	435			
Ne	10		0,3	5000	180	150	168/100000	137/1000000	550	548			
Ne-He 1:1	10		0,5	10000	181	150	146/100000	258/1000000	582	580			
Ne-He 3:1	10		1	4000	185	150	1/1000	566/1000000	639	652			
He	12		0,2	10000	186	154	13/10000	11/100000	709	690			
Ne	12		0,2	10000	182	151	119/100000	103/1000000	773	775			
He	10		0,1	20000	183	152	122/100000	55/1000000	784	775			
Ne-He 3:1	50		0,1	10000	218	168	476/1000000	91/1000000	1764	1740			
He	25		0,1	1900	207	157	3/10000	73/1000000	2681	2607			
He	25		0,01	6000	207	157	947/10000000	69/10000000	9843	—			

$E = 300$ V

$E = 300$ V
über
Gehörgrenze

Für die Dauer T einer Schwingung erhält man durch Vereinigung von (20) und (21), da $T = t' + t''$,

$$T = R \cdot C \cdot \ln \frac{E - V_0}{E - V_1} + R' \cdot C \cdot \ln \frac{V_1}{V_0}, \quad (22)$$

oder genau das von Righi angegebene Ergebnis, aber auf einem viel einfacheren Wege gewonnen. [Vgl. oben (19); der Widerstand R_1 — siehe Fig. 3 — kann natürlich vernachlässigt werden.]

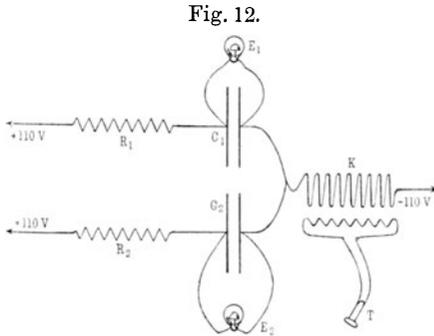
Die Tabelle (8) der Schwingungszahlen umfaßt das ganze Gebiet der musikalischen Töne; wie ein Vergleich der beobachteten und der berechneten Schwingungszahlen ergibt, zeigt sich die Formel (22) in dem ganzen Gebiet mit hinreichender Genauigkeit anwendbar, so daß man vielleicht auch umgekehrt diese Schwingungen zur Bestimmung großer Widerstände (R) oder Kapazitäten (C) unter geeigneten Verhältnissen benutzen könnte; dabei müßten die Konstanten der Entladungsröhre (R' , V_1 , V_0) bekannt sein. — Die Beobachtung der Schwingungszahlen erlaubte der vom Telephon emittierte Ton (Fig. 9); dabei ist noch folgendes zu berücksichtigen: wie schon oben bemerkt wurde, findet durch die Entladung in der Lampe eine nicht unerhebliche Erwärmung statt, die Zünd- und Entladungsspannung beeinflußt und dadurch eine Änderung der Tonhöhe bedingt. Diese Wirkung wird um so beträchtlicher sein, je größer die Energie der Schwingungen ist, also bei kleinem Vorschaltwiderstand R oder hohen Frequenzen; unter solchen Bedingungen konnte man die Änderung der Tonhöhe mit dem Gehör deutlich empfinden, wodurch die Bestimmung der Frequenz erschwert wurde; die Abweichungen zwischen Rechnung und Beobachtung bei den hohen Schwingungszahlen erklären sich so zum Teil*).

VI. Nebenerscheinungen.

Die Energie der Schwingungen läßt sich nicht dadurch erhöhen, daß man parallel zum Kondensator (Fig. 6) zwei oder mehrere Entladungsröhren legt; denn infolge (sehr kleiner) Entladungsverzüge zünden die Lampen nie gleichzeitig, und durch die

*) Bei einigen Lampenformen konnte man (bei Heliumfüllung von 30 mm z. B.) ein sehr leises Tönen wahrnehmen, das von der Entladungsröhre selbst ausging und nur bei bestimmten Frequenzen auftrat. Vgl. hierzu J. Stark, Über elektrostatische Wirkungen bei der Entladung der Elektrizität in verdünnten Gasen. Ann. d. Physik **I**, 430 (1900).

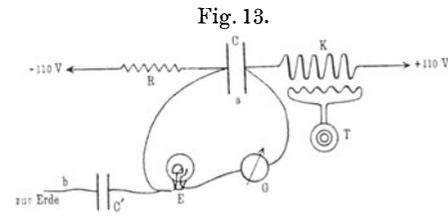
zuerst ansprechende Glimmlampe wird das Potential am Kondensator so weit erniedrigt, daß keine weitere Entladungsröhre zünden kann*). Dagegen läßt sich eine Erhöhung der Schwingungsenergie durch Verwendung mehrerer Lampen dadurch erreichen, daß man für jede Lampe einen eigenen Schwingungskreis baut und die Schwingungen mit einer gemeinsamen Kopplung abnimmt, wie die Fig. 12 es andeutet. Stimmt man die Kreise so ab, daß die



R_1, R_2 Widerstände, C_1, C_2 Kondensatoren, E_1, E_2 Entladungsröhren, K Kopplung, T Telephon.

Entladungsröhren in Resonanz schwingen, so zeigt sich eine beträchtliche Steigerung der Tonstärke; zweckmäßig verwendet man hierzu gleiche Entladungsröhren und gleichartige Vorschaltwiderstände.

Bei sehr hohen Drucken, z. B. bei Helium über 35 mm, war in meinen Entladungsröhren ein sicheres Ansprechen mit der Gebrauchsleitung (220 Volt) nicht immer zu erreichen, einmal gezündet, brannten die Lampen aber auch im Schwingungszustande weiter und zeigten, dem erhöhten Druck zufolge, eine Steigerung der Energie



R Widerstand, C, C' Kondensatoren, E Entladungsröhre, G Dosengalvanometer, K Kopplung, T Telephon.

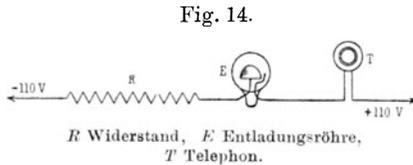
der Intermittenzen. In diesen Fällen war eine einfache Zündung der Lampe dadurch zu erreichen, daß durch einen Stromschlüssel der Kondensator einen Augenblick kurz geschlossen wurde; der Öffnungfunke leitete dann die Entladung durch die Röhre ein.

Eine weitere Steigerung der Schwingungsenergie ließ sich dadurch erreichen, daß man mit der Kathode einen geerdeten Kondensator verband (Fig. 13). Dabei sank die (mittlere) Stromstärke im Entladungskreise (gemessen durch das Galvanometer G)

*) Vgl. F. Schröter, Die Bedeutung der Edelgase für die Elektrotechnik. Naturwissenschaften 8, 32 (1920).

bei konstant gehaltenem Vorschaltwiderstand R , und gleichzeitig sank die Tonhöhe, ein Beweis dafür, daß jeder Stromstoß kräftiger, der erzeugte Wechselstrom also energiereicher war. Ob diese Wirkung durch die Veränderung der Eigenkapazität der Röhre hervorgerufen wird, oder ob es sich um eine Resonanzerscheinung handelt (denn die Steigerung der Tonstärke war bei einzelnen Frequenzen besonders stark), soll nicht entschieden werden. Im ersten Falle müßte die Wirkung die gleiche sein, wenn man die beiden Punkte a und b leitend verbindet, was aber nicht der Fall war.

Die metallischen Elektroden in der Gasstrecke bilden einen Kondensator; dies ist der Grund, weshalb in einer Entladungsröhre auch ohne Parallelschaltung einer Kapazität diskontinuierliche Entladungen möglich sind. Diese Intermittenzen sind von Gassiot im Kohlendioxyd entdeckt und von Hittorf in Wasserstoff näher untersucht worden.



Um zu prüfen, ob diese Schwingungen auch in Edelgasen auftreten, wählte ich die durch Fig. 14 dargestellte Anordnung. Dabei war R ein Wasserwiderstand, der sich von 10 Millionen Ohm bis zu 10 000 Ohm verändern ließ; als Entladungsröhren dienten beide Formen der Kappenlampe. Das Telephon sollte durch sein Tönen die Diskontinuitäten anzeigen. Diese traten wirklich auf, wenn der Wert des Widerstandes R etwa 500 000 Ohm betrug; verkleinerte man ihn, so stieg die (stets außerordentlich hohe) Frequenz der Schwingungen sehr rasch über die Gehörgrenze. Dabei war die Kathode nur zu einem kleinen Teile vom Glimmlicht bedeckt. Ging man zu größeren Werten von R über, so konnte man das Sinken der Tonhöhe nur in einem verhältnismäßig kleinen Bereich des Widerstandes beobachten. War dieser überschritten, so emittierte das Telephon keinen Ton mehr, das Glimmlicht hatte sich auf die Anode hingezogen, und die Erscheinung blieb die nämliche auch bei den höchsten (10 Millionen Ohm) Widerständen. Einen bedeutenden Einfluß auf die Frequenz der Schwingungen hatten gelegentliche Erdungen einzelner Punkte des Stromkreises; ähnliches ist schon von Valle bei seinen Schwingungsversuchen mit dem Glimmlicht-

oszillographen beobachtet und durch Kapazitätsveränderung erklärt worden. Besonders stark war die Wirkung, wenn man die Lampe mit der Hand berührte; aber auch bei den früher behandelten Kondensatorentladungen durch die Röhre hindurch konnte man ein deutliches Sinken der Tonhöhe feststellen, wenn man die Lampe mit der Hand berührte, das je nach der Größe der Berührungsstelle verschieden stark war; es erklärt sich auch durch die Änderung der Eigenkapazität der Entladungsröhre.

Die Schwingungen erster Art. Bisher ist nur von Glimmlichtschwingungen zweiter Art die Rede gewesen, bei denen die Stromstärke durch die Röhre während der Aufladungszeit des Kondensators Null ist. In dem Entladungskreise der Kapazität (Fig. 6) können nun aber auch die gewöhnlichen Oszillationen des Kondensators auftreten, für deren Frequenz die Thomsonsche Formel $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ gilt. Diese Schwingungen erster Art können ersichtlich längere Zeit hindurch nur dann auftreten, wenn die Spannung des Kondensators nahezu konstant ist, d. h. sie bilden sich nur bei kleineren Werten des Vorschaltwiderstandes, und ein konstanter Gleichstrom durch die Lampe ist ihnen überlagert. In meinen Entladungsröhren (der Kappenlampe und der Wechselstrom-Spirallampe) konnte man besonders beim Neon-Heliumgemisch (3:1) unter geeigneten Bedingungen diese Thomsonschen Oszillationen beobachten, die sich in charakteristischer Weise von den Schwingungen zweiter Art unterschieden durch mittlere Stromstärke, Energie, Frequenz und Glimmlichtbedeckung. Verkleinerte man nämlich in der Anordnung der Fig. 6 den Vorschaltwiderstand R stetig, so konnte man in der Nähe des Grenzwertes, da wo der stetige Stromdurchgang einsetzt, durch ganz vorsichtige Annäherung an diesen Punkt das Einsetzen der Schwingungen erster Art erreichen. Diese waren nur in einem äußerst geringen Bereich von R beständig; meist schlugen die Lampen nach kurzer Zeit in den stetigen Entladungszustand über, so daß zu fast genau dem gleichen Werte des Widerstandes R drei verschiedene Entladungsgattungen gehörten. Das Einsetzen der Schwingungen erster Art war von einem plötzlichen Steigen der Stromintensität begleitet, da wegen des überlagerten Gleichstromes sich der am Galvanometer abgelesene Mittelwert nicht so wesentlich von der Stromstärke entfernte, die bei gleichem Widerstande R bei kontinuierlicher Entladung durch die Röhre floß, als bei den Intermissionen zweiter

Tabelle 9.

Stromstärken bei gleichem Widerstande bei Schwingungen und stetiger Entladung.

Druck mm Hg	Schwingungen zweiter Art MA	Schwingungen erster Art MA	Stetige Entladung MA
5	0,250	0,383	0,517
5,5	0,333	0,466	0,617
6	0,400	0,567	0,717
7	0,533	0,717	0,933
8	0,650	0,866	1,167
9	0,717	1,000	1,383
10	0,784	1,083	1,550
11	0,817	1,217	1,767
12,5	0,933	1,450	2,050
14	1,033	1,633	2,351

Gattung. Naturgemäß stieg die Stromstärke abermals, und wiederum unstetig, wenn die kontinuierliche Entladung durch die Lampe einsetzte. In der Tabelle 9 sind die Werte dieser drei zu einem Widerstande R gehörigen Stromstärken der einzelnen Entladungsgattungen verzeichnet; die Zahlen beziehen sich auf das technische Neon-Heliumgemisch und die Spirallampe; außerhalb der aufgenommenen Drucke wurden (stabile) Schwingungen erster Art nicht beobachtet. Die Energie dieser Intermitenzen ist unvergleichlich viel schwächer als bei den Diskontinuitäten zweiter Art; die Frequenz sehr viel größer, so daß man im Telephon leise hohe Töne hörte. Der Übergang von den Schwingungen zweiter Art zur stetigen Entladung scheint übrigens stets unter Vermittlung der Thomsonschen Oszillationen vor sich gegangen zu sein; denn im Augenblicke des Durchschlagens stieg die Tonhöhe plötzlich, ehe die Tonlosigkeit eintrat. Das Einsetzen der Intermitenzen erster Gattung konnte man endlich auch noch am Glimmlicht erkennen. Bei den Kappenlampen wurde es näher an die Kathodenfläche herangezogen; bei den Spirallampen umzog bei den Schwingungen zweiter Art und der stetigen Entladung das Glimmlicht den Draht in der Weise, daß dieser die Achse der Glimmlichtröhre bildete; hingegen lag bei den Oszillationen erster Gattung das Licht zwischen den Windungen, der Draht wurde also nicht vom negativen Licht umhüllt. Besonders leicht traten die Schwingungen

erster Art auf, wenn die Kopplungsspule in den Entladungskreis des Kondensators gelegt wurde (Fig. 7). In diesem Falle bedeckte das Glimmlicht die Kathode nur teilweise. Im Gegensatz hierzu war die gesamte Kathodenfläche vom Glimmlicht umhüllt bei diesen Intermissionen, wenn die Spule im Ladungskreis (Fig. 6) der Kapazität sich befand.

VII. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

1. In Entladungsröhren, gefüllt mit Helium, Neon, Argon oder Gemischen dieser Edelgase bei Drucken von 1 bis 50 mm Hg, ist das Auftreten von Glimmlichtintermissionen mit folgender Versuchsanordnung beobachtet:

Ein Kondensator wird über einen großen Widerstand von einer Stromquelle allmählich aufgeladen; parallel zu der Kapazität liegt die Edelgasentladungsröhre. Sobald der Kondensator die Zündspannung der Lampe erreicht hat, entlädt er sich durch sie, bis sein Potential so weit gesunken ist, daß ein selbständiger Glimmstrom nicht mehr durch die Röhre fließen kann. Es beginnt dann wieder die Aufladung, und durch Wiederholung dieses Spieles entstehen die Schwingungen.

2. Die Abhängigkeit der Energie dieser Intermissionen von den Konstanten des Stromkreises, der Edelgasart und dem Druck, sowie von der Form der Entladungsröhre wird ermittelt.

3. Von den Edelgasen erweist sich Helium unter größeren Drucken (etwa 25 mm Hg) als die günstigste Füllung; das verschiedenartige Verhalten der Gase wird untersucht, indem der Spannungsverlauf im Kondensator mit dem Saitengalvanometer beobachtet wird; die Spitzenpotentiale der Kapazität werden außerdem noch nach einer Kompensationsmethode gemessen, die von W. Nernst angegeben und von E. Spiller ausgebildet worden ist.

Die Messung der Auflade- und Entladungsspannungen des Kondensators gestattet die Berechnung der Schwingungsdauer nach der Righischen Formel

$$T = RC \cdot \ln \frac{E - V_0}{E - V_1} + R' C \cdot \ln \frac{V_1}{V_0};$$

Berechnung und Beobachtung stimmen in dem gesamten Bereiche (die Dauer einer Schwingung liegt je nach den Bedingungen zwischen $\frac{1}{50\,000}$ und 25 Sekunden) hinreichend überein.

4. Praktische Anwendungen finden diese Schwingungen, indem sie zur Erzeugung von Wechselstrom verwendet werden; in den äußeren Stromkreis wird eine magnetische Kopplung gelegt. Infolge des Fehlens beweglicher Teile, des Fortfallens aller Nebengeräusche, beliebiger Einstellung jeder Tonhöhe, geringen Stromverbrauchs, der Unabhängigkeit von Akkumulatorenbatterien und sehr langer Lebensdauer der Entladungsröhren hat diese Schwingungserzeugung erhebliche Vorteile. — Der erzeugte Wechselstrom dient zur Messung von Leitfähigkeiten (in der Kohlrauschschen Anordnung) und Dielektrizitätskonstanten (nach der Nernst'schen Kompensationsmethode); die Ergebnisse zeigen die Vorzüge dieser Schwingungserzeugung gegenüber dem Induktorium und die praktische Verwendbarkeit.

Literaturverzeichnis.

- 1) W. Kaufmann, Ann. d. Physik **2**, 158 (1900).
- 2) W. Hittorf, Ann. d. Physik u. Chemie (neue Folge) **7**, 566 (1879).
- 3) A. Righi, Rendiconti dell'Accademia delle Scienze di Bologna, S. 188, Mai 1902.
- 4) Patentschriften der Polyphos-Elektrizitäts-Ges.: D. R.-P. 270 610; D. R.-P. 273 534; D. R.-P. 295 761. Als Erfinder sind in dem amerikanischen Patent Gehrcke, Reichenheim und Wertheimer genannt.
- 5) J. Herweg, Physikalische Zeitschr. **13**, 633 (1912).
- 6) G. Valle, Wiener Sitzungsber. **121**, II a, 63 (1912).
- 7) Giorgio Valle, Sulle curve caratteristiche delle scariche a bagliore. Il Nuovo Cimento (6) **18**, 155 (1919).
- 8) P. Günther und M. N. Saha, Über thermische Atomdissoziation. Vorgetragen auf der Naturforscherversammlung in Jena am 17. Sept. 1921.

Eine kurze Übersicht über die Glimmlichtschwingungen gibt E. Gehrcke im Handbuch der Radiologie, herausgegeben von Marx, Bd. III (1916).

Weitere Literatur findet man in den oben angeführten Abhandlungen [besonders 6) und 7)], sowie in

J. Würschmidt, Über diskontinuierliche Entladungen in Entladungsröhren und die Dauer einer Entladung. Verh. d. D. Phys. Ges. **11**, 300 (1909).

Über neuere Schwingungsversuche mit einer Neonglimmlampe berichten S. O. Pearson und H. St. Anson, Demonstration of some Electrical Properties of Neon-filled Lamps. Proc. Phys. Soc. London **34**, 175 (1922).

Vgl. auch Paul Henckel, Einige Versuche mit der Pintsch-Glimmlampe, Zeitschr. f. phys. Unterr. **35**, 172 (1922); sowie Ludwig Bergmann, Über die Verwendung der Glimmlampe im Unterricht, Zeitschr. f. phys.-chem. Unterr. **35**, 165 (Juli, Gießen).

Register.

Ansom, H. St. s. Pearson.

Bergmann, L. 38.
Born, F. 15.

Gassiot 3, 4, 33.
Gehrcke, E. 38.
Gehrcke, Reichenheim, Wertheimer 2, 7 ff., 9, 38.
Glimmlichtgenerator 7.
Glimmlichtoszillograph 10, 34.
Glimmlichtschwingungen 1. Art 3, 34 ff.
—, **Anwendungen** 11.
— **2. Art** 3.
— **3. Art** 3.
— **in Edelgasen** 11 ff.
Günther, P. 11.
— **und Saha** 11, 38.

Hehl 18.
Henckel, P. 38.
Herweg, J. 2, 8 ff., 14, 18, 38.
Hittorf, W. 2, 3 ff., 7, 18, 28, 33, 38.

Kaufmann, W. 2, 8, 38.
Kaufmannsche Stabilitätsbedingungen 2, 10.
Kohlrausch, F. 13, 21, 37.

Lueger, O. 11.

Marx, E. 18, 37.

Nernst, W. 11, 21.
Nernst, Kompensationsmethode zur Messung von Dielektrizitätskonstanten 21, 37.
— **und Spiller, Kompensationsmethode zur Messung von Spitzenspannungen** 22, 36.

Pearson, S. O. u. Ansom, H. St. 38.

Polyphos-Patente s. Gehrcke, Reichenheim u. Wertheimer.

Reichenheim s. Gehrcke.
Righi, A. 2, 5 ff., 7, 21, 31, 38.

Saha, M. N. s. Günther.
Schröter, F. 11, 16, 17, 32.
Schwingungen 1. Art usw. s. Glimmlichtschwingungen.
Schwingungsformel von Righi, Ableitung der 5 ff., 27 ff.
— — **Thomson** 3, 34.

Skaupy, F. 11, 17.
Spiller, E. s. Nernst und Spiller.
Stark, J. 31.

Thomson 3.
Thomsonoszillationen s. Glimmlichtschwingungen 1. Art.

Valle, G. 2, 9 ff., 33, 38.

Wertheimer s. Gehrcke, Reichenheim und Wertheimer.
Würschmidt 38.

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“

- Heft 15. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung*. 3. erweiterte Aufl. Mit 8 Abbild. M. 4,—.
- Heft 16. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Anwendung der Quantenhypothese in der kinetischen Theorie der festen Körper und der Gase. In elementarer Darstellung*. 2. erweiterte Auflage. Mit 5 Abbildungen. M. 4,50.
- Heft 17. Dr. Hans Witte-Wolfenbüttel: *Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik*. Eine allgemeinverständliche Entwicklung des raumzeitlichen Relativitätsgedankens bis zum Relativitätsprinzip der Trägheitssysteme. 3. Aufl. Mit 18 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 18. Dr. Erich Hupka-Tsingtau: *Die Interferenz der Röntgenstrahlen*. Mit 33 Abbildungen und 1 Doppeltafel in Lichtdruck. M. 3,—.
- Heft 19. Prof. Dr. Robert Kremann-Graz: *Die elektrolytische Darstellung von Legierungen aus wässrigen Lösungen*. Mit 20 Abbildungen. M. 2,50.
- Heft 20. Dr. Erik Liebreich-Berlin: *Rost und Rostschutz*. Mit 22 Abbild. M. 3,25.
- Heft 21. Prof. Dr. Bruno Glatzel-Berlin: *Elektrische Methoden der Momentphotographie*. Mit dem Bild des Verf. und 51 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 22. Prof. Dr. med. et phil. Carl Oppenheimer: *Stoffwechselfermente*. M. 2,50.
- Heft 23. Dr. Alfred Wegener-Hamburg: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. 3. gänzlich umgearbeitete Auflage, erschien als Bd. 66 unserer Sammlung „Die Wissenschaft“.
- Heft 24. Dr. W. Fahrion-Feuerbach-Stuttgart: *Die Härtung der Fette*. 2. vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 5 Abbild. M. 6,—.
- Heft 25. Prof. Dr. A. Wassmuth-Graz: *Grundlagen und Anwendungen der statistischen Mechanik*. 2. Auflage. Mit 4 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 26. Dr. A. Lipschütz-Bern: *Zur allgemeinen Physiologie des Hungers*. Mit 39 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 27. Prof. Dr. C. Doelter-Wien: *Die Farben der Mineralien, insbesondere der Edelsteine*. Mit 2 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 28. Dr. W. Fahrion-Feuerbach-Stuttgart: *Neuere Gerbemethoden und Gerbetheorien*. M. 4,50.
- Heft 29. Dr. Erik Hägglund-Bergvik (Schweden): *Die Sulfitablauge und ihre Verarbeitung auf Alkohol*. 2. Auflage. Mit 6 Abbild. und einer Tafel. M. 3,50.
- Heft 30. Dr. techn. M. Vidmar-Laibach: *Moderne Transformatorentragen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 31. Dr. Heinr. Faßbender-Berlin: *Die technischen Grundlagen der Elektromedizin*. Mit 77 Abbildungen. M. 4,—.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter-Karlsruhe: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink und Eisen*. Mit 51 Abbildungen. M. 6,—.
- Heft 34. Obering. Carl Beckmann-Berlin-Lankwitz: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen*. Mit 78 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller-Bonn: *Theorie der Gezeitenkräfte*. Mit 17 Abb. M. 3,—.
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer-Zürich: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen*. Mit 7 Abbildungen. M. 2,50.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke-Charlottenburg: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie*. 2. Auflage. Mit 4 Abbildungen. M. 3,50.
- Heft 38. Prof. Dr. A. Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich.)* 14. Auflage. (61.—65.Tausend.) Mit 4 Fig. M. 3,—.