

E. Matula.

Der stetige Übergang der Glimm- in Bogenentladung im Quecksilberdampf bei höheren Drucken.¹⁾

Przejście ciągle rozładowania jarzącego w łuk w parach rtęci przy wyższych prężnościach.²⁾

Streszczenie.

Badano rozładowania elektryczne między elektrodami wolframowymi w parach rtęci o różnych ciśnieniach.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zależności pomiędzy napięciem na elektrodach a natężeniem prądu, odległością elektrod i ciśnieniem otrzymałem następujące wyniki:

1. Przejście z jarzenia w łuk powyżej około 400 mm Hg jest ciągle, poniżej zaś nieciągle.

2. Gradient na zorzy maleje ze wzrostem natężenia prądu, rośnie zaś ze wzrostem ciśnienia.

3. Dla jarzenia przy stałym natężeniu prądu zmniejsza się spadek katodowy ze wzrostem ciśnienia; dla łuku mały jest wpływ ciśnienia na wartość sumy spadku katodowego i anodowego.

4. Łuk rtęciowy można palić w lampie dwuelektrodowej prądem zmiennym przy częstotliwości 50 okr./sek.

5. Zanieczyszczenia atmosfery rtęciowej resztkami gazu podwyższają napięcie na elektrodach podczas rozładowań i sprzyjają tworzeniu się innych form rozładowań.

II Zakład Fizyczny Politechniki Lwowskiej.

Rękopis otrzymany dn. 14 listopada 1932.

¹⁾ Vorgetragen bei der VI. Tagung der Polnischen Physiker in Warschau, Oktober 1932.

²⁾ Praca referowana na VI. Zjeździe Fizyków Polskich w Warszawie, w październiku 1932.

I. Einleitung.

Mit der Untersuchung des Überganges der Glimmentladung in Bogen beschäftigte man sich schon längst, da man dadurch Beiträge zu genauerer Kenntnis der Existenz und des Mechanismus verschiedener Formen und Abarten elektrischer Entladungen zu sammeln hoffte. Bereits im J. 1916 erhielten Mackay und Ferguson sog. „vollständige Charakteristiken“, welche die Funktion $U = f(J)$, also die Abhängigkeit der Elektrodenspannung von der Stromstärke darstellen, und zwei Entladungsformen, in diesem Falle die Glimm- und Bogenentladung, einschliessen. Die genannten Forscher wandten bei ihren Versuchen eine Wolframkathode an und führten Entladungen im Wasserstoff bei Drucken von ca 400 mm Hg durch. Der Übergang von der Glimmentladung in den Bogen verlief hierbei unstetig. Nach ihren Angaben ist dagegen im Stickstoff und im Argon eine derartige Unstetigkeit nicht vorhanden. Seeliger fand den stetigen Übergang ebenfalls unter Anwendung einer Wolframkathode in Form einer Kugel von 3 mm Durchmesser im Wasserstoff bei 400 mm Hg-Druck. Diesen Übergang untersuchten auch Seeliger und J. Schmekel in einer Lampe mit einer Quecksilberkathode im Stickstoff bzw. in einem Edelgas, wobei aber der Übergang stets sprungweise auftrat.

Am eingehendsten untersuchte den Übergang der Glimm- zur Bogenentladung M. Wehrli, indem er Wolframelektroden von verschiedenen Formen anwandte. Er gab genau die Bedingungen an, unter welchen der Übergang stetig verläuft und führte auch Kathodentemperatur- und Kathodenfallmessungen mittels einer Sonde durch. J. Nikliborc stellte Untersuchungen über die Möglichkeit des stetigen Übergangs der einen Entladungsform in die andere in einer Quecksilberlampe (Quecksilberkathode) an und als Resultat seiner Arbeit gilt die Feststellung der Kathodenfallverminderung bei Drucksteigerung, was im Zusammenhang mit dem vom Prof. Rezyński gleichzeitig festgestellten Bogenkathodenfallzuwachs bei steigendem Druck, auf die Möglichkeit des Erhaltens eines stetigen Überganges durch allmähliche Stromverdichtung an der Kathode bei steigendem Quecksilberdampfdruck schliessen lässt.

Neuerdings fand M. J. Druyvesteyn vollständige Charakteristiken mit stetigem Übergang für Neon, Argon und deren Mischungen bereits bei Drucken von über 30 mm Hg. Er wandte Elektroden aus Wolframstiften von ca 100 und 250 μ Dicke bzw. kugelförmige Elektroden (Kugeldurchmesser 1,3 mm, die Kugel auf einen Stift von 0,35 mm Dicke aufgesetzt) an.

In der vorliegenden Arbeit wurde nach Bedingungen des stetigen Übergangs der Glimm- in die Bogenentladung bei Anwendung von Wolframelektroden im Quecksilberdampf gesucht.

II. Versuchsanordnung und Messmethode.

Fig. 1 stellt eine Lampe dar, die gänzlich aus Quarz ausgeführt war, da sie stark geheizt werden musste. Der Lampendurchmesser betrug ca. 3 cm, die Lampenlänge ca. 20 cm. Die beiden Elektroden der Lampe bildeten zwei in kleine Kügelchen von 1,3 mm Durchmesser auslaufende Wolframelektroden *D* und *E*. Die obere, festgeklemmte Elektrode, die stets als Kathode fungierte, blieb in leitender Verbindung mit dem Nickelstahlschliff *A* und zwar über das Stäbchen *C*, den Seil und das eingeschlossene Quecksilber. Die untere, verschiebbare Elektrode *E* war mit der kleinen Eisenwalze *F* festverbunden, die unten in den langen Stahldraht *J* auslief. (Es sei hier nebenbei bemerkt, dass diese Anordnung als selbständige Druckregulierungseinrichtung wirkte). Durch Druckausübung auf die Quecksilberoberfläche im Gefäß *O*, welche

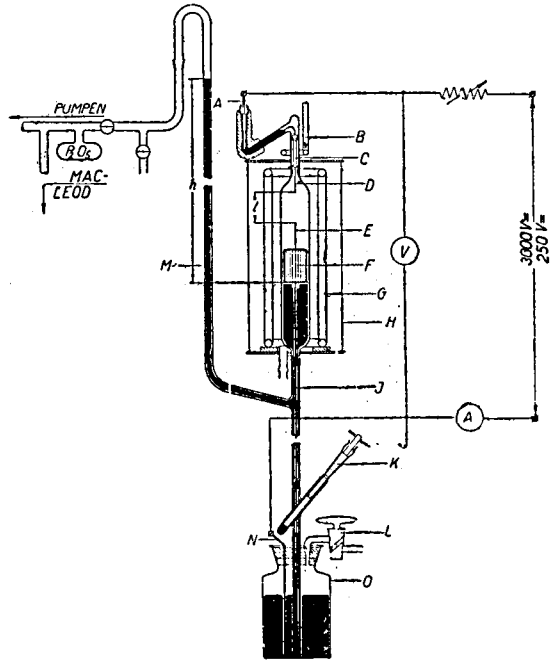


Fig. 1.

durch Einlassen von trockener Luft durch den Hahn *L* erzielt wurde, konnte man die Quecksilbersäule heben und somit die auf dem Quecksilber schwimmende Eisenwalze samt der darin steckenden unteren Elektrode in die gewünschte Höhenlage bringen, und dann auch den Elektrodenabstand (*l*) durch entsprechende Verdrehung des Schliffes *K* unabhängig von dem Quecksilberniveau in der Lampe einstellen. Der Gasbrenner *G* heizte die Lampe auf ihrer ganzen Länge, damit der mittels der Quecksilbersäulenhöhe (*h*) gemessene höhere Quecksilberdampfdruck erhalten werden konnte. Vor Seiteneinflüssen wurde die Lampe durch den Glaszylinder *H* geschützt. Den oberen Teil der Lampe heizte zugleich der Hilfsbrenner *B*, was der Kondensation des Quecksilbers vorzubeugen

hatte, da sonst die fallenden Kondensationsprodukte (Quecksilbertropfen) ungewünschte Druckänderungen hervorrufen könnten.

Das Vakuum stellten Kapsel- und Diffusionspumpen her. Bevor man die Messungen begann, wurde die ganze Lampe zur Rotglut mehrmals ausgeheizt und zwar unter ständigem Pumpen, bis die an den Wänden adsorbierten und in den Metallteilen der Lampe okkludierten Luftreste aufhörten, sich auszuschcheiden. Das durch eine 1,5 m hohe Merkuronitratlösungssäule durchgelassene und somit chemisch gereinigte Quecksilber wurde während des Pumpens in das Gefäß *O* hin destilliert. Die kleinen Kügelchen an den Elektroden spitzen wurden durch Schmelzen derselben im Lichtbogen hergestellt.

Als Messgeräte dienten folgende Instrumente: für Spannungsmessungen ein elektrostatisches Präzisionsvoltmeter bis 600 V von Hartmann & Braun, für Messungen unterhalb 150 V ein Nadir-Präzisionsvoltmeter. Für Stromstärkemessungen ein Hartmann & Braun-Präzisionsmilliamperemeter. Der Lampenvorschaltwiderstand betrug ca 170 000 Ohm.

Vor dem Beginn der Messungen liess man die Lampe mehrere Stunden hindurch brennen, wobei ihre Pole zwecks Elektrodenreinigung mehrmals gewechselt wurden. Nach diesem Vorbrennen rundeten sich die Kügelchen schön und erhielten eine reine und glatte Oberfläche.

Der Messvorgang war folgender: Nach erfolgtem Anheizen der Lampe wurde dieselbe gezündet und es wurde abgewartet, bis Stabilisation des Druckes eintrat. Nachher wurde die Spannung und die Stromstärke unter ständiger Druckstabilitätskontrolle gemessen. Die Messungen fingen während der Glimmentladung bei kleinsten Stromwerten an, denen die weiteren folgten, die dem allmählichen Anwachsen derselben bis zum Bogen und zurück entsprachen. Nach jeder derart durchgeführten Messung wurde der Druck der ausgeschiedenen Luft mit einem *M a c - L e o d*-Manometer gemessen. Das Lichtsäulenbild wurde auf photographischem Papier kopiert, wonach seine Länge gemessen wurde. Bei kleinen Elektrodenabständen wurde das Lichtsäulenbild doppelt vergrößert.

Sämtliche Messungen führte man in zwei Serien aus: 1. die Messungen des Überganges von Glimm- in Bogenentladung bis 0,5 A Stromwert unter Benutzung eines Umformers mit 3000 V Gleichspannung und 2. weitere Messungen im Bogen von 0,4 bis 3 A unter Zuhilfenahme einer Akkumulatorenatterie von ca 250 V Spannung.

III. Messergebnisse.

Die in Fig. 2 dargestellte vollständige Charakteristik umfasst den Bereich der Glimm- und Bogenentladung bei 2,7 mm Elektrodenabstand

und 249 mm Hg Quecksilberdampfdruck. Die Stromstärke wurde auf der Abszissenachse logarithmisch aufgetragen. Der Übergang von der Glimm- in Bogenentladung, erfolgte sprunghaft bei ca. 30 mA. Für sämtliche Messungen bis 0,5 A wurden Elektroden verwendet, deren Kügelchen in einem zwischen dem Wolframstift und einer Kohlenelektrode gezündeten Lichtbogen erhalten wurden. Sämtliche Messungen oberhalb 0,4 A führte man dagegen an Elektroden durch, deren Kügelchen durch Schmelzen eines Wolframdrahtes im Krater eines Kohlebogens entstanden. Es hat sich nämlich gezeigt, dass das letztgenannte Verfahren Kügelchen von grösserer Stromfestigkeit liefert, die sogar bei 4 A nicht schmelzen. Die kleine Verschiebung der Bogencharakteristik nach oben bei 0,4—0,5 A ist vielleicht durch den etwas grösseren Durchmesser des im Lichtbogenkrater geschmolzenen Kügelchens verursacht. Es äussert sich hier vielleicht auch der Einfluss der Beschaffenheit des Elektrodenstoffes selbst.

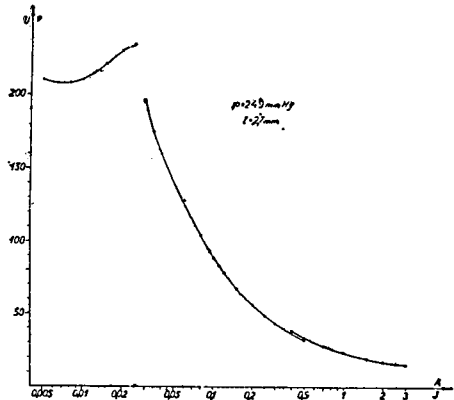


Fig. 2.

Fig. 3 stellt eine Schar von vollständigen Charakteristiken für verschiedene Elektrodenabstände bei konstantem Druck von 249 mm Hg

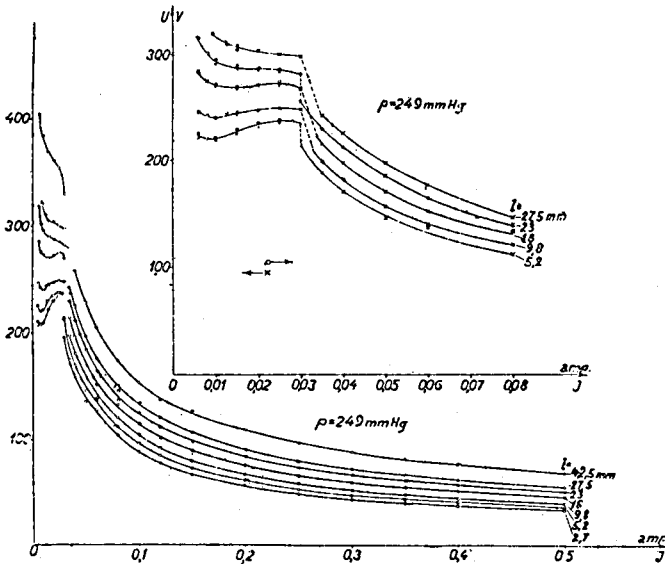


Fig. 3.

dar. Rechts oben sehen wir in vergrössertem Massstab den Teil, der dem Übergang der Glimm- in Bogenentladung entspricht. Die als kreisrunde Punkte aufgetragenen Werte sind Spannungswerte, die den zunehmenden Stromwerten entsprechen und beim Übergang von der Glimm-

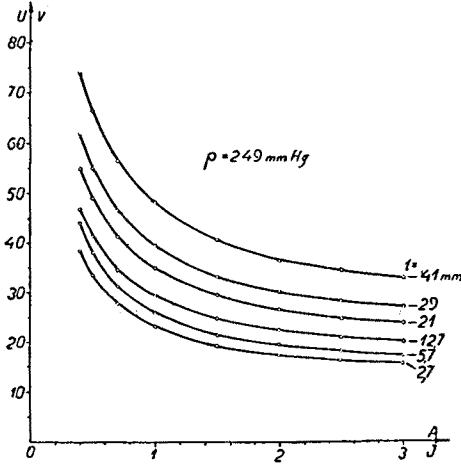


Fig. 4.

in Bogenentladung gemessen wurden, wogegen die als Kreuzpunkte aufgetragenen Werte dem umgekehrten Vorgang entsprechen. Die Übereinstimmung dieser Messungen ist zufriedenstellend.

Die Charakteristik für kleinen Elektrodenabstand lässt, bei Berücksichtigung der entsprechend kleinen Spannung an der Säule, auf Änderung der Summe von Spannungsfällen an der Anode und an der Kathode schliessen. Dem äusseren Aussehen nach war die Kathode bei den kleinsten Stromwerten normal. Die Charakteristik sinkt in diesem Bereich (Fig. 2 und 3 für $l = 2,7$ mm) infolge der beträchtlichen Abnahme des Lichtsäulengradienten beim Zunehmen des Stromes, wobei der Kathodenfall konstant bleibt. Im weiteren Bereich der wachsenden Stromwerte steigt die Charakteristik, die Kathode wird anormal, der Kathodenfall wächst schneller als der Spannungsfall der Lichtsäule abnimmt und die Kathode erwärmt sich immer mehr. Der Bogen setzt unabhängig von dem Elektrodenabstand stets bei 30 mA sprunghaft ein. Die Bogencharakteristik fällt bedeutend, denn einerseits nimmt der Säulegradient, andererseits der Kathodenfall bei allmählich zunehmenden Stromwerten ab. Bei grösseren Elektrodenabständen sind die der Glimmentladung entsprechenden Charakteristikabschnitte, sogar bei anormalen Kathode,

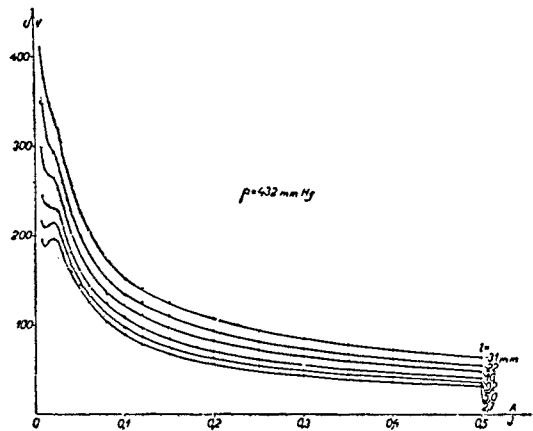


Fig. 5.

fallend, was den Gradientenänderungen auf der immer länger werdenden Lichtsäule zuzuschreiben ist, welche die auf der Kathode auftretenden

Spannungsänderungen verschleiern. Der Säulespannungsfall ist hierbei grösser als die Kathodenspannungszunahme.

Die Fortsetzung der Bogencharakteristiken von Fig. 3 von 0,4 bis 3 A stellt Fig. 4 dar.

Ähnliche Scharen von vollständigen Charakteristiken für verschiedene Elektrodenabstände wurden auch für höhere Drucke gefunden, und zwar entspricht Fig. 5 dem Druck von 432 mm Hg und Fig. 6 dem Druck von 592 mm Hg.

Unter vielen Umständen, die den Charakter des Überganges einer Glimmentladung in den Bogen bestimmen, spielen die Kathodentemperatur, die Temperatur der der Kathode am nächsten liegender Dampfschicht und die die Raumladungsgrösse bei der Kathode beeinflussende Kathodenstromdichte die Hauptrolle. Letztere ist von dem Gas- bzw. Dampfdruck abhängig und zwar steigt sie mit der Druckzunahme. Von grosser Bedeutung ist auch die Elektroden-Form und -Grösse, wovon unter anderen die Elektrodentemperatur selbst abhängt.

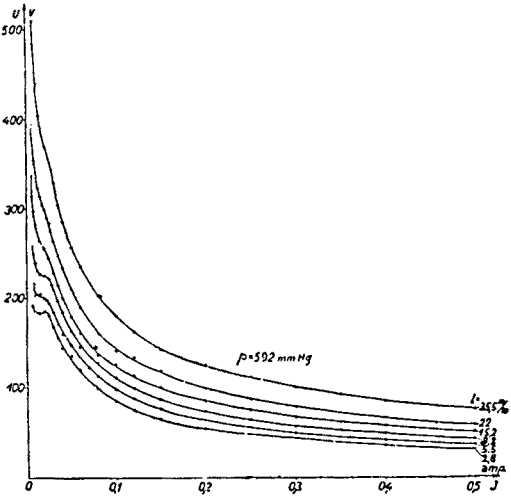


Fig. 6.

Beim Vergleich der Glimmbe-reichteile der vollständigen Charakteristiken für $l = 2,7$ mm bei drei verschiedenen Drucken, Fig. 3, 5 und 6, kommt nach einem Spannungsminimum kleinere Charakteristikneigung für grösseren Druck zum Vorschein. Die Kathode weist hier die grössten Änderungen auf. Es wurde photographisch festgestellt, dass mit zunehmendem Druck die Oberfläche der leuchtenden Kathodenschicht abnimmt, also die Kathodenstromdichte zunimmt. Die Zunahme der Kathodenstromdichte hat nun die Erhöhung der Kathodentemperatur zur Folge, wodurch

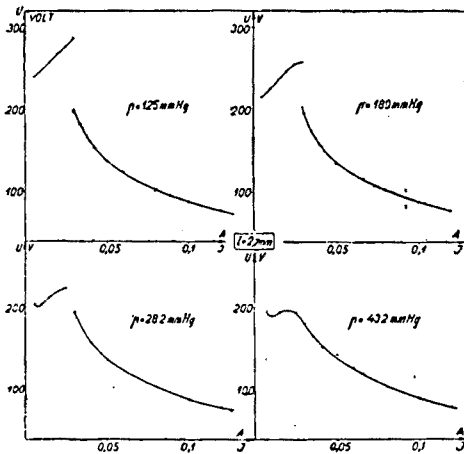


Fig. 7.

die Kathodentemperatur selbst abhängt. Die Zunahme der Kathodenstromdichte hat nun die Erhöhung der Kathodentemperatur zur Folge, wodurch

die, die Raumladung in der Kathodenumgebung neutralisierende, thermische Elektrodenemission gesteigert wird. Demzufolge sinkt wiederum der Kathodenfall.

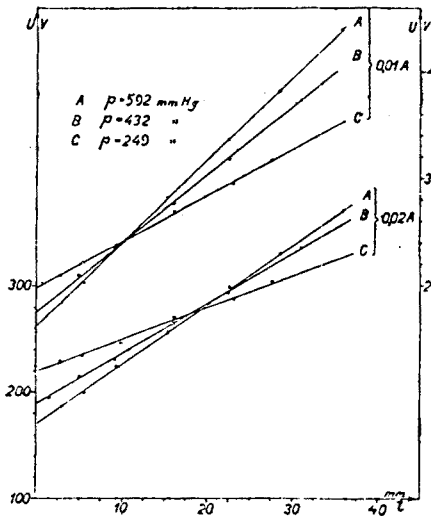


Fig. 8.

zieht, oberhalb dessen er dagegen dieser Grenzdruck ca. 400 mm Hg.

Zwecks Anwendung der von Kirkby angegebenen Methode zur Ermittlung der Summenwerte von Spannungsfällen an beiden Elektroden,

wurde auf Grund der oben besprochenen Messungen die Abhängigkeit der Elektroden-spannung vom Elektrodenabstand aufgezeichnet. Diese Funktion weist sowohl für die Glimmentladung, Fig. 8, wie auch für die Bogenentladung, Fig. 9, einen linearen Verlauf auf. Für Stromkurven von 0,01 A der Fig. 8 gilt der rechte, um 100 V nach oben verschobene, Spannungsmasstab. Diese für $l=0$ extrapolierten Kurvenschnitten auf der Ordinatenachse die Summen des Anoden- und Kathodenfalles.

Die genannte Methode beruht auf der Annahme, dass die Spannungsfälle

Die Druckabhängigkeit des in Rede stehenden Überganges erläutert genau und anschaulich Fig. 7, wo die für den kleinen konstanten Elektrodenabstand von 2,7 mm bei verschiedenen Drucken erhaltenen Messergebnisse aufgetragen sind. Die Glimmcharakteristik fällt hier und verliert immer mehr ihre Steilheit trotz des zunehmenden Drucks und somit auch der zunehmenden Lichtsäulenspannung, was auf allmähliche Kathodenfallabnahme schließen lässt.

Es gibt bei unveränderten sonstigen Bedingungen einen Grenzdruck, unterhalb dessen sich der Übergang der Glimm- in Bogenentladung sprunghaft un stetig vollstetig ist. In unserem Fall betrug

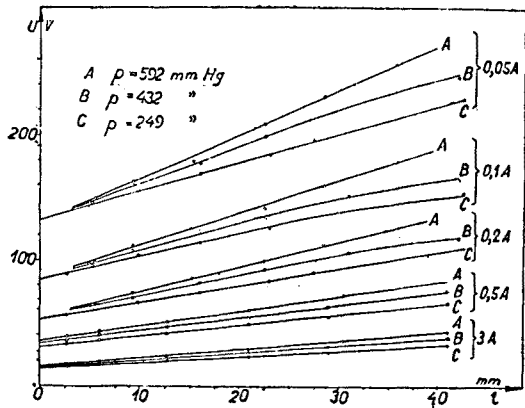


Fig. 9.

summe an beiden Elektroden nicht von dem Elektrodenabstand abhängt, wenn dieser Abstand entsprechend gross ist. Kirkby arbeitete diese Methode für Messungen des Lichtsäulegradienten aus. Sie kann aber auch für die Ermittlung der Fallsummen angewandt werden, wenn der Druck hoch genug und der Elektrodenabstand nicht zu klein ist, sodass eine verhinderte Entladung nicht befürchtet werden kann.

Die Figuren 8, 9 und 10 weisen nun darauf hin, dass sowohl bei Glimm- wie auch bei Bogenentladung mit der Stromstärkezunahme der Lichtsäulegradient anfangs stark abnimmt. Der zunehmende Druck erhöht den Säulegradienten, wie es Fig. 8 und 9 veranschaulichen. Für Glimmentladung (Fig. 8) erniedrigt der zunehmende Druck die Summe des Kathoden- und Anodenfalls bei konstant bleibender Stromstärke. Der Druckeinfluss auf die Fallsumme beider Elektroden ist für die Bogenentladung (Fig. 9) klein.

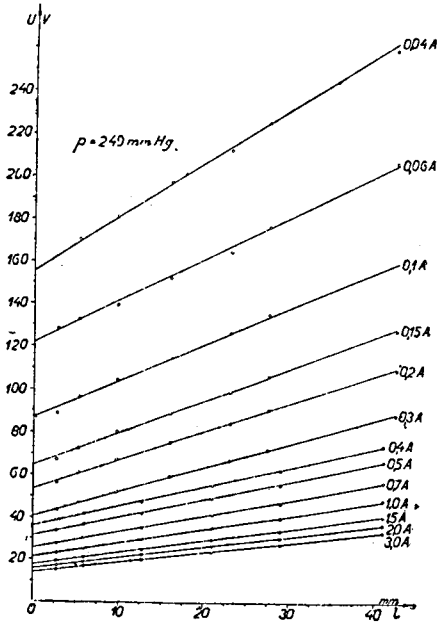


Fig. 10.

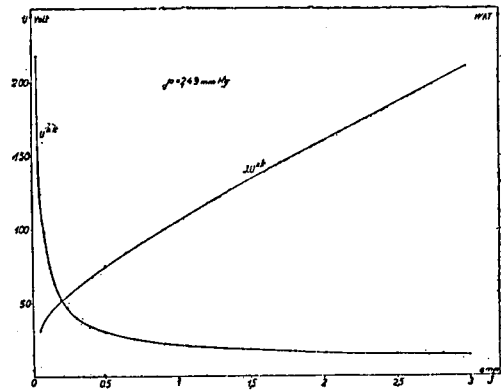


Fig. 11.

Die Differenzen liegen hier innerhalb der Fehlergrenzen, so dass es unmöglich erscheint, darauf sichere Schlüsse zu stützen, wenn auch eher auf die Tendenz zur Summenzunahme bei höheren Drucken, also umgekehrt wie für Glimmentladung, zu schliessen wäre.

Auf Grund der so gefundenen Summenwerte der Kathoden- und Anodenspannungsfälle wurde die Abhängigkeit derselben von der Stromstärke in Fig. 11 dargestellt. Diese Kurve nähert sich ihrem Verlaufe nach einer Hyperbel. Für 3 A

sinkt die Spannungsfallsumme an beiden Elektroden bis auf 15 V. Einen ähnlichen Charakter weist die Kurve auf, welche M. Wehrli erhalten hat, indem er den Kathodenfall im Stickstoff mit einer Sonde gemessen hat.

Während der Bogenmessungen bis 3 A bei der Elektrode *D* (Fig. 1) als Kathode leuchtete dieselbe bei 1,6 A ebenso stark wie die Anode. Nach dem Polwechsel trat die Gleichheit der Leuchtstärke erst bei 3 A ein. Oberhalb dieser Stromwerte leuchtete die Anode stets stärker, was durch Beobachtung des Bogenbildes festgestellt werden konnte. Die dem gleich starken Leuchten entsprechende Differenz der Stromstärke wurde durch verschiedene Kühlungsbedingungen verursacht.

Meinen weiteren Erwägungen lege ich die Annahme zugrunde, dass die an der Kathode und an der Anode ausgeschiedenen Leistungen dem Kathoden- bzw. Anodenfall proportional sind, wenn die Grösse, Form und Kühlungsbedingungen beider Elektroden gleich bleiben.

Wenn man als Ursache der Erwärmung der Elektroden die an denselben ausgeschiedene Leistung ansieht, so muss man weiter annehmen, dass der Anodenfall einen grösseren Wert als der Kathodenfall aufweist, da während beider oben erwähnten Versuche oberhalb der genannten Stromwerte die Anode, sowohl als obere, wie auch als untere Elektrode, stets stärker als die Kathode leuchtet.

Da der Anodenfall durch die negative Raumladung neben der Anode bedingt ist, darf man wohl annehmen, dass derselbe mit der Zunahme der Anodentemperatur, d. h. hier mit der Stromzunahme steigt, denn die thermische Elektronenemission der glühenden Anode erhöht die Raumladung. Es gibt zwar keine experimentelle Entscheidung dafür, dennoch scheint die Annahme der obigen Hypothese nicht unbedingt nötig zu sein, da man ja auch annehmen könnte, dass der Anodenfall konstant ist und nur der Kathodenfall mit zunehmender Stromstärke abnimmt.

Ferner ist es noch gelungen, in dieser Zweielektrodenlampe eine regelrechte Bogenentladung mit Wechselstrom von 50 Hz bei 220 V zu erhalten. Eins der dazugehörigen Messergebnisse sehen wir in Fig. 12, die die Spannungsabhängigkeit beider Elektroden von deren Abstand bei mehreren Stromwerten darstellt. Im allgemeinen sind die den Gleichstrombogen kennzeichnenden Funktionen ungefähr denen des Wechselstrombogens ähnlich.

Während der Vormessungen wurde festgestellt, dass der Elektrodenreinheitszustand sowie etwaige Verunreinigungen der Quecksilberatmosphäre durch Gasreste nicht nur einen bedeutenden quantitativen Einfluss auf die Messergebnisse ausüben, sondern auch zu anderen Entladungsformen führen, meistens einen Bogen mit punktförmigen Kathodenfleck einsetzen liessen. Den Einfluss der in der Quecksilberatmosphäre anwesenden Gasreste erklärt Fig. 13, die zwei Charakteristiken für 42 mm Elektrodenabstand bei 118 mm Hg wiedergibt. Die Quecksilberatmosphäre war bei Aufnahme der oberen Kurve mit Gasresten verunreinigt, deren Druck, nach beendigtem Versuch mit einem *M a c - L e o d* - Mano-

meter gemessen, 0,23 mm Hg betrug. Für die untere Kurve war dieser Druck ca 10 mal kleiner und betrug 0,022 mm Hg. Infolge der ca 8-fachen

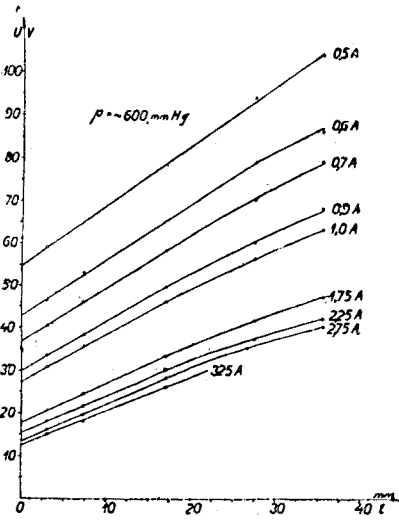


Fig. 12.

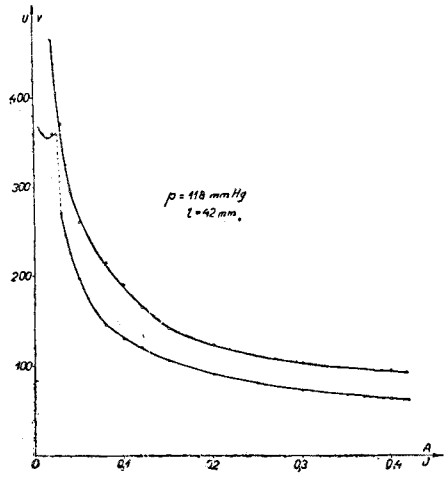


Fig. 13.

Verkleinerung des Volumens in der Lampe selbst und der höheren Temperatur war natürlich der partielle Gasdruck während der Versuche noch grösser. Zur Durchführung der Messung des Druckes der Gasreste musste man nämlich die Entladung unterbrechen und die Lampenatmosphäre mit dem Mac-Leod-Manometer in Verbindung bringen, was eben eine ca 8-fache Volumenvergrößerung der in der Lampe eingeschlossenen Gasreste zur Folge hatte.

Die obere Kurve in Fig. 13 entspricht in ihrer ganzen Länge einer Form der Bogenentladung, die unter diesen Umständen sogar bei den kleinsten Stromwerten erhalten bleibt. Die untere Kurve dagegen, die bereits in reinerer Quecksilberatmosphäre aufgenommen wurde, entspricht anfangs einer Glimmentladung, die bei ca 30 mA sprunghaft in den Bogen übergeht.

Der Zusatz der Gasreste in der Quecksilberatmosphäre erhöht die Spannung an den Elektroden. Auf derartige Verunreinigungen ist die Glimmentladung empfindlicher, als die Bogenentladung.

Nach dem oben gesagten ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von den Verunreinigungen der Quecksilberatmosphäre in hohem Grade abhängig. Es wurde hierbei festgestellt, dass die Anwesenheit von Gasresten von 0,02 mm Hg Druck die Reproduzierbarkeit der Messungen nicht beeinflusst, wenn der Quecksilberdampfdruck 249 mm Hg beträgt. Bei höheren Quecksilberdampfdrücken gibt sogar ein grösserer Gaszu-

satz und zwar bis 0,07 mm Hg noch keinen Anlass zur Feststellung von Unreproduzierbarkeit. Sämtliche Messergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden auf Reproduzierbarkeit geprüft, um die durch die Anwesenheit von verunreinigenden Fremdgasen verursachten Fehler zu vermeiden. Die bemerkten Abweichungen liegen innerhalb der Messfehlergrenzen.

Die Spannungsabnahme an beiden kurzgeschlossenen Elektroden betrug 0,36 V bei 3 A und konnte im Vergleich mit der in den Messungen berücksichtigten Größenordnung vollkommen vernachlässigt werden.

IV. Vergleich mit anderen Arbeiten.

Mackay und Ferguson führten Messungen der vollständigen Charakteristiken im Wasserstoff von 400 mm Hg Druck bis 20 A bei Bogenentladung durch und erhielten keinen stetigen Übergang. Wahrscheinlich ist dieses Resultat der allzu grossen Wolframkathoden zuzuschreiben, denn Seeliger erhielt den stetigen Übergang bei ca 0,13 A, indem er mit demselben Druck ebenfalls im Wasserstoff arbeitete, als Kathode aber ein Wolframkügelchen von 3 mm Durchmesser benutzte. Wehrli führte Messungen von vollständigen Charakteristiken im Stickstoff zwischen Wolframstäbchen von 1,7 mm Dicke durch. Er erhielt bei ca 0,2 A und bei 181 mm Hg Druck den stetigen Übergang, dagegen unterhalb 104 mm Hg nur den unstetigen Übergang. Seine Funktion $U = f(l)$ hatte sowohl für Glimm- wie auch für Bogenentladung einen linearen Verlauf. Die Extrapolation seiner Kurven bis $l = 0$ zeigt, dass die Summe des Kathoden- und Anodenfalles mit der Druckzunahme abnimmt, und zwar beträgt dieselbe ca 360 V bei $J = 0,15$ A für $p_0 = 61$ mm Hg, dagegen ist für $p_0 = 392$ mm Hg, $U = 250$ V. Aber der umgekehrte, von Wehrli festgestellte Einfluss des Druckes auf die Spannungsfallsumme in der Glimmentladung bei sehr kleinen Stromwerten, wobei die Kathode wahrscheinlich normal war, bleibt für mich unerklärlich. Bei einer kugelförmigen Kathode von 1,81 mm Durchmesser, die an einem Stiel von 0,339 mm Dicke angesetzt war, wie sie Wehrli auch in seiner späteren Arbeit gebrauchte, fand der unstetige Übergang noch bei einem Druck von 172 mm Hg sprungweise bei 0,3 A statt. Im Quecksilberdampf erhielt ich den stetigen Übergang beim Druck von ca 400 mm Hg und einer Stromstärke von 0,03 A. Im allgemeinen stimmen die Messungen von Seeliger und Wehrli mit meinen in Bezug auf die Größenordnung der Druck- und Stromwerte, bei denen der stetige Übergang vorkommt, überein. Der von Wehrli mit einer Sonde gemessene Kathodenfall weist für eine Kugelkathode (1,81 mm Durchmesser) höhere Werte auf und zwar beträgt derselbe ca 20 V für 3 A, wogegen in der vorliegenden Arbeit, wo die Kügelchen einen Durchmesser von 1,3 mm

hatten, die Summe von Kathoden- und Anodenfall bis 15 V fällt. Diese Spannungsdifferenz wird durch viele Umstände verursacht, wie z. B. etwas verschiedene Kathodendurchmesser, verschiedene Anoden-Form und -Grösse (Wehrli benutzte eine Wolframstabanode von 1,7 mm Durchmesser, während meine Anode der Kathode gleich war) und vielleicht auch die Verschiedenheit der Atmosphäre. M. J. Druyvesteyn erhielt den stetigen Übergang in Edelgasen *Ne*, *Ar* und deren Mischungen bei Drucken von über 30 mm *Hg* und Stromstärke von ungefähr 40 mA. Seine Elektroden wurden durch Kügelchen von 1,8 mm Durchmesser auf 0,35 mm starken Wolframstäbchen gebildet. Er untersuchte diesen Übergang ebenfalls unter Benutzung von sehr dünnen Wolframdrähten als Elektroden. Die Ergebnisse von Druyvesteyn weisen auf grossen Einfluss der Atmosphärenbeschaffenheit auf die Stetigkeit des Überganges hin. In Edelgasen erhielt er den stetigen Übergang bei ca 13 mal kleinerem Druck als im Quecksilberdampf (400 mm *Hg*). In beiden Fällen wichen die Durchmesser der Wolframkügelchen der Kathode und der Anode nicht viel voneinander ab.

Ich bin beim Vergleich der Ergebnisse von Seeliger, Wehrli, Druyvesteyn mit den meinigen zum Schluss gekommen, dass der kleinste Druck, bei welchem der stetige Übergang noch vorkommt, unter anderen auch von der Beschaffenheit der Atmosphäre abhängt, in der die Entladung zustande kommt.

Die für die Glimmentladung bereits von J. Nikliborc in einer Quecksilberlampe festgestellte Kathodenfallabnahme mit der Druckzunahme bei konstanter Stromstärke wurde durch die vorliegende Arbeit voll bestätigt. Was nun die Abhängigkeit des Kathodenfalles vom Druck für die Bogenentladung betrifft, darüber liefert die vorliegende Arbeit noch keine stichhaltigen Angaben.

Ich fühle mich noch verpflichtet, dem Herrn Professor Dr. Reczyński für die Anregung zur Bearbeitung dieses Themas, seine wertvollen Ratschläge und viele behilflichen Winke während der Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

V. Literaturnachweise.

- 1) E. M. J. Mackay & C. V. Ferguson, Journ. Frankl. Inst., 181, 209, 1916.
- 2) R. Seeliger & J. Schmekel, Phys. Ztschr., 27, 730, 1926.
- 3) M. Wehrli, ZS. f. Phys., 44, 301, 1927.

- 4) M. Wehrli, *Helv. Phys. Acta*, *1*, 247, 1928 u. *3*, 180, 1930.
- 5) P. J. Kirkby, *Phil. Mag.*, *15*, 559, 1908.
- 6) J. Nikliborc, *Spraw. i Pr. P. T. F.*, *V*, 425, 1931.
- 7) Cz. Reczyński, *Spraw. i Pr. P. T. F.*, *V*, 287, 1931.
- 8) M. J. Druyvesteyn, *ZS. f. Phys.* *73*, 727, 1932.

II. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Lwów.

Eingegangen am 8. November 1932.