

Józef Kawa.

Der Quecksilberlichtbogen bei erstarrter Kathode.¹⁾

Łuk rtęciowy przy zestalonej katodzie.²⁾

Streszczenie.

Przeprowadzono szereg pomiarów nad łukiem rtęciowym z katodą chłodzoną do temp. — 70° C. Anoda żelazna — ruchoma. Z doświadczeń wynika, że łuk rtęciowy może w tych warunkach istnieć, przyczem wartości napięć na łuku są niewiele większe od spadków napięć dla łuku niechłodzonego. Wzrost ten należy uważać za wpływ zmniejszonej prężności pary rtęci w lampie na skutek ochłodzenia katody. Charakterystyki, jak to widać z rys. 4, są dość silnie spadające. Przy dużych odległościach występowało jakby załamanie charakterystyki (rys. 5). Przypuszczalnie zostało ono spowodowane wystąpieniem w pobliżu katody naboju objętościowego, który znika przy większych natężeniach prądu.

W lampie o średnicy 60 mm udało się utrzymać łuk chłodzony na całej długości mieszaniną stałego dwutlenku węgla i acetonu. Na rys. 2 podano odnośne charakterystyki. Z zestawienia tego widać, że przy małych odległościach elektrod napięcie prawie nie zależy od natężenia prądu. Najmniejsza wartość, jaką uzyskano, wynosiła 7,6 V ($l = 5$ mm).

Wygląd plamki na katodzie zestalonej jest nieco odmienny, niż dla katody płynnej; jest ona podobna do płatka śniegu. W temperaturach bliskich zestaleni rtęci staje się plamka punktową, lecz porusza się bardzo wolno. W tych temperaturach katody łuk jest niestały, jak to widać z rys. 1, gdzie podano przebieg napięcia przy przejściu od katody stałej do płynnej. W punkcie A usunięto mieszaninę chłodzącą; w B katoda zaczyna się topić, a w C posiada już temp. pokojową.

II Zakład Fizyczny Politechniki Lwowskiej.

Rękopis otrzymany dn. 8 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.

Im Zusammenhang mit der gegenwärtig geführten Diskussion über den Mechanismus der an der Kathode einer Bogenentladung vorkommenden Erscheinungen ist es von Interesse, den Quecksilberlichtbogen bei stark gekühlter Kathode zu untersuchen. Durch die Temperatur der Quecksilberkathode wird nämlich sowohl — wie es die thermische Bogen-theorie will — die Elektronenemission im Kathodenfleck, wie auch die Spannung der die Entladung führenden Gase bedeutend beeinflusst; nach der thermischen Theorie wäre also bei intensiver Kühlung der Kathode eine weitgehende Veränderung in der Bogenentladung zu erwarten. Nach dieser Theorie sollte der Spannungsabfall im Bogen bei entsprechender Kühlung der Kathode die Höhe des Kathodenfalles einer Glimmentladung erreichen bzw. sogar überschreiten.

Im folgenden werden die Versuche mit einer starren Quecksilberkathode (Temperatur ca -70°C) in kurzer Zusammenfassung angegeben. Es hat sich ergeben, dass der Bogen bei diesen Kathodentemperaturen noch bestehen bleibt, wobei die Elektrodenspannungen nicht viel grösser sind, als die des ungekühlten Bogens; in manchen Fällen sind sogar kleinere Werte beobachtet worden. Besonders überraschend erscheint es aber, dass in diesen Verhältnissen der Bogen bei kleineren Stromstärken noch brennen kann, als das bei einer flüssigen Kathode möglich ist.

In den zu beschreibenden Versuchen wurde der Bogen bei flüssiger Kathode gezündet und die Kathode durch allmähliches Abkühlen zum Erstarren gebracht. Die Abkühlung verursachte jedesmal ein öfteres Abreissen des Bogens, der dann mit Hilfe des Induktoriums von neuem gezündet werden musste. Geling es, den Bogen bis zum Erstarren der Kathode zu erhalten — was nicht immer der Fall war — so brannte er von diesem Augenblick an schon verhältnismässig ruhig weiter.

Der Kathodenfleck, der bei der flüssigen Kathode als ein schnell bewegtes Fünkchen umherirrt, verliert bei den dem Erstarren naheliegenden Temperaturen seine Beweglichkeit. Er bewegt sich dann nur langsam und zerfällt dabei manchmal in zwei Teile. Im Augenblick der gänzlichen Erstarrung der Kathodenoberfläche wird das Aussehen des Kathodenflecks einem Schneeflöckchen ähnlich. Bei Stromstärken $1-2\text{ A}$ und bei grösseren Bogenlängen springt der Fleck manchmal auf den Ring über, der sich in der Nähe der Kathode auf den Lampenwänden vom verdampften und verstäubten Quecksilber bildet; bei grösseren Stromstärken tritt diese Erscheinung nicht auf.

Die oben erwähnte Instabilität der Bogenentladung bei Kathodentemperaturen, die der Erstarrungstemperatur des Quecksilbers nahe sind, konnte auch beim Schmelzen der erstarrten Quecksilberkathode beobachtet werden. Als Beispiel solcher Instabilitäterscheinung sei ein

Zeit-Spannung-Diagramm angeführt, das bei einer Bogenlänge von 165 mm und 4 A Stromstärke mit Hilfe eines registrierenden Voltmeters aufgenommen wurde (Fig. 1). Auf diesem Diagramm entspricht der

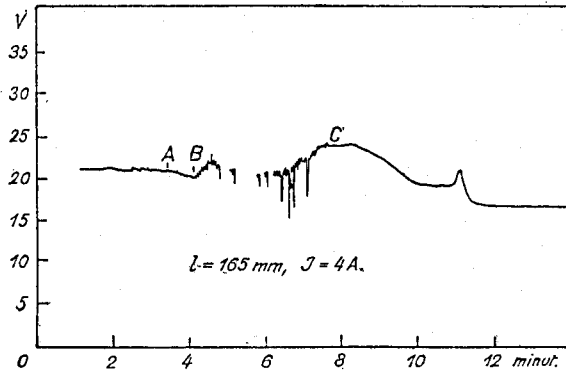


Fig. 1.

Zeitraum bis zum Punkte *A* der erstarrten Kathode, die in ein Kältebad (festes CO_2 + Aceton) eingetaucht war. In dem mit *A* bezeichneten Zeitmoment wurde das Kältebad entfernt; die Kathode erwärmt sich nachher infolge der Kathodenwärme bis sie im Punkt *B* zu schmelzen beginnt. Beim Schmelzen des Quecksilbers verliert der Kathodenfleck sein breitflächiges Aussehen, wird wieder punktförmig, bewegt sich aber nur sehr langsam. Gleichzeitig treten bedeutende Schwankungen der Elektrodenspannung auf, die das Abreissen des Bogens zur Folge haben; der Bogen wird so unstabil, dass er sich trotz fortwährenden Zündens nicht mehr erhalten lässt. (Die durch das Voltmeter gezeichnete Kurve sollte eigentlich bei jedem Erlöschen des Bogens bis Null herabfallen, weil das Voltmeter unter Zuhilfenahme eines Relais an die Elektroden angeschlossen war. Das Erlöschen und Zünden des Bogens erfolgte aber so schnell nacheinander, dass das Messgerät den grossen Spannungsveränderungen zwischen Null- und Vollwert wegen seiner Trägheit nicht gleich nachfolgen konnte). Mit der Zeit wird die Kathode immer wärmer und das Erlöschen des Bogens kommt immer seltener vor; im Punkt *C* erreicht die Kathode bereits die Zimmertemperatur, wobei der Bogen ruhig weiter brennt. Die Elektrodenspannung, die in diesem Zeitpunkt 24 V beträgt, sinkt demnächst auf einen kleineren Wert, den sie noch eine Zeitlang behält, um dann mit einem charakteristischen Sprung einen noch kleineren, der oben genannten Stromstärke entsprechenden, konstanten Wert anzunehmen.

In Fig. 2 sind einige Charakteristiken zusammengestellt, die für eine auf ihrer ganzen Länge gekühlte Lampe von 60 mm Innendurch-

messer aufgenommen wurden. Die Lampe¹⁾ besass eine walzenförmige bewegliche Eisenanode von 50 mm Durchmesser und 2 kg Masse. Die Kathode und der Entladungsraum bis zur Anode selbst wurden durch das Eintauchen in ein Kältebad (festes CO_2 + Aceton) gekühlt.

Unter diesen Versuchsbedingungen weist die Charakteristik bei grösseren Bogenlängen einen stark fallenden Verlauf auf. (Die senkrechten Striche bedeuten hierbei Schwankungen der Spannung). Die Elektroden-

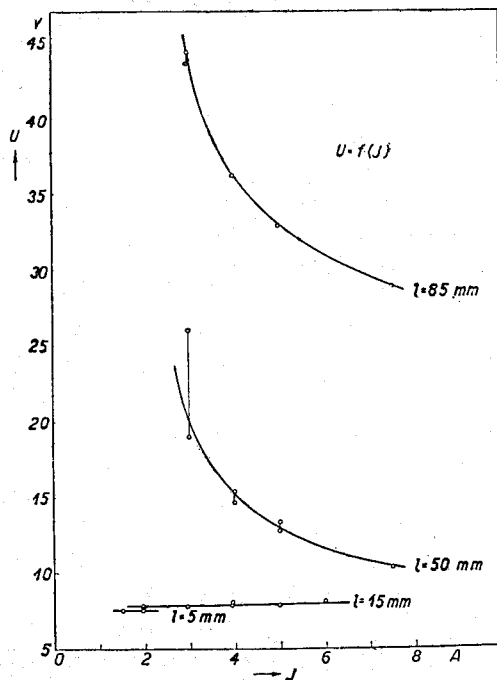


Fig. 2.

spannungen sind hier im Vergleich mit den einer nichtgekühlten Lampe entsprechend grösser, was als Folge der bedeutenden Verminderung der Dampfspannung im Entladungsraum anzusehen ist. Bei kleineren Bogenlängen ist die Spannung von der Stromstärke fast unabhängig. Bei einer Bogenlänge von $l = 5$ mm brannte der Bogen noch bei einer Stromstärke von 1,5 A und einer Spannung, die nur 7,6 V betrug; es ist der kleinste Spannungswert, der am Quecksilberbogen bisher überhaupt erreicht wurde.

Die zu diesen Messungen benutzte oben beschriebene Lampe hat sich wegen einiger konstruktiver Einzelheiten, (insbesondere der Ein-

1) J. Kawa, Acta Phys. Pol. I, 25, 1932.

schmelzstellen Platin-Glas im unteren Teil der Lampe) für umfangreichere Versuche als ungeeignet erwiesen. Für weitere Messungen ist eine andere Lampe aus Siborglas (Fig. 3) konstruiert worden, bei der die Zuleitung zur Kathode ein von oben eingeführter und mit einem Glasröhrche umhüllter Platindraht (Pt) bewerkstelligte. Die aus Elektrolyteisen hergestellte Anode A (Q bedeutet eine Quarzglas-hülle) kann im stromlosen Zustand der Lampe samt einer mit ihr elektromagnetisch gekoppelten Spule (C) verschoben werden, wobei der Eisen-schliff (S) der gleichzeitig die Stromzuführung

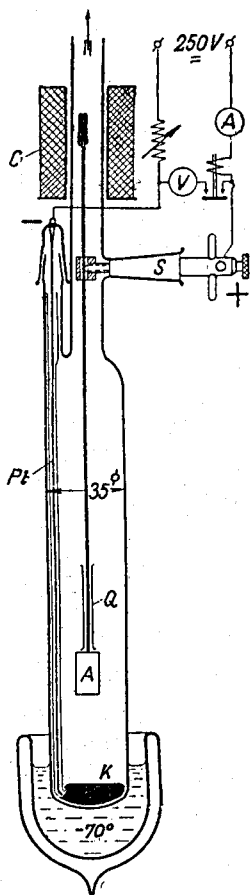


Fig. 3.

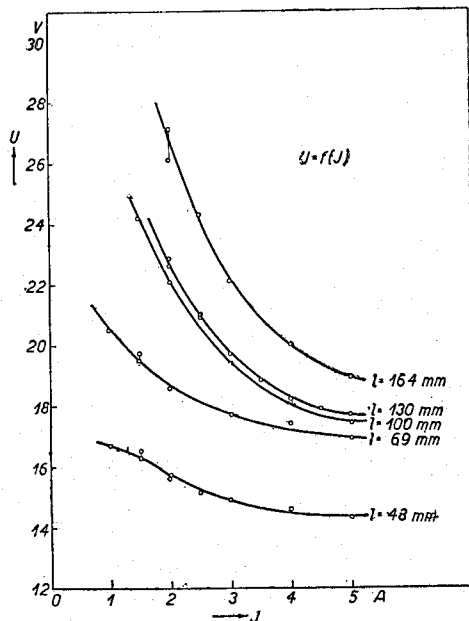


Fig. 4

zur Anode darstellt, das Festklemmen der Anode in der gewünschten Lage ermöglicht. Die Lampe war dauernd mit einer Diffusionspumpe und einem Vakuummeter verbunden. Gekühlt wurde hier nur die Kathode und zwar mit dem oben erwähnten Kältebad.

Fig. 4 zeigt einige Charakteristiken für verschiedene Bogenlängen, die für die eben beschriebene Lampe aufgenommen worden sind. Die Änderung der Stromstärke erfolgte nach je 3—5 Sek. Stromstärke konnte im Gegensatz zu der bei einer ungekühlten Lampe, bei der ihr Mindestwert 3 A betrug, sogar auf 1 A herabgesetzt werden.

Die Spannungswerte sind hier im Vergleich mit den bei einer ungekühlten Lampe auftretenden nicht viel grösser; bei der Annahme, dass diese geringen Spannungsunterschiede durch die Verminderung des Dampfdruckes verursacht wurden, dürfte man wohl daraus schliessen, dass die Temperatur der Kathode — wenigstens in dem hier angewandten Temperaturbereich — kaum einen merklichen Einfluss auf die Höhe der Elektrodenspannung ausübt.

Ausser der oben angegebenen, einen gewöhnlichen Verlauf aufweisenden Charakteristiken, wurden öfters noch solche aufgenommen, die hauptsächlich bei grösseren Elektrodenabständen auftreten und einen in Fig. 5 dargestellten Verlauf aufweisen. Die Kurve, die in Fig. 5

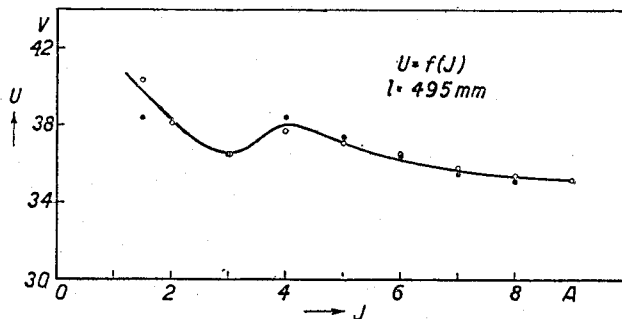


Fig. 5.

gezeigt ist (die mit leeren Kreisen bezeichneten Werte entsprechen der wachsenden, die voll gezeichneten der abnehmenden Stromstärke), wurde für eine mit einer Graphitanode versehene Lampe aufgenommen, wobei die Bogenlänge 495 mm betrug. Die Spannungssteigerung bei wachsender Stromstärke könnte durch Bildung einer negativen Raumladung erklärt werden, die bei sehr tiefen Dampfdrücken in der Kathodennähe hervortritt. Bei einer weiteren Vergrösserung der Stromstärke wird jedoch die negative Raumladung neutralisiert, was der Einwirkung der positiven Ionen zuzuschreiben ist, die bei dem Anwachsen der Dampfdichte entstehen und was wiederum das Abfallen der Charakteristik zur Folge hat.

Für seine wertvollen Ratschläge im Laufe dieser Arbeit bin ich Herrn Prof. Dr. Cz. R e c z y ń s k i zu grossem Dank verpflichtet.

II. *Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Lwów.*

Eingegangen am 8. November 1932.