

Über die Abhängigkeit der Entladung von dem Entgasungszustande der Elektroden.

Von **Alexander Janitzky** aus Kamienetz-Podolsk in der Ukraine.

(Mitteilung aus dem Universitätsinstitut für physikalische Grundlagen der Medizin
in Frankfurt a. M.)

Mit drei Abbildungen. (Eingegangen am 10. August 1922.)

Inhalt: 1. Einleitung. 2. Die ersten Beobachtungen und die Beschreibung der Erscheinungen. 3. Die Arbeit von S. Ratner. 4. Bemerkungen über diese Arbeit. 5. Veränderung der Röhrenhärte während des Betriebes. 6. Zusammenfassung.

1. Einleitung.

Es gibt eine Reihe von Erscheinungen, welche darauf hinweisen, daß die Gase, welche in metallischen Leitungen und Elektroden gelöst sind, einen Einfluß auf einige elektrische Prozesse ausüben, an denen die betreffende Leitung in dieser oder jener Weise einen Anteil nimmt. Zu solchen Erscheinungen gehören:

1. Abschwächung oder vollständiges Verschwinden des Photoeffekts bei Benutzung von gasfreien Metallen. Das wird durch folgende Arbeiten bewiesen:

a) Küstner¹⁾ hat gezeigt, daß Zink keinen Photoeffekt selbst im kurzwelligem Gebiet (Quecksilberquarzlampenstrahlen) gibt, wenn das Metall im Vakuum frisch geschabt ist.

b) Wiedmann und Hallwachs²⁾ haben gezeigt, daß bei $\lambda = 3400 \text{ \AA}$ der Photoeffekt in Kalium fehlt, wenn das Metall im Vakuum wiederholt destilliert ist. Diese Ergebnisse wurden von Fredenhagen³⁾ bestätigt.

c) Hallwachs⁴⁾ fand, daß der Photoeffekt bei entgastem Platin bei Bestrahlung mit der Quecksilberlampe auf 0,1 Proz. des früheren Effekts sinkt.

d) Sende und Simon⁵⁾ haben gezeigt, daß in den Gebieten des Quecksilberdampflichts der Photoeffekt bei in Vakuum entgasten Metallen fehlt.

¹⁾ Phys. ZS. **15**, 68—75, 1914.

²⁾ Verh. d. D. Phys. Ges. **16**, 107—120, 1914.

³⁾ Ebenda **16**, 201—219, 1914.

⁴⁾ Phys. ZS. **21**, 561—568, 1920.

⁵⁾ Ann. d. Phys. **65**, 697—719, 1921.

2. Die Änderung der \mathcal{A} -Strahlung bei Änderung des Gasgehalts von metallischen Leitern und Kohle. Hierher gehören folgende Arbeiten:

a) Pound¹⁾ hat gezeigt, daß die Kohle bei Abkühlung zur Temperatur der flüssigen Luft eine bedeutende Vergrößerung der \mathcal{A} -Strahlung bei dem Bombardement mit Polonium- α -Strahlen gibt.

b) McLennan and Found²⁾ haben gefunden, daß die \mathcal{A} -Strahlen, die durch α -Strahlen bei Zink hervorgerufen sind, im Hochvakuum verschwinden, wenn die Oberfläche des Zinks mit einem frischen Belag von gasfreiem Metall überzogen ist; aber durch Einsaugen von Gas erscheint die \mathcal{A} -Strahlung nach einiger Zeit wieder.

3. Die Veränderung der Kontaktspannung bei Entgasung von sich berührenden Metallen. Nach den Versuchen von Hughes³⁾ über Berührungsspannung von Zink oder Wismut, welche im Hochvakuum destilliert sind, und Platin hat es sich herausgestellt, daß die Kontaktspannung unter diesen Umständen fast vollständig verschwindet.

4. Die weiter beschriebenen Erscheinungen weisen darauf hin, daß die Gase, welche in Elektroden von Vakuumröhren gelöst sind, einen Einfluß auf den Charakter der Entladung in diesen Röhren ausüben.

2. Die ersten Beobachtungen und die Beschreibung der Erscheinungen.

Im Jahre 1915 hatte ich im physikalischen Laboratorium des Paul Galagans Kollegium in Kijew, wo ich längere Zeit Vorlesungen hielt, eine Reparaturwerkstatt für Röntgenröhren eingerichtet, wofür während des Krieges ein großer Bedarf vorhanden war. Unter den Röhren, die von Ärzten zur Reparatur gebracht wurden, fanden sich einige, die eine seltsame Eigenschaft zeigten. Bei Verwendung eines Funkeninduktors ließen sie nur den Schließungsstrom durch, d. h. einen solchen Strom, bei welchem die Antikathode zur Kathode wurde. Nach einer genügenden Erweichung fingen sie an, auch den Öffnungsstrom durchzulassen, aber das hörte bald auf, obgleich die Röntgenröhre weich blieb. Nachdem eine solche Röhre geöffnet und die Luft eingelassen wurde, wurde sie während einiger Tage in Ruhe gelassen. Nachher wurde die Röhre evakuiert und sie arbeitete normal, aber nach mehr oder minder langer Betriebszeit kehrte ihre merkwürdige Eigenschaft wieder und je längere Zeit zwischen dem Öffnen der Röhre und ihrem neuen Auspumpen verstrich, desto längere Zeit

¹⁾ Phil. Mag. **23**, 813—817, 1912; **24**, 401—414, 1912.

²⁾ Ebenda **30**, 491—502, 1915.

³⁾ Ebenda **28**, 337—347, 1914.

nach der Reparatur funktionierte die Röhre normal. Der Ersatz der alten Kathode durch eine neue änderte nichts an der Sache. Es war klar, daß die Ursache in der Antikathode lag.

Um diese Erscheinung zu erforschen, wurde an der Röntgenröhre ein Ansatz angebracht, in dem sich eine dritte Elektrode *D* befand (Fig. 1). Diese bestand aus einer Scheibe von $1\frac{1}{2}$ bis 2 cm Durchmesser und $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ mm Dicke, aufgesetzt auf einen Aluminiumstift, der mit einem dickwandigen Glasröhrchen umhüllt war. Die Röhre wurde in einen Heizschrank ($t = 250^{\circ}\text{C}$) gestellt und evakuiert¹⁾. Sobald das Vakuum so hoch wurde, daß starke grüne Fluoreszenz an der Glaswand erschien, wurde die Kathode des Funkeninduktors

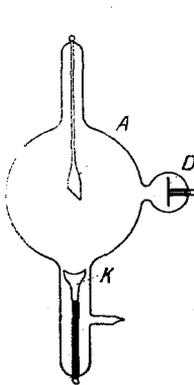


Fig. 1.

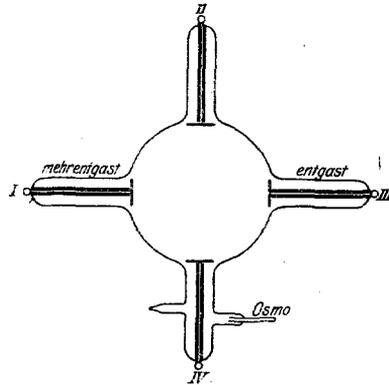


Fig. 2.

von der Elektrode *K* zu der Zusatzelektrode *D* umgeschaltet. Diese Elektrode erhitze sich als Kathode rasch beim Stromdurchgang von 4 bis 8 mA; dabei traten die in ihr gelösten Gase von ihr aus (das Spektroskop zeigte Wasserstofflinien), und die Fluoreszenz der Röhre verschwand. Der Strom wurde ausgeschaltet und das Auspumpen des Gases dauerte fort, bis ein neues Einschalten des Stromes eine starke grüne Glaswandfluoreszenz zeigte. Dann wurde wieder der Strom in der genannten Richtung bis zum Verschwinden der Fluoreszenz hindurchgelassen usw. Je längere Zeit die Entfernung der Gase in dieser Weise aus der Scheibe *D* fortgesetzt wurde, desto länger wurde der Zeitraum, in dem die aus der Scheibe *D* austretenden Gase den Gasdruck in der Röhre bis zum Verschwinden der grünen

¹⁾ Die Methode des Auspumpens war folgende: Eine Hochvakuum-Quecksilber-Kolbenpumpe von Moulin (Soc. franç. d. Phys. No. 315, S. 3—4, 1910) und dann Kokosnußkohle in flüssige Luft eingetaucht (Kaye „X-Rays“ 3-e Aufl. 1918, S. 251—254).

Fluoreszenz und nachher nur noch bis zu ihrer Abschwächung erhöhen konnten.

Endlich wurde die Scheibe *D* bis zur Rotglut erwärmt. Aber beim Vertauschen der Pole zeigte sich, daß sie, wenn sie vorher nahezu Rotglut erreichte, die Eigenschaft als Anode zu dienen verloren hatte (während sie weniger entgast, als Anode ohne weiteres den Stromübergang zuließ), d. h. wenn man die Induktor-Anode mit der Elektrode *D* und die Kathode mit der Elektrode *A* oder *K* (es macht keinen Unterschied) verbindet, so geht keine Entladung hindurch; dabei gab der Funkeninduktor parallele Funken bis zu 20 cm. Eine solche Elektrode konnte jedoch als Kathode dienen, obgleich der durch sie durchgelassene Strom schwächer war, als der zwischen den Elektroden *A* und *K*. Bei weiteren Entgasungen der Elektrode *D* wurde der Strom schwächer und endlich nach wiederholtem Erwärmen bis zur Rotglut versagte die Elektrode *D* auch als Kathode.

Im April 1918 in der vereinigten Sitzung der Physiko-mathematischen und chemischen Gesellschaften an der St. Wladimirs Universität in Kijew demonstrierte ich eine Röhre mit einer derartigen inaktiven Elektrode aus Gold. Dabei ging der Strom leicht zwischen den Elektroden *A* und *K* bei einer parallelen Funkenlänge von 8 bis 9 cm durch; während zwischen den Elektroden *D* und *A* oder *K* keine Spur von einem Strom sogar bei einer parallelen Funkenstrecke von 30 cm zu merken war.

Wenn man eine Röhre mit inaktiver Elektrode mittels einer Regeneration erweicht (natürlich bis zu einer gewissen Grenze) und stehen läßt, so nimmt die Elektrode *D* Gas auf und die Stromleitung setzt ein, aber beim Stromdurchgang verliert sie rasch diese Eigenschaft (wahrscheinlich durch Gasabgabe). Dabei versagt die Elektrode als Anode (wie beim letzten Versuche), aber kann ohne weiteres, obgleich schlechter als vorher, als Kathode dienen. Nachher verliert sie auch diese Eigenschaft.

Nachdem wir die Eigenschaft des Metalls, bei Entgasung nicht mehr als Anode dienen zu können, festgestellt haben, können wir uns das sonderbare Verhalten einiger alter Röhren, die nur Schließungsströme durchlassen, leicht erklären. Es ist klar, daß in einer solchen Röhre die Antikathode so arm an Gasen geworden ist, daß sie nicht fähig ist, weiter als Anode zu dienen, wobei sie zu gleicher Zeit die Möglichkeit, als Kathode zu dienen, bewahrt.

Im Laboratorium des Paul Galagans Kollegium wurden Aluminium, Gold, Platin und Calcium probiert. Sie alle zeigten dieselbe Eigenschaft, wobei aus den einen Metallen mehr, aus den andern

weniger Gase ausgeschieden wurden. Nach sehr groben Messungen traten aus der obenerwähnten goldenen Scheibe bis zu ihrer völligen Inaktivität so viel Gase heraus, daß bei dem atmosphärischen Druck ihr Volumen dem der Hälfte der goldenen Scheibe gleich war.

Unter den neuen durch das bolschewistische Regime in Rußland geschaffenen Verhältnissen wurde jede Arbeit im Laboratorium unmöglich, und die weitere Erforschung der Entladungsbedingungen wurde abgebrochen.

Im Frühjahr 1921 trat ich als Privatassistent bei Prof. Dessauer ein und hatte so die Möglichkeit, meine Arbeiten fortzuführen.

Bei den bisherigen Versuchen hatte wahrscheinlich die Einschnürung der Entladung an der Versuchselektrode *D* irgend einen Einfluß auf die Resultate. Um reine Versuchsbedingungen zu bekommen, wurde eine Röhre nach Fig. 2 mit vier gleich eingesetzten Elektroden hergestellt. Als Elektroden dienten Kupferscheiben von 2 cm Durchmesser und 1 mm Dicke. Diese Scheiben wurden auf Kupferstifte aufgesetzt, welche mit einem dicken Glasrohr umhüllt wurden. Der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Elektroden war 15 cm. Bei dem Auspumpen wurde die Röhre in einem Heizkasten untergebracht und auf etwa 300° C erhitzt. Die Elektroden I und III wurden an die Sekundärspule eines offenen Transformators nach Fr. Dessauer¹⁾ angeschlossen. In den Sekundärkreis wurde eine Glimmlichtröhre eingeschaltet. Das Auspumpen wurde mittels der Langmuirschen Diffusionspumpe²⁾ mit einer CO₂-Kühlung durchgeführt. Am Anfang zeigte die Glimmlichtröhre einen Wechselstrom, aber nach ungefähr einer Stunde des Auspumpens hatte der Strom nur eine Richtung; dabei änderte sich am Anfang die Stromrichtung einige Male; nachher stellte sich die Richtung ein, bei welcher die Elektrode I Kathode blieb (Stromstärken bis 10 mA). Nach gutem Durchglühen ließ sie sogar bei der vollen Transformatorspannung (etwa 100 kV max.) keinen Strom mehr durch. Die Röhre wurde abgeschmolzen und abgekühlt. Durch die Elektroden II und IV wurde bei dem Auspumpen kein Strom durchgeschickt. Beim Bau der Röhre wurden alle vier Scheiben poliert; nach dem beschriebenen Auspumpen blieben die Scheiben II und IV poliert und die Scheiben I und III wurden matt. Am nächsten Tage fand beim Anlegen der Röhre an ein Induktorium keine Entladung zwischen den Elektroden I und III statt [die parallele Spitzenfunkenlänge eines Symmetrie-Funken-

¹⁾ Verh. d. D. Phys. Ges. 19, 155—230, 1917.

²⁾ Phys. Rev. 8, 48—51, 1916.

induktors¹⁾ war 40 cm]. Dagegen ging zwischen den Elektroden II und IV ein Strom von 2 mA über.

3. Arbeit von S. Ratner.

In der Januarnummer 1922 von Philos. Magaz. (43, 193—204) erschien ein Artikel von S. Ratner unter dem Titel „Polarization Phenomena in X Ray Bulbs“ über eine Arbeit, die er in „The Physical Laboratory Victoria University, Manchester“ gemacht hatte. Bei seinen Versuchen ließ S. Ratner einen Strom durch eine Röhre mit Röntgenvakuum hindurchgehen. In dieser Röhre (Fig. 3) ist *K* eine Aluminiumkathode, *A* eine Kupferanode, eingekittet in die Glasröhre

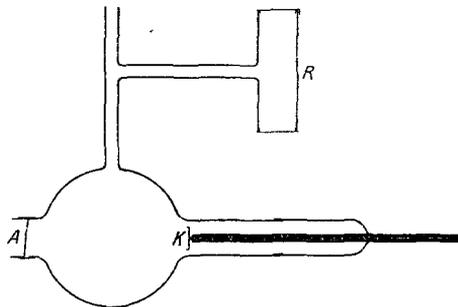


Fig. 3.

und von hinten mit Abkühlung versehen, *R* eine Kontrollröhre mit zwei gleichen Elektroden, ebenfalls mit einem Kühler versehen.

Nach dem Durchlassen eines Stromes von nicht mehr als 0,3 mA während etwa 30 Stunden, hörte der Strom auf trotz eines Gasdruckes von 0,080 mm und einer Spannung von 15 000 Volt.

Der Verfasser erklärt diese Erscheinung dadurch, daß die Kathode polarisiert worden ist. Bei der Umschaltung geht der Strom hindurch und die Polarisierung verschwindet. Versuche (es ist nicht erwähnt, welche) mit der Zusatzröhre *R*, wo Anode und Kathode identisch an Größe und Form sind, zeigen, daß die Röhre nur in einer Richtung polarisiert sein kann. Der Ersatz der Aluminiumkathode durch eine aus Kupfer übt keinen Einfluß auf diese Erscheinung aus. Die Erscheinung der Polarisierung verschwindet, wenn man die Röhre auf eine gewisse Zeit sich selbst überläßt, — in den S. Ratnerschen Versuchen auf vier Stunden. S. Ratner erklärt die Erscheinung dadurch, daß die aus der Kathode ausgeschleuderten Elektronen eine Gas- oder Doppelschicht an der Kathode zerstören.

¹⁾ Phys. ZS. 20, 412, 1919.

4. Bemerkungen über S. Ratners Arbeit.

Aus den Versuchen, die in dem genannten Artikel beschrieben sind, kann man den Schluß nicht ziehen, es habe das Verschwinden des Stromes in der Röntgenröhre seinen Grund in Prozessen an der Kathode. Auf Grund der oben von uns beschriebenen Versuche mit entgasten Elektroden ist vielmehr anzunehmen, daß zu der von S. Ratner beobachteten Erscheinung ein Vorgang an der Anode und nicht an der Kathode den Grund lieferte. Wir glauben, daß S. Ratner einen normalen Strom erhalten hätte, wenn er nach dem Verschwinden des Stromes die Elektrode *K* als Kathode gelassen und eine von den Elektroden der Röhre *R* als Anode zu benutzen versucht hätte. Er hätte auch keinen Strom erhalten, wenn er die Elektrode *A* als Anode beibehalten und eine von den Elektroden der Röhre *R* als Kathode benutzt hätte. Es scheint uns, daß der Strom in S. Ratners Versuchen deshalb versagte, weil die obere Schicht der Elektrode *A* arm an Gasen wurde (die während der 30stündigen Entladung aus der Elektrode austraten).

S. Ratners Versuche scheinen seine Deutung einer „Polarisation“ der Kathode nicht zu rechtfertigen. Außerdem berechtigen sie nicht zu Behauptungen, daß diese Erscheinung einseitig ist. Zur Kontrolle der hier gewählten Erklärung wurde eine Röhre nach Fig. 2 bis zur starken grünen Glasfluoreszenz mittels Osmoregeneration erweicht. Nach drei Tagen hatten die Elektroden I und III Gas eingesaugt, so daß Stromdurchgang stattfand. Der Strom wurde in der Weise durchgelassen, daß die mehr entgaste Elektrode I als Anode und die weniger entgaste Elektrode III als Kathode diente. Die Stromstärke war dabei 2,0 mA¹⁾. In 27 Minuten des Stromdurchgangs sank der Strom bis 1,1 mA bei einer parallelen Funkenlänge von 25 cm (bei diesem Abstand erfolgte gelegentlicher Funkenüberschlag). In der Tabelle sind die verschiedenen Zahlen angegeben, welche bei den verschiedenen Schaltungen erhalten wurden.

Der Vergleich der Beobachtungen Nr. 1 und 2, dann Nr. 3, 4 und 5, ferner Nr. 9 und 10, endlich 14 und 15 zeigen deutlich, daß bei den teilweise entgasten Elektroden die Ursache der Stromabschwächung in der Anode liegt. Auf Grund der Beobachtungen Nr. 7 und 8, dann Nr. 9 und 11, sowie Nr. 10 und 12 können wir sagen, daß auch eine entgaste Kathode gegenüber einer nichtentgasten stromverkleinernd wirkt.

¹⁾ Alle letztgenannten Versuche wurden mit Symmetrie-Funken-Induktor angestellt.

Nr. der Beobachtung	Eingeschaltete Elektroden				Sekundärstromstärke in mA	Maximale Länge des parallelen Funkens zwischen 2 Spitzen cm	Bemerkung
	I mehr entgast	II nicht entgast	III weniger entgast	IV nicht entgast			
1	An.	—	Kath.	—	1,1	25	} In 5 Minuten ist die Röhre kühler und darum härter geworden.
2	—	—	Kath.	An.	1,9	16 $\frac{1}{2}$	
3	An.	—	Kath.	—	0,8	31	
4	An.	—	—	Kath.	0,9	31	
5	—	An.	—	Kath.	1,5	20	
6	An.	—	—	Kath.	0,4	36	} Am nächsten Tage.
7	Kath.	—	—	An.	1,6	24	
8	—	Kath.	—	An.	1,8	19	
9	—	Kath.	—	An.	1,2	22	} Nach 2 Wochen. (Während d. Messungen erwärmte sich die Röhre, wurde weicher und darum die Stromstärke in Nr. 14 größer als in Nr. 9.)
10	An.	Kath.	—	—	0,1	30	
11	Kath.	An.	—	—	0,8	26	
12	An.	—	Kath.	—	0,0	34	
13	Kath.	—	An.	—	1,1	22	
14	—	Kath.	—	An.	1,8	10	
15	An.	—	Kath.	—	Stöße bis 0,8	33	

5. Veränderung der Röhrenhärte während des Betriebes.

Eine Röntgenröhre wird während des Betriebes entweder härter oder weicher. Man erklärt sich diese Erscheinung gewöhnlich aus der Veränderung des Vakuums. Das Röhrenvakuum kann nämlich wegen der Gasabgabe der Glaswände, die sich immer während des Betriebes der Röhre erwärmen, kleiner werden, andererseits kann aber das Vakuum auch dadurch erhöht werden, daß die Metallteilchen, die durch Elektrodenzerstäubung frei werden, Gas absorbieren. Fr. Dessauer¹⁾ hat als erster darauf hingewiesen, daß die Elektroden je nach dem Zustand ihrer Entgasung das Gas „aus-“ oder „einatmen“ und daß darin ein Grund für die Änderung des Vakuums liegt.

Die oben beschriebenen Versuche zeigen, daß eine Ursache für Härterwerden, d. h. für die Stromverkleinerung in der Röntgenröhre mit selbständiger Entladung auch in weitgehender Elektroden- insbesondere Anodenentgasung liegen kann. Dieser Zusammenhang wird durch eine Erfahrung aus der Röhrenfabrikation bestätigt. Die Herstellung von Röhren unter Benutzung alter Elektroden (insbesondere Antikathoden), die man ausgedienten Röhren entnimmt, führt zu un-stabilen, zum plötzlichen Hartwerden neigenden Röhren.

¹⁾ Fr. Dessauer und B. Wiesner, Leitfaden des Röntgenverfahrens, 2. Aufl. (1916), S. 184.

6. Zusammenfassung.

1. Gasgehalt der Elektroden ist eine Voraussetzung für das Zustandekommen und das Maß elektrischer Entladung im hohen Vakuum.

2. Der Vorgang zeigt sich bei steigender Austreibung der Gase aus den Elektroden (durch Erwärmung im Vakuum oder durch längeren Stromdurchgang) zunächst an der Anode, während dieselbe Elektrode noch als Kathode verwendbar bleibt.

3. Bei fortgesetzter, hinreichend starker Entgasung verliert das Metall die Fähigkeit als Kathode zu dienen.

Zur Erklärung dieser Erscheinung sind weitere Arbeiten im Gange.

Ich möchte dem Direktor des Instituts Herrn Prof. Fr. Dessauer für das freundliche Entgegenkommen herzlichst danken.

Frankfurt a. M., August 1922.

Universitätsinstitut für physik. Grundlagen der Medizin.
