

Über die Hochfrequenz-Gasentladung

Von FRITZ KIRCHNER

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Köln

(Z. Naturforsch. 3a, 620—621 [1948]; eingegangen am 8. Oktober 1948)

Beim Studium der Ablenkung von Kathodenstrahlen durch ein hochfrequentes elektrisches Feld im Jahre 1924 war mir aufgefallen, daß zwischen den Platten des Ablenkungskondensators bei nicht sehr gutem Vakuum verhältnismäßig leicht eine Gasentladung einsetzte. Die nähere Untersuchung¹ zeigte, daß man mit hochfrequenter Wechselspannung eine Gasentladung bei erheblich niedrigeren Spannungen und Gasdrucken erzeugen und unterhalten kann als mit Gleichspannung oder Wechselspannung niedrigerer Frequenz. Durch Überlagerung eines genügend hohen Gleichfeldes über das hochfrequente Wechselfeld ließ sich die Gasentladung zum Erlöschen bringen; hieraus ging hervor, daß dem Pendeln der Elektronen im Wechselfeld eine entscheidende Rolle bei der Unterhaltung der Entladung und demnach auch bei ihrer Zündung zukam. Infolge des Pendelns können die Elektronen ihre ionisierende Wirkung vervielfachen; die positiven Ionen dagegen werden von dem Wechselfeld wegen ihrer größeren Masse praktisch nicht beeinflusst. Bemerkenswert ist noch, daß sich die Entladung in einem Edelgas mit einer Spannung aufrechterhalten ließ, die unter der Ionisierungsspannung dieses Gases lag; eine befriedigende Erklärung dieser Erscheinung ist bisher noch nicht gegeben worden.

Die hochfrequente Gasentladung ist seitdem von zahlreichen Autoren auf ihre elektrischen und optischen Eigenschaften hin experimentell untersucht worden, und sie hat neuerdings auch praktische Anwendung als Ionenquelle für Hochspannungsanlagen gefunden; andererseits ist von H. Margenau und L. M. Hartmann² kürzlich unter dem Gesichtspunkt, daß hier wahrscheinlich einfachere Verhältnisse vorliegen als in der gewöhnlichen Gasentladung, der Versuch gemacht worden, eine quantitative Theorie der Hochfrequenz-Gasentladung zu entwickeln.

Es schien mir deshalb von Interesse, die Versuche über die hochfrequente Gasentladung wieder

¹ F. Kirchner, Ann. Physik 77, 287 [1925]; 7, 798 [1930].

aufzunehmen, und ich will im folgenden über einige experimentelle Ergebnisse berichten, die wir in der letzten Zeit im Kölner Institut erhalten haben und die zur Klärung der Verhältnisse beitragen sollen.

Die benutzte Versuchsanordnung ist aus Abb. 1 ersichtlich. Die hochfrequente Wechselspannung ($v \approx 5 \cdot 10^7$ Hertz, entsprechend einer Wellenlänge von etwa 8 m) kann an eine der beiden Elektroden S_1, S_2 einpolig oder an beide zweipolig angelegt werden. Das Füllgas strömt aus einem Vorratsbehälter in den Entladungsraum und von da durch einen 1 mm weiten und 20 mm langen Kanal in S_2 in den Raum B, der den als Auffänger dienenden Faraday-Käfig A enthält; von dort wird es mit einer Hochvakuum-Ölpumpe abgesaugt. Der Druck im Entladungsraum konnte in gewissen Grenzen variiert werden; er wurde so niedrig gehalten (etwa 0,01 mm Hg), daß die gaskinetische freie Weglänge der Elektronen nicht mehr viel kleiner war als der Elektrodenabstand S_1-S_2 (4—8 cm).

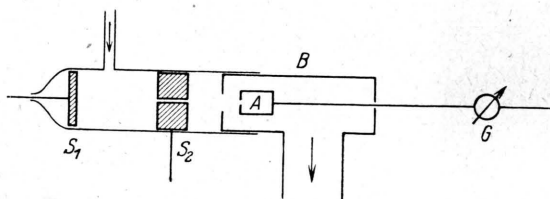


Abb. 1. Versuchsanordnung.

Nach dem Ingangsetzen der Entladung wurde der Strom zum Auffänger A mit einem Galvanometer gemessen. Dabei ergab sich zunächst, daß in den Auffänger ein positiver Strom fließt, dessen Dichte größenordnungsmäßig die gleiche ist, wie sie bei früheren Versuchen³ an einer der beiden Elektroden S gemessen wurde, wenn diese auf konstantem Potential 0 gehalten wurde. Bei den damaligen Versuchen konnte nicht entschieden werden, ob der gemessene Strom etwa ganz oder zum

² H. Margenau, Physic. Rev. 73, 297, 309, 326 [1948]; L. M. Hartmann, ebenda 73, 316 [1948].

³ F. Kirchner, Ann. Physik 7, 798 [1930].



größeren Teil von Photoelektronen verursacht war, die durch die Ultraviolett-Strahlung der Entladung an der Elektrode ausgelöst werden. Mit der jetzigen Versuchsanordnung konnte nun durch Anlegen von Gegenfeldern zwischen A, B und dem System S einwandfrei festgestellt werden, daß es sich bei dem in den Auffänger fließenden Strom um einen Strom von positiven Ionen handelt, die in ihrer überwiegenden Zahl imstande sind, ein Gegenfeld von 100 V und mehr zu durchlaufen. Da nun diese Energie der Ionen keinesfalls aus der Beschleunigung durch das Hochfrequenzfeld stammen kann, da ja die Ionen wegen des raschen Wechsels der Feldrichtung praktisch stehen bleiben, müssen im Entladungsraum positive Raumladungen mit entsprechend hohem positivem Potential vorhanden sein, aus denen heraus die positiven Ionen zu den Elektroden und somit in den Auffänger beschleunigt werden. Es liegt natürlich nahe, in solchen Raumladungspotentialen die Erklärung für die oben erwähnte Tatsache zu suchen, daß man nämlich die hochfrequente Gasentladung auch mit solchen Spannungen noch aufrechterhalten kann, die unter der Ionisierungsspannung des Gases liegen; die experimentelle Prüfung dieser Frage ist in Angriff genommen.

Die heutigen Vorstellungen über die Vorgänge in den Gasentladungen im allgemeinen beruhen bekanntlich auf der Annahme eines besonderen Zustandes des Gases, der als „Plasmazustand“ bezeichnet wird. Dieser Zustand ist u. a. dadurch charakterisiert, daß im Entladungsraum eine mehr oder weniger große Zahl von positiven Ionen, Elektronen und gegebenenfalls auch negativen Ionen so verteilt ist, daß sich ihre elektrischen Ladungen in makroskopischen Dimensionen gegenseitig kompensieren; in einem „ungestörten Plasma“ sollten daher infolge dieser gegenseitigen Kompensation der Ladungen weder „Raumladungen“ noch nennenswerte makroskopische Felder vorhanden sein. Die Ergebnisse, über die oben berichtet wurde, bedeuten demnach, daß bei der Hochfrequenz-Gasentladung kein ungestörtes Plasma vorliegt; denn im Innern dieser Entladung

befindet sich offenbar eine starke positive Raumladung, und in dieser Raumladung herrscht ein hohes positives Potential.

Das Zustandekommen und die Aufrechterhaltung der positiven Raumladung kann man sich folgendermaßen vorstellen. Sowohl diejenigen Elektronen, die an den Elektroden lichtelektrisch oder als Sekundärelektronen ausgelöst werden, wie auch diejenigen, die vor dem Erreichen der Elektrode durch das Wechselfeld zur Umkehr gezwungen werden, müssen erst eine gewisse Strecke des Entladungsraumes durchlaufen, bevor sie die für die Anregung und Ionisation erforderliche Energie gewonnen haben; der vor den Elektroden liegende Dunkelraum wird in der Tat größer, wenn man die Spannung an den Elektroden und damit die Intensität der Entladung verringert. Da ferner die freie Weglänge der Elektronen von der Größenordnung des Elektrodenabstandes ist, wird mindestens ein Teil der Elektronen die früher angenommene Pendelbewegung tatsächlich ausführen; diese Pendelbewegung führt aber allein schon infolge der Verschiedenheit der Geschwindigkeit längs der Pendelbahn zu einer Verarmung an negativen und damit zu einem Überschuß an positiven Ladungen in der Mitte des Entladungsraumes. In der Nähe der Elektroden muß sich demnach eine negative Überschußladung befinden, und in der Tat beobachtet man, wenn man dem Wechselfeld ein Gleichfeld überlagert, daß die leuchtende Gaswolke von derjenigen Elektrode zurückweicht, an der die negative Spannung des Gleichfeldes liegt.

Es ist bekannt, daß solche Plasmaschwingungen auch bei gewöhnlichen Gasentladungen auftreten können; ihr näheres Studium an Hochfrequenz-Entladungen, bei denen sie in einfacher und kontrollierbarer Weise erzeugt werden können, dürfte deshalb auch für das Verständnis der gewöhnlichen Entladungen von Interesse sein. Die oben beschriebene Methode liefert die Möglichkeit, die Potentialdifferenzen in einem schwingenden Plasma zu messen, ohne daß eine störende Sonde in das Innere des Plasmas eingeführt zu werden braucht.