

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 12. Abhandlung

Über positive Strahlen

von

W. Wien

Vorgelegt am 3. Juli 1909

München 1909

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



DRUCKSCHRIFTEN

der

KGL. BAYER. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(mathematisch-physikalische Klasse)

Die mit * bezeichneten Schriften sind zwar nicht in Sonderabdrücken erschienen, es kann aber das Heft der Sitzungsberichte, in dem sie gedruckt sind, zu 1 Mark 20 Pfg. bezogen werden.

In dem nachfolgenden Verzeichnisse ist A. = Abhandlungen, Sb. = Sitzungsberichte.

- Bauernfeind, C. M. v. Beobachtungen und Untersuchungen über Naudet'sche Aneroidbarometer. 1874 1 M 80 $\mathcal{C}$
- Gedächtnissrede auf Jos. v. Fraunhofer. 1887 80 $\mathcal{C}$
- Beetz, W. Antheil der bayer. Akademie der Wissenschaften an der Entwicklung der Electricitätslehre. Rede. 1873 90 $\mathcal{C}$
- Cranz, C. und K. R. Koch. Untersuchungen über die Vibrationen des Gewehrlaufs. Abh. XIX,3 1899 I. 2 M
- — — Fortsetzung XX,3 1900 I. 1 M 60 $\mathcal{C}$
- — — Abh. XXI,3 1901 II. 80 $\mathcal{C}$
- *Ebert, Herm. Unsichtbare Vorgänge bei electrischen Entladungen. Sitzb. 1898 XXVIII. Bd. Heft 4.
- * — Zur Mechanik der Glimmlichtphänomene. Sitzb. 1899 XXIX. Bd. Heft 1.
- Periodische Seespiegelschwankungen (Seiches) am Starnberger See. Sitzb. 1900 Heft 3.
- Messungen der elektrischen Zerstreuung im Freiballon. Sitzb. 1900 Heft 3.
- Weitere Beobachtungen der Luftelektrizität in grösseren Höhen. Sitzb. 1901 Heft 1.
- Ueber die Möglichkeit radioaktivirende Emanationen in flüssiger Luft anzureichern. Sitzb. 1903 Heft 1.
- Ebert, Herm. und Hoffmann, B. Versuche mit flüssiger Luft. Sitzb. 1900 XXX. Bd. 20 $\mathcal{C}$
- Ueber Pultationen von geringer Periodendauer in der erdmagnetischen Feldkraft. 1906, 3 40 $\mathcal{C}$
- Elster, J. und Geitel, H. Ueber die radioaktive Emanation in der atmosphärischen Luft. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Ueber Methoden zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft an der Erdoberfläche sowie ihres Gehalts an radioaktiver Emanation und die nächsten Ziele dieser Untersuchungen. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Endrös, A. Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiemsees mit 2 Tafeln. 1906, 2 1 M
- Exner, F. Potentialmessungen. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Bericht über die Thätigkeit der luftelektrischen Stationen der Wiener Akademie im abgelaufenen Jahre. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Finsterwalder, S. Die von optischen Systemen grösserer Oeffnung und grösseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Mit 3 Tafeln. Abh. XVII,3 1891 3 M
- Ueber die Konstruktion von Höhenkarten aus Ballonaufnahmen (mit 1 Tafel). Sitzb. 1900 Heft 2.
- Eine Grundaufgabe der Photogrammetrie und ihre Anwendung auf Ballonaufnahmen. Abh. 1903.

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 12. Abhandlung

Über positive Strahlen

von

W. Wien

Vorgelegt am 3. Juli 1909

München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

I. Beobachtung an positiven Strahlen des Wasserstoffs.

In meiner Mitteilung vom 7. März 1908¹⁾ hatte ich über Versuche berichtet, aus denen hervorging, daß die positiven Strahlen nicht dauernd geladen sind sondern ihre Ladungen nach längerer oder kürzerer Zeit verlieren und wieder annehmen, so daß man von einem Gleichgewichtszustande sprechen kann, bei welchem die eine Zeit lang geladenen Ionen einen bestimmten Bruchteil der Gesamtmenge der bewegten Atome ausmachen. Ich hatte damals schon darauf hingewiesen, daß dieser Zustand möglicherweise im sehr hohen Vakuum ein anderer sei, da doch kaum zu bezweifeln ist, daß die Herstellung des Gleichgewichtszustandes und damit die beständige Veränderung des Ladungszustandes der einzelnen Atome durch die Zusammenstöße mit den ruhenden Gasmolekülen hervorgerufen wird.

Die Versuche, die ich zunächst in der Richtung anstellte²⁾ um den Einfluß der Gasverdünnung zu untersuchen, gründeten sich auf die Eigenschaft der Holzkohle, Gase bei der Temperatur der flüssigen Luft sehr schnell und vollständig zu absorbieren. Indem der eigentliche Beobachtungsraum mit der Entladungsröhre durch eine Kapillare verbunden war, konnte im ersteren durch die absorbierende Holzkohle ein hohes Vakuum aufrecht erhalten werden, während in der Entladungsröhre beständig etwas Luft einströmte, um den zur Entladung erforderlichen Druck herzustellen. Hier zeigte sich nun, daß die charakteristische Eigenschaft der positiven Strahlen, nämlich die Neubildung positiver Ionen, bestehen blieb, während indessen im

1) W. Wien, Ber. der K. Bayer. Akad. d. W., Bd. 38, S. 55, 1908.

2) W. Wien, Ann. d. Phys. 27, S. 1033, 1908.

hohen Vakuum die magnetische Einwirkung auf die Strahlen sich sehr verringerte.

Obwohl nun die Methode der Anwendung der flüssigen Luft ein sehr hohes Vakuum ergibt, hat sie für den vorliegenden Zweck den wesentlichen Nachteil, daß von der gekühlten Holzkohle von den praktisch vorkommenden Gasen sämtlich außer Wasserstoff absorbiert werden, der letztere also gerade übrig bleibt. Andererseits wirkt die flüssige Luft als scharfes Trockenmittel und es ist nicht ausgeschlossen, daß die Beseitigung der Wasserdampfreste auch die aus ihnen durch die Entladung gebildeten Wasserstoffmengen fortnimmt.

Es besteht daher keine Sicherheit, daß unter diesen Verhältnissen der Wasserstoffrest mit und ohne Anwendung der flüssigen Luft derselbe bleibt und es schien deshalb durchaus erwünscht die magnetische Ablenkbarkeit der unter gleichen Bedingungen im Wasserstoff erzeugten Strahlen bei verschiedenen hohen Drucken zu untersuchen.

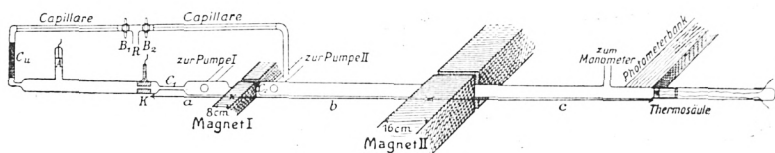


Fig. 1.

Zu diesem Zwecke wurde folgende Anordnung getroffen (Fig. 1). Hinter der Eisenkathode K der Entladungsröhre, durch deren Durchbohrung die Kanalstrahlen austreten, verengt sich die Röhre zu einer Kapillaren C_1 . Dann folgt eine kurze weite Röhre mit dem Ansatzrohr, das zur Gaedepumpe I führt. An diese weite Röhre schließt sich eine zweite Kapillare C_2 die wieder in eine lange weite Röhre übergeht. Die weiten Röhren haben einen Durchmesser von ca. 33 mm. Hinter der zweiten Kapillare C_2 befindet sich das zur Gaedepumpe II führende Ansatzrohr. In dieses Ansatzrohr mündet eine Glaskapillare, die durch den Hahn B_2 verschließbar ist und mit

einem mit Wasserstoff gefüllten Gefäß durch die Röhre R kommuniziert. Der zweite Hahn B_1 gestattet den Wasserstoffstrom in eine zweite Kapillare zu leiten, die mit dem Ende der Entladungsröhre verbunden ist. Wenn der Wasserstoffstrom diesen Weg nimmt, so wird bei beständiger Tätigkeit beider Gaedepumpen sich zunächst eine Druckdifferenz zwischen den Enden der Kapillare C_1 und dann eine weitere an den Enden von C_2 ausbilden. In dem langen Glasrohr herrscht in diesem Fall ein niedrigerer Druck als im Entladungsrohr, der an einem Mac Leodschen Manometer gemessen wird.

Öffnet man dagegen den Hahn B_2 , während B_1 geschlossen ist und läßt nur die Pumpe I gehen, so bildet sich eine entgegengesetzte Druckdifferenz an der Kapillare C_2 aus. In diesem Fall ist also der Druck in der Beobachtungsröhre größer als in der Entladungsröhre. Die Druckdifferenzen hängen von den Dimensionen der beiden Kapillaren C_1 und C_2 ab.

Bei der einen Versuchsreihe war die Länge von $C_1 = 5$ cm, von $C_2 = 5$ cm, während der Durchmesser von $C_1 = 2$ mm, der von $C_2 = 6$ mm betrug. Die zugehörigen Abmessungen betrugen

$$a = 33 \text{ cm}$$

$$b = 77 \text{ cm} \quad (\text{Anordnung I}).$$

$$c = 54 \text{ cm}$$

Bei der zweiten Versuchsreihe war die Länge von $C_1 = 7$ cm, von $C_2 = 7$ cm, während die Durchmesser 2 und 3 mm betrugen. Hier waren

$$a = 19 \text{ cm}$$

$$b = 77 \text{ cm} \quad (\text{Anordnung II}).$$

$$c = 54 \text{ cm}$$

Von den beiden Elektromagneten, durch deren Feld die Röhre ging, war der erste ein Hufeisenmagnet mit Eisenquerschnitt von 8 cm Durchmesser. Der zweite bestand aus einem flachen Eisenringe, an dem von innen die rechteckigen umwickelten Eisenstücke von 16 cm Kantenlänge angeschraubt waren. Beide haben verhältnismäßig geringe Streuung. Da

die Wirkung beider Magnete sehr bedeutend war, so wurde bei den Versuchen mit Wasserstoff nur mit sehr schwachen Feldern gearbeitet.

Das Sammelgefäß für den Wasserstoff wurde ebenso wie das ganze Röhrensystem mit einer Geryk-Ölpumpe ausgepumpt, der Wasserstoff entweder aus Zink- und Schwefelsäure oder elektrolytisch aus verdünnter Phosphorsäure entwickelt.

Die Messung der transportierten Elektrizitätsmenge habe ich diesmal nicht als Maß für die Intensität der Strahlen benutzt, da diese Methode wohl unter gleichen Bedingungen in der Röhre brauchbar ist, aber wahrscheinlich keine direkt vergleichbaren Ergebnisse liefert, wenn man mit verschiedenen Graden der Luftverdünnung arbeitet.

Es wurde deshalb in erster Linie die Wärmewirkung auf eine Thermosäule untersucht. Diese Säule ist eine Mellonische Wismuth-Antimonsäule, die den Vorteil hat, daß ihre Empfindlichkeit unabhängig vom Vakuum ist und ferner, daß sie sämtliche Strahlen ihres Querschnitts auffängt. Dieser Querschnitt betrug 1,259 cm.

Die Thermosäule war mit einem Siemensschen Glockengalvanometer verbunden, das die durchaus konstante Empfindlichkeit von $2,4 \cdot 10^{-8}$ Amp. für den Scalenteil hatte, wie die wiederholte Kontrolle ergab. Die auf die Thermosäule fallende Elektrizitätsmenge war klein im Vergleich mit dem Thermostrom, so daß der eine Pol der Säule mit der Erde verbunden werden konnte. Übrigens gab die Thermosäule den gleichen Ausschlag, ob der eine oder der andere Pol mit der Erde verbunden oder ob sie ganz isoliert war.

Eine besondere Prüfung der Proportionalität der Ausschläge mit der Intensität der auffallenden Strahlung wurde in der Weise vorgenommen, daß die Thermosäule in eine evakuierte Röhre eingeschlossen war, die durch eine aufgekittete Glasscheibe abgeschlossen wurde. Durch diese fiel die Strahlung einer mit konstanter Spannung brennenden Glühlampe, deren Entfernung von der Säule verändert wurde. Die Aus-

schläge waren sehr nahe umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Außer der Wärmewirkung sollte die Lichtemission der Kanalstrahlen unter verschiedenen Verhältnissen beobachtet werden. Zu diesem Zwecke war rechtwinklig zur Röhre eine Photometerbank unverrückbar fest aufgestellt. An ihrem Ende war eine Milchglasplatte von 8 cm Länge so befestigt, daß sie die Hälfte der Röhre bedeckte. Die Milchglasplatte erhielt Licht von einer auf der Photometerbank verschiebbaren, mit Wasserstoff gefüllten Geißlerschen Röhre. Da von der Photometerbank trotz ihrer Schwärzung Lichtreflexe nicht ganz zu vermeiden waren, wurde mit einem Leonhard Weberschen Photometer und einer auf der Bank verschobenen Glühlampe das Entfernungsgesetz geprüft.

Bei der photometrischen Messung wurde die Helligkeit des mittleren Teils der von Kanalstrahlen erleuchteten Röhre mit der der Milchglasplatte verglichen. Die Konstanz der Geißlerschen Röhre prüfte ich in der Weise, daß sie an eine bestimmte, markierte Stelle der Bank geschoben und ihr Licht durch ein, ebenfalls an eine fixierte Stelle gesetztes, totalreflektierendes Prisma auf ein Lummer Brodhunsches Kontrastphotometer geworfen wurde. Als Vergleichslichtquelle diente eine an einem Metallschlitten befestigte Glühlampe, deren Licht durch farbige Platten dem der Geißlerschen Röhre möglichst ähnlich gemacht war. Die Spannung der Glühlampe wurde durch ein Präzisionsvoltmeter kontrolliert. Die Geißlersche Röhre wurde im allgemeinen auf gleicher Helligkeit gehalten indem der Primärstrom des kleinen, mit Turbinenunterbrecher getriebenen Induktionsapparats verändert wurde, bis wieder gleiche Helligkeit eintrat. Übrigens war eine Regulierung der Geißlerschen Röhre nur selten erforderlich.

Das Mac Leodsche Manometer hatte ein Volumen von 500 ccm. Die Entladungsröhre wurde mit einer Influenzmaschine von 20 Platten betrieben, die Spannung an einer Funkenstrecke zwischen Kugeln von 2 cm Durchmesser gemessen.

Es wurde nun zunächst die Wärmewirkung der Kanal-

Tabelle I.

Magnetische Einwirkung in verschiedenen Verdünnungen auf Wärmewirkung und Lichtemission.

Anordnung I.

Druck mm	Wärmewirkung		Spannung Volt	Druck mm	Helligkeit		Spannung Volt
	A	B			A	B	
0,0128	34 ^{0/0} ¹⁾	36 ^{0/0}	30600	0,0128	58 ^{0/0}	61 ^{0/0}	30600
0,0110	41	51	27400	0,011	62	57	27400
"		47	"	"			"
0,046	23	32	28800	0,046	43	44	28800
0,051	24	32	27400	0,051	39	43	27400
"	28		"	"	40	43	"

1) Stärkeres Magnetfeld.

strahlen bei verschiedenem Gasdruck mit und ohne Magnetfeld II verglichen und ebenso die photometrische Helligkeit. Die nach der Erregung des Magneten II übrigbleibende Wärmewirkung auf die Thermosäule oder Helligkeit ist unter der Rubrik A in der Tabelle I in Prozenten der ungeschwächten Wirkung angegeben. In Rubrik B stehen die entsprechenden Zahlen wenn noch Magnetfeld I erregt ist. Ferner sind in der Tabelle die zugehörigen Drucke und Spannungen angegeben. Bei jeder einzelnen Messung ist der stationäre Zustand der Gasfüllung von neuem hergestellt.

Aus der Tabelle I geht bereits deutlich hervor, daß die bei gleicher Spannung erzeugten Kanalstrahlen, wenn sie in das höhere Vakuum treten, magnetisch weniger beeinflusst werden als wenn sie sich in geringeren Verdünnungen fortbewegen. Dasselbe gilt für die magnetische Schwächung der Helligkeit. Nur daß hier die Strahlen sehr viel mehr in ihrer Wärmewirkung als in ihrer Lichtemission beeinflusst werden, eine Tatsache, die sich bereits früher bei der Beobachtung der transportierten Elektrizitätsmenge ergeben hatte, die auch erheblich stärker beeinflusst wurde als die Lichtemission.

Immerhin schien es mir erforderlich den Unterschied im

Gasdruck noch weiter zu treiben, um den Unterschied der magnetischen Einwirkung noch deutlicher zu erhalten.

Deshalb wurden die Kapillare C_2 enger und beide Kapillare etwas länger gemacht. (Vgl. S. 5.)

Die Beobachtungen mit dieser Anordnung sind in Tabelle II zusammengestellt. Hier sind die Unterschiede in der magnetischen Einwirkung so groß, daß sie gänzlich außerhalb der möglichen Beobachtungsfehler liegen. Dies gilt sowohl für die Verminderung der Wärmewirkung als für die der Lichtemission durch das magnetische Feld.

Durch diese Beobachtungen ist somit der Beweis erbracht, daß die magnetische Einwirkung auf die unter gleichen Bedingungen erzeugten positiven Strahlen im hohen Vakuum geringer ist als bei höherem Gasdruck.

Tabelle II.

Magnetische Einwirkung in verschiedenen Verdünnungen auf Wärmewirkung und Lichtemission.

Anordnung II.

Druck mm	Wärmewirkung		Spannung Volt	Druck mm	Helligkeit		Spannung Volt
	A	B			A	B	
0,0042	37 ⁰ / ₁₀	42 ⁰ / ₁₀	31200	0,0042	56 ⁰ / ₁₀		31200
0,0053	44	51	32300	0,0053	55	60	29100
"		49	"				
0,0060	45	48	21200	0,0060	64	67	23700
0,0045	47	51	22300	0,0045	64	61	23100
"	48	49	"		65	59	"
0,091	17		35400	0,091	25		35400
0,11	12		31200	0,11	19		31200
0,109	22		26100	0,109	22		26100
"	16		"	"	22		"
				"	23		"
0,107	19		"	0,107	24		"
"	26		"	"	24	24	"
0,127	12		22300	0,101		26	28800
"	14	20	"	"	13		"
0,096	15		30000	0,096	16		30500

Tabelle III.

Magnetische Einwirkung in verschiedenen Verdünnungen auf die transportierte Elektrizitätsmenge.

Anordnung II.

Druck mm	Strom	Helligkeit	Spannung
0,013	32 0/0	38 0/0	26100
0,013	33	38	"
0,013	35	38	"
0,017	30		"
0,017	30		13000
0,057	15	33	26100
0,057	16	28	"
0,058	17	33	"
0,058	16	34	"
0,077	19		13000
0,077	18		"

Auch die Messung der transportierten Elektrizitätsmenge zeigt das gleiche Ergebnis; diese in Tabelle III aufgenommenen Messungen sind mit einem hohlen Messingzylinder als Aufhänger vorgenommen, der mit einem Siemensschen d'Arsonalgalvanometer verbunden war, dessen Empfindlichkeit $2,81 \cdot 10^{-10}$ Ampere für den Skalenteil betrug.

Das magnetische Feld des Magneten II, der hier allein benutzt wurde, verhielt sich zu dem früheren wie 1,37 : 1. Die Schwächung des Stroms zeigt sich hier beim höheren Druck wesentlich stärker als die der Helligkeit, was von mir bereits früher beobachtet war.

Aus den Tabellen I und II geht ferner hervor, daß kein erheblicher Unterschied zwischen den Zahlen unter A und B besteht. Die von mir bereits früher an den transportierten Elektrizitätsmengen gemachten Messungen, aus denen hervorging, daß das von einem Magneten beeinflusste Bündel positiver Strahlen sich in einem zweiten magnetischen Felde ebenso verhält wie ein nicht beeinflusstes, bestätigt sich auch bei den Messungen der Wärmewirkung und der Helligkeit. Es werden daher auch die lang-

sameren Strahlen nicht nennenswert stärker abgelenkt als die schnelleren.

Ferner zeigt sich die magnetische Einwirkung bei annähernd gleichem Vakuum nicht merklich abhängig von der Entladungsspannung.

Um diese Beobachtungen auch auf niedrigere Spannungen auszudehnen, für die die Entfernung der Thermosäule von der Kathode zu groß war, wurde die Thermosäule in eine Entfernung von 55 cm von der Kathode gebracht.

In Tabelle IV a und b ist unter *C* die nach Erregung von Magnet I übrigbleibende Wärmewirkung oder Helligkeit in Prozenten der ursprünglichen angegeben. IV a enthält die Messungen im Gase von höheren Druck, IV b die bei niedrigem Druck. Die Einwirkung der Magneten auf die Helligkeit war im letzteren Falle so gering, daß sie nicht mehr gemessen werden konnte.

Tabelle IV a.

Anordnung II.

Abstand der Thermosäule von der Kathode 55 cm.

Druck	Wärmewirkung		Helligkeit	
	<i>C</i>	Spannung	<i>C</i>	Spannung
0,107	40,5 0/0	24500		
"	40,4	"		
0,119			58 0/0	17400
0,102	42,3	26100		
"	43,6	"		
0,132			53,4	14400
"	46,7	15400		
0,102	41	25200		
0,139	44,3	13000	53,1	"
"	42,0	"	52,5	"
0,137	41,4	14400	49,3	"
0,117	43,4	16000		
0,077	38,2	37700 ¹⁾		
0,137			53	"
"			54	"

¹⁾ Entladung nicht ganz regelmäßig.

Tabelle IV b.

Anordnung II.

Abstand der Thermosäule von der Kathode 55 cm.

Druck	Wärmewirkung	
	C	Spannung
0,0065	64,3 ⁰ / ₀	16000) ¹⁾
"	62,7	"
0,0061	67,1	19900
"	66,7	"
0,007	65,6	8100
"	67,8	"
0,005	71,0	6700
"	72,5	"
0,004	70	31200
"	71,8	"

¹⁾ Entfernung der Thermosäule von der Kathode 81 cm.

Tabelle V.

Anordnung I.

Druck	Redu- zierter Aus- schlag b	Spannung	Druck	Redu- zierter Aus- schlag a	Spannung	$\frac{b}{a} \cdot 100$
0,044	104	25200	0,0116	206	25800	50
0,052	104	25800				
0,051	207	27400	0,010	323	27400	64
0,046	237	30000	0,0092	368	30000	65
0,049	253	30000	0,0092	383	30000	66
0,046	215	30100	0,0094	442	30200	49

Anordnung II.

0,109	41,3	23100	0,0060	197	21200	21
0,107	107	26100	0,0045	262	22300	
0,096	88	30500	0,0053	333	30000	26,5
0,11	58	31200	0,0042	332	31200	17,7
0,091	80,8	35400				

Weder bei höheren noch bei niederem Gasdruck ist die magnetische Einwirkung in erkennbarer Weise von der Spannung abhängig. Auch hier zeigt sich eine stete Abhängigkeit der magnetischen Einwirkung von der Größe des Gasdrucks, in dem bei niedrigen Drucken die positiven Strahlen weniger stark magnetisch beeinflußt werden.

Schließlich wurde noch das Verhältniß der Wärmewirkung zur Helligkeit bei verschiedenen Gasdrucken miteinander verglichen und zwar zunächst bei den beiden ursprünglichen Anordnungen in großer Entfernung von der Kathode (I und II, S. 5). Unter der Überschrift „Reduzierter Ausschlag“ sind die Ablenkungen des Galvanometers, bezogen auf dieselbe Helligkeit, in willkürlichen Einheiten in die Tabelle V aufgenommen. Man ersieht, daß sowohl bei Anordnung I wie noch mehr bei Anordnung II, wo die Druckunterschiede größer sind, die linksstehenden reduzierten Ausschläge bei gleicher Spannung wesentlich kleiner sind als die rechtsstehenden. Die ersteren sind bei höheren, die letzteren bei niedrigen Gasdrucken beobachtet.

Hieraus folgt, daß bei gleicher Wärmewirkung die Lichtintensität bei derselben Spannung im höheren Vakuum wesentlich kleiner ist als bei niedrigem Vakuum. Jedoch bleibt noch zu untersuchen, wie weit die stärkere Lichtemission bei höherem Gasdruck auf Rechnung der ruhenden Atome zu setzen ist.

Die letzten Beobachtungen wurden noch unter anderen Bedingungen ausgeführt. Die Thermosäule wurde mehr an die zweite Glaskapillare geschoben, so daß ihr Abstand von C_2 13,5 cm betrug. Dann gingen die Kanalstrahlen noch als scharf begrenztes Bündel bis auf die Thermosäule und wurden vollständig von ihr aufgefangen. Die Beobachtung geschah hier bei gleicher photometrischer Helligkeit, indem durch Regulierung der Touren der Influenzmaschine gleiche Lichtemission erreicht wurde; die Photometrie geschah in der Weise, daß zwei von den Herren Schmidt & Hünsch montierte totalreflektierende Prismen (Fig. 2), die von dem Kanalstrahlenbündel A

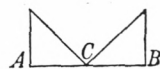


Fig. 2.

kommenden Strahlen und die einer Glühlampe *B*, die durch einen Spalt und geeignete Farbenfilter gingen, so nach *C* lenkten, daß man hier die beiden gleich großen Felder unmittelbar nebeneinander sah. Trotz der viel größeren Helligkeit des Kanalstrahlenbündels war doch die Genauigkeit der photometrischen Einstellung geringer als bei den an sich lichtschwächeren, aber ausgedehnteren Feldern der zerstreuten Kanalstrahlen in größerer Entfernung.

Die Beobachtungen sind in Tabelle VI zusammengestellt. Auch hier bestätigt sich die Tatsache, daß die Lichtemission bei höherem Druck bei gleicher Spannung erheblich größer ist als bei niederem Druck, beide auf gleiche Wärmewirkung bezogen.

Tabelle VI.

Anordnung II.

Entfernung der Thermosäule von der Kathode 34,5 cm.

Spannung Volt	a		b		$\frac{b}{a} \cdot 100$
	Druck mm	Ablenkung des Galv.	Druck	Ablenkung des Galv.	
20400	0,0058	580	0,112	160	28
23100	0,0060	742	0,108	258	36
26100	0,0050	534	0,102	294	55
26300	0,0068	706	0,105	340	48
26100	0,0050	538	0,075	228	42
26100	0,0047	642	0,077	312	49
28800	0,0050	889	0,087	412	46

Die Beobachtungen selbst ergaben, daß bei gleicher Spannung im hohen Vakuum die Lichtemission etwas kleiner war, wenn die Influenzmaschine konstant blieb, während die Wärmewirkung erheblich größer war als im niedrigeren Vakuum.

II. Beobachtungen an positiven Strahlen des Quecksilbers.

Gegenüber den aus Gasen erzeugten Kanalstrahlen bieten die in Dämpfen erzeugten mancherlei Vorteile, insbesondere den, daß man nach Kondensation des Dampfes einen Raum

herstellen kann, in den die positiven Strahlen eintreten und der so hoch evakuiert ist, wie es die modernen Hilfsmittel überhaupt gestatten. Ich habe deshalb einige vorläufige Beobachtungen am Quecksilberdampf angestellt.

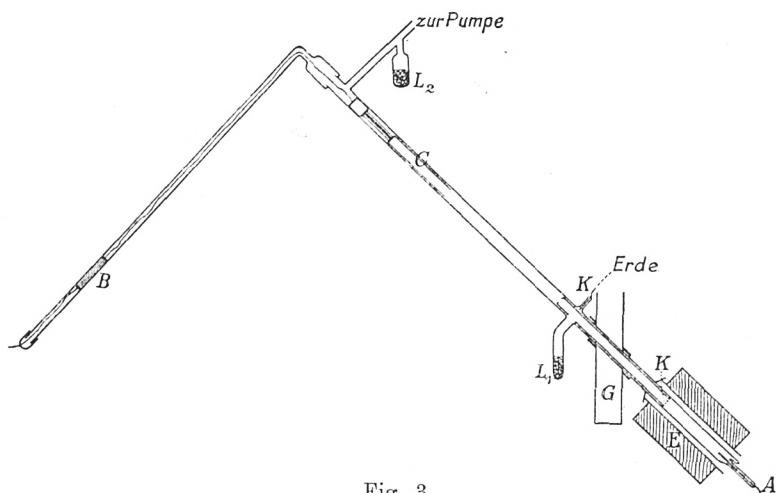


Fig. 3.

Die Versuchsanordnung zeigt Fig. 3. In ein schräg gestelltes langes Glasrohr ist ein Eisenzylinder *K* geschoben, der an dem einen Ende ein doppeltes Drahtnetz mit zwei 5 mm von einander entfernten Drahtlagen aus Nickeldraht trägt. Am andern Ende ist ein Diaphragma befestigt und bei *K* ist ein Stift eingeschraubt, der den Zylinder in seiner Lage hält und die Zuführung nach außen vermittelt. Die Anode *A* ist ein Eisenstift, der durch einen angelötheten Platindraht eine Stromleitung nach außen erhält.

Über die eigentliche Entladungsröhre ist ein elektrischer Ofen *E* geschoben, durch den die Röhre gleichmäßig erhitzt werden kann. Die Röhre ist dann wasserdicht in das Gefäß *G* eingekittet, welches mit Eis gefüllt wird. Der sich aus dem Quecksilber in der Röhre entwickelnde Dampf erfüllt den Teil, durch den die Entladung geht, gleichmäßig, während er sich in dem Gefäß *G* kondensiert und zurückfließt. Am

Ende des Eisenzylinders ist an die Röhre das mit Kohle gefüllte Gefäß L_1 angesetzt. An dem andern Ende der Röhre befindet sich ein zur Pumpe führender Ansatz, der ebenfalls ein mit Kohle gefülltes Gefäß L_2 trägt. In der Röhre ist ferner ein verschiebbarer Auffänger C , der aus einem 20 cm langen hohlen Messingzylinder besteht, der durch ein Gegengewicht B am Heruntergleiten verhindert wird. Der Eisenzylinder kann durch eine über die Röhre geschobene stromdurchflossene Spule beliebig verschoben werden.

Wenn die Elektroden von Gasen befreit sind und man schickt die Entladung der Influenzmaschine durch den Quecksilberdampf, so füllt sich die Röhre bei höherer Spannung mit leuchtenden Strahlen auch bei dem extremsten Vakuum, wenn die Gefäße L_1 und L_2 in flüssige Luft eintauchen. Auch nach langem Erhitzen gibt die Pumpe, sobald die Entladung auch nur kurze Zeit hindurchgegangen ist, wieder Gasspuren ab.

Ein mit dem Auffänger verbundenes Galvanometer von $2,8 \cdot 10^{-10}$ Empfindlichkeit gibt dann negativen Strom, der wegen der starken Ablenkbarkeit auch durch schwache Magnetfelder offenbar aus Elektronen besteht. Diese Elektronen sind Sekundärstrahlen, die aus dem Quecksilberdampf stammen und in ihm außerordentlich reichlich vorhanden sind. Ein dünner offener Messingzylinder, den man an dem Auffänger befestigt und als Sonde in den Quecksilberdampf führt, gibt in der Entfernung 2—4 cm vom Drahtnetz außerordentlich starke negative Ströme, welche zuweilen stärker sind als der ganze Entladungsstrom, während bei größerer oder geringerer Entfernung von der Kathode der negative Strom schwächer wird.

Aus dem das Diaphragma verlassenden Strahlenbündel kann man mit einem kleinen Elektromagneten ein Bündel negativer Strahlen ablenken, welche die Wand zur Fluoreszenz erregen.

Ein großer Elektromagnet in einer Entfernung von 100 cm von der Kathode lenkt die negativen Strahlen vollständig ab. Wenn dann die Gasreste ausgepumpt sind, gibt das Galvanometer überhaupt keinen erkennbaren Strom an, der jedenfalls

kleiner ist als 10^{-10} Amp. Auf das leuchtende Bündel übt der Elektromagnet auch bei den stärksten Feldern keinen erkennbaren Einfluß aus.

Wir können die Beobachtungen in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Die positiven Strahlen des Wasserstoffs sind in hohen Verdünnungen magnetisch weniger stark beeinflussbar wie in niedrigeren.
2. Die Strahlen, welche durch ein Magnetfeld geschwächt sind, werden auch in ihrer Wärmewirkung und Lichtemission durch ein zweites Magnetfeld annähernd in demselben Verhältnis geschwächt wie solche Strahlen, auf die das erste Magnetfeld nicht eingewirkt hat.
3. Die Lichtemission ist unter sonst gleichen Bedingungen bei hoher Verdünnung erheblich geringer als bei niedriger.
4. Die magnetische Einwirkung ist nicht merklich von der Spannung abhängig.
5. Die Kanalstrahlen des Quecksilbers transportieren keine merkliche positive Ladung und eine Ablenkung ist auch in starken magnetischen Feldern durch direkte Beobachtung der Lichtemission nicht wahrzunehmen.

Diese Ergebnisse der vorliegenden Beobachtungen ergeben folgendes Bild. Die positiven Atome streben wieder dem neutralen Zustande als dem stabilen Gleichgewichtszustande zu. Wenn also Veranlassung zur Neubildung fehlt, so werden sie sich sämtlich durch vorhandene Elektronen neutralisieren. Die Versuche in verschiedenen Verdünnungen zeigen nun, dass bei höheren Gasdrucken stärkere magnetische Beeinflussung eintritt, was darauf hinweist, daß hier mehr positiv geladene Atome vorhanden sind. Es sind daher wahrscheinlich die Zusammenstöße mit ruhenden Gasmolekülen, welche zur Bildung positiver Atome führen. In einer bestimmten Gasverdünnung stellt sich somit ein stationärer Zustand her, bei welchem ebensoviel positive Atome sich neu bilden wie sich neutralisieren. In sehr hohen Verdünnungen ist die Zahl der Zusammenstöße gering, dann bilden sich nur wenige neue positive Ionen. Im Queck-

silberdampf wird nun die Neutralisation der positiven Atome durch dies erwähnte massenhafte Vorhandensein von Elektronen wesentlich begünstigt und hieraus erklärt es sich, daß überhaupt keine positiven Atome nachweisbar sind. Die Tatsache, daß die Quecksilberstrahlen trotzdem leuchten macht es wahrscheinlich, daß das Leuchten im neutralen Zustande geschieht. Die Vermutung, daß die positiven Ionen im neutralen Zustande leuchten ist von Herrn Lenard bereits vor längerer Zeit ausgesprochen.¹⁾ Diese Annahme stimmt auch mit der Ansicht überein, daß dies Leuchten bei Aufnahme eines negativen Elektrons erregt wird²⁾ und mit meinen Beobachtungen des Leuchtens der Wasserstoffkanalstrahlen im magnetischen Felde.³⁾

Auf eine nähere Diskussion der quantitativen Ergebnisse will ich zunächst nicht eingehen, da mir eine solche erst einer theoretischen Unterlage zu bedürfen scheint, die sich aus kinetischen Betrachtungen ergeben muß. Ich behalte mir dann vor aus diesen Beobachtungen weitere Schlüsse zu ziehen.

¹⁾ Lenard, Ann. d. Phys. 9, S. 649, 1902. Nach ihm sollen die neutralen Ionen die Hauptserie des Spektrums aussenden. Für den Wasserstoff wäre dann die Balmerische Serie als Hauptserie zu bezeichnen.

²⁾ W. Wien, Ann. d. Phys. 23, S. 433, 1907.

³⁾ W. Wien, Ann. d. Phys. 27, S. 1039, 1908.