

11. *Photometrische Messungen an Gasspektren*¹⁾; *von G. Berndt.*

Einleitung.

Photometrische Messungen über die Abhängigkeit der Intensität von Spektrallinien von verschiedenen Einflüssen, wie Stromstärke, Druck, Temperatur etc. (in Geisslerröhren) sind zuerst von Lagarde²⁾ angestellt. Er findet, daß die Intensität einer Spektrallinie bei konstantem Druck proportional dem Logarithmus der Stromstärke ist, wobei die Basis der Logarithmen nahe gleich eins. Gegen diese Resultate liegen jedoch insofern Bedenken vor, als er zur Stromerzeugung einen Induktionsapparat verwendet, bei dem es infolge der einzelnen aufeinanderfolgenden Partialentladungen unmöglich ist, die Stromstärke genau zu bestimmen; dazu kommt noch, daß Änderungen in der Unterbrechungszahl, welche nie ausbleiben, Schwankungen der Stromstärke verursachen.

Abweichend von ihm findet Ferry³⁾, daß beim Stickstoff und Wasserstoff innerhalb der Versuchsgrenzen (Druck 0,25 bis 4 mm; Stromstärke 1—6 Milliamp.) bei konstantem Druck die Intensität proportional der Stromstärke ist, und daß bei konstanter Stromstärke die Intensität mit abnehmendem Druck wächst, zunächst langsamer und dann schneller, und zwar für verschiedene Linien verschieden.

Gelegentlich von Untersuchungen darüber, unter welchen Bedingungen in Geisslerröhren das Verbindungsspektrum des Ammoniak auftritt (welche insofern ergebnislos verliefen, als unter den obwaltenden Versuchsverhältnissen immer nur die Spektren des Stickstoffs und Wasserstoffs beobachtet wurden), nahm ich auch photometrische Messungen an diesen beiden Spektren vor.

1) Auszug aus den in den „Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle“ 26. 1903 erschienenen „Beiträge zur Kenntnis der Gasspektren“.

2) Lagarde, Ann. d. chim. et phys. (6) 4. p. 248. 1885.

3) Ferry, Phys. Rev. 7. p. 1. 1898.

Apparat.

Der Wasserstoff wurde hergestellt durch Elektrolyse von Phosphorsäure, der Stickstoff durch Überleiten eines langsamen Luftstromes über glühende Kupferspäne, da sich eine Herstellung aus Glycerin und Ammonnitrat nicht bewährte.

Da es darauf ankam, möglichst reine Gase zu erhalten, mußten an dem Apparat sämtliche Hähne und Schläffe (mit

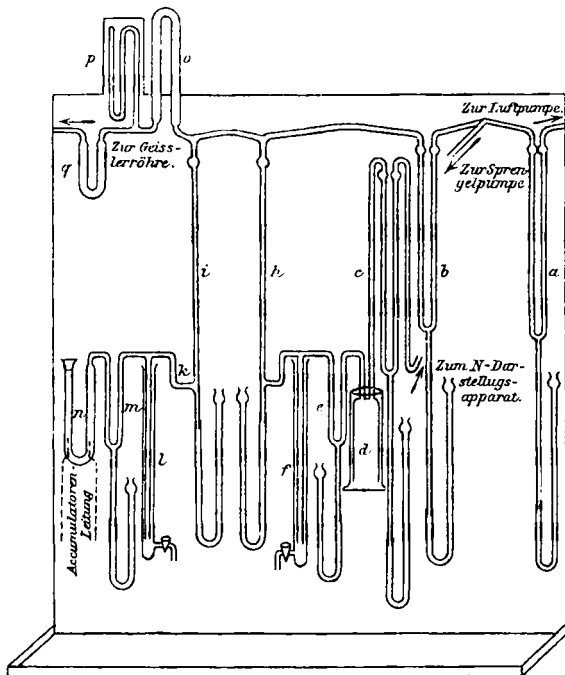


Fig. 1.

Fettdichtung) vermieden werden. Es wurde deshalb zum Einleiten der Gase die Cornusche Anordnung¹⁾ und zum Abschließen der einzelnen Teile voneinander U-Röhren gewählt. Fig. 1 gibt eine Skizze der Anordnung.

Nachdem durch eine Luftpumpe vorgepumpt war, wurde diese durch das U-Rohr *a* abgesperrt und die Evakuierung

1) A. Cornu, Journ. de phys. 5. p. 100 u. 341, 1886.

fortgesetzt mit der Sprengelpumpe. Beide waren durch Kundtsche Federn mit dem Apparat verbunden. An die Sprengelpumpe war eine Trockenröhre mittels zweier mit Phosphorpentoxyd eingeriebenen Schliffe mit Quecksilberdichtung angesetzt. Um aber noch hiervon unabhängig zu sein, sowie um bei einem eventuellen Undichtwerden der Pumpe nicht die Geisslerröhre mit Luft füllen zu müssen, konnte jene von dem übrigen Apparat durch das U-Rohr *b* abgesperrt werden. Die beiden U-Rohre bestanden — der Quecksilbersparnis halber — aus 2 mm weiten Kapillaren, jeder Schenkel, sowie der untere Fortsatz 80 cm lang. Mittels Gummischlauchs waren sie verbunden mit Quecksilberreservoirs in kleinen Konsolen, die in jeder gewünschten Höhe befestigt werden konnten. *h* und *i* sind die beiden Cornuschen Anordnungen, etwa 1 cm weite Röhren, welche in 80 cm Abstand von den Kugeln (die beim Aufsteigen der Gasblasen ein Heraufschleudern des Quecksilbers vermeiden sollten) kapillare, 2 mm weite, seitliche Ansätze tragen. Diese setzen sich fort in die vertikalen, etwa 80 cm langen Ansätze *f* und *l* aus etwa 7 mm weiten Röhren, umgeben von einem weiteren Rohr mit unten angesetztem Hahn; ich will sie als Hilfsgasometer bezeichnen. Die kurzen, etwa 25 cm langen, 2 mm weiten U-Rohre *e* und *m*, mit Quecksilberreservoirs verbunden, dienen zur Absperrung des Stickstoffgasometers *d* und des Zersetzungsapparates *n* von den Hilfsgasometern. Das in denselben Dimensionen wie *a* und *b* gehaltene U-Rohr *c* schließt den Gasometer von dem Stickstoffdarstellungsapparat ab. An die Cornuschen Anordnungen schließen sich die mit Phosphorpentoxyd und Natronkalk gefüllte Trockenröhre *o*, das Quecksilbermanometer *p* mit Spiegelskala und die Röhre *q* mit Schwefelpulver zur Abhaltung der Quecksilber- und mit im Wasserstoffstrom ausgeglühten Kupferspänen zur Abhaltung der Schwefeldämpfe. Zwei Kundtsche Federn verbinden diesen Apparat mit einer 2 m langen Spirale, welche verhindern soll, daß die bei hohem Vakuum sich weit ausdehnenden elektrischen Entladungen die Kupfer-Schwefel- oder die Trockenröhre treffen, wodurch leicht Verunreinigungen der Gase eintreten können. An diese schließt sich die Geisslerröhre mit Längssicht an. Da bei äußeren Elektroden eine Messung der Stromstärke ausgeschlossen, fanden sorgfältig

gereinigte Aluminiumhohlzylinder (1 cm Durchmesser, 3 cm lang) an Platindrähten Verwendung. Die Geisslerröhre selbst war aus Jenaer Glas, der kapillare Teil etwa 4 mm weit und 10 cm lang. Sämtliche Teile wurden vor und nach dem Zusammenschmelzen sorgfältig gereinigt.

Der Wasserstoff wurde durch Elektrolyse aus 15 proz. Phosphorsäure gewonnen, hergestellt aus Phosphorpentoxyd und frisch ausgekochtem destillierten Wasser. Auf die Vermeidung jedweder Absorption von Zimmerluft während der ganzen Zeit wurde besonders geachtet. Mit einiger Geschicklichkeit gelingt es, die ganze Anordnung *k*, *l*, *m*, *n* mit Quecksilber und Phosphorsäure zu füllen, und so die Luft völlig daraus zu verdrängen.

Für die Herstellung des Stickstoffs wurde das im Physikalischen Institut der Universität Halle gebräuchliche Verfahren eingeschlagen. Aus einem mit Hahn versehenen Gasometer wird ein langsamer Luftstrom durch eine Trockenröhre mit Phosphorpentoxyd und Natronkalk über glühende, im Wasserstoffstrom reduzierte Kupferspäne (zur Entfernung des Sauerstoffs) und über glühendes Kupferoxyd (zur Entfernung etwa vorhandenen Wasserstoffs) in den Gasometer *d* gedrückt. Mit Ausnahme des ersten Gasometers sind sämtliche Teile evakuiert. Aus dem Gasometer *d* wird der Stickstoff zurückgedrückt, und zwar erst wieder über das Kupfer, dann über das Kupferoxyd (was mit Hilfe eines Kreuzrohres mit vier Hähnen leicht ausführbar) in den ersten Gasometer und dies Verfahren so lange wiederholt, bis sämtlicher Sauerstoff gebunden ist. Die einzelnen Teile waren untereinander und das Ganze mit dem U-Rohr *c* mit dickwandigem Gummischlauch und Gummischnur verbunden, die Hähne mit einem Fett aus 5 Teilen weißem Wachs und 3 Teilen Vaseline eingerieben, das Hr. Prof. Dr. Dorn so freundlich war, mir mitzuteilen, und das selbst im Vakuum keine Dämpfe abgibt. Auch hier gelingt es mit einiger Geschicklichkeit, die Anordnung *d*, *e*, *f*, *g* mit Quecksilber zu füllen und so jedwede Luft daraus zu verdrängen. Nach der Darstellung wurde der Gasometer vom Darstellungsapparat abgesperrt, um sicher vor etwaigen Verunreinigungen und Undichtwerden der Gummischläuche und Hähne und Schiffe zu sein.

Der so dargestellte Stickstoff enthält natürlich noch Argon, dessen Einfluß auf das Stickstoffspektrum in so geringen Mengen nach Untersuchungen von Collie und Ramsay¹⁾ ein außerordentlich kleiner ist.

Bei den ersten Versuchen, bevor die Teile *e* und *f* zwischen-
geschaltet waren, stellte es sich heraus, daß man, obwohl
die Quecksilberreservoirs der Cornuschen Anordnungen mit
Mikrometerschrauben versehen waren, doch nie die Gase in
der gewünschten Weise in den Apparat leiten konnte. Dies
geschah meist mit solcher Heftigkeit, daß das Quecksilber
trotz der kugelförmigen Erweiterungen emporgeschleudert wurde
und an nach unten gebogenen Stellen (die daraufhin vermieden
wurden) die Verbindung abspernte. Gleichzeitig traten durch
das Emporschleudern plötzliche Druckverminderungen ein, die
einer weiteren Masse des Gases den Eintritt in den Apparat
gestatteten. Da bei der Weite des Gasometers (5 cm Durch-
messer) diese Masse ziemlich bedeutend war, wurde der Hilfs-
gasometer *f* eingefügt und durch diesen die Gasmasse reduziert.
Ich füllte jetzt, nachdem das Quecksilber im U-Rohr *e* so weit
gesenkt war, daß der Gasometer *d* und der Hilfgasometer *f*
kommunizierten, durch Ablassen des Quecksilbers letzteren
mit Stickstoff, sperrte dann den Gasometer durch das U-Rohr
ab und senkte mit Hilfe der Mikrometerschraube das Reservoir
der Cornuschen Anordnung *h*, so daß bei der geringsten
Druckvermehrung im Hilfgasometer das Gas in den Apparat
treten mußte. Aus einem Scheidetrichter ließ ich Quecksilber
tropfenweise in denselben fallen, und sobald sich der nötige
Überdruck hergestellt hatte, ging das Gas in einem langsamen
Strom in den Apparat, dessen Schnelligkeit nach Belieben
reguliert werden konnte. Da sich diese Anordnung gut be-
währte, wurde auch beim Wasserstoff die entsprechende ein-
gefügt. Durch vorhergehende Kalibrierung der Hilfgasometer
war es auch möglich gemacht, die eingelassene Gasmenge
genau zu berechnen, was für Versuche mit Gasgemischen
wichtig ist.

Nachdem der Apparat mit Luft genügend vorgespült war,
wurde er scharf evakuiert; gleichzeitig wurde die Geisslerröhre

1) N. Collie u. W. Ramsay, Proc. Roy. Soc. 59. p. 257. 1896.

in einem mit Asbest gefütterten eisernen Ofen bis auf etwa 200° erhitzt und starke Entladungen durch dieselbe gesandt. Dann wurde das zu untersuchende Gas bis zu einem Druck von einigen Zentimetern hineingelassen und in derselben Weise verfahren. Dies wurde so oft wiederholt, als sich irgendwelche Verunreinigungen zeigten, zum mindesten jedoch dreimal. Man wird so befreit von den okkludierten Gasen der Elektroden und den adsorbierten der Glaswände. Unangenehm ist bei dieser Methode, daß die Geisslerröhre sehr leicht springt, und zwar geschah dies stets an der Einschmelzstelle der Kathode.

Zur Erzeugung des elektrischen Stromes wurde eine 20plattige Influenzmaschine (angetrieben durch einen Elektromotor) verwendet, welche eine maximale Stromstärke von 1 Milliamp. lieferte. Dieselbe wurde gemessen durch ein in Nebenschluß gelegtes d'Arsonval-Galvanometer, dessen Reduktionsfaktor vor und nach jeder Messung bestimmt wurde.

Das Potential wurde mit Hilfe eines genauen Funkenmikrometers beobachtet, welches parallel zur Geisslerröhre geschaltet war. Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur wurde berücksichtigt.

Bei der geringen Lichtstärke des Spektrums (infolge der geringen Stromstärke) war die Benutzung des Glanschen Spektrophotometers ausgeschlossen; es wurde deshalb ein solches mit Vierordtschem Doppelspalt und geringer Dispersion gewählt. Das Vergleichsspektrum lieferte eine Glühlampe hinter Seidenpapierschirm.

Photometrische Messungen.

Es wurden photometrische Messungen ausgeführt bei 200 bis 1000 Milliamp. und Drucken von 0,8 bis 0,01 cm. Wegen Inkonstanz des Stromes der Influenzmaschine bei geringer Tourenzahl waren Messungen bei kleiner Stromstärke sehr schwierig; durch allmähliche Übung gelang es jedoch, brauchbare Resultate zu erhalten. Bei den ganz hohen Drucken stimmen die Messungen nicht so gut überein, da hier die Entladung nicht den ganzen Querschnitt der Röhre ausfüllt, sondern von einzelnen Punkten der Elektroden dünne Fäden durch die Geisslerröhre laufen. Eine Reduktion der Intensitätsmessungen auf absolutes Maß wurde nicht vorgenommen.

a) Stickstoff.

Es wurden die Messungen in der Weise angestellt, daß die Röhre bis zu 1 cm Druck mit Stickstoff gefüllt wurde; jener wurde für die folgenden Messungen durch Abpumpen bis zum gewünschten Grade reduziert. Nach einigen Tagen wurden dann die Messungen an einer frischen Portion Stickstoff wiederholt. Beide Serien zeigen im allgemeinen recht gute Übereinstimmung. Gemessen wurden die beiden Banden λ 6069 und 5214 A.-E.

Bei den Beobachtungen bei Zimmertemperatur wurden keine Quecksilberlinien, selbst bei geringem Druck und großer Stromstärke, gefunden. Bei Beobachtungen bei 200° trat die grüne Quecksilberlinie, allerdings sehr schwach, auf, ein Zeichen dafür, daß Schwefel die Quecksilberdämpfe nicht völlig fernhält.

Da bei den hauptsächlichsten Messungen bei Zimmertemperatur sich keine Quecksilberlinien zeigten und auch bei denen bei höherer Temperatur die vom Schwefel doch noch durchgelassenen minimalen Mengen bei Verwendung von inneren Elektroden nach Lewis¹⁾ fast keinen Einfluß ausüben, so wurden keine weiteren Mittel verwendet, den Quecksilberdampf fern zu halten.

Es ergibt sich, daß bei konstantem Druck die Helligkeit einer Spektrallinie proportional der Stromstärke ist. Zum Beweise greife ich aus den gesamten Beobachtungen einige beliebig heraus. Es bedeutet in der folgenden Tab. 1 i die Stromstärke in Milliamp., I die Helligkeit, bezogen auf die des Vergleichsspektrums, I/i den Quotienten beider, noch multipliziert mit einem konstanten Faktor.

Tabelle 1.

i	I	I/i	i	I	I/i
221	100	4,52	241	229	9,51
471	200	4,25	413	413	9,31
593	264	4,45	650	604	9,29
873	377	4,32	832	783	9,41

Man sieht, daß diese Beziehung innerhalb der Beobachtungsfehler sehr gut erfüllt ist.

1) P. Lewis, Wied. Ann. 69. p. 398. 1889; Ann. d. Phys. 2. p. 447. 1900.

Für die Abhängigkeit der Helligkeit vom Druck (bei konstanter Stromstärke) stelle ich in der folgenden Tab. 2 die Werte zusammen. Ich gebe in der ersten Kolumne die Nummer der Beobachtungsserie, in der zweiten den Druck p in Millimetern und in der dritten die Mittelwerte der I/i für jeden Druck.

Tabelle 2.

Serie	λ 6069		λ 5214	Serie	λ 6069		λ 5214
	p	M	M		p	M	M
1	7,90 zu schwach		4,47	2	1,45	5,26	8,02
2	7,50 zu schwach		4,62	1	0,95	5,60	8,79
2	6,15	2,11	5,04	2	0,925	5,81	8,60
1	5,95	2,22	5,04	1	0,70	6,10	9,38
2	4,00	3,43	5,95	2	0,60	6,30	9,62
1	3,85	3,47	5,97	1	0,40	6,74	10,07
2	3,00	4,39	6,32	2	0,275	7,08	10,35
1	2,85	4,43	6,42	1	0,175	7,71	10,74
1	1,95	5,09	7,27	1	0,10	8,46	11,63
2	1,90	5,09	7,18	2	0,075	8,58	11,81
1	1,45	5,22	7,96				

Man ersieht daraus, daß bei konstanter Stromstärke die Helligkeit mit abnehmendem Druck wächst, und zwar für beide Banden verschieden. Fig. 2 zeigt den Zusammenhang zwischen M , der Helligkeit bei konstanter Stromstärke, und dem Druck p , wobei letzterer als Abszisse, M als Ordinate aufgetragen ist.

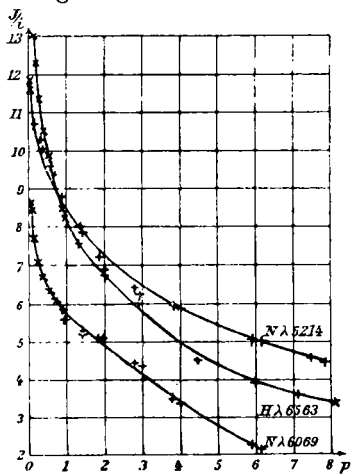


Fig. 2.

Für beide Banden verlaufen die Kurven (von hohem Druck ausgehend) zunächst mit ziemlicher Annäherung geradlinig und gehen dann in einen gebogenen Teil über, welcher sich asymptotisch der Ordinatenachse nähert. Die Helligkeit wächst also mit abnehmendem Druck zunächst langsam und dann schneller.

Versuche bei 200°, welche nur in geringer Anzahl angestellt wurden, ergaben innerhalb der Beobachtungsfehler

dieselben Werte für I/i , woraus folgt, daß die Temperatur des Gases innerhalb der Versuchsgrenzen ohne Einfluß auf die Intensität ist, wie auch leicht erklärlich, da wir es hier nicht mit Temperaturstrahlung zu tun haben.

b) Wasserstoff.

Beim Reinigen der Röhre behufs der Füllung mit Wasserstoff platzte dieselbe an der Einschmelzstelle der Kathode. Es wurde ein möglichst kongruenter Teil unter Verwendung der alten Elektrode angeschmolzen. Immerhin war hierzu eine Verschiebung des Photometers notwendig, so daß die Intensitäten des Wasserstoff- und Stickstoffspektrums in bezug auf das Vergleichsspektrum nur innerhalb gewisser Grenzen miteinander verglichen werden können.

Beim Wasserstoff tritt stets, allerdings sehr schwach, die grüne Quecksilberlinie auf, bei 200° daneben auch die gelbe und violette, was die Beobachtung von Lewis¹⁾ bestätigt, daß Wasserstoff stets die Lichtemission etwa vorhandenen Quecksilbers hervorruft. Da die Versuche bei 200° von geringerer fundamentaler Bedeutung sind und bei denen bei Zimmertemperatur die Quecksilbermenge eine außerordentlich geringe gewesen sein muß, welche, wie oben erwähnt, fast keine Einwirkung auf das Spektrum ausübt, wurde auch hier von weiteren Mitteln zur Fernhaltung der letzten Spuren des Quecksilbers abgesehen.

Das sogenannte zweite Spektrum des Wasserstoffs trat stets auf. Nach den hier getroffenen Vorsichtsmaßregeln für die Reinheit der Gase wird man es nicht gut Verunreinigungen zuschreiben dürfen, wie es neuerdings Ferry²⁾ noch wieder tut. Ich kann nur die Beobachtungen und Schlüsse von Lewis bestätigen, wonach dasselbe wegen seiner geringen Helligkeit bei engem Spalt und großer Dispersion so schwach werden dürfte, daß es nicht mehr zu erkennen ist.

Gemessen wurde die rote Linie ($\lambda 6563$); die Resultate sind etwas konstanter wie beim Stickstoff.

Auch beim Wasserstoff ist bei konstantem Druck die Intensität proportional der Stromstärke, wie die Tab. 3 lehrt,

1) P. Lewis, l. c.

2) E. S. Ferry, l. c.

in der ich wieder zwei willkürlich herausgegriffene Beobachtungen zusammenstelle (Bezeichnungen wie bei 1).

Tabelle 3.

i	I	M	i	I	M
211	141	6,70	270	281	10,39
359	240	6,69	380	404	10,63
633	430	6,81	685	707	10,32
802	535	6,67	908	961	10,59

Die Abhängigkeit der Intensität bei konstanter Stromstärke vom Druck ergibt sich aus der Tab. 4 und Fig. 2 (Bezeichnungen wie vorher).

Tabelle 4.

Serie	p	M	Serie	p	M
1	8,2	3,41	2	1,00	8,29
2	7,15	3,66	1	0,95	8,41
1	6,05	3,98	1	0,625	9,87
2	4,50	4,54	2	0,45	10,48
1	2,95	6,05	1	0,325	11,38
1	2,05	6,72	2	0,225	12,23
2	2,00	6,89	1	0,15	13,06
1	1,35	7,59			

Die Kurve zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die entsprechenden für die Stickstoffbanden. Sie verläuft bei hohem Druck zunächst angenähert geradlinig und geht dann in einen gebogenen Teil über, der sich asymptotisch der Ordinatenachse nähert. Auch hier wächst also bei konstanter Stromstärke die Intensität zunächst langsam mit abnehmendem Druck und dann schneller.

c) Weitere Diskussion der Resultate.

Es ist von Interesse zu verfolgen, inwieweit obige Resultate mit den Anschauungen der Ionentheorie in Einklang zu bringen sind.¹⁾

Unter sonst gleichen Versuchsbedingungen hängt die Intensität des ausgestrahlten Lichtes von der kinetischen Energie oder der absoluten Temperatur der Ionen ab. Diese ist im nicht stromdurchflossenen Zustande gleich der der neutralen

1) Vgl. für das Folgende: J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. Leipzig 1901.

Moleküle, also bei Zimmertemperatur etwa 300° . Nun durchlaufen die negativen Ionen in der positiven Lichtsäule frei ein Potentialgefälle von 40 Volt (für Luft in weiten Röhren), was einer absoluten Temperatur von $1,2 \cdot 10^5$ Grad entspricht; für andere Gase ergibt sich dieselbe Größenordnung. Daraus folgt, daß die durch Erwärmung der Geisslerröhre auf 500° (absolut) erhaltene kinetische Energie noch nicht $\frac{1}{2}$ Proz. der durch den elektrischen Strom erzeugten ausmacht, also innerhalb der Beobachtungsfehler zu vernachlässigen ist.

Ferner ist — unter sonst gleichen Versuchsbedingungen — die Anzahl der Ionen proportional der Stromstärke; andererseits ist die Intensität des ausgestrahlten Lichtes proportional der Zahl der Zusammenstöße der negativen Ionen mit den neutralen Molekülen, und diese ist wieder proportional der Zahl der Ionen. Es muß somit die Intensität einer Spektrallinie proportional der Stromstärke sein.

Diese beiden Resultate stimmen mit den Beobachtungen überein.

Schwieriger ist es, den Einfluß des Druckes auf die Intensität zu verfolgen. Diese hängt einmal ab von der kinetischen Energie der Ionen (darunter sei immer die Energie eines einzelnen Ions verstanden), das ist von der frei durchlaufenen Spannungsdifferenz, und ferner davon, welcher Betrag der Energie durch das Gas absorbiert und zur Erregung der Atome zur Lichtemission verwendet wird. Dieser Betrag ist um so größer, je kleiner die Geschwindigkeit der Ionen.

Bei Druckerniedrigung ändert sich nun das Potentialgefälle und die freie Weglänge der Ionen und damit die davon abhängigen Größen, kinetische Energie und absorbierte Energie. Ferner nimmt mit dem Druck die Anzahl der Ionen ab. Das Gesamtergebn ist, daß die Intensität wächst mit abnehmendem Druck (in der durch die Kurven der Fig. 2 dargestellten Weise).

Ich habe es nun versucht, diese Wirkungen im einzelnen anzusetzen. Man muß sich dazu freilich vielfach auf unbewiesene Voraussetzungen stützen und insofern haben die folgenden Ausführungen nur hypothetischen Charakter.

Obwohl wir es mit einem Gasgemisch aus neutralen Molekülen, positiven und negativen Ionen und Molionen zu tun haben, will ich die freie Weglänge der Ionen — was in erster

Annäherung gestattet sein dürfte — umgekehrt proportional dem Druck p setzen. Es ist die kinetische Energie proportional dem frei durchlaufenen Potentialgefälle, also wenn ich dieses V nenne, proportional V/p . Die Absorption der Energie ist um so größer, je kleiner die Geschwindigkeit v ; ich will sie deshalb proportional $v^{-1/2}$ setzen. Nun ist v proportional $\sqrt{V/p}$, also die Absorption proportional $I/\sqrt[4]{V/p}$, und folglich der Betrag absorbierter Ionenenergie proportional $V/p \cdot I/\sqrt[4]{V/p} = \sqrt[4]{(V/p)^3}$. Dieser Größe wird die Amplitude A der Ionenschwingungen im Atom proportional sein. Da nun die Intensität I proportional A^2 , so ist bei konstanter Stromstärke I proportional $\sqrt{(V/p)^3}$. Vereinigen wir dies mit dem Resultat, daß die Intensität proportional der Stromstärke, so folgt I proportional $i \cdot \sqrt{(V/p)^3}$. Nicht berücksichtigt ist bis jetzt die Abnahme der Ionenzahl mit dem Druck; diese wird angenähert proportional dem Druck sein. Also wird sein I proportional $i \cdot \sqrt{V^3/p}$. Da I jetzt reduziert ist auf durchweg gleiche Ionenenergie und Ionenzahl, so muß I eine Konstante sein. Statt dies zu prüfen, will ich untersuchen, ob die Beziehung erfüllt ist $I/(i \cdot \sqrt{(V/p)^3})$ proportional p (d. h., ob die Ionenzahl proportional mit dem Druck abnimmt).

In der folgenden Tab. 5 sind die aus den Beobachtungen (durch Interpolation) berechneten Werte von

$$I/(i \cdot \sqrt{(V/p)^3}) \cdot 10^{-5} = C$$

für verschiedene Drucke zusammengestellt.

Tabelle 5.

Druck	$N\lambda 6069$	$N\lambda 5214$	$H\lambda 6563$
8,0	—	10,00	12,41
7,0	—	10,92	12,00
6,0	5,01	11,40	11,63
5,0	6,04	11,33	10,98
4,0	6,36	10,34	10,37
3,0	5,77	8,70	9,68
2,0	4,48	6,60	8,47
1,5	3,58	5,33	7,45
1,0	2,54	3,86	6,01
0,50	1,44	2,18	3,80
0,25	0,82	1,21	1,94
0,10	0,36	0,50	0,67

In Fig. 3 sind die Resultate graphisch dargestellt; es ist p als Abszisse, C als Ordinate aufgetragen.

Die beiden Kurven für die Intensität der Stickstoffbanden steigen mit abnehmendem Druck zunächst etwas an, biegen dann um und fallen zum Schluß ziemlich geradlinig ab; sie gehen ungezwungen durch den Nullpunkt des Koordinatensystems. Die Kurve für die Wasserstofflinie fällt von vornherein mit abnehmendem Druck, aber in anderer Weise als bei geringeren Drucken, zum Schluß jedoch ziemlich geradlinig; auch sie geht ungezwungen durch den Nullpunkt des Koordinatensystems, dadurch andeutend, daß bei dem Druck Null auch die Anzahl der Ionen Null ist, wie es selbstverständlich sein muß.

Es war bisher stillschweigend vorausgesetzt, daß es stets dasselbe Volumen oder, da die Länge ja konstant ist, derselbe Querschnitt sei, welcher Licht emittiere. Für verschieden große Querschnitte ist die Intensität des ausgestrahlten Lichtes proportional denselben. Nun war für Stickstoff z. B. bis zu Drucken von etwa 3 mm

herab nicht der ganze Querschnitt der Röhre mit Licht erfüllt. Infolge des Anwachsens desselben wird also anfangs mit abnehmendem Druck die Intensität zunehmen, gleichzeitig infolge Abnahme der Ionenzahl abnehmen (sonstige Konstanz der in Betracht kommenden Größen vorausgesetzt). Wenn der Querschnitt nicht weiter wachsen kann, wird nur die Intensität abnehmen infolge der abnehmenden Ionenzahl. Beim Stickstoff überwiegt nun zunächst das Anwachsen des Querschnittes, beim Wasserstoff sofort die Abnahme der Ionenzahl, da dieselbe hier beträchtlicher mit dem Druck fällt wie beim Stickstoff. Dadurch erklärt sich der Verlauf der Kurven.

Daß die beiden Kurven für den Stickstoff nicht zusammen-

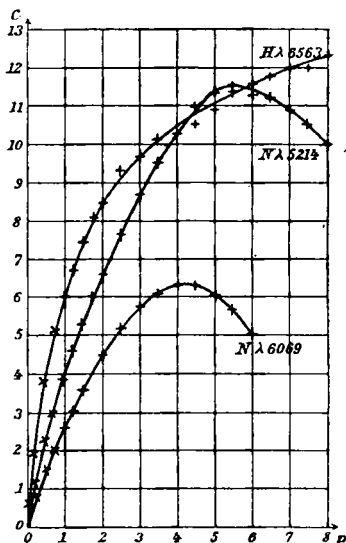


Fig. 3.

fallen, findet seine Erklärung in der Nichtberücksichtigung mehrerer Umstände. Die mitgeteilte Theorie gibt uns z. B. keinen Aufschluß darüber, daß mit wachsender Temperatur die Teile kürzerer Wellenlänge eines Spektrums im allgemeinen immer lichtstärker werden (einzelne Teile können sich auch anders verhalten, wie die Messungen an den beiden Stickstoffbanden beweisen). Wir müssen uns deshalb damit begnügen, einen ähnlichen Verlauf der Kurven konstatieren zu können. Da auch bei allen drei Kurven sich für den Druck Null die Ionenzahl Null ergibt, scheint mir dies ein Beweis für die Richtigkeit meiner Voraussetzungen zu sein.

Aus den Kurven folgt, daß die Ionenzahl nicht genau proportional dem Druck wächst, sondern — wie von vornherein zu erwarten stand — etwas hinter demselben zurückbleibt.

Hrn. cand. phil. Waetzmann bin ich für seine Hilfe bei den Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

Zum Schluß sei es mir noch gestattet, Hrn. Geh. Rat Prof. Dr. O. E. Meyer auch an dieser Stelle für die freundliche Beschaffung der nötigen Hilfsmittel meinen Dank auszudrücken.

Breslau, Physikalisches Institut.

(Eingegangen 18. August 1903.)
