**4. Feinere Zerlegung der Spektrallinien
von Quecksilber, Kadmium, Natrium, Zink,
Thallium und Wasserstoff;
von L. Janicki.**

(Hierzu Taf. I.)

(Auszug aus der Inaugural-Dissertation Halle a/S. 1905.)

Die Rowlandschen Gitter haben die Genauigkeit spektroskopischer Messungen ganz außerordentlich gesteigert. Sie besitzen eine hohe auflösende Kraft, d. i. die Fähigkeit, zwei Spektrallinien noch zu trennen, deren Wellen sich nur um ein Geringes unterscheiden, aber sie reichen doch nicht hin, um in dieser Beziehung erhöhten Ansprüchen gerecht zu werden. Wenn es auch gelungen ist, Zusammensetzungen von Linien mit Gittern zu beobachten. — A. Michelson¹⁾, O. Lummer²⁾ und A. Hagenbach und H. Konen³⁾ haben Komponenten der Quecksilberlinien in dieser Weise gefunden —, so sind diese Beobachtungen doch stets vereinzelt geblieben, z. T. erst dann gemacht worden, als die Komponenten durch andere Methoden bereits festgestellt worden waren.

Die Frage nach der Zusammensetzung der Linien ist zum erstenmal systematisch und erfolgreich von A. Michelson¹⁾ im Jahre 1892 studiert worden. Sein Interferometer gestattete nicht, die Linien getrennt zu beobachten, sondern nur indirekte Schlüsse zu ziehen, wenn bei Erhöhung des Gangunterschiedes der beiden interferierenden Strahlen die Interferenzringe abwechselnd deutlicher und undeutlicher wurden. Er hat für eine größere Anzahl von Linien aus diesem Intensitätswechsel die Lage der Satelliten zu berechnen versucht, aber kein ein-

1) A. A. Michelson, Phil. Mag. (5) **34**, p. 280—299. 1892.

2) O. Lummer, Verhdl. d. deutschen phys. Ges. 1901. p. 95.

3) A. Hagenbach und H. Konen, Zeitschr. f. wissensch. Photogr. **1**, p. 342—346. 1903.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

deutiges Resultat erhalten. Dies gab erst sein Stufengitter¹⁾ das die Linien in ihrer Auflösung gleichzeitig sehen läßt.

Ungefähr gleichzeitig führten Ch. Fabry und A. Perot²⁾ einen beträchtlichen Fortschritt in der Auflösung feinsten Spektrallinien herbei. Ihr Interferometer besteht aus zwei gegeneinander verschiebbaren Glasplatten, die auf den einander zugewendeten Seiten mit einer ganz dünnen Silberschicht bedeckt sind. Läßt man schwach konvergentes Licht senkrecht durch diese „versilberte“ Luftplatte hindurchfallen, so gehen die Strahlen teils direkt, teils nach mehrfachen Reflexionen hindurch, erleiden Gangunterschiede und interferieren. Die kreisförmigen Interferenzringe zeigen dann die Linie in ihrer Auflösung. Die Methode ist nicht nur brauchbar zur Zerlegung der Linien, sondern auch zu relativen Wellenlängenmessungen, die sehr genaue Resultate liefern, und zu Dickenbez. Längenmessungen. So haben Fabry und Perot eine ganze Reihe von Linien verschiedener Metalle und von dunklen Sonnenlinien relativ zur Wellenlänge der roten und grünen Kadmiumlinie, wie sie von A. Michelson und Benoit³⁾ bei der Meterbestimmung gefunden worden sind, gemessen.

Das Michelsonsche Stufengitter suchten endlich O. Lummer und E. Gehrecke⁴⁾ durch einen technisch einfacheren und dabei doch leistungsfähigeren Apparat zu übertreffen. Die vielfachen Reflexionen im Innern einer planparallelen Glasplatte bei nahe streifendem Austritt der Strahlen geben den austretenden Strahlen einen hohen Gangunterschied.

1) A. A. Michelson, *Astroph. Journ.* 8. p. 36—47. 1898; *American Journ.* (4) 5. p. 215—217. 1898; *Journ. de phys.* (3) 8. p. 305—314. 1899.

2) Ch. Fabry und A. Perot, *Ann. de chim. et phys.* (7) 12. p. 459—501. 1897; 16. p. 115—144. 1899; 22. p. 564—574. 1901; 24. p. 119—139. 1901; 25. p. 98—139. 1902; *Astroph. Journ.* 13. p. 265—272. 1901; 15. p. 73—96, 261—273. 1902; *Compt. rend.* 123. p. 802—805, 990—993. 1896; 126. p. 34—36, 331—333, 407—410, 1561—1564, 1624—1626, 1706—1708, 1779—1782. 1898; 128. p. 1156—1158, 1221—1223. 1899; 130. p. 406—409, 492—495, 653—655. 1900; 132. p. 1264—1266. 1901; 133. p. 153—154. 1901.

3) A. A. Michelson, *Trav. et Mém. du bur. intern. des poids et mesures.* 11. p. 1—85. 1895.

4) O. Lummer u. E. Gehrecke, *Ann. d. Phys.* 10. p. 457—477. 1903.

Die nach diesen Methoden bisher gemachten Beobachtungen widersprechen einander — wahrscheinlich infolge auftretender „Geister“ — ziemlich stark. Am spärlichsten liegen Beobachtungen mittels des Michelsonschen Stufengitters vor. Auf freundliche Anregung von Hrn. Prof. Dr. E. Dorn habe ich einige Spektrallinien mit dem ausgezeichneten Stufengitter des hiesigen physikalischen Instituts untersucht.

Das Michelsonsche Stufengitter.

Aufstellung des Stufengitters.

Das Stufengitter, das ich zu meinen Untersuchungen benutzte, ist von A. Hilger in London angefertigt. Die Anordnung ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Sp_1 bis Sp_3 ist ein Hilfsspektroskop und dient zu einer vorgängigen Zerlegung des Lichtes. Der Spalt Sp_1 befindet sich in der Brennebene der Linse L_1 . P ist ein Prisma mit konstanter Ablenkung. Die Linse L_2 wirft ein scharfes Bild der Linien auf den Spalt Sp_2 . Die Linse L_3 macht die von Sp_2 ausgehenden Strahlen parallel;

Fig. 1.

diese treten parallel in das Gitter G und werden von der Linse L_4 in deren Brennebene vereinigt, die ihrerseits durch das Okular O betrachtet wird.

Durch die Schraube S_1 kann das Prisma P so gedreht werden, daß ein beliebig gewünschter Teil des Spektrums durch das Gitter geschickt wird. Die Trommel T_1 gestattet diese Stellung abzulesen und jederzeit wiederzufinden. Durch die Schraube S_2 kann der zweite Spalt Sp_2 beliebig gestellt und die Weite des Spaltes an der Trommel T_2 abgelesen werden. Das eigentliche Stufengitter G endlich ruht auf einem Tischchen, das in horizontaler Ebene um die Achse A drehbar ist

und durch S_3 beliebig aus- und eingeschaltet werden kann. Diese Anordnung bietet den Vorteil, sehr leicht diejenige Einstellung zu finden, in der das Licht senkrecht durch das Gitter tritt. Denn führt man das Gitter ein, so beobachtet man gleichzeitig durch O , wie die Interferenzstreifen nach einer bestimmten Richtung wandern, und, wenn der senkrechte Einfall des Lichtes erreicht ist, sich nach der entgegengesetzten Richtung wenden. Es liegt also etwas Ähnliches wie bei der Minimumstellung eines Prismas vor. Diese Stellung ist jederzeit rasch zu finden. Schaltet man das Stufengitter (in der Richtung des Pfeiles) aus und verbreitert den Spalt Sp_2 , so kann man einen großen Teil des vom Prisma entworfenen Spektrums überblicken und eine beliebige Linie zur Untersuchung auswählen.

Am geeignetsten für die Beobachtung erwies sich ein von Zeiss-Jena bezogenes Okular von 12 cm Brennweite. An Stelle des Okulars kann ein einfacher photographischer Apparat eingeschoben werden: ein Rohr trägt an einem Ende eine Vorrichtung zur Aufnahme der Kassette, nach dem anderen Ende zu enthält es eine Linse, die ein scharfes Bild der Brennebene von L_4 auf die Platte werfen soll.

Das Stufengitter G ist von Hilger in ganz außerordentlicher Trefflichkeit hergestellt worden. Es besteht aus 32 je 1 cm dicken Glasplatten, die aufeinander gepreßt sind, so daß jede folgende Platte gegen die vorhergehende um 1 mm zurücktritt. Die Zahl der wirksamen Öffnungen ist 33, da zwischen der größten Glasplatte und dem Stahlrahmen, der auf dieser Seite die Platten abschließt, noch eine Öffnung von 1 mm gelassen worden ist. Die Ungleichheiten in der Höhe der Stufen sind nach Hilgers Angaben geringer als $\frac{1}{20}$ Wellenlänge. Hiernach dürften „Geister“ nahezu ausgeschlossen sein. Meine Beobachtungen bestätigen dies durchaus.¹⁾

Theorie und Anwendung des Stufengitters.

Eine Berechnung der Dispersion und Leistungsfähigkeit des Stufengitters hat Michelson in den p. 37 angeführten

1) Vgl. p. 79.

Abhandlungen gegeben; außerdem ist sie zu finden bei P. Drude¹⁾ und H. Kayser.²⁾

Ist s die Weite der Stufen, t die Dicke der Glasplatten, μ der Brechungsindex des Glases, so gilt für die Änderung des Beugungswinkels θ mit der Änderung der Wellenlänge λ

$$(1) \quad \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{t}{s \cdot \lambda} \left[(\mu - 1) - \lambda \cdot \frac{d\mu}{d\lambda} \right].$$

Der Abstand zweier Komponenten wird bestimmt aus

$$(2) \quad d\lambda = \frac{\lambda^2}{t \left[(\mu - 1) - \lambda \cdot \frac{d\mu}{d\lambda} \right]} \cdot \frac{d\theta}{d\theta_1} + p \frac{\lambda^2}{t \left[(\mu - 1) - \lambda \cdot \frac{d\mu}{d\lambda} \right]},$$

wo $d\theta_1$ die Winkeltrennung zweier Ordnungen ist und p eine der Zahlen 0, ± 1 , $\pm 2 \dots$ sein kann. Im allgemeinen ist $p = 0$; setzt man in diesem Falle $d\theta = d\theta_1$, so erhält man die Entfernung zweier benachbarter Ordnungen. Der zweite Summand darf jedoch nicht völlig außer acht gelassen werden wegen der großen Nähe der beiden überhaupt möglichen Ordnungen. Die beiden gelben Natriumlinien können gleichzeitig im Stufengitter gesehen werden, obwohl ihre Wellenlängen sich um 5,972 Å.-E. unterscheiden und die Entfernung der beiden Ordnungen für D_1 nur 0,564 Å.-E. beträgt. Dann hat eben p den Wert 10 erlangt.

Daher sind bis zu einem gewissen Grade die Ergebnisse, die das Stufengitter liefert, nicht eindeutig bestimmt. Ein Beispiel bietet die starke Heliumlinie $\lambda 5876$, die bekanntlich aus zwei Linien, einer starken und einer mehr nach rot zu liegenden schwachen besteht. Fig. 2 gibt die Linie im

Fig. 2.

geneigt ist, zu dem linken Maximum. p hätte also in diesem Falle den Wert -1 . In allen den Fällen aber, in denen im zweiten Summanden $p \neq 0$ ist, müssen die Komponenten eine so große Entfernung von der Hauptlinie haben, daß sie unter allen Umständen durch ein Spektro-

1) P. Drude, Lehrbuch der Optik p. 211—215. 1900.

2) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie 1. p. 482—485. 1900.

skop von relativ kleiner auflösender Kraft festgestellt werden können.

Das Auflösungsvermögen ist

$$(3) \quad \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{n \cdot t}{\lambda} \left[(\mu - 1) - \lambda \cdot \frac{d\mu}{d\lambda} \right],$$

wo $\delta\lambda$ die Grenze der der Auflösung fähigen Wellenlängendifferenz und n die Anzahl der beugenden Öffnungen des Stufengitters bedeutet.

Im vorliegenden Falle ist $s = 1$ mm, $t = 10$ mm und $n = 33$. Nach Hilgers Angaben ist das Stufengitter hergestellt aus Jenaer Glas, das den Brechungsexponenten hat

$$\mu_C = 1,5706; \quad \mu_D = 1,5746; \quad \mu_F = 1,5845; \quad \mu_{G'} = 1,5927.$$

Die Indizes bedeuten die betreffende Fraunhofersche Linie; mit G' ist die in der Nähe von G liegende Wasserstofflinie $\lambda = 4341$ Å.-E. gemeint.

Weder die Cauchysche Formel

$$\mu_1 = A_1 + \frac{B_1}{\lambda^2} + \frac{C_1}{\lambda^4}$$

noch die Schmidtsche¹⁾ Formel

$$\mu_2 = A_2 + \frac{B_2}{\lambda} + \frac{C_2}{\lambda^4}$$

geben, wenn man die drei Konstanten A , B , C aus den drei ersten der gegebenen Werte für μ berechnet, eine Übereinstimmung mit dem vierten Wert. Am besten stimmen die Mittel aus beiden Formeln für den vierten Wert $\mu_{G'}$. In dieser Weise berechnete ich auch die für die Formeln (2) und (3) nötigen Werte von μ und $d\mu/d\lambda$ aus

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 1,55408 + \frac{6,978 \cdot 10^5}{\lambda^2} + \frac{5,13 \cdot 10^{11}}{\lambda^4}, \\ \mu_2 &= 1,54357 + \frac{1,6224 \cdot 10^2}{\lambda} + \frac{4,2253 \cdot 10^{12}}{\lambda^4}, \\ \frac{d\mu_1}{d\lambda} &= - \left[\frac{13,956 \cdot 10^{12}}{\lambda^3} + \frac{20,52 \cdot 10^{13}}{\lambda^5} \right], \\ \frac{d\mu_2}{d\lambda} &= - \left[\frac{3,2448 \cdot 10^9}{\lambda^2} + \frac{16,9012 \cdot 10^{10}}{\lambda^5} \right]. \end{aligned}$$

λ ist hier in Ångström-Einheiten [$1 \text{ Å.-E.} = 10^{-7} \text{ mm}$] ausgedrückt.

1) H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie 1. p. 325—326. 1900.

In der folgenden Tabelle sind für die Fraunhoferschen Linien die Werte von μ , $d\mu/d\lambda$, dem Auflösungsvermögen $\lambda/\delta\lambda$, der Entfernung der beiden Ordnungen $d\lambda_{\max.}$ und der Grenze der Auflösung $\delta\lambda$ zusammengestellt. Das Steigen bez. das Fallen der ersten vier Größen mit abnehmender Wellenlänge ist außerdem in Fig. 3 veranschaulicht.

	A	B	C	D ₁	E ₁	F	G	H
$\lambda =$	7621	6870	6563	5896	5270	4861	4308	3969
$\mu =$	1,5662	1,5691	1,5706	1,5746	1,5799	1,5845	1,5933	1,6010
$-\frac{d\mu}{d\lambda} =$	33,4	44,9	51,2	70,7	100,2	130,0	194,9	259,4
$\frac{\lambda}{\delta\lambda} \cdot 10^{-5} =$	2,56	2,88	3,04	3,45	3,96	4,40	5,19	5,85
$d\lambda_{\max.} =$	0,982	0,787	0,713	0,564	0,439	0,365	0,274	0,224
$\delta\lambda =$	0,030	0,024	0,022	0,017	0,013	0,011	0,008	0,007

Fig. 3.

Die auflösende Kraft des Stufengitters steigt also von A bis H um mehr als das Doppelte, die Grenze der Auflösung um das Vierfache.

Aus Gleichung (1) p. 40 läßt sich die Dispersion $d\theta$ berechnen. Für die grüne Kadmiumlinie $\lambda 5086$ ist z. B.

$$(\mu - 1) - \lambda \cdot \frac{d\mu}{d\lambda} = 0,6389; \quad d\theta = 6389 \cdot \frac{t \cdot d\lambda}{s \cdot \lambda}.$$

Setzen wir $d\lambda = 0,1 \text{ \AA.-E.}$, so ergibt sich $d\theta = 0,000126 \text{ abs.}$ oder $d\theta = 0,43 \text{ Bogenminuten.}$ Für die Grenze der Auflösung $\delta\lambda = 0,012$ ist $d\theta = 0,05 \text{ Bogenminuten.}$

Eine hinreichend homogene Spektrallinie falle auf den enggestellten zweiten Spalt Sp_2 (Fig. 1). Beobachtet man mit eingeschaltetem Stufengitter, das in seiner Minimumstellung sich befindet, so können drei Fälle eintreten: 1. Es ist eine einzige helle Linie sichtbar, rechts und links davon eine Reihe schwacher Beugungsbilder mit abnehmender Intensität. 2. Man sieht zwei helle Linien von gleicher Intensität, wiederum begleitet von den schwachen Seitenlinien. Die beiden Linien stellen die zwei möglichen Ordnungen derselben Linie dar. 3. Es kann die eine dieser beiden Linien heller als die andere sein. Aus einer dieser drei Stellungen kann man durch eine ganz geringe Wendung des Gitters zu den beiden anderen übergehen. Für den Gebrauch kommen die schwachen seitlichen Linien nicht in Betracht. Am vorteilhaftesten ist die Beobachtung in zwei Ordnungen, einmal, weil die Kenntnis des Abstandes der beiden aufeinanderfolgenden Ordnungen für die Berechnung der Entfernung der zu bestimmenden Komponenten notwendig ist, so dann, weil leichter zu übersehen ist, wieviel Komponenten eine Linie besitzt. Ich habe deshalb auch die Photographien (vgl. Taf. I) so angefertigt, daß die stärkste Linie, die Hauptlinie, in zwei Ordnungen erscheint.

Zum Photographieren benutzte ich verschiedene Platten. Für die gelben und grünen Quecksilberlinien verwendete ich anfänglich die Viridinplatte von Dr. Schleussner-Frankfurt a. M.; später benutzte ich für längere Wellen bis $\lambda 5000$ die Äthylrotplatte von Prof. Dr. Miethe und Dr. Traube aus der Trockenplattenfabrik von Otto Perutz-München. Diese letzte Platte mußte, da sie auch gegen rot empfindlich ist, wenigstens während der ersten Minuten völlig im Dunkeln

entwickelt werden. Für die kürzeren Wellen von λ 5000 bis λ 4000 verwandte ich Lumière-Platten. Als Entwickler diente mir Rodinal, zum Fixieren ein saures Fixierbad.

Taf. I gibt die von verschiedenen „Linien“ gemachten Aufnahmen wieder. Sie ist von der Gesellschaft für vervielfältigende Kunst Heliograph in Berlin SW., Friedrichstraße 239, in ausgezeichnete Weise hergestellt worden. Die Photographien sind vierfach vergrößert und geben so ziemlich alle Details der Platten selbst wieder.¹⁾

Die Photogramme sind sämtlich in der Weise wiedergegeben, daß man von der Hauptlinie nach links zu die Komponenten größerer Wellenlänge, nach rechts die kleineren Wellenlänge sieht.

Die Messungen gehen von der Hauptlinie aus und zählen als $+d\lambda$ die weniger brechbaren Trabanten, als $-d\lambda$ die stärker brechbaren. Lag ein Trabant etwa in der Mitte zwischen den beiden Ordnungen der Hauptlinie, so bezog ich ihn stets auf diejenige Seite der Hauptlinie, auf der er ihr, wenn auch nur um ein ganz geringes, näher lag.

Die Platten wurden mit einer Teilmaschine gemessen. Ablesungsfehler suchte ich durch wiederholte Messungen an verschiedenen Platten zu eliminieren. Ein Maß der Genauigkeit läßt sich jedoch nicht ohne weiteres für alle Linien in gleicher Weise angeben. Sie hängt ab von der Stärke, der Schärfe der Trabanten und auch von der Breite der Hauptlinien. Außerdem nimmt die Genauigkeit nach dem violetten Ende des Spektrums zu, entsprechend dem Wachstum der auflösenden Kraft des Stufengitters mit der Abnahme der Wellenlänge. Im allgemeinen dürfte ein größerer Fehler als 0,01 bis 0,02 Å.-E. bei den ganz schwachen Linien, die man in der Reproduktion nicht mehr sehen kann, 0,005 bei den verwaschenen Linien und 0,003 bei den scharfen Linien kaum vorkommen. Die Differenz der beiden Heliumlinien λ 5876 habe ich zu 0,347 Å.-E. bestimmt, in guter Übereinstimmung mit der Messung von Runge und Paschen²⁾, die 0,348 Å.-E. gefunden hatten.

1) Retouche ist selbstverständlich nicht angewendet worden.

2) C. Runge u. F. Paschen, *Astrophys. Journ.* **3.** p. 1—28. 1896. Auf diese endgültigen Resultate ihrer Messungen, die mir nicht zugäng-

Um Linien im Stufengitter beobachten und auf ihre Zusammensetzung hin zu prüfen, ist vor allem nötig, sie so scharf als möglich zu erhalten. Damit aber das theoretische Auflösungsvermögen wirklich erreicht wird, darf die Breite der Linien, die p. 42 gegebene Grenze der Auflösbarkeit nicht überschreiten. Die gebräuchlichsten Arten der Erzeugung des Spektrums versagen hier mehr oder weniger. Metallsalze in der Bunsenflamme sind völlig ausgeschlossen: die Natriumlinien geben z. B. nur ein breites Band. Auch der elektrische Funke zwischen Metallelektroden ist nicht ohne weiteres anwendbar. Erst Parallelschalten von 6—10 großen Leidener Flaschen und Einschalten einer genügenden Selbstinduktion in den Sekundärkreis des Induktors läßt die Linien vieler Metalle ziemlich scharf werden. Sehr nahe an der Hauptlinie gelegene Trabanten kann man freilich so nicht beobachten, das Zeeman-Phänomen jedoch läßt sich in dieser Weise sehr gut verfolgen. Über den elektrischen Bogen in atmosphärischer Luft habe ich keine Erfahrung. Ich glaube aber nicht, daß er sehr günstig ist, da bereits der Quecksilberbogen im Vakuum bei fehlender Wasserkühlung für manche Linien unbrauchbar ist. Es bleibt also nur das Geisslerrohr, in dem die unter schwachem Druck stehenden Gase oder Dämpfe durch elektrische Entladung zum Leuchten gebracht werden. Den „Trembleur“ von Ch. Fabry und A. Perot¹⁾ habe ich nicht benutzt.

Je größer die Intensität einer scharfen Linie ist, um so leichter ist sie im Stufengitter zu beobachten. Wenn man jedoch die Intensität zu steigern sucht, erhält man meist eine Selbstumkehr der Linien, die sich bei der großen auflösenden Kraft des Gitters leicht bemerkbar macht. Die Selbstumkehr tritt oft mit großer Beständigkeit auf; eine Entscheidung darüber, ob Selbstumkehr vorliegt, oder ob zwei Linien vorhanden sind, ist bisweilen unmöglich. Stellt man ein Geisslerrohr so auf, daß die Kapillare senkrecht zum Spalt gerichtet ist, so hat man zwar bedeutend mehr Licht, als wenn die

lich gewesen waren, hat mich Hr. Prof. Dr. F. Paschen aufmerksam gemacht.

1) Ch. Fabry u. A. Perot, *Compt. rend.* **130.** p. 406—409. 1900.

Kapillare quer oder parallel zum Spalt steht, aber die Linien kehren sich leicht um. So gab mir bei Längssicht eine Heliumröhre, die unter 10 mm Druck gefüllt war, im Stufengitter Hauptlinie und Trabant von λ 5876 in Selbstumkehr; parallel zum Spalt gestellt, zeigte sich keine Umkehr, ebenso auch nicht bei Längssicht, wenn der Druck in der Röhre nur 5 oder 3 mm stark war. Weitere Fälle von Selbstumkehr wird man im folgenden noch zahlreich finden.

Die Quecksilberlinien.

Die bisher durch verschiedene Methoden gewonnenen Resultate stimmen auch nicht angenähert miteinander überein. Es war also nötig, die Leuchtbedingungen möglichst zu variieren, um festzustellen, ob die Abweichungen auf Veränderungen in den Komponenten einer Linie zurückzuführen seien.

Die Quecksilberlinien im Bogen.

Die Quecksilberbogenlampe von Arons¹⁾ in der Form, die ihr O. Lummer²⁾ gegeben hat, lieferte das brauchbarste Licht zur Bestimmung der Trabanten der Quecksilberlinien. Bei 30 Volt Klemmspannung schaltete ich 0,8 Ohm vor die Lampe, so daß sie mit 10–11 Amp. brannte. Das Beschlagen der herausragenden Enden wurde durch eine kleine Heizspirale beseitigt. Die Wasserkühlung wirkt bei dieser Form der Lampe direkt auf den brennenden Lichtbogen. Dadurch wird die Temperatur des Bogens so herabgesetzt, daß die ausgesandten Linien eine sehr große Schärfe besitzen.

Weniger brauchbar, wenigstens für bestimmte Linien, ist die Quarzlampe von Heraeus-Hanau (110 Volt, 2,5 Amp.). In den ersten 1–2 Minuten ihres Brennens gibt sie alle Linien in derselben Schärfe wie die Lummersche Lampe. Allein bald verbreitern sich viele Linien infolge gesteigerter Temperatur und erhöhten Druckes des Quecksilberdampfes. Außerdem stand mir noch eine kleine Quarzlampe von Heraeus (220 Volt) zur Verfügung. Durch Ausschalten des vorgelegten

1) L. Arons, Wied. Ann. 58. p. 73–85. 1896.

2) O. Lummer, Zeitschr. f. Instrumenk. 21. p. 201–204. 1901.
Die dort in Fig. 2 und 4 abgebildete Form ist von mir benutzt worden.

Widerstandes kann Temperatur und Dampfdruck im Bogen beträchtlich erhöht werden; Hand in Hand geht damit auch eine große Lichtsteigerung. An Widerstand wird anfänglich ca. 350 Ohm vorgelegt. Die Form dieser kleinen Quarzlampe ist aus Fig. 4 ersichtlich. Q_1 und Q_2 sind die Oberflächen des Quecksilbers. Um die Lampe zu entzünden, wird der eine Pol eines ganz kleinen Induktionsapparates an die Quecksilberkathode, der andere Pol an den Draht R gelegt, den man 1—2 mm über dem Niveau der Quecksilberkathode außen um das Rohr herumlegt; wird nun das Quarzrohr an der Kathode mit einem Bunsenbrenner erwärmt, so erfolgt die Zündung durch einen geringen Induktionsstrom. Die Lampe brennt je nach dem vorgelegten Widerstand mit 0,2—0,5 Amp. Bei zu hoher Beanspruchung, d. h. wenn der Vorschaltwiderstand nicht mehr als 110 Ohm beträgt, erlischt die Lampe von selbst.

Fig. 4.

Die folgenden in Tabellen dargestellten Messungen und Intensitätsangaben und die Photographien¹⁾, Taf. I, Nr. 1—7, beziehen sich nur auf die Lummersche Lampe, die die feinsten Spektrallinien gibt. Die Hauptlinie, d. i. die stärkste Linie aller Komponenten, ist in zwei Ordnungen von gleicher Intensität sichtbar; zwischen diesen beiden Linien sind sämtliche Trabanten zu suchen, und zwar liegen nach links von der Hauptlinie die Komponenten größerer Wellenlänge, nach rechts zu die kleineren Wellenlänge.

Da die ganz schwachen Trabanten, die nur $\frac{1}{10}$ der Intensität der Hauptlinie besitzen, in der Reproduktion meist nicht sichtbar sind, habe ich noch in Fig. 5—11 die Zusammensetzung der Linien durch Zeichnung dargestellt. Die Intensität der Linien ist als Ordinate aufgetragen, die Kom-

1) Die Photographien sind vielfach aufgenommen worden; sie zeigten immer das gleiche Aussehen der Linien.

ponenten in Entfernungen von der Hauptlinie, gemäß ihrem $d\lambda$. Um den Vergleich mit den Photographien zu erleichtern, habe ich nach links von der Hauptlinie die Trabanten größerer Wellenlänge, nach rechts die kleinerer Wellenlänge gelegt.

$$\lambda = 5790 \text{ \AA.-E. (gelb).}$$

Vgl. Taf. I, Nr. 1 und Fig. 5. Belichtungsdauer 15 Min. Entfernung der Ordnungen $d\lambda_{\max} = 0,542 \text{ \AA.-E.}$, Grenze der

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Auflösung $\delta\lambda = 0,016 \text{ \AA.-E.}$ In Taf. I, Nr. 1 ist rechts von der rechten Ordnung der Hauptlinie noch eine schwache Linie zu sehen. Es ist dies nur eine Wiederholung der Komponente $-0,119$.

Die Komponenten sind:

$$+0,230 \left(\frac{1}{7}\right); +0,168 \left(\frac{1}{10}\right); +0,132 \left(\frac{1}{7}\right); +0,084 \left(\frac{1}{9}\right);$$

$$\text{Hauptlinie } (1); -0,119 \left(\frac{1}{6}\right); -0,187 \left(\frac{1}{10}\right); -0,251 \left(\frac{1}{10}\right).$$

Die eingeklammerten Zahlen bezeichnen die Intensität und haben nur angenäherte Gültigkeit.

Die Linien sind sämtlich sehr scharf. Die Wiedergabe der Photographie der Linien läßt die Komponenten $-0,187$ und $-0,251$ nicht erkennen. Sie sind auch auf den Platten

kaum sichtbar. Der Trabant + 0,168 ist nur am oberen Rande zu sehen. Die übrigen Linien wird man leicht wieder-erkennen.

Die große Quarzlampe lieferte dieselben Linien nur während der ersten 2 Minuten ihres Brennens in gleicher Schärfe. Dann aber wurden die Linien unscharf, sie verschwammen endlich in dem immer heller werdenden Hintergrund, so daß man nur noch die drei stärksten Komponenten als sehr verwaschene Linien wahrnehmen konnte. Eine Messung dieser Komponenten ergab + 0,236; + 0,136; 0,000; - 0,124. Wenn man die Unschärfe und Breite der Trabanten und der Hauptlinie berücksichtigt, so ist die Übereinstimmung doch noch gut zu nennen.

Die kleine Quarzlampe gab zu Beginn ihres Brennens natürlich dasselbe Resultat wie die größere Quarzlampe. Wurde aber der Widerstand bis auf 120 Ohm ausgeschaltet, so nahm die Helligkeit der Komponenten und der Hauptlinie rasch zu. Sie kehrten sich zum Teil um, so daß ca. zehn nahe gleichstarke Linien sichtbar waren. Dies konnte nur in der ersten Minute nach der Zündung beobachtet werden. Dann verbreiterten sich die Linien und hoben sich immer weniger von dem heller werdenden Hintergrunde ab; *schließlich konnte man, wenn in zwei Ordnungen beobachtet wurde, in einer diffusen Helligkeit sechs äquidistante verwaschene Streifen*, wie es Fig. 12 darstellt, *sehen*. Es würde also die Linie selbst aus fünf äquidistanten Streifen bestehen. In Fig. 12 ist über diesen Streifen das entsprechende Bild, wie es die Lummersche Lampe von dieser Linie gibt, gezeichnet. Ich habe beides gleichzeitig beobachtet, indem ich das Licht einer der beiden Lampen durch ein Vergleichsprisma mit totaler Reflexion gleichzeitig in das Stufengitter schickte.

Fig. 12.

$$\lambda = 5769 \text{ \AA.-E. (gelb).}$$

Vgl. Taf. I, Nr. 2 und Fig. 6. Belichtungsdauer 15 Min.
 $d\lambda_{\text{max.}} = 0,538 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,016 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

$$+ 0,120 (^{1/10}); + 0,087 (^{1/10}); + 0,046 (^{1/3});$$

$$\text{Hauptlinie (1); } - 0,050 (^{1/4}); - 0,113 (^{1/8}).$$

In Nr. 2 der Reproduktionen treten die Linien nicht in der wirklichen Schärfe hervor, weil die starken Linien sehr nahe beieinander liegen. Will man auch die ganz schwachen Trabanten auf der Photographie erhalten, so muß etwas länger belichtet werden. Dann schwärzen aber die stärkeren Komponenten die Platte so sehr, daß sie sich nicht mehr in ihrer wahren Schärfe abheben. Bei Okularbeobachtung kann man in dem Raum zwischen den beiden Hauptlinien noch eine Reihe ganz feiner schwacher Linien sehen. Jedoch ist über deren Lage und Zahl ihrer Feinheit wegen nichts Bestimmtes anzugeben. Die Komponente $+ 0,087$ ist in Nr. 2, Taf. I unsichtbar; gerade noch zu erkennen ist $+ 0,120$. Die starke Komponente $+ 0,046$ tritt namentlich in der oberen Hälfte links von der rechten Ordnung der Hauptlinie gut hervor, ebenso auch die starke Komponente $- 0,050$ rechts von der linken Ordnung der Hauptlinie. Der schwache Trabant $- 0,113$ ist deutlich wahrzunehmen.

Beide Quarzlampen lieferten wieder dasselbe Resultat wie bei 25790. Nach 2 Minuten ist nur noch die Hauptlinie zu sehen, deren Intensität nach beiden Seiten hin allmählich abnimmt. Mit der kleinen Quarzlampe können die fünf äquidistanten, verwaschenen Streifen wieder beobachtet werden, wenn man genügend Widerstand ausschaltet.

$$\lambda = 5461 \text{ \AA.-E. (hellgrün).}$$

Vgl. Taf. I, Nr. 3 und Fig. 7. Belichtungsdauer 5 Min.
 $d\lambda_{\text{max.}} = 0,476 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,014 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

$$+ 0,133 (^{1/8}); + 0,088 (^{1/3});$$

$$\text{Hauptlinie (1); } - 0,066 (^{1/7}); - 0,099 (^{1/10}); - 0,232 (^{1/5}).$$

Die hier angegebenen Linien treten sämtlich auf der in Taf. I, Nr. 3 mitgeteilten Photographie scharf hervor; auch der schwache Satellit $- 0,099$ ist gut sichtbar. Die Komponente $- 0,232$ liegt nahezu in der Mitte zwischen den beiden

Maxima der Hauptlinie. Sie könnte also auch als $+0,244$ angesehen werden. Die Hauptlinie ist umgekehrt. In der Reproduktion ist die Selbstumkehr kaum zu sehen, dagegen kann sie mit dem Okular deutlich wahrgenommen werden.

Die große Quarzlampe lieferte dasselbe Resultat, mit dem einzigen Unterschied, daß die Umkehr ein wenig mehr hervortrat. Während bei der Lummerschen Lampe die Entfernung beider Teile der Umkehr $0,027 \text{ \AA.-E.}$ betrug, war bei der Quarzlampe eine solche von $0,036$ vorhanden. Und mittels der kleinen Quarzlampe konnte man durch Ausschalten von Vorschaltwiderstand die beiden Teile immer weiter auseinandertreiben, so daß sie schließlich fast mit den benachbarten Trabanten zusammenfielen. Die Komponenten gewannen gleichzeitig beträchtlich an Stärke bis auf die Komponente $-0,232$. Legte man 440 Volt mit einem anfänglichen Widerstand von ca. 750 Ohm an und verminderte diesen bis auf etwa 150 Ohm , so zeigten sich wieder die fünf äquidistanten verschwommenen Linien (Fig. 13) wie bei den beiden gelben Linien. Das Eintreten dieser Erscheinung konnte bei den folgenden Linien nicht mehr beobachtet werden.

Fig. 13.

$\lambda = 4916 \text{ \AA.-E.}$ (dunkelgrün, lichtschwach).

Weder die Lummersche Lampe noch die Quarzlampe ließen Trabanten erkennen, trotz mehr als einstündiger Exposition und mehrfachen Versuchs mit allen drei verwendeten Plattensorten.

$\lambda = 4359 \text{ \AA.-E.}$ (indigo).

Vgl. Taf. I, Nr. 4 und Fig. 8. Belichtungszeit 10 Min.
 $d\lambda_{\text{max}} = 0,282 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,009 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

$+0,121 \left(\frac{2}{3}\right); +0,105 \left(\frac{2}{3}\right); +0,043 \left(\frac{1}{4}\right); +0,020 \left(\frac{1}{5}\right);$
 Hauptlinie (1); $-0,023$ (1); $-0,052 \left(\frac{1}{7}\right); -0,097 \left(\frac{2}{3}\right);$
 $-0,112 \left(\frac{2}{3}\right).$

Hier kann man eigentlich von einer Hauptlinie nicht sprechen. Ich habe willkürlich eine von den beiden stärksten Linien als Hauptlinie angenommen. Die Trennung derselben kann man in der Reproduktion in der linken Ordnung noch erkennen, auch die beiden schwachen Linien $+0,020$ und $-0,052$ sind gerade noch zu sehen; dagegen sind hier die Doppellinien $+0,121$ und $+0,105$ und ebenso $-0,097$ und $-0,112$ nicht mehr getrennt wahrzunehmen. Meine Platten zeigen die Trennung aber noch sehr deutlich. Diese Doppellinien differieren um $0,016$ bez. $0,015 \text{ \AA.-E.}$ Wenn man erwägt, daß die Linien hier sämtlich verwaschen sind, so folgt, daß bei schärferen Linien auch ein $\delta\lambda = 0,009 \text{ \AA.-E.}$ noch beobachtet werden könnte, d. h. eben, daß das Stufengitter die von der Theorie geforderte Auflösung auch wirklich gibt. Freilich konnte diese hohe Auflösung nur dadurch erreicht werden, daß der zweite Spalt Sp_2 Fig. 1 so eng gestellt wurde, daß er nur noch eine ganz minimale Lichtmenge hindurchließ. Die Platte erforderte zur Belichtung 10 Min., eine für die starke und auf die photographische Schicht sehr wirksame Linie lange Zeit.

Mit dem bloßen Auge beobachtet man als Hauptlinie ein breites Band, das etwa von $-0,020$ bis $+0,052$ reicht, die beiden Doppellinien und $+0,043$.

Die Quarzlampe gibt die Linien noch weniger scharf. Das breite Band, das man hier als Hauptlinie ansieht, umschließt auch noch $+0,043$; auf der photographischen Platte kann man in ihm drei Linien wahrnehmen, eine stärkere in der Mitte, begleitet von einer schwächeren auf beiden Seiten. Die beiden starken Doppellinien sind hier als solche nicht zu erkennen. Die Ausmessung der Platten ergab: $+0,106 (\frac{1}{3})$; $+0,035 (\frac{1}{4})$; $+0,000 (\frac{1}{2})$; $-0,036 (\frac{1}{4})$; $-0,111 (\frac{1}{3})$. Die eingeklammerten Zahlen geben die Intensitäten an, wobei die Intensität der drei Linien in dem breiten Bande zusammengenommen als 1 angesetzt ist.

Es ist nicht unmöglich, daß die Doppellinien $+0,121$ und $+0,105$; $0,000$ und $-0,023$; $0,097$ und $-0,112$ nichts anderes sind als bloße Umkehrungen. Doch konnte diese Frage nicht entschieden werden.

$\lambda = 4348 \text{ \AA.-E.}$ (indigo, lichtschwach).

Vgl. Taf. I, Nr. 5 und Fig. 9. Belichtungszeit 15 Min.
 $d\lambda_{\text{max.}} = 0,280 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,008 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

+ 0,083 ($1/7$); + 0,053 ($1/7$); Hauptlinie (1); - 0,046 ($1/6$).

Die Linien sind mäßig scharf; die Quarzlampe gab keinen deutlich erkennbaren Trabanten.

$\lambda = 4339 \text{ \AA.-E.}$ (indigo, lichtschwach).

Belichtungszeit 20 Min. $d\lambda_{\text{max.}} = 0,279 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,008 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

+ 0,06 ($1/10$); Hauptlinie (1); - 0,12 ($1/10$).

Diese Linie ist nicht in Taf. I enthalten, weil die Komponenten zu schwach waren, um sie erfolgreich wiedergeben zu können.

$\lambda = 4078 \text{ \AA.-E.}$ (violett).

Vgl. Taf. I, Nr. 6 und Fig. 10. Belichtungszeit 5 Min.
 $d\lambda_{\text{max.}} = 0,239 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,007 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

+ 0,074 ($1/9$); + 0,049 ($1/4$); + 0,032 ($1/10$);

Hauptlinie (1); - 0,046 ($1/6$); - 0,076 ($1/6$).

Die schwache Komponente + 0,074 ist gerade noch links neben der starken + 0,049 wahrzunehmen. Von + 0,032 sieht man eigentlich nichts weiter als eine Art Abschattierung von + 0,049.

Mit der Quarzlampe erhielt ich die schwachen Linien + 0,032 und + 0,074 nicht mehr auf der Platte.

$\lambda = 4047 \text{ \AA.-E.}$ (violett).

Vgl. Taf. I, Nr. 7 und Fig. 11. Belichtungszeit 3 Min.
 $d\lambda_{\text{max.}} = 0,235 \text{ \AA.-E.}; \delta\lambda = 0,007 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

+ 0,067 ($1/2$); Hauptlinie (1); - 0,051 ($3/4$); - 0,111 ($1/3$).

Die Komponenten sind sämtlich unscharf. Es ist möglich, daß hier ein Übereinanderlagern verschiedener Satelliten stattfindet. Die Linie - 0,111 könnte auch als zur positiven

Seite der Hauptlinie gehörig angesehen werden; dann wäre $d\lambda = + 0,124 \text{ \AA.-E.}$ Hier macht sich die große Nähe der Spektren schon recht unangenehm bemerkbar.

Die Quarzlampe zeigte dasselbe wie die Lummersche Lampe.

Die Linien des Quecksilberfunkenpektrums in atmosphärischer Luft.

Zwei U-förmig gebogene Glasröhren mit Quecksilber dienten als Elektroden. Benutzt wurde ein großer Induktionsapparat¹⁾, dessen Maximalleistung 60 cm lange Funken sind, mit 70 Volt, 6—8 Amp. und Turbinenunterbrecher im Primärkreis. Der im Funken sich entwickelnde Quecksilberdampf wurde durch eine Wasserstrahlpumpe in einen über der Funkenstrecke angebrachten Trichter gesogen.

Da ich bei vielen Metallen durch Einschalten von Selbstinduktion und Parallelschalten von 6—10 großen Leidener Flaschen leidlich scharfe Linien erzeugen konnte, so versuchte ich dies auch hier zu erreichen, allein vergeblich. Keine einzige der oben zerlegten Linien konnte im Stufengitter als wirkliche Linie beobachtet werden. Dagegen trat ein anderer merkwürdiger Umstand auf. $\lambda = 5461, 4359, 4078, 4047$ wiesen nämlich ein ganz gleiches Aussehen auf: fünf äquidistante verwaschene Streifen auf ziemlich hellem Hintergrunde, d. h. dieselbe Erscheinung, die oben für die kleine Quarzlampe beschrieben ist (p. 49 und 51; vgl. auch Fig. 12 und 13). Diese Streifung zeigte sich bei den beiden gelben Linien in verschwindend geringem Maße, dagegen gut bei der grünen Linie $\lambda 5461$. Es war übrigens ganz gleichgültig, ob der Funke auf den Spalt projiziert wurde oder nicht, immer konnte man die Streifen in gleicher Weise sehen. Woher diese Streifen herrühren, konnte ich mir nicht erklären. Sie geben den Eindruck von Beugungsstreifen. Allein da die Linien des Funkens *gleichzeitig* mit denjenigen der Bogenlampen, die einen ganz verschiedenartigen Bau aufweisen, beobachtet und photographiert werden können, so ist es unmöglich, sie als Beugungs-

1) Von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft gebaut.

streifen zu deuten. Merkwürdig bleibt besonders, daß die Streifen für alle Linien von der Zahl 5 nicht abweichen.

Vielleicht liegt hier etwas Ähnliches vor, wie es H. Kayser im zweiten Bande seines Handbuches der Spektroskopie p. 353 beschreibt: „Noch eine merkwürdige und unerklärte Erscheinung ist zum Aussehen der Linien zu erwähnen: auf einer Aufnahme des Bleispektrums, die aus dem Anfang der neunziger Jahre stammt, erhielt ich die Abschattierung einer sehr verbreiterten Bleilinie nicht kontinuierlich, sondern aufgelöst in eine Unzahl außerordentlich nahe liegender feiner Linien, die mir den Eindruck machten, als seien sie äquidistant. Ich habe damals leider die Abstände nicht gemessen, und seitdem ist die Platte verloren gegangen. Dieselbe Linie zeigte aber auf anderen Platten kontinuierliche Verbreiterung. Später sagte mir Rowland, daß er auf einer Platte und bei einer einzigen Linie dieselbe Beobachtung gemacht habe. Jewell teilt mit, daß auch einige Fraunhofersche Linien eine solche Auflösung der Abschattierung zeigen, namentlich *H* und *K*, daneben auch einige Eisenlinien, namentlich 3720. Später gibt Jewell an, daß bei einer Ca-Aufnahme des Bogenspektrums, wobei der Dampf besonders dicht war, die Schatten der Linien *H* und *K* dieselbe Struktur zeigten; er sagt indes hier, die Linien seien nicht äquidistant, sondern ihr Abstand wachse mit der Entfernung von der eigentlichen Linie.“

Die Linien des Quecksilberfunken im Geisslerrohr.

Gewöhnliches Geisslerrohr.

Es wurde ein Induktor¹⁾ mittlerer Größe (30 cm Funkenstrecke) mit 10 Volt, 2—3 Amp. und Deprezunterbrecher im Primärkreis benutzt.

In Röhren mit gerader Durchsicht konnten die im Bogen gefundenen Komponenten am besten gesehen werden, wenn die Kapillare senkrecht auf den Spalt gerichtet war. Durch den elektrischen Funken erwärmten sich allmählich die Röhren, der Gasdruck im Innern vergrößerte sich, und die Hauptlinie und die Satelliten kamen immer deutlicher zum Vorschein.

1) Gebaut von der Firma Reiniger, Gebbert und Schall in Erlangen.

So konnte ich von $\lambda 5790$ die Trabanten $-0,119$; $+0,132$; $+0,230$; von $\lambda 5769$ die Trabanten $-0,050$; $+0,046$ und sämtliche Trabanten von $\lambda 5461$ beobachten.

Neue Komponenten oder Änderungen ihrer Entfernungen habe ich nicht bemerkt. Hierbei wie auch bei den folgenden Röhren habe ich mich auf Okularbeobachtungen der beiden gelben und der grünen Linie beschränkt.

Quecksilberröhren nach Eder und Valenta.¹⁾

Die Form der Röhre geht aus Fig. 14 hervor. Sie wurden von der Firma F. O. R. Goetze in Leipzig geliefert. Die Röhre enthält bei *e* einige Gramm Quecksilber. Der Teil zwischen *b* und *e* wird in einem Asbesthause erhitzt, so daß

Fig. 14.

das Quecksilber durch die Kapillare nach dem weiteren Teil *ba* destilliert, während der Funke hindurchgeht. Die Röhre wurde nur in Längssicht benutzt.

Die Elektroden *a* und *d* wurden mit der Sekundärwicklung eines Tesla-

transformators verbunden. Der Teil zwischen *b* und *e* wurde auf 130° – 150° erhitzt. Die Komponenten $+0,230$; $+0,132$; $+0,084$; $-0,119$ von $\lambda 5790$ erreichten bisweilen ein Drittel der Intensität der Hauptlinie. $\lambda 5769$ ließ die Trabanten wenig hervortreten. In $\lambda 5461$ erschien die Hauptlinie stets in der Weise umgekehrt, daß die Ränder als ganz schwache Linien übrig blieben; eine gleichzeitige Verbreiterung war mit der Umkehr nicht verbunden. Wäre die Linie doppelt, wie es im Quecksilberbogen auf den ersten Blick den Anschein hat, so hätten hier vier oder doch wenigstens drei solche schwache Linien vorhanden sein müssen. Die Intensität der Trabanten war hier eine ganz andere als im Bogen. Der Traband $-0,232$ war der lichtstärkste; die übrigen Satelliten

1) J. M. Eder und E. Valenta, Wied. Ann. 55. p. 480. 1895; Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse p. 134. Fig. 26. 1904.

waren untereinander gleich stark, unterschieden sich aber von $-0,232$ nicht erheblich. Wurde die Temperatur weiter bis auf 250° erhöht, so nahm die Schärfe der Hauptlinie und der Trabanten schnell ab.

Die Umkehr der Hauptlinie von $\lambda 5461$ trat nur wenig deutlich auf, sobald ein gewöhnlicher Induktionsfunke hindurchgeschickt wurde. Auch die Komponenten zeigten sich nicht so deutlich. Vorteilhafter erwies sich der mittlere Induktionsapparat (p. 55), wenn ein nach Art des Wagnerschen Hammers konstruierter Quecksilberunterbrecher verwandt wurde. Geispeist wurde der Primärkreis von 7 Akkumulatoren (14 Volt), die einen Strom von ca. 9 Amp. lieferten. Hier wurde die im Bogen schwache Komponente $+0,084$ von $\lambda 5790$ öfter ebenso stark als der Nachbar $+0,132$. Wurde jetzt durch starke Flaschenentladung das zweite Linienspektrum des Quecksilbers erzeugt, so wiesen die Trabanten von $\lambda 5790$ bisweilen eine ganz ungemeine Steigerung der Intensität auf, so daß sie nur wenig der Hauptlinie nachstanden. Von $\lambda 5769$ war wenig zu erkennen. $\lambda 5461$ zeigte sehr oft die Hauptlinie in Umkehr und die Trabanten bald stärker, bald schwächer. Doch ließen sich alle diese Erscheinungen meist ein zweites Mal nicht willkürlich hervorrufen; der Intensitätswechsel trat ein und verschwand, ohne daß irgendwelche äußere Änderung vorgenommen worden wäre. Die zahlreichen sehr starken Linien des zweiten Quecksilberspektrums¹⁾ waren zu breit, als daß sie hätten im Stufengitter als Linien beobachtet werden können. Man sah nur eine breite gleichmäßige Helligkeit, aus der sich bisweilen eine schärfere Linie abzuheben schien.

Röhre mit Außenelektroden nach Hamy.

Die nähere Beschreibung dieser Röhren folgt später. Die Kapillare ist senkrecht auf den Spalt zu gerichtet. Das Quecksilber wurde im Vakuum in die Röhren hineindestilliert.

Bei einer Temperatur von 110° — 130° im Heizkasten

1) J. M. Eder u. E. Valenta, Denkschr. der Kaiserl. Akad. der Wiss. in Wien. 61. p. 401—430. 1894; Wied. Ann. 55. p. 479—502. 1895; Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse p. 132—150. 1904; J. Stark, Ann. d. Phys. 16. p. 490—515. 1905.

konnte man bei den gelben Linien die stärkeren Trabanten gut sehen. $\lambda 5461$ zeigte stets sämtliche fünf Satelliten und außerdem die Hauptlinie umgekehrt in Spindelform, d. h. die verbreiterte Mitte war umgekehrt, die beiden Teile liefen nach oben und unten in eine Spitze zusammen. Auch die Komponente $+0,088$ kehrte sich bisweilen um. Bei einer Temperatur von ca. 280° leuchtete die Röhre überhaupt nicht mehr; bei ca. 180° — 280° zeigten die beiden gelben Linien wieder die fünf äquidistanten Streifen (vgl. p. 49).

Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit den bisherigen Beobachtungen.

Im folgenden stelle ich die Resultate anderer Untersuchungen zusammen, soweit sie mir bekannt geworden sind. Michelsons Werte habe ich den Zeichnungen entnommen, die er von den verschiedenen Linien gegeben hat.¹⁾

$\lambda = 5790 \text{ \AA.-E. (gelb).}$

Michelson	Intensität	Fabry und Perot ²⁾	Intensität	Lummer ³⁾ und Gehrcke	Houstoun ⁴⁾	Intensität	Autor	Intensität
Hauptlinie	1			12 Linien			$+0,230$	$1/7$
0,12	$1/5$						$+0,168$	$1/10$
0,13	$1/10$				$+0,139$	$+0,139$	$+0,157$	$2/5$
0,24	$1/10$				$+0,032$	$+0,035$	$+0,039$	1
		Hauptlinie	1		Imaginäre Linie			0
		$-0,131$	schwach					Hauptlinie
					$-0,032$	$-0,031$	$-0,035$	1
					$-0,072$	$-0,081$	—	$2/5$
					$-0,203$	$-0,133$	$-0,180$	$2/5$
							$-0,251$	$1/10$
								1

1) A. A. Michelson, Phil. Mag. (5) **34**. 1892, Taf. VI, Fig. 14—17.

2) Ch. Fabry u. A. Perot, Ann. de chim. et phys. (7) **16**. p. 115 bis 144. 1899.

3) O. Lummer u. E. Gehrcke, Ann. d. Phys. **10**. p. 457—477. 1903. Nachtrag p. 477.

4) R. A. Houstoun, Phil. Mag. (6) **7**. p. 456—467. 1904.

Die Michelsonsche Komponente 0,12 stimmt mit meiner Messung — 0,119, 0,13 mit + 0,132 und 0,24 mit + 0,230 gut überein.

Fabry und Perot haben wahrscheinlich die stärkste Komponente messen wollen. Daß sie nicht die anderen starken Trabanten gesehen haben, rührt offenbar von der Art der verwendeten Lichtquelle — erhitztes Geisslerrohr — her, da sich hier $\lambda 5790$ mit allen Trabanten leicht verbreitert.

Mit der Zeichnung, die O. Lummer und E. Gehrcke von dieser Linie geben, stimmt meine Beobachtung ebenso wenig als mit der Anzahl der im Nachtrag angegebenen Linien. Während ich eine Linie finde, die an Intensität die übrigen beträchtlich überragt, sehe ich dort keine in derartig dominierender Stellung.

Ganz sonderbar sind die Angaben von Houstoun; seine Messungen wurden mit einem Okularmikrometer an einem Stufengitter ausgeführt, das aus 26 je 10,23 mm dicken Glasplatten bestand. Ich habe die Intensitätsangaben der von ihm gegebenen Zeichnung entnommen. Ist an sich schon die Messung mit dem Okularmikrometer unsicher, so müssen doch Abweichungen um 0,07 Å.-E. etwas groß genannt werden, falls sie nicht Veränderungen in den Komponenten anzeigen sollen. Er will, allerdings nur bei einer einzigen Gelegenheit, bemerkt haben, daß die äußerste, nach Violett zu gelegene Komponente sich weiter nach der Seite der kleineren Wellenlängen bewegte, als der Hammerunterbrecher die Schnelligkeit der Unterbrechungen änderte. Houstoun bezieht die Abstände der Komponenten auf eine imaginäre Linie zwischen den beiden stärksten Linien. Ich habe bei $\lambda 5790$ nur eine Hauptlinie gefunden und möchte daher die Vermutung aussprechen, daß die eine der stärksten Linien Houstouns die Hauptlinie von $\lambda 5769$ ist. Die beiden gelben Linien liegen sehr nahe beieinander; wenn sie nicht ganz scharf auf die Ebene des Spaltes 2 (vor dem Eintritt in das Stufengitter, vgl. Fig. 1) fallen, können beide gleichzeitig in das Stufengitter eintreten, auch wenn der Spalt selbst so eng als möglich gestellt ist. Seine Lichtquelle ist das durch den Induktionsfunken zum Leuchten gebrachte Geissler-

Fig. 15.

rohr. Im Bogen — Quecksilber im hohlen Kohlenstab — beobachtet Houstoun eine „überraschende Umkehr“. Seine Zeichnung gebe ich in Fig. 15 wieder. E_1 ist E in der nächsten Ordnung. Gemessen wurde von der Mitte zwischen B und C aus:

A	B	C	D	E
-0,14	-0,05	+0,05	+0,16	+0,29

Die Entfernungen der Linien voneinander sind ziemlich gleich. Wahrscheinlich sind es dieselben fünf Streifen, die ich mittels der kleinen Quarzlampe, im Funken und in der Hamyröhre bei höherer Temperatur erhalten habe.

$$\lambda = 5769 \text{ \AA.-E. (gelb).}$$

Michelson	Intensität	Fabry und Perot ¹⁾	Intensität	Lummer ²⁾ und Gehrecke	Autor	Intensität
Hauptlinie 0,02	1 $\frac{1}{5}$	+ 0,048 Hauptlinie	sehr schwach 1	11 Linien	+0,120 +0,087 +0,046 Hauptlinie -0,050 -0,113	$\frac{1}{10}$ $\frac{1}{10}$ $\frac{1}{8}$ 1 $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$

Die von Michelson angegebene Linie 0,02 fand ich nicht. Fabry und Perot beobachteten auch hier nur die stärkste der Komponenten. Die elf Linien von Lummer und Gehrecke konnte ich nicht verifizieren.

J. Barnes³⁾ findet: „Die beiden gelben Linien haben zahlreiche Komponenten, aber sie sind von sehr geringer Intensität, so daß übereinstimmende Resultate nicht gefunden werden konnten.“

1) Ch. Fabry u. A. Perot, l. c. p. 58.

2) O. Lummer u. E. Gehrecke, l. c. p. 58.

3) J. Barnes, Astrophys. Journ. 19. p. 190—211. 1904 und Phil. Mag. (6) 7. p. 485—503. 1904.

$$\lambda = 5461 \text{ \AA.-E. (hellgrün).}$$

Michelson	Intensität	Fabry ¹⁾ u. Perot	Intensität	Barnes ²⁾	Intensität	Gray ³⁾ u. Stewart	Intensität	Hous- toun ⁴⁾	Intensität	Lummer und Gehrcke ⁵⁾	Autor	Intensität
Haupt- linie	1	+0,136 $\frac{1}{6}$				+0,067 $\frac{3}{5}$		+0,084 $\frac{3}{5}$		21	+0,133 $\frac{1}{8}$	
0,07	$\frac{1}{10}$	+0,082 $\frac{1}{4}$	+0,04 $\frac{1}{4}$		+0,032 $\frac{3}{5}$		+0,046 $\frac{3}{5}$		Linien		+0,088 $\frac{1}{8}$	
0,10	$\frac{1}{4}$	+0,008 $\frac{1}{2}$	+0,01 $\frac{1}{8}$									
0,13	$\frac{1}{10}$	Haupt- linie	Haupt- linie		Haupt- linie		Haupt- linie		Haupt- linie		Haupt- linie	
		1	1	1	1	1	1	1	1		1	
		-0,052 $\frac{1}{6}$	-0,04 $\frac{1}{4}$	1	-0,059 $\frac{3}{5}$		-0,056 $\frac{3}{5}$				-0,066 $\frac{1}{7}$	
		-0,076 $\frac{1}{7}$	-0,09 $\frac{1}{4}$		-0,096 $\frac{3}{5}$		-0,106 $\frac{3}{5}$				-0,099 $\frac{1}{10}$	
		-0,224 $\frac{1}{3}$	-0,11 $\frac{3}{4}$		-0,208 $\frac{3}{5}$		-0,227 $\frac{3}{5}$				-0,232 $\frac{1}{5}$	

Die drei Trabanten Michelsons stimmen mit meinen Beobachtungen nahezu überein, wenn man sie $-0,066$, $+0,088$, $+0,133$ zuordnet; auch die Intensitätsangaben weisen dann eine gewisse Übereinstimmung auf.

Fabry und Perot haben die Komponente $+0,008$ nur im Michelsonrohr beobachtet. Trotz der Angabe, daß sie nur die Hälfte der Intensität der Hauptlinie habe, bin ich geneigt, sie für einen Teil der Umkehr der Hauptlinie zu halten; denn diese kehrt sich überaus leicht um. Die Zahlen sollen nur angenäherte Gültigkeit besitzen, insbesondere $-0,052$ und $-0,076$. Im Astrophys. Journ. 13. 1901, Taf. IX, Fig. 1 ist eine Photographie der Interferenzfrangen dieser grünen Linie gegeben. Man kann dort nur zwei Ringe neben dem Ringsystem der Hauptlinie sehen; einen stärkeren nach der inneren Seite, auf der die Komponenten größerer Wellenlänge liegen und einen schwächeren Ring außen. Nach Fabry und Perots Angaben fällt in diesen Ringsystemen $-0,224$ mit $+0,136$ zusammen. Es stoßen also im Apparat von Fabry und Perot zwei Ringe, d. h. zwei aufeinanderfolgende Ordnungen derselben

1) Mitgeteilt von P. Zeeman, Astrophys. Journ. 15. p. 218—222 1902.

2) J. Barnes, l. c.

3) A. Gray u. W. Stewart, Proc. Roy. Soc. 72. p. 16—21. 1904.

4) R. A. Houstoun, l. c.

5) O. Lummer u. E. Gehrcke, l. c. p. 58.

Linie noch viel näher aneinander als im Stufengitter. Da $-0,052$ und $-0,076$ nur angenäherte Werte darstellen sollen, ist die Übereinstimmung mit meinen Messungen und Intensitätsangaben sehr gut.

Das gleiche kann man nicht sagen von den Resultaten von Barnes, die nach der Fabry und Perotschen Methode gewonnen sind. „Die Resultate sind nach einer langen Reihe von Beobachtungen erzielt worden.“ Und trotz allem diese negative Übereinstimmung. Nimmt man $0,000(1)$ und $-0,040(1)$ als Umkehr der eigentlichen Hauptlinie, so ergibt sich $+0,06(\frac{1}{8})$, $+0,03(\frac{1}{16})$, $0,00(1)$, $-0,07(\frac{1}{8})$, $-0,09(\frac{3}{8})$. Wenn jetzt die Zahlen etwas besser zu sein scheinen, so fügt sich doch die Intensitätsangabe bei den Komponenten gar nicht. Vermutlich haben also Überlagerungen von Trabanten die Resultate gefälscht.

Die Beobachtungen von Gray und Stewart und von Houstoun sind an demselben Stufengitter mit Geissleröhren gemacht worden. Die Entfernung der Komponenten wurde mit Hilfe eines Okularmikrometers geschätzt. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Messungen ist nicht beträchtlich. Sie soll es nach Houstoun auch gar nicht sein. Er will merkwürdige Änderungen in den Komponenten beobachtet haben. Bisweilen erschienen ihm die zwei Trabanten auf jeder Seite der Hauptlinie als je eine Linie, wobei aber diese eine Linie nicht die schlecht bestimmte Dopellinie sein soll. Er hat diese eine Linie auch gemessen und ihre Lage zu $-0,084$ und $+0,069$ gefunden. Dagegen muß ich bemerken, daß ich bei meinen sehr zahlreichen und langdauernden Beobachtungen solche Änderungen niemals in der Lage der Komponenten, sondern einzig und allein in ihrer Intensität wahrgenommen habe. Auch Fabry und Perot¹⁾ versichern wiederholt, niemals eine wirkliche Änderung der Wellenlänge der Hauptlinie und der Satelliten beobachtet, wohl aber merkliche Änderungen in den relativen Intensitäten von Haupt- und Nebenlinien konstatiert zu haben. So oft ich ein Geisslerrohr benutzte, mußte ich den Spalt Sp_2 (Fig. 1) wegen der Licht-

1) Ch. Fabry u. A. Perot, Compt. rend. 128. p. 1221—1223. 1899; Journ. de phys. (3) 9. p. 369—382. 1900.

schwäche der Linien ziemlich breit machen, um genügend Licht in das Gitter zu bekommen. Dann konnten kleine Verschiebungen des Linienbildes gegen den Spalt Sp_2 und ungenaue Okulareinstellung, hervorgerufen durch geringe, unmerkliche Erschütterungen des langen Tisches, auf dem das Stufengitter stand, Änderungen in der Zusammensetzung der Linien vortäuschen. Nichts anderes dürften auch die von Houstoun beobachteten Veränderungen darstellen.

Nicht unerwähnt mag bleiben, daß verschiedene Beobachter an demselben Stufengitter (21 Platten, je 1 cm hoch) eine verschiedene Anzahl von Linien bei $\lambda 5461$ gesehen haben. A. Hagenbach¹⁾ hat sechs Komponenten photographiert; O. Lummer und E. Gehecke²⁾ haben dagegen zehn Trabanten bemerkt. Diese Zahl kann wohl nur durch Umkehrungen hervorgebracht sein. In solchen Umkehrungen dürfte sonach ein Teil der 21 Komponenten, die O. Lummer und E. Gehecke mit ihrem Plattenspektroskop gefunden haben, seine Erklärung finden.

$$\lambda = 4359 \text{ \AA. (indigo).}$$

Michelson	Intensität	Barnes ³⁾	Intensität	Lummer und Gehecke ⁴⁾	Autor	Intensität
Hauptlinie 0,17	1 $\frac{1}{10}$	+ 0,04	$\frac{1}{4}$	sieben bez. vier Linien	+0,121 +0,105 +0,043 +0,020	$\frac{2}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{5}$
		Hauptlinie	1		Hauptlinie	1
		- 0,05	$\frac{1}{4}$		-0,023 -0,052 -0,097 -0,112	1 $\frac{1}{7}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{2}{3}$

Zum Vergleich füge ich noch die Resultate der Quarzlampe bei: +0,106 ($\frac{1}{3}$), +0,035 ($\frac{1}{4}$), 0,000 ($\frac{1}{2}$), -0,036 ($\frac{1}{4}$),

1) A. Hagenbach, Ann. d. Phys. 13. p. 362—374. 1904.

2) O. Lummer u. E. Gehecke, Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt 4. p. 61—84. 1904.

3) J. Barnes, l. c.

4) O. Lummer u. E. Gehecke, l. c. p. 58.

$-0,111 (\frac{1}{3})$. Anstatt der äußeren Werte könnte es bei anderer Zuordnung dieser Komponenten auch heißen: $-0,176$ und $+0,171$. Dann würde die Michelsonsche Komponente eine dieser beiden sein.

Für die übrigen Linien liegen Messungen nicht vor, sondern nur Angaben über die Zahl der Komponenten.

Nach Lummer und Gehrcke besteht die dunkelgrüne, schwache Linie $\lambda 4916$ außer der Hauptlinie aus vier bez. drei Trabanten.¹⁾ Ich habe mit dem Stufengitter Trabanten weder sehen noch photographieren können. Auch die kleine Quarzlampe, die durch Ausschalten von Vorschaltwiderstand ein immer stärker werdendes Licht gibt, ließ Trabanten nicht hervortreten.

A. Hagenbach und H. Konen²⁾ haben mit einem großen Konkavgitter von 88000 Furchen Teile des Quecksilberbandenspektrums in der zweiten Ordnung photographiert und gleichzeitig auch einzelne Linien erhalten, die eine ganze Reihe von Komponenten aufwiesen. Danach besteht $\lambda 4348$ aus einer starken Linie mit zwei Trabanten auf jeder Seite; $\lambda 4339$ ist fünffach mit einer ähnlichen Anordnung der Trabanten.

Auch bei den beiden violetten Linien $\lambda 4078$ und $\lambda 4047$ herrscht keine Übereinstimmung zwischen den Angaben von Lummer und Gehrcke, Hagenbach und Konen und meinen Beobachtungen. Freilich macht sich hier beim Stufengitter die große Nähe der Spektren recht unliebsam bemerkbar, so daß Überlagerungen von Trabanten sehr wahrscheinlich sind.

	Lummer und Gehrcke ¹⁾	Hagenbach und Konen ²⁾	Autor
$\lambda 4348$	—	5 fach	4 fach
$\lambda 4339$	—	5 „	3 „
$\lambda 4078$	4 fach	7 „	6 „
$\lambda 4047$	5 „	7 „	4 „

A. Hagenbach und H. Konen haben die Linien $\lambda 4348$ und $\lambda 4047$ in 11,4facher Vergrößerung an der unten ge-

1) O. Lummer u. E. Gehrcke, l. c. p. 58.

2) A. Hagenbach u. H. Konen, Zeitsch. f. wiss. Photographie I. p. 342—346. 1903.

nannten Stelle wiedergegeben. Von den Zusammensetzungen ist leider zu wenig zu sehen, als daß ein genauer Vergleich mit meinen Photographien möglich gewesen wäre. Die in Aussicht gestellten Resultate der Vermessung habe ich nirgends auffinden können. Fraglich scheint es mir, ob A. Hagenbach und H. Konen die von mir im Stufengitter erhaltenen Trabanten mit ihrem Gitter haben ermitteln können; jedenfalls müßten sie dann auch den größten Teil der Komponenten der beiden starken gelben und der hellgrünen Linie sehen können.

Die Kadmiumlinien.

Größere Bedeutung als die Quecksilberlinien haben die Kadmiumlinien erhalten, seit Michelson¹⁾ das Meter in Wellenlängen dieser Linien ausgedrückt hat. Auch hier weichen die Resultate ziemlich stark voneinander ab, jedoch nicht so sehr wie bei den Quecksilberlinien. Dies könnte man dem Umstand zuschreiben, daß sie noch nicht so häufig untersucht worden sind.

Kadmium im Funken gibt (auch mit Selbstinduktion bei sehr starker Flaschenentladung) kein genügend homogenes Licht, um die sehr dicht an der Hauptlinie liegenden Trabanten zu beobachten. Eine Kadmiumamalgamlampe²⁾ stand mir nicht zur Verfügung. Doch glaube ich nicht, daß sie besonders günstig ist, weil, wie man später sehen wird, die Hauptlinien von λ 5086, 4800 und 4678 sich leicht umkehren. Meine eigentlichen Beobachtungen erstrecken sich daher nur auf das Geisslerrohr, in welchem Kadmium zum Verdampfen gebracht wird.

Verwendete Lichtquelle.

Die Michelsonsche Kadmiumlampe wurde genau nach den Angaben Michelsons¹⁾ hergestellt. Fig. 16 stellt die Lampe im Querschnitt dar. Die Röhren wurden im Heizkasten auf einer Temperatur von ca. 350° gehalten. Als Induktorium benutzte ich das oben erwähnte mittlerer Größe

1) A. A. Michelson, l. c. p. 37. Vgl. auch Zeitschr. f. Instrumentenk. 22. p. 293—311. 1902.

2) O. Lummer u. E. Gehreke, Zeitschr. f. Instrumentenk. 24. p. 296 bis 298. 1904.

von 30 cm Schlagweite mit fünf Akkumulatoren (10 Volt) und Drepegunterbrecher im Primärkreis.

Die Röhren wurden von F. O. R. Goetze-Leipzig geliefert. Sie erfreuten sich einer nur geringen Lebensdauer, da das Glas an den Einschmelzstellen der Platindrähte meist schon nach kurzem Gebrauch Risse bekam. Die von Fabry und Perot¹⁾ empfohlene Art der Lichterregung durch einen Gleichstrom von 700–800 Volt konnte ich nicht anwenden, weil die dazu nötigen 500 kleinen Akkumulatoren fehlten. Mit der Michelsonlampe habe ich nur Okularbeobachtungen gemacht.

Fig. 16.

Hamy²⁾ empfahl, um den unangenehmen Eigenschaften der Michelsonröhren zu entgehen, statt Innenelektroden Außenelektroden. Würden diese durch Graphit in möglichst innige Berührung mit dem Glase der Röhre gebracht, so sei ein Durchschlagen des Funkens fast ausgeschlossen, besonders wenn man noch Kapazität in den Sekundärkreis des Induktoriums einschalte. Um eine hohe Leuchtkraft zu erhalten, wählte ich die Dimensionen ziemlich groß. Die weiteren Teile hatten eine Länge von ca. 7 cm und einen Durchmesser von 3 cm, die Kapillare eine Länge von 5 cm. Der Röhre suchte ich eine möglichst hohe Evakuuation zu geben. Dazu benutzte ich die von Dewar³⁾ entdeckte Eigenschaft der Holzkohle, bei der Temperatur der flüssigen Luft fast alle Gase in einem überaus hohen Maße zu absorbieren. Einige Kubikzentimeter ausgeglühter Kokosnußkohle wurden in das erweiterte Ende eines durch einen Hahn abschließbaren Seitenrohres gebracht. Die von der Kohle absorbierten Gase wurden unter fortwährendem Erwärmen ausgetrieben und der Hahn abgeschlossen. Darauf wurden die Spektralröhren, die chemisch reines Kadmium⁴⁾ enthielten, an die Pumpe angeschlossen und möglichst stark evakuiert. Um die an den Glaswänden haftenden Gase völlig loszulösen, erwärmte ich

1) A. Perot u. Ch. Fabry, l. c. p. 62.

2) M. Hamy, *Compt. rend.* **124**. p. 749–752. 1897.

3) J. Dewar, *Compt. rend.* **139**. p. 261–264. 1904.

4) Von Merck-Darmstadt bezogen.

die Spektralröhren in einem elektrischen Ofen unter fortwährendem Evakuieren auf etwa 450° . Dann wurde die Kohle in flüssige Luft getaucht, der Hahn geöffnet und nach etwa 15 Minuten die Röhre abgeschmolzen.¹⁾ Die flüssige Luft wurde mir in zuvorkommender Weise von Hrn. Privatdozenten Dr. Erdmann zur Verfügung gestellt.

Ein ca. 3,5 cm langes Messingrohr, die Außenelektrode, wurde über die weiten Teile der Röhre geschoben, der Zwischenraum zwischen Glas und Messing mit fein pulverisiertem Graphit verstopft, und die Enden mit zerriebenem Asbest verkittet, um das Herausfallen des Graphits zu verhindern. Der Heizkasten aus starkem Eisenblech war 30 cm lang, je 11 cm hoch und breit. Seine Form und die Art der

Fig. 17.

Aufhängung der Röhren ist aus Fig. 17 ersichtlich. Die Fenster sind so angebracht, daß man die Kapillare senkrecht und quer zum Spalt stellen kann. Der Messingmuff besitzt in der Mitte eine Rille; um diese wurde ein Messingdraht geschlungen und, durch Glas- und Porzellanröhrchen isoliert, nach außen geführt. Kleine Klemmschrauben faßten am Ende dieser Glasröhrchen die Messingdrähte und hielten die Spektralröhren in der gewünschten Höhe. Durch eine dritte Öffnung auf der Oberseite des Heizkastens wurde ein Thermometer eingeführt. Drei Bunsenbrenner sorgten für eine Temperatur von 350° im Innern des Heizkastens. Das Ganze wurde von einem Gehäuse aus starker Asbestpappe umgeben; durch Glimmerblättchen trat das Licht aus. Um durch die starke Wärmestrahlung das Kollimatorrohr nicht zu gefährden, wurde noch eine Glasscheibe zwischen den Spalt Sp_1 und das Asbesthaus gestellt und diese bis auf die Öffnung zur Durchsicht mit Asbestpapier bedeckt. Eine Linse projizierte das Licht auf den Spalt.

Es wäre eigentlich nicht nötig gewesen, die Dimensionen

1) Ein Silber- und Goldschaumrohr wehrte den Quecksilberdämpfen erfolgreich den Eintritt in die Spektralröhren.

des Heizkastens so groß zu nehmen, da ein Überspringen des Induktionsfunkens nach den Wänden ausgeschlossen ist, besonders wenn man zur Vorsicht eine Funkenstrecke der Röhre parallel schaltet. Auch die Länge der Kapillare könnte auf den fünften Teil herabgesetzt werden. Ich hatte sie so lang gewählt, weil ursprünglich die Röhre im Kasten an der Kapillare befestigt werden sollte.

Bezüglich des Induktoriums gelten die p. 66 gemachten Angaben. Außerdem wurden dem Sekundärkreis zwei große Leidener Flaschen parallel geschaltet. Die Röhren leuchteten blau mit einem Schimmer ins Rote und gaben sehr starke und scharfe Linien. Um ein möglichst intensives Licht zu erhalten, stellte ich die Kapillare senkrecht zum Spalt. Sehr bald aber machten sich zwei Übelstände bemerkbar. An der Kathode schlug sich unter der Einwirkung des Funkens Kadmium in Form von kleinen Tröpfchen nieder, an der Anode löste sich Natrium aus dem Glase.¹⁾ Der Natriumdampf nahm schnell — schon nach einstündigem Gebrauch — so zu, daß er nicht nur den Kadmiumdampf verdrängte, sondern auch das Glas gelb bis rotbraun färbte. Auch Hamy hat die *D*-Linien in seinen Röhren gefunden; allein sie sind offenbar nicht störend aufgetreten wie in meinen Röhren. Jenaer Glas 16^m besserte nichts. Röhren aus alkalifreiem Glase waren nicht haltbar genug. Weitere Versuche an anderen Gläsern habe ich nicht angestellt.

Diesen Übelständen konnte ich in der Weise begegnen, daß ich als Anode die von dem Spalt weiter abgelegene Elektrode wählte; durch vorsichtiges Regulieren des Deprezunterbrechers wurde der hier sich bildende Natriumdampf an zu starkem Auftreten und weiterer Ausbreitung gehindert. In die Röhren selbst brachte ich eine nur geringe Menge Kadmium, damit sich nicht an der Durchsichtsstelle allzuviel niederschlagen konnte; nach längerem Gebrauch wurden die Metalltröpfchen durch Erwärmen mit dem Bunsenbrenner vertrieben. Durch längeres Exponieren erhielt ich die Komponenten auf der Platte.

Taf. I, Nr. 8—13 stellt drei Kadmiumlinien dar. Nr. 8,

1) Es war Gehlberger Glas.

10, 12 gibt die wahre Beschaffenheit der betreffenden Linien; die Kapillare stand quer zum Spalt. Nr. 9, 11, 13 zeigt dieselben Linien bei Längssicht. Die Hauptlinie ist hier umgekehrt. Bei den Aufnahmen Nr. 8—13 hatten die beiden Spalte des Stufengitters genau die nämliche Breite. Der Innendurchmesser der Kapillaren der verwendeten Spektrallröhre betrug 1,5 mm. Eine Kapillare von 0,5 mm Durchmesser zeigte in Quersicht die Trabanten deutlicher, aber die enge Kapillare setzte dem Durchgang des Funkens so viel Widerstand entgegen, daß der Deprezunterbrecher in der nötigen vorsichtigen Weise nicht gebraucht werden konnte.

Die Photogramme sind sämtlich wie bei den Quecksilberlinien so wiedergegeben, daß links von den Hauptlinien die Trabanten größerer, rechts von den Hauptlinien diejenigen kleinerer Wellenlänge liegen.

Die Zusammensetzung der Kadmiumlinien.

$$\lambda = 6439 \text{ \AA.-E. (rot).}$$

Diese schöne rote Linie habe ich stets einfach erhalten. Auch Michelson, Fabry und Perot, und Hamy finden sie einfach. Barnes¹⁾ will eine Komponente $-0,01 \text{ \AA.-E. } (\frac{1}{6})$ beobachtet haben. Eine Komponente in solcher Nähe der Hauptlinie gibt das Stufengitter nicht getrennt, wenigstens nicht im roten Teile des Spektrums. Nach Lummer und Gehrcke²⁾ besitzt diese Linie drei deutlich erkennbare Trabanten. Wenn „die Größenordnung der Wellenlängendifferenz dieser Trabanten gegen die Hauptlinie größer ist als $\frac{1}{100000}$ der Wellenlänge“, wie Lummer und Gehrcke angeben, so hätte ich die Komponenten im Stufengitter sehen müssen.

$$\lambda = 6325 \text{ \AA.-E. (rot).}$$

In der Röhre mit Außenelektroden ist diese schwache Linie doppelt, der Trabant viel schwächer als die Hauptlinie; in der Michelsonröhre ist sie nicht vorhanden. Da die Linie an sich schwach ist, habe ich sie nicht photographiert. Hamy³⁾ findet dasselbe Resultat.

1) J. Barnes, l. c.

2) O. Lummer u. E. Gehrcke, l. c. p. 58.

3) M. Hamy, Compt. rend. 130. p 489—492. 1900.

$$\lambda = 5155 \text{ \AA.-E. (grün).}$$

Diese Linie ist sehr scharf, einfach und fast ebenso stark als λ 6439 und λ 5086. Nach Hamy¹⁾ ist sie ebenfalls einfach.

$$\lambda = 5086 \text{ \AA.-E. (grün).}$$

Vergl. Taf. I, Nr. 8 und 9 und Fig. 18. Belichtungszeit 15, bez. 10 Min. $d\lambda_{\max.} = 0,405 \text{ \AA.-E.}$; $\delta\lambda = 0,012 \text{ \AA.-E.}$

Die Komponenten sind:

$$+ 0,076 \text{ (} \frac{1}{6} \text{)}; \text{ Hauptlinie (1); } - 0,026 \text{ (} \frac{1}{8} \text{)}.$$

In Taf. I, Nr. 8 und 9 ist die nämliche Linie λ 5086 dargestellt, wie sie die Röhre mit Außenelektroden gibt, Nr. 8 bei Quersicht, Nr. 9 bei Längssicht. Genau dasselbe Aussehen wie Nr. 8 gab die Michelsonlampe. Wenn man die Hauptlinie in der Ordnung auf der linken Seite betrachtet, so bemerkt man leicht, daß sie nach links scharf abgeschnitten ist, nach rechts dagegen verbreitert erscheint. Dies tritt besonders

Fig. 18.

deutlich hervor, wenn man auf die Lage der Spitzen der Linie achtet. Die Verbreiterung stellt die Komponente $-0,026$ dar. Die Komponente $+0,076$ ist links von den Hauptlinien in beiden Ordnungen gut sichtbar. In Taf. I, Nr. 9 erscheint die Hauptlinie in Selbstumkehr. In Längssicht habe ich die Hauptlinie nie anders als umgekehrt erhalten.²⁾ Ohne weiteres sieht man es den Linien gar nicht an, daß das Doublet eine Umkehr ist, zumal der rechte Teil eine Verbreiterung nach der rechten Seite, eben die Komponente $-0,026$, hat. Die drei Linien in Nr. 9 haben ungefähr die gleiche Intensität. Die isolierte und sehr scharfe Komponente $+0,076$ hat Hamy¹⁾ relativ zu $\lambda = 6438,472 \text{ \AA.-E.}$ gemessen und als Wellenlänge 5085,903 gefunden. Michelson hat bei der Meterbestimmung für die stärkste Linie der Gruppe λ 5086 den Wert 5085,8240 gewonnen. Die Differenz ist 0,079; sie steht in ziemlich naher Übereinstimmung mit meiner Messung. Hamy hat offenbar die Umkehr der Hauptlinie in

1) M. Hamy, l. c. p. 69.

2) Vgl. dagegen p. 71.

seiner Lampe für zwei wirkliche Linien gehalten, denn er sagt¹⁾, daß λ 5086 aus einer einzelnen Linie und einer an Intensität gleichen Doppellinie bestehe.

Nach A. Michelson²⁾ besitzt λ 5086 einen Trabanten 0,022 ($\frac{1}{5}$). Ch. Fabry und A. Perot³⁾ bestimmen diesen Trabanten zu $-0,025$ Å.-E. Sie konnten dagegen in der Michelsonlampe eine Komponente größerer Wellenlänge nicht finden, auch wenn sie die Art der Lichterregung variierten.⁴⁾ Ich habe den Trabanten $+0,076$ in allen meinen Michelsonröhren — sieben an Zahl — beobachtet. Ch. Fabry⁵⁾ hat sodann das von der Hamyschen Röhre ausgesandte Licht mit der Michelsonlampe verglichen. Nur wenn die letztere so stark als irgend möglich evakuiert worden war, konnte er eine Spur von $d\lambda = +0,076$ entdecken. Anwesenheit von Luft schwächt die Trabanten nach den Feststellungen von Hamy.¹⁾ Deshalb nahm Fabry⁵⁾ eine Michelsonröhre, deren Elektroden aus einer Kadmiumlegierung bestanden. Die Röhre blieb an die Luftpumpe angeschlossen, so daß die Evakuierung während der Beobachtung fortgesetzt werden konnte. „Hier zeigte die Linie λ 5086 das Triplet von Hamy mit den untereinander gleichen Intensitäten der Linien.“ Die Entfernung dieser drei Linien voneinander bestimmte Fabry zu $+0,076$ und $-0,024$ Å.-E., wenn von der mittleren Linie aus gezählt wird.

Ich habe in der elektrodenlosen Röhre auch bei Anwesenheit von Luft $d\lambda = +0,076$ sehr deutlich gesehen, die Linien waren sämtlich schwächer als in der Michelsonröhre. Merkwürdigerweise war jedoch die Hauptlinie nicht umgekehrt, trotzdem die Kapillare senkrecht zum Spalt gerichtet war.

Nach O. Lummer und E. Gehrcke⁶⁾ läßt λ 5086 zwei Trabanten erkennen.

J. Barnes⁷⁾ findet: $+0,04$ ($\frac{1}{4}$); $+0,025$ ($\frac{1}{4}$); $+0,01$ ($\frac{1}{8}$);

1) M. Hamy, l. c. p. 69.

2) A. A. Michelson, l. c. p. 36.

3) Ch. Fabry u. A. Perot, Compt. rend. 126. p. 407—410. 1898.

4) Ch. Fabry u. A. Perot, Compt. rend. 130. p. 653—655. 1900.

5) Ch. Fabry, Compt. rend. 138. p. 854—856. 1904. Auch in Astrophys. Journ. 19. p. 116—118. 1904.

6) O. Lummer u. E. Gehrcke, l. c. p. 58.

7) J. Barnes, l. c.

Hauptlinie (1). Auch hier ist eine Übereinstimmung mit den anderen Beobachtungen nicht vorhanden.

$$\lambda = 4800 \text{ Å.-E. (hellblau).}$$

Vgl. Taf. I, Nr. 10 und 11; Fig. 19. Belichtungsdauer 20 bez. 10 Min. $d\lambda_{\max.} = 0,354 \text{ Å.-E.}$; $\delta\lambda = 0,011 \text{ Å.-E.}$

Die Komponenten sind:

$$+0,059 \left(\frac{1}{4}\right); \text{Hauptlinie (1)}; -0,034 \left(\frac{1}{6}\right); -0,080 \left(\frac{1}{5}\right).$$

Nr. 10 gibt eine Aufnahme der Linie bei Quersicht; genau so erscheint die Linie auch in der Michelsonlampe.

Fig. 19.

Nr. 11 gibt das Aussehen der Linie bei Längslicht. Die Hauptlinie ist umgekehrt, und zwar überlagert der eine Teil die Komponente $-0,034$, so daß man hier vier Linien, immer eine starke auf eine etwas schwächere folgend, vor sich hat. Deutlicher trat dies erst auf einer Photographie

hervor, bei der die Linien in einer Ordnung aufgenommen worden waren. Auch hier erkennt man die Umkehr nicht eher, als bis man weiß, daß Nr. 10 dieselbe Linie darstellt, wie Nr. 11.

A. Michelson¹⁾ findet eine Komponente $0,07 \left(\frac{1}{10}\right)$.

Nach Ch. Fabry und A. Perot²⁾ liegt auf jeder Seite der Hauptlinie, in gleicher Entfernung von ihr, ein Trabant: $\pm 0,082$.

M. Hamy³⁾ findet in seiner Röhre die Linie vierfach.

O. Lummer und E. Gehrcke⁴⁾ sehen drei Trabanten.

J. Barnes⁵⁾ gibt an: $+0,06 \left(\frac{1}{5}\right)$; Hauptlinie (1); $-0,04 \left(\frac{1}{4}\right)$.

$$\lambda = 4678 \text{ Å.-E. (dunkelblau).}$$

Vgl. Taf. I, Nr. 12 und 13; Fig. 20. Belichtungszeit 15 bez. 10 Min.

$$d\lambda_{\max.} = 0,334 \text{ Å.-E.}; \delta\lambda = 0,010 \text{ Å.-E.}$$

Die Komponenten sind:

$$+0,030 \left(\frac{1}{3}\right); \text{Hauptlinie (1)}; -0,056 \left(\frac{1}{6}\right).$$

Fig. 20.

1) A. A. Michelson, l. c. p. 36.

2) Ch. Fabry u. A. Perot, Comp. rend. 126. p. 407—410. 1898.

3) M. Hamy, l. c. p. 69.

4) O. Lummer u. E. Gehrcke, l. c. p. 58.

5) J. Barnes, l. c.

Auch hier tritt Ähnliches auf wie bei $\lambda 4800$. In Nr. 13 ist die Hauptlinie umgekehrt, der eine Teil der umgekehrten Linie überlagert $+ 0,030$. In Nr. 12 stand die Kapillare quer zum Spalt, in Nr. 13 senkrecht.

Nach Hamy¹⁾ ist die Linie doppelt.

$$\lambda = 4662 \text{ \AA.-E. (dunkelblau).}$$

Diese mäßig starke Linie habe ich übereinstimmend mit Hamy¹⁾ einfach gefunden.

Die Linien $\lambda 6325$, 5155 und 4662 fehlen in der Michelsonlampe. Schaltet man jedoch einen Kondensator und eine Funkenstrecke ein, so gibt auch die Michelsonlampe dieselben Linien wie die Röhre mit Außenelektroden.

Über die Linien des Kadmiums in einer Kadmiumamalgamlampe sagen O. Lummer und E. Gehecke²⁾ folgendes: „Bei Beobachtung in unserem Interferenzspektroskop, mit einer planparallelen Platte von $0,5$ cm Dicke und 20 cm Länge, waren die Quecksilberlinien, entsprechend dem hohen Dampfdruck im Innern der Lampe, verwaschener als in der von einem von uns angegebenen Lampenkonstruktion.³⁾ Auch die Trabanten der Linien kommen, zumal bei starker Kühlung, in letzterer prägnanter zur Ausbildung. Die Kadmiumlinien zeigten, obwohl sie sämtlich Trabanten besaßen, eine einfachere Struktur als die Quecksilberlinien. Die Linien 5086 und 4800 hatten je 5 Trabanten, während die rote Linie 6438 in Übereinstimmung mit den Resultaten Michelsons die einfachste Struktur besaß, aber immerhin einen unsymmetrischen, zusammengesetzten (dreifachen) Bau zeigte. Die Trabanten der Kadmiumlinien bilden jedoch kein so konstantes Phänomen wie diejenigen der Quecksilberlinien; je nach den Bewegungen und Variationen des Lichtbogens treten sie mit verschiedener Intensität und an verschiedenen Stellen des Interferenzspektrums hervor. Bei manchen, zufällig für kurze Zeit sich einstellenden Brennbedingungen der Lampe ließ sowohl die Linie 6438 als

1) M. Hamy, l. c.

2) O. Lummer u. E. Gehecke, Zeitschr. f. Instrumentenk. 24. p. 296—298. 1904.

3) O. Lummer, Zeitschr. f. Instrumentenk. 21. p. 201. 1901.

auch 5086 gar keine Trabanten erkennen; hierbei war die Lichtstärke keineswegs gering.“

Die Linien $\lambda 5086$ und 4800 sind leicht umkehrbar, $\lambda 6438$ nicht. Ob die von O. Lummer und E. Gehrcke berichteten Variationen in den Trabanten auf solche Umkehrungen zurückzuführen sind, kann ich nicht entscheiden. Die von mir beobachteten Satelliten dürften kaum in der Kadmiumamalgamlampe sichtbar sein, da ihre Entfernungen von den Hauptlinien klein sind und diese Neigung zur Verbreiterung zeigen.

Das Licht der elektrodenlosen Kadmiumröhre wurde auch in der zweiten Ordnung eines Rowlandschen Gitters beobachtet. Das Konkavgitter war $4,4$ cm breit; es hatte pro engl. Zoll 14438 Furchen und einen Krümmungsradius von $1,568$ m. In der zweiten Ordnung löste es die Heliumlinie $\lambda 5876$ sehr deutlich in ihre Komponenten auf. Die Kadmiumlinien zeigten hier keine Spur eines Trabanten. Daher ist die von mir gewählte Zuordnung der Komponenten richtig. Hätte bei den Kadmiumlinien das p der Formel (2) p. 40 einen von Null verschiedenen Wert, so hätten sich diese Komponenten im Gitterspektrum zeigen müssen, da doch die auflösende Kraft hinreichte, um die Heliumlinien zu trennen.

Einige weitere Beobachtungen.

Die D -Linien.

In den Kadmiumröhren mit Außenelektroden löste sich unter dem Einflusse der hohen Temperatur und des Induktionsfunktens Natrium aus dem Glase. Zieht man den Deprezunterbrecher scharf an, so nehmen die Linien und Trabanten eine große Stärke an. Gleichzeitig aber wird der Natriumdampf in der Anode immer stärker, er verdrängt den Kadmiumdampf und diffundiert langsam durch die Kapillare nach der Kathodenseite.

Die Kapillare wurde quer zum Spalt gestellt. Durch eine Linse konnte ein beliebiger Teil der nunmehr im schönsten Gelb erstrahlenden Lampe auf den Spalt projiziert werden.

Im weiteren Teile der Röhre waren die beiden gelben Natriumlinien — es konnten im Stufengitter beide D -Linien gleichzeitig beobachtet werden — umgekehrt; die beiden Teile

der umgekehrten Linien waren durch einen ziemlich großen Zwischenraum getrennt und behielten eine konstante Lage, wie auch die Entladungen gesteigert oder geschwächt wurden. Dies war in der 1,5 mm starken Kapillare nicht der Fall. Hatte ich durch schärfere Entladungen Natriumdampf in die Kapillare gebracht, so konnte ich, wenn ich nach kurzer Ruhepause schwache Entladungen hindurchschickte, beide Natriumlinien als scharfe, durchaus einfache Linien erhalten. Wurde die Heftigkeit der Entladungen allmählich gesteigert, so zeigte sich ein schwacher dunkler Strich in der Mitte, der immer breiter wurde. So konnte man die beiden Teile immer weiter auseinandertreiben; mit schwächeren Entladungen rückten die beiden Teile wieder näher aneinander. Bemerkenswert bleibt, daß die Umkehr bei Quersicht schnell und leicht eintrat, daß also die emittierenden und absorbierenden Schichten in den engen Raum der 1,5 mm weiten Kapillare sich teilen mußten.

Unzweifelhaft sind die *D*-Linien also *einfach*. Nach Michelson¹⁾ dagegen besteht eine jede aus zwei starken Linien, die wieder von einer sehr schwachen Linie begleitet sind. Er gibt an, daß die Resultate mit metallischem Natrium in erhitztem Vakuumrohr voneinander so abweichend, der Charakter der Linien mit veränderter Temperatur und verändertem Druck so verschieden war, daß eine vollständige Untersuchung ihm unmöglich schien. Die Veränderungen rührten offenbar von der leichten Umkehrbarkeit der Natriumlinien her.

Auch Fabry und Perot²⁾ gelangten zu denselben Resultaten, wie ich sie erhalten habe. Sie wendeten eine Natriumsilberlegierung in ihrem Trembleur an und konnten durch Änderung der Stromstärke Änderungen in den Entfernungen der beiden Teile der umgekehrten Linien herbeiführen.

Die Zinklinien.

Zink gab in einer Röhre mit Außenelektroden bei einer Temperatur von ca. 460° ein sehr schönes Spektrum. Die Röhre selbst leuchtete bläulichrosa. Die Weite der Kapillare

1) A. A. Michelson, l. c. p. 36.

2) Ch. Fabry u. A. Perot, *Compt. rend.* **130**, p. 653—655. 1900.

betrug 0,3 mm. Die Linien habe ich nicht photographiert, sondern nur beobachtet und sie sämtlich durchaus scharf und einfach gefunden. Sollten Trabanten vorhanden sein, so können sie nur eine verschwindend geringe Intensität haben. Außer sehr schwachen Linien treten auf: eine rote Linie $\lambda 6362$, die an Schärfe und Stärke die rote Kadmiumlinie fast überragt, sodann $\lambda 5182$, $\lambda 4810$, $\lambda 4722$, $\lambda 4680$, die auch stark und scharf waren, und die etwas schwächere $\lambda 4630$.

Nach A. Michelson¹⁾ ist die rote Linie $\lambda 6362$ einfach; $\lambda 4810$ hat eine sehr schwache Komponente 0,1.

Ch. Fabry und A. Perot²⁾ haben die Zinklinien relativ zur roten Kadmiumlinie gemessen, aber von Satelliten erwähnen sie nichts. Sie erzeugten das Zinkspektrum mit ihrem Trembleur.

M. Hamy³⁾ findet die Linien sämtlich einfach. $\lambda 4810$, 4722 und 4680 ist bisweilen umgekehrt — ich habe nur $\lambda 4810$ umgekehrt gesehen —, $\lambda 4722$ zeigt bisweilen eine Unsymmetrie bei der Umkehr.

R. A. Houstoun⁴⁾ endlich hat $\lambda 6362$, 4812 , 4722 , 4681 im Bogen beobachtet und verschiedene Umkehrungen erhalten. Durch geringe Mengen Zink in der Kohle glaubte er die Linien ohne Umkehr erhalten zu haben. Nach seinen Angaben ist $\lambda 6362$ einfach, $\lambda 4812$, 4722 , 4681 sind Doppellinien, die Komponenten von gleicher Intensität. Die Doppellinien sind aber offenbar nichts anderes als Umkehrungen.

Die Thalliumlinie.

Die Hamysche Röhre mit metallischem Thallium wurde im Heizkasten auf ca. 450° — 460° erhitzt. Ich erhielt außer der Thalliumlinie $\lambda 5351$ noch eine Reihe von anderen Linien, da das verwendete Metall nicht chemisch rein war. Die Thalliumlinie trat nicht stark hervor, aber ihre Intensität genügte, um im Stufengitter außer der Hauptlinie noch eine Komponente größerer Wellenlänge zu sehen, die etwa die halbe Intensität der Hauptlinie hatte.

1) A. A. Michelson, l. c. p. 36.

2) Ch. Fabry u. A. Perot, Compt. rend. 130. p. 492—495. 1900.

3) M. Hamy, Compt. rend. 138. p. 959—961. 1904.

4) R. A. Houstoun, l. c.

Es beobachteten:

A. Michelson¹⁾: $0,13(\frac{1}{10})$; $0,12(\frac{1}{2})$; $0,02(\frac{1}{5})$; Hauptlinie(1).

Ch. Fabry und A. Perot²⁾: $+0,114$; $+0,020$; Hauptlinie.

J. Barnes³⁾: $+0,10(\frac{3}{4})$; $+0,04(\frac{1}{4})$; Hauptlinie (1).

Michelson und Fabry und Perot haben Thalliumchlorür im Geisslerrohr verwendet.

Thalliumsalz, auf Platin in den Bunsenbrenner eingeführt, läßt nur in den ersten Sekunden nach Einführung von frischem Salz deutlich zwei Linien erkennen, dann fließen die beiden Linien zusammen.

Blei, Zinn und Schwefel geben auch bei ca. 460° im Vakuum nicht genügend Dampf, obwohl ihre Schmelzpunkte beträchtlich tiefer liegen.

Die Wasserstofflinien.

Die rote Wasserstofflinie $\lambda 6563$ zeigt sich im Stufengitter doppelt. Michelson¹⁾ hat die Entfernung der beiden Komponenten zu $0,14 \text{ \AA.-E.}$ bestimmt. Photographiert und gemessen habe ich die Linie nicht. Nach meiner Schätzung ist jedoch $0,14$ richtig gewählt. Die Linien sind beide sehr unscharf, so daß sie gerade noch als getrennte Linien wahrgenommen werden können; dies dürfte der Grund sein, weshalb $\lambda 6563$ auch in einem großen Rowlandschen Gitter nicht doppelt zu sehen ist. Einige der mir zur Verfügung stehenden Geisslerrohren waren auch in Längssicht zu verwenden. Der Druck in den Röhren war 6 mm. Dann gab eine Röhre drei Linien: jede der beiden Komponenten war umgekehrt, die inneren Teile überlagerten sich; eine zweite Röhre ließ 4 Linien sehen: Eine Überlagerung und Verbreiterung hatte nicht stattgefunden. Das Michelsonsche Resultat bestätigten Blythwood und Allen⁴⁾ mit dem Stufengitter.

Schon bevor Michelson die oben erwähnte Bestimmung der Entfernung der beiden Komponenten ausgeführt hatte, hatte

1) A. A. Michelson, l. c. p. 36.

2) Ch. Fabry u. A. Perot, Compt. rend. 126. p. 407—410. 1898 u. Ann. de chim. et phys. 16. p. 115—144. 1899.

3) J. Barnes, l. c.

4) Lord Blythwood u. H. S. Allen, Nature (Lond.). 65. p. 79. 1901.

H. Ebert¹⁾ die Doppelheit der roten Wasserstofflinie durch Interferenzversuche erkannt und eine Entfernung von 0,132 Å.-F. gleich $\frac{1}{45}$ der Entfernung der *D*-Linien gefunden, sich aber durch eine frühere irrtümliche Angabe von A. Michelson und E. Morley²⁾, daß die Entfernung der Komponenten $\frac{1}{60}$ der Entfernung der *D*-Linien sei, verleiten lassen, die beobachtete Interferenzerscheinung in einer besonderen Helligkeitsverteilung der Linie selbst zu suchen. Das Ebertsche Resultat wurde von C. Pulfrich³⁾ bestätigt.

Barnes⁴⁾ will zwei Trabanten sehen:

$$+0,06 (\frac{1}{4}); +0,02 (\frac{1}{8}); \text{Hauptlinie (1).}$$

Houstoun⁵⁾ bestimmt die Entfernung der beiden Komponenten zu 0,065. Das ist etwa der halbe Wert von Michelson. Wäre dieser Wert richtig, so würde er zeigen, daß die verschiedenen Beobachter nur Umkehrungen der Linie $\lambda 6563$ gesehen haben. Dann hätte ich aber bei Längssicht eine dreifache Selbstumkehr im Geisslerrohr vor mir gehabt — eine etwas unwahrscheinliche Annahme.

Zusammenstellung.

1. Sämtliche starken Linien des Quecksilbers außer $\lambda 4916$ sind äußerst zusammengesetzt. Jede der „Linien“ wird im Stufengitter in ein nicht gerade an Linien armes Spektrum zerlegt. Die Linien des Kadmiums erweisen sich nur zum Teil als zusammengesetzt. Als einfach zeigen sich die *D*- und Zinklinien. Die rote Wasserstofflinie ist doppelt.

2. Änderungen in der Wellenlänge der Satelliten habe ich nie beobachtet, dagegen öfter in den relativen Intensitäten der Komponenten. Dies Resultat ist insofern bemerkenswert, als solche Änderungen bei nicht genügend auflösenden Apparaten Verschiebungen von Linien vortäuschen können.

1) H. Ebert, Wied. Ann. **43**. p. 790—807. 1891.

2) A. A. Michelson u. E. W. Morley, Phil. Mag. (5) **24**. p. 463—466. 1887.

3) C. Pulfrich, Zeitschr. f. Instrumentenk. **13**. p. 410. 1893.

4) J. Barnes, l. c.

5) R. A. Houstoun, l. c.

3. „Geister“ dürften in den von mir mitgeteilten Beobachtungen ausgeschlossen sein. Wenn auch die Übereinstimmung meiner Messungen mit anderen nicht groß ist, so sprechen doch gewichtige Gründe für ein Fehlen der Geister. In allen Teilen des Spektrums zeigte das benutzte Stufengitter verschiedene starke Linie als durchaus einfach, während O. Lummer und E. Gehrcke mit ihrem Plattenspektroskop keine Linie einfach finden. Ein weiterer Beweis ergibt sich aus der ganz verschiedenartigen Struktur der nahe beieinander liegenden gelben Linien $\lambda 5790$, $\lambda 5769$ (Quecksilber); $\lambda 5896$, $\lambda 5890$ (Natrium) und $\lambda 5876$ (Helium); dazu kommt noch die gute Übereinstimmung der Messung für die gelbe Heliumlinie mit der von Runge und Paschen, die an einem großen Rowlandschen Gitter geschehen war.

4. Je größer die auflösende Kraft eines Spektroskops ist, um so leichter kann eine etwaige Selbstumkehr der Linien beobachtet werden, die als solche zu erkennen bisweilen kaum möglich ist.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Hrn. Prof. Dr. E. Dorn für die freundliche Anregung zu dieser Arbeit und für das mir stets bewiesene gütige Entgegenkommen meinen ergebensten Dank auszusprechen.

(Eingegangen 2. November 1905.)

Nachtrag zu p. 41. Hr. Prof. Dr. J. Hartmann teilte mir freundlichst mit, daß seine Dispersionsformel

$$\mu - \mu_0 = \frac{c}{(\lambda - \lambda_0)^\alpha}$$

eine genaue Darstellung von μ gestattet. Begnügt man sich mit der Näherung $\alpha = 1$, so werden alle vier gegebenen Werte von μ durch $\mu_0 = 1,5470$; $c = 108,274$ und $\lambda_0 = 1970,0$ ganz genau dargestellt.