**8. Untersuchungen über magnetische Zerlegung
feiner Spektrallinien im Vakuumlichtbogen;
von Ch. Wali-Mohammad.**

(Ausschnitt aus einer Göttinger Dissertation.)

Einleitung.

Die nachstehend dargestellten Beobachtungen sind auf Veranlassung von Hrn. W. Voigt in dem Göttinger Physikalischen Institut durchgeführt worden. Sie benutzten als Lichtquelle eine Umgestaltung der Janickilampe¹⁾, welche letzterer eine Form gab, die das Einbringen in ein Magnetfeld gestattete. Mit einem eigens konstruierten Magneten ließ sich das Feld bis gegen 9000 Gauss steigern; da aber die Lampe schon bei 6000 Gauss leicht ausgeblasen wurde, sind die Messungen nicht über 5000 Gauss erstreckt worden.

Als Spektralapparat diente das ausgezeichnete Stufengitter des Institutes, ein Geschenk aus dem Nachlaß von Dr. Hauswaldt-Magdeburg.

Um Irrtümern bezüglich der Lage der Komponenten vorzubeugen, wurden die Aufspaltungen bei allmählich wachsenden Feldstärken verfolgt.

Wenn eine Linie eine Verschiebung oder Unsymmetrie zeigt, ist dies nicht leicht zu entdecken ohne gleichzeitig eine Vergleichsphotographie von der unveränderten Linie zu haben. Dies wird noch notwendiger, wenn verschiedene Traubanten eine Linie begleiten und eine komplexe Zerlegung zeigen. So war es nötig, Photographien derart zu nehmen, daß die obere Hälfte die Linien im Magnetfeld, die untere außerhalb desselben darstellt. Das geschah in folgender Weise. Eine Kombination von einer Konvexlinse mit einer schwach

1) L. Janicki, Ann. d. Phys. **29**. p. 833. 1909.

zylindrischen wurde verwendet, um ein etwas verlängertes Bild der Lichtquelle, die fast ein kleiner Punkt war, zu geben.

Außer einer größeren Helligkeit des Spektrums erreichte ich dadurch auch eine Verlängerung der Linien. Außerdem wurde eine Blende vor dem Spalt des Echelon-Kollimator angebracht, die so eingerichtet war, daß, wenn die obere Hälfte des Spaltes verdeckt war, die untere unverdeckt blieb und vice versa. So war es möglich, eine Photographie zu erhalten, die auf derselben Platte die ursprüngliche und die Endstellung der Linien zeigte.

Die Beobachtungsart war folgende:

1. Okulare Beobachtungen: Alle in dieser Arbeit beschriebenen Phänomene wurden qualitativ durch direkte okulare Beobachtung untersucht.

2. Photographien: Drei Reihen von Photographien wurden gemacht. Die erste zeigte die s -Komponenten gegenüber den ungestörten Linien; die zweite die p -Komponenten gegenüber den ungestörten Linien und die dritte Reihe gab die s -Komponenten gegenüber den p -Komponenten. Im Fall des Thalliums wurden alle Komponenten zusammen photographiert, aber die Bilder waren zu kompliziert um irgendwelche nennenswerte Resultate zu ergeben.

Es wird später klar werden, wie absolut notwendig es ist, eine Photographie zu haben, die nebeneinander die Nullagen neben dem Effekt im Magnetfeld zeigt. Die meisten Messungen wurden an nur einer Hälfte des zerlegten Systems gemacht, da die andere Hälfte wegen Superposition der Messung nicht zugänglich war. Daher kommt es also, daß in den folgenden Untersuchungen nichts über die relative oder absolute Dissymmetrie gesagt ist. Wenn sie schon vorhanden gewesen wäre, hätte sie nicht aufgefunden werden können, da nicht alle Komponenten der Untersuchung zugänglich sind.

Die Genauigkeit der Messungen ist natürlich je nach Stärke, Breite und Schärfe der Linien verschieden.

Die Lichtquelle, die ich verwendete, gab sehr scharfe Linien, doch war die Breite der Hauptlinie im allgemeinen sehr groß im Vergleich mit den Trabanten.

Wo der Abstand zweier Trabanten (oder zweier Komponenten) gemessen wurde, war der Fehler meist unter 0,001 Å.E., aber wenn der Abstand eines Trabanten von der Hauptlinie gemessen wurde, stieg der Fehler auf das 2—4 fache des Obigen.

Beim Zeeman-Effekt ist der Betrag der Trennungen der Komponenten mit 4 Dezimalen angegeben. Die 4. Stelle ist vielleicht nicht immer genau, aber es erwies sich als nötig, wegen der großen Anzahl von Konstanten auch diese zu geben.

Znk.

Die Zinklinie $\lambda = 4680$ ist zur Kontrolle der Stärke des Magnetfeldes am besten geeignet. Die folgende Tabelle gibt die vollständigen Messungen an der Linie 4680, die die Übereinstimmung der durch Induktionsmethode und aus der Aufspaltung von zu 4680 berechneten Feldstärke zeigt.

$$\text{Zn } \lambda = 4680$$

$$\text{Belichtungszeit: 3 Min. } \frac{\Delta \lambda}{H \lambda^2} = 18.76 \times 10^{-5} \text{ (Cotton u. Weiss}^1\text{)}$$

H	$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2} 10^{-1}$	H (Berechnet)
1738	0,071	3,24	1729
2326	0,095	4,35	2320
2894	0,119	5,43	2897
3451	0,142	6,49	3457
4002	0,165	7,54	4017
4540	0,186	8,49	4528

Es wird sich zeigen, daß die Übereinstimmung sehr gut ist.

Dieser unerwartete Grad von Genauigkeit rührt von der Tatsache her, daß das Feld merklich homogen ist und die Linien äußerst scharf sind — beides Vorzüge des von mir benutzten Rohres.

1) Cotton u. Weiss, Journ. d. Phys. Juni 1907.

Zwei Reihen von Experimenten wurden ferner gemacht, um den Einfluß des zur Erhitzung der Kathode erforderlichen Stromes auf die Feldstärke und der Richtung des Magnetfeldes auf die Aufspaltung klar zu stellen. Es wurde hierzu Zn 4680 benutzt und stellte sich heraus, daß die Aufspaltung in keiner Weise geändert wurde, wenn die Richtung des Hitzstromes wechselte. Ein ähnliches negatives Resultat ergaben die zweiten Versuche, bei welchen die Richtung des Feldes geändert wurde.

Zink $\lambda = 6364$.

Die meisten Zinklinien sind völlig auf ihren Zeeman-Effekt hin geprüft worden, jedoch sind exakte Angaben über die rote Zinklinie $\lambda = 6364$ Å.E. noch ausständig. Wahrscheinlich hat die Schwierigkeit, sie zu photographieren die zahlreichen Forscher, die sich mit dem Zink beschäftigen, davon abgehalten.

Ich erhielt folgende Resultate:

Zn $\lambda = 6364$ (Rot). Belichtungsdauer 7 Min.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2326	0,0886	3,81	9,40
2894	0,1103	3,81	9,40
3451	0,1316	3,81	9,41
4540	0,1728	3,81	9,39
			<hr/> 9,40

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5 = \begin{cases} \pm 4,70 \text{ s} \\ 0,00 \text{ p} \end{cases}$$

Cadmium.

Der Zeeman-Effekt der Cadmiumlinien ist schon öfter untersucht worden. Es seien hier nur die Namen Zeeman¹⁾, Preston²⁾, Michelson³⁾, Schedd⁴⁾, Reese⁵⁾, Runge und Paschen⁶⁾ und Lunelund⁷⁾ genannt. Jedoch beziehen sich

1) P. Zeeman, Phil. Mag. 45. p. 197. 1898.

2) Th. Preston, Phil. Mag. 45. p. 325. 1898; 47. p. 166. 1899.

3) A. A. Michelson, Nature. 59. p. 440. 1899.

4) J. C. Schedd, Phys. Rev. 9. p. 1—9, 86—115. 1899.

5) H. M. Reese, Astrophys. J. 12. p. 120. 1900.

6) C. Runge und F. Paschen, Berliner Bericht. p. 380. 1902.

7) L. Lunelund, l. c.

die Untersuchungen, mit Ausnahme von Lunelund, nur auf die Hauptlinien. Herr Lunelund verwandte eine Quarzglas-Amalgamlampe, und fand, daß einige der Cadmiumlinien eine komplizierte Zerlegung zeigen.

So sind bis jetzt keine qualitativen oder quantitativen Resultate über den Zeeman-Effekt der komplizierten Cadmiumlinien gefunden worden.

Von großem Interesse sind die wohlbekannte rote Linie $\lambda = 6439$ und die drei Serienlinien, grün $\lambda = 5086$, hellblau $\lambda = 4800$ und dunkelblau $\lambda = 4678$. Die erste ist einfach, die zweite ist doppelt, die dritte ist vierfach und die vierte ist dreifach. Infolgedessen waren die Linien sehr geeignet, da sie verschiedenen Typen angehören.

Die rote Linie $\lambda = 6439$.

Belichtungszeit = 7 Min.

Diese Linie besitzt keinen Trabanten und ist nicht so interessant, wie die anderen Cadmiumlinien. Aber es ist bedauerlich, daß wiewohl die rote Cadmiumlinie als Standard der Wellenlänge in der Spektroskopie wohlbekannt ist, keine Angaben über ihren Zeeman-Effekt vorhanden sind. Wahrscheinlich hat auch hier dieselbe Schwierigkeit, wie im Fall der roten Zinklinie, die Forscher, die sich mit dem Cadmium beschäftigten, an einer genaueren Untersuchung gehindert.

Ich fand, daß die rote Linie ein normales Triplet gibt, mit folgender Aufspaltung. $\Delta\lambda$ = totale Aufspaltung.

Cd $\lambda = 6439$.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2326	0,0908	3,90	9,42
2894	0,1132	3,91	9,43
3451	0,1352	3,92	9,45
4540	0,1774	3,91	9,42
			9,43

Die spezifische Aufspaltung

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5 = \begin{cases} + 4,72 \text{ s} \\ 0,00 \text{ p} \\ - 4,72 \text{ s} \end{cases}$$

Die gelbe Linie $\lambda = 5086$.

Belichtungszeit = 5 Min.

Die Linie besteht aus einer Hauptlinie und zwei Trabanten
 $- 0,026$ und $+ 0,076$.

Trabant $- 0,026$.

Bei Einschaltung eines Magnetfeldes bewegt sich der Trabant gegen die Hauptlinie und gerät sozusagen bei einer Feldstärke von 600 Gauss in die Hauptlinie.

Ähnliche Vorgänge sind schon früher beobachtet. Michelson bemerkte, daß die Komponenten der gelben Kupferlinie ($\lambda = 5782,3$) unter dem Einfluß des Magnetfeldes sich einander nähern und im starken Felde eine einzige enge Linie ohne Verbreiterung bilden. Noch mehr überraschte ihn das Verhalten der gelbgrünen Manganlinie $\lambda = 5340$, deren natürliches Quartet sich gleichfalls im Magnetfeld zusammenschloß.

Trabant $+ 0,076$.

Dieser Trabant ist im Vergleich zur Hauptlinie äußerst fein und sein Verhalten im Magnetfeld kann sehr genau verfolgt werden.

Mit 300 Gauss gibt der Trabant ein Triplet. Bei 1700 Gauss teilen sich die beiden s -Komponenten und die mittlere p -Komponente in zwei, so daß das Ganze ein Sextuplet ergibt, mit 4 s - und 2 p -Komponenten.

Mit wachsender Feldstärke wächst die Aufspaltung. Die s -Komponenten kleinerer Wellenlänge sind bald von den Komponenten der Hauptlinie überdeckt. Bei 4000 Gauss erscheinen diese Komponenten ganz auf der anderen Seite der Hauptlinie. Die s -Komponenten größerer Wellenlänge und beide p -Komponenten bleiben der Beobachtung und Messung offen.

Tabelle VIII.

Trabant + 0,076.

s-Komponenten. Erste Aufspaltung in ein Triplet.

 $\Delta \lambda$ = Totale Aufspaltung.

H (Gauss)	$\Delta \lambda$ Å.E.	$\frac{\Delta \lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta \lambda}{H^2} 10^5$
300	0,0119	3,97	15,33
581	0,0227	3,92	15,15
710	0,0281	3,96	15,30
870	0,0348	3,99	15,40

s-Komponenten.

 $\Delta' \lambda$ = Aufspaltung der roten s-Komponenten gegeneinander.

H (Gauss)	$\Delta' \lambda$ (Å.E.)	$\frac{\Delta' \lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta' \lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2894	0,0251	0,87	3,35
4002	0,0340	0,85	3,28
4540	0,0395	0,87	3,36

p-Komponenten.

 $\Delta'' \lambda$ = Totale Aufspaltung.

H	$\Delta'' \lambda$	$\frac{\Delta'' \lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta'' \lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
1738	0,0272	1,56.	6,04
2326	0,0360	1,55	5,98
2894	0,0451	1,56	6,02

Zusammenfassend finden wir, daß der Trabant 2 p- und 4 s-Komponenten liefert.

$$\frac{\Delta \lambda}{H \lambda^2} 10^5: \begin{cases} \pm 9,32 s \\ \pm 5,99 s \\ \pm 3,00 p \\ 0 \end{cases}$$

Aus dem Obigen wird klar sein, wie notwendig es ist, die Aufspaltung von sehr schwachen Feldern aus zu verfolgen. Denn wäre die erste Aufspaltung, die bei etwa 870 Gauss ihren Charakter ändert, nicht aufgefunden worden, so hätten wir einen sehr verschiedenen Zerlegungstypus erhalten.

Die Hauptlinie.

Die Hauptlinie ist im Vergleich zu den Trabanten sehr breit und teilt sich im magnetischen Feld zunächst in ein Triplet, und zwar bei einer Feldstärke von 2500 Gauss während der Trabant + 0,076 wie oben gezeigt wurde, schon bei 300 Gauss ein Triplet gibt.

Die Trennung der äußern *s*-Komponenten war bei etwa 2900 Gauss gemessen und ergab folgendes:

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2894	0,106	3,68	14,24
$\Delta\lambda = \text{Totalaufspaltung.}$			

Mit wachsender Feldstärke wächst die obige Trennung, doch werden die Komponenten verbreitert und teilen sich bei 5000 Gauss in je drei Komponenten auf.

Die Trennung war sehr gering und der Zwischenraum ein wenig trübe.

Die *s*- und *p*-Komponenten wurden auf zwei Platten, auf der einen die *s*-, auf der anderen die *p*-, photographiert und gaben folgende Resultate:

Hauptlinie.

$$\lambda = 5086. \quad H = 4996 \text{ Gauss.}$$

p	s	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
	$\pm 0,1220$	2,44	$\pm 9,44 s$
	$\pm 0,0915$	1,83	$\pm 7,10 s$
	$\pm 0,0615$	1,23	$\pm 4,75 s$
$\pm 0,0307$		0,62	$\pm 2,37 p$
0		0	0 <i>p</i> .

Es sei hier bemerkt, daß die Linie Cd $\lambda = 5680$ zeigt, daß es unter gewissen Bedingungen möglich ist, bei etwa 300 Gauss eine meßbare Aufspaltung zu erhalten. Die auflösende Kraft des Apparates spielt dabei eine nicht so große Rolle wie die Feinheit der Linie selbst. Während der Trabant in einem magnetischen Feld von etwa 3000 Gauss in ein vollständiges Sextuplet zerlegt werden konnte, zeigte die Hauptlinie die Zerlegung in ein Triplet erst bei etwa 2500 Gauss.

Es ist interessant zu bemerken, daß für die obige Linie die theoretische Grenze der auflösungsfähigen Wellenlängendifferenz $0,0118 \text{ \AA.E.}$ beträgt, während die geringste von mir gemessene Aufspaltung $0,0119 \text{ \AA.E.}$ beträgt, was zeigt, daß es möglich ist, die theoretische Auflösungskraft zu erreichen.

Zeeman¹⁾ selbst konnte mit seinem 32-stufigen Echelon die Linie $\text{Cd } \lambda = 5086 \text{ \AA.}$ nur doppelt sehen.

Die blaue Linie $\lambda = 4800$.

Belichtungszeit = 2 Min.

Die Linie besteht aus einer Hauptlinie und drei Trabanten $-0,081$; $-0,034$; $+0,058$. Das Verhalten im Magnetfeld dreier dieser vier Komponenten wurde erschöpfend untersucht. Der Trabant $-0,034$ liegt sehr nahe der Hauptlinie und darum konnte sein Verhalten nicht mit derselben Genauigkeit beobachtet werden, wie das der übrigen.

Diese Linie ist äußerst interessant und zeigt viele Eigentümlichkeiten.

Trabant — 0,081.

Parallel den Kraftlinien schwingende Komponenten.

Der Trabant zeigt eine Aufspaltung in ein Duplet mit der Besonderheit, daß die Komponente größerer Wellenlänge dieselbe Stelle einnimmt, wie die ursprüngliche Linie.

Die Möglichkeit, daß es da eine dritte Komponente auf der anderen Seite der mittleren Komponente gibt, so daß derart ein symmetrisches Triplet entstände, ist ausgeschlossen, da für eine derartige Komponente Raum genug wäre, um ohne von andern benachbarten Linien gestört oder bedeckt zu werden, sichtbar zu sein.

Die Trennung der Komponenten wächst mit der Feldstärke und zwar ist sie ihr proportional, wie die folgende Tabelle zeigt.

1) P. Zeeman, *Astrophys. J.* 15. p. 218. 1902.

Tabelle IX.

Cd λ = 4800.

Trabant — 0,081.

p-Komponenten. $\Delta\lambda$ = Totale Aufspaltung.

<i>H</i>	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5$
1738	0,0241	1,39	6,03
2326	0,0320	1,38	5,98
2894	0,0403	1,39	6,04
3451	0,0470	1,36	5,92
4002	0,0545	1,36	5,92
4540	0,0624	1,38	5,97

s-Komponenten.

Hier wirken die *s*-Komponenten der Hauptlinie und der benachbarte Trabant bei der Beobachtung störend aufeinander ein. Doch ist so viel sicher, daß sich mit allmählich wachsender Feldstärke der Trabant verbreitert und sich in zwei Komponenten spaltet, und zwar in der Weise, daß eine der Komponenten dieselbe Stelle wie der ursprüngliche Trabant einnimmt. Mindestens gilt dieses Verhalten bis 4000 Gauss. Bei größerer Feldstärke werden die Komponenten von der Hauptlinie überdeckt und eine weitere Verfolgung der Zerlegung dadurch verhindert.

Zusammenfassend, haben wir ein Triplet, dessen Mittelkomponente merklich unpolarisiert ist, während die nach rot liegende Außenkomponente *senkrecht*, die nach violett verschobene *parallel* zu den magnetischen Kraftlinien schwingt.

Es sei hier erwähnt, daß der einzige andere Fall einer so ungewöhnlichen Zerlegung, der bis jetzt beobachtet worden,

der von P. Gmelin¹⁾ ist, der eine ähnliche Zerlegung an einem Trabanten der gelben Quecksilberlinie fand. Gmelin verwendete verhältnismäßig viel höhere Felder als ich.

Prof. Voigt²⁾ hat neulich eine Theorie des komplizierten Zeeman-Effektes veröffentlicht und erklärt die obige eigenartige Zerlegung in folgender Weise:

Die p - wie die s -Schwingungen sind je in zwei Komponenten von verschiedener Intensität zerlegt und diese Duplets außerdem so durch das Feld verschoben worden, daß das p -Duplet nach rot, das s -Duplet nach violett rückt, dabei aber die einander zugewandten Komponenten merklich an derselben Stelle verharren und ungefähr dieselbe Intensität bewahren.

Die Hauptlinie.

Die Hauptlinie liefert bekanntlich ein Sextet. Mit 1000 Gauss teilt sich die Linie in ein Triplet auf. Die mittlere p -Komponente teilt sich bei 1700 Gauss wieder in zwei gleich helle Komponenten. Die s -Komponenten teilen sich erst bei 5000 Gauss auf, dann wird ein volles Sextuplet sichtbar.

Tabelle X.

Cd $\lambda = 4800$.

Hauptlinie s -Komponenten.

$\Delta \lambda =$ Totale Aufspaltung.

H	$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 H} 10^6$
1162	0,0441	3,80	16,48
1738	0,0649	3,74	16,22
2326	0,0866	3,72	16,16
2894	0,1086	3,75	16,29
4002	0,1498	3,74	16,26
4540	0,1707	3,76	16,32

1) P. Gmelin, Phys. Zeitschrift. 11. p. 1193. 1910.

2) W. Voigt, Ann. d. Phys. 36. p. 874. 1911.

p-Komponenten. $\Delta\lambda$ = Totale Aufspaltung.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
1738	0,0185	1,06	4,63
2326	0,0245	1,07	4,66
2894	0,0310	1,07	4,66
3451	0,0371	1,07	4,65
4002	0,0429	1,07	4,65
4540	0,0487	1,07	4,66

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5: \begin{cases} \pm 9,41 s \\ \pm 7,05 s \\ \pm 2,32 p \\ 0 \end{cases}$$

Trabant + 0,058.

Dieser Trabant ist außerordentlich interessant und zeigt im Magnetfeld ein ganz eigentümliches Verhalten.

p-Komponenten.

Bei Einschaltung des Magnetfeldes verbreitert sich dieser Trabant nicht, wie es andere Linien tun, noch zeigt er eine Aufspaltung, sondern er bewegt sich zuerst schnell, dann lang-

Tabelle XI.

Cd λ = 4800.

Trabant + 0,058.

p-Komponent. $\Delta\lambda$ = Verschiebung nach rot.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{14}$	$\frac{\Delta\lambda}{H^2} 10^{17}$
571	0,0010	1,75	3,07
871	0,0023	2,64	3,03
1162	0,0041	3,53	3,04
1738	0,0092	5,29	3,04
2326	0,0162	6,97	3,00
2894	0,0229	7,91	2,73
3451	0,0304	8,81	2,55
4002	0,0358	8,95	2,24
4540	0,0416	9,16	2,02
4986	0,0457	9,17	1,84

sam gegen das rote Ende des Spektrums, und behält im übrigen seinen ursprünglichen Charakter.

Die Messungen zeigten, daß das Gesetz der Verschiebung seinen Charakter mit wachsender Feldstärke ändert. Doch wurde die Verschiebung in keiner Weise beeinflusst, wenn die Richtung des Feldes geändert wurde.

Die folgende Tabelle gibt die absolute Verschiebung, gemessen von der ursprünglichen Lage. Es kann daran ersehen werden, daß die Verschiebung bis zu einem Feld von 1700 Gauss nahe dem Quadrat der Feldstärke proportional ist, und dann beginnt der Feldstärke direkt proportional zu werden.

s-Komponenten.

Hier zeigt der Trabant wieder ein ähnliches Verhalten wie die *p*-Komponente. Die Tabelle gibt darüber näheren Aufschluß.

Tabelle XII.

Cd $\lambda = 4800$.

Trabant + 0,058.

s-Komponent. $\Delta \lambda =$ Verschiebung nach rot.

<i>H</i>	$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{H} 10^{14}$	$\frac{\Delta \lambda}{H^2} 10^{17}$
571	0,0028	4,91	8,59
871	0,0065	7,46	8,57
1162	0,0116	9,98	8,59
1738	0,0259	14,90	8,58
2326	0,0350	15,05	6,47
2894	0,0437	15,10	5,22
3451	0,0537	15,56	4,62
4002	0,0624	15,61	3,90
4540	0,0740	15,59	3,43

Trabant — 0,034.

Dieser ziemlich schwache Trabant liegt sehr nahe der Hauptlinie und scheint mit ihr zusammenzuzufießen. Sein Verhalten im Magnetfeld ist sehr schwer zu verfolgen, weil seine Zerlegung, wenn überhaupt eine solche vorhanden ist, durch die Nachbarschaft zweier Trabanten und der Hauptlinie gestört wird.

Nichtsdestoweniger wurde zwischen 2900 und 3500 Gauss eine sehr schwache *s*-Komponente gefunden, die keinem anderen Trabanten angehörte. Der Betrachtung ihres Abstandes von dem obigen Trabanten gemäß, schien sie ihm anzugehören. Die andere *s*-Komponente schien mit Komponenten der benachbarten Trabanten zusammenzufallen. Die mittlere *p*-Komponente blieb scheinbar unbewegt.

Daher ist die Annahme begründet, (wiewohl es nicht absolut gewiß ist) daß der obige Trabant ein Triplet liefert.

Die Messungen gaben folgendes:

H	$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2894	0,0212	0,73	3,19
3451	0,0250	0,72	3,14

$\Delta \lambda$ = der Abstand der *s*-Komponente von der ursprünglichen Linie.

Die blaue Linie $\lambda = 4678$ Å.E.

Belichtungszeit 3 Min.

Die Linie besteht aus einer Hauptlinie mit einem Trabanten $-0,056$ Å.E. auf der violetten und einem $+0,031$ Å.E. auf der roten Seite. Diese Linie wurde oft zur Messung der absoluten Aufspaltung und zur Messung der Feldstärke verwendet. Die Hauptlinie liefert bekanntlich ein Triplet und darum war es leichter die Zerlegungen genauer zu verfolgen. Wir werden das Verhalten der Trabanten gesondert betrachten.

Trabant $-0,056$. *s*-Komponenten.

Mit allmählich steigender Feldstärke verbreitert sich der Trabant und teilt sich bei 1500 Gauss in ein Duplet auf. Die Komponente kleinerer Wellenlänge ist zweimal so intensiv wie die Komponente größerer Wellenlänge. Letztere wird bald von der Komponente der Hauptlinie überdeckt und ist für die Beobachtung nicht ausnützbar. Die Komponente geringerer Wellenlänge bleibt der Untersuchung zugänglich und ihr Abstand von der ursprünglichen Lage wächst mit der Feldstärke und zwar direkt proportional.

Tabelle XIII.

Cd λ = 4678.

Trabant — 0,056.

s-Komponenten.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
1738	0,0284	1,63	7,46
2326	0,0385	1,65	7,56
2894	0,0476	1,64	7,52
3451	0,0564	1,64	7,47
4002	0,0653	1,64	7,49

p-Komponenten.

Bei etwa 800 Gauss teilt sich der Trabant in 3 Komponenten von denen die mittlere denselben Platz wie die ursprüngliche einnimmt und deren Intensität halb so groß wie die der beiden äußeren Komponenten ist. Bis 2000 Gauss sind beide äußeren Komponenten sichtbar und nachher nähert sich die ihr nähere Komponente der Hauptlinie und wird schließlich von dieser überdeckt.

p-Komponenten.

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
1162	0,0320	2,75	12,58
1738	0,0477	2,74	12,54
2326	0,0636	2,73	12,49
2894	0,0795	2,75	12,55
3451	0,0954	2,73	12,47
4002	0,1145	2,86	13,07

Die beiden Resultate zusammenfassend erhalten wir ein Pentuplet mit 2 *s*- und 3 *p*-Komponenten.

Die spezifische Aufspaltung des Pentuplets ist

$$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5 = \begin{cases} \pm 7,50 & s \\ \pm 6,31 & p \\ 0 & p \end{cases}$$

Trabant + 0,031.

Dieser Trabant liegt der Hauptlinie sehr nahe und seine Zerlegung war ziemlich schwer zu verfolgen, besonders deshalb, weil nur eine Hälfte der totalen Zerlegung untersucht werden konnte, während die andere Hälfte völlig von der Hauptlinie überdeckt war.

p-Komponenten.

Es scheint, daß sich der Trabant in zwei *p*-Komponenten spaltet, von denen eine bald die Hauptlinie überdeckt, die andere ungestört bleibt und daher der Untersuchung zugänglich ist.

Tabelle XIV.

Cd λ = 4678.

Trabant + 0,031.

p-Komponenten.

<i>H</i>	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{18}$	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5$
1738	0,0237	1,36	6,23
2326	0,0317	1,36	6,23
2894	0,0394	1,36	6,22
3451	0,0471	1,36	6,23
4002	0,0540	1,35	6,17

s-Komponenten.

Auch hier stört die Nähe der Hauptlinie die Beobachtung. Der Trabant gibt ein Duplet.

Trabant + 0,031.

s-Komponenten.

<i>H</i>	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{18}$	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5$
1162	0,0237	2,04	9,32
1738	0,0354	2,04	9,32
2326	0,0473	2,03	9,29
2894	0,0589	2,04	9,30
3451	0,0700	2,03	9,27
4002	0,0813	2,03	9,29

Zusammenfassend sehen wir, daß der Trabant ein Quadruplet mit 2 *s*- und 2 *p*-Komponenten ergibt.

Die spezifische Aufspaltung $\left(\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5\right)$ des Quadruplets ist: $\begin{cases} \pm 9,30 \text{ s} \\ \pm 6,22 \text{ p} \end{cases}$

Die Hauptlinie.

Die Hauptlinie gibt ein normales Triplet. Sie ist schon sehr oft auf ihren Zeeman-Effekt hin untersucht worden.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5 = \begin{cases} \pm 9,43 \text{ s} \\ 0 \text{ p} \end{cases}$$

Tabelle XV.

Cd $\lambda = 4678$.

Hauptlinie. *s*-Komponenten.

$\Delta\lambda$ = Totale Aufspaltung.

<i>H</i>	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{H\lambda^2} 10^5$
1162	0,0483	4,15	18·97
1738	0,0721	4,15	18·95
2326	0,0955	4,11	18·78
2894	0,1198	4,14	18·92
3451	0,1418	4,10	18·71
4002	0,1632	4,12	18·85

Die Erscheinung eines neuen Trabanten.

Auf Platten, die die *s*-Komponenten Cd 4678 zeigen, wurde die Gegenwart einer sehr schwachen Linie beobachtet, die sicherlich keinem Trabanten angehörte. Sie wird zuerst bei 1600 Gauss sichtbar und scheint langsam an Intensität zuzunehmen, wenn das Feld bis 2500 Gauss wächst; fernerhin bleibt ihre Intensität unverändert. Sie zeigt weder Aufspaltung noch Verschiebung. Bis 4000 Gauss kann sie verfolgt werden; fernerhin ist ihr Verhalten unbekannt. Ihr Abstand vom Schwerpunkt der Hauptlinie betrug ungefähr + 0,018 Å.E. Wenn eine Linie von so kleinem Abstand überhaupt vorhanden war, konnte ihre Gegenwart in einer Photographie, die die *p*-Komponenten allein zeigt, nicht entdeckt werden, da sie zum guten Teil überdeckt war.

Offenbar haben wir hier einen Fall, in welchem bei Einschaltung des Magnetfeldes ein neuer Trabant auftritt.

Es scheint mir plausibel, daß wir hier einen Fall einer nicht einfachen sondern doppelten Hauptlinie haben und daß beide Komponenten voneinander überdeckt sind. Im Magnetfeld findet eine Trennung statt, eine Komponente zeigt ein normales Verhalten, die andere bleibt unverändert. Es ist wahrscheinlich, daß im stärkeren Feld dieser Trabanten eine Zerlegung aufweisen würde, aber die Tatsache, daß er äußerst lichtschwach ist, verhindert seine Beobachtung in starkem Feld.

Zusammenstellung der Ergebnisse über Cadmiumlinien.

Die Cadmiumlinien wurden zum erstenmal sorgfältig untersucht und die Zerlegung der Trabanten vollständig studiert. Wir haben gesehen, daß die komplizierten Cadmiumlinien ein eigentümliches Verhalten im magnetischen Feld zeigen.

$\lambda = 6439$ liefert ein normales Triplet.

$\lambda = 5086$. Die Hauptlinie liefert ein Nonet, einer ihrer Trabanten gibt ein Sextet.

$\lambda = 4800$. Die Hauptlinie liefert ein Sextet, ein Trabant gibt ein Triplet, ein anderer ein scheinbares Triplet mit einer *s*- und *p*- und einer merklich unpolarisierten Komponente. Endlich zeigt der dritte Trabant das eigenartige Verhalten, daß sowohl die *p*- als die *s*-Komponenten sich in sehr kleinen Feldern proportional dem Quadrat der Feldstärke verschieben und in stärkeren Feldern proportional mit der Feldstärke.

$\lambda = 4678$. Die Hauptlinie liefert ein normales Triplet. Ein Trabant gibt ein Quadruplet, ein anderer ein Pentuplet.

Im ganzen finden wir, daß mit Ausnahme eines Trabanten, alle anderen eine mit der Feldstärke proportionale Aufspaltung zeigen.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der Resultate über Cadmiumlinien. Es wird gesehen werden, daß Runges Regel sogar von den Trabanten befolgt wird.

Thallium.

Die grüne Linie $\lambda = 5351$. Belichtungszeit 5 Min.

Die grüne Linie besteht aus einer Hauptlinie und zwei Trabanten. Einer der Trabanten liegt $+0,114$ von der Hauptlinie und ein anderer ist dieser (der Hauptlinie) so nahe, daß

geringerer Wellenlänge werden bald von den Komponenten der Hauptlinie überdeckt und werden eine Zeitlang unsichtbar.

Inzwischen hat sich die Hauptlinie in zwei geteilt und ihre Komponente größerer Wellenlänge bewegt sich gegen die Komponente kleinerer Wellenlänge des Trabanten. Diese beiden Komponenten, die eine zur Hauptlinie gehörig, die andere zum Trabanten, nähern sich, bilden dann eine breite Linie, durchqueren einander schließlich und bei 5000 Gauss liefern sie dann drei Komponenten ungleicher Intensität. Daß zwei dieser Komponenten dem Trabanten ($+ 0,114 \text{ \AA.E.}$) angehören, ist sehr wahrscheinlich, da sie ja den beiden Komponenten, die auf der anderen Seite der ursprünglichen Linie gefunden wurden, entsprechen.

Zusammenfassend können wir sagen, daß der Trabant sich in zwei *s*-Komponenten spaltet, die sich wieder in je zwei Komponenten teilen und so im ganzen vier *s*-Komponenten der oben erwähnten Intensitätsverteilung ergeben.

Trabant $+ 0,114$. *p*-Komponenten.

Wenn die Feldstärke wächst, verbreitert sich der Trabant und bei etwa 1500 Gauss teilt er sich in drei Komponenten auf, von denen die mittlere dieselbe Lage einnimmt wie der ursprüngliche Trabant und die doppelte Intensität der andern Komponenten hat. Bei etwa 2000 Gauss erscheint links eine weitere Komponente, die äußerst schwach ist und etwa $\frac{1}{8}$ der Intensität der mittleren Linie besitzt und sie war daher äußerst schwer zu photographieren. Mit wachsender Feldstärke nimmt ihre Intensität sehr langsam zu. Es ist nicht gewiß, ob diese Komponente von Anfang an, da die erste Aufspaltung stattfand, vorhanden war und zu schwach, um beobachtet zu werden, oder ob sie erst später erscheint.

Hier fällt wieder, wie es bei den *s*-Komponenten der Fall war, die Hauptlinie mit denjenigen Komponenten des Trabanten zusammen, die nahe bei ihr liegen und daher konnten zur Messung nur die Komponenten größerer Wellenlänge herangezogen werden.

Zusammenfassend finden wir, daß der Trabant fünf *p*-Komponenten liefert, von denen die mittlere denselben Platz einnimmt, wie die ursprüngliche Linie und die anderen sind zu beiden Seiten symmetrisch angeordnet.

Tabelle XVII.

Thallium $\lambda = 5351$.

Trabant + 0,114.

s-Komponenten. $\Delta\lambda = a$ (Siehe Figur).

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{H^2} 10^5$
1738	0,0315	1,81	6,32
2326	0,0423	1,82	6,35
2894	0,0525	1,81	6,33
3451	0,0619	1,79	6,26
4002	0,0720	1,80	6,28
4540	0,0821	1,81	6,31
			6,31

p-Komponenten.

 $\Delta\lambda = b$ (Siehe Figur).

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H} 10^{13}$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
2326	0,0420	1,80	6,30
2894	0,0525	1,81	6,33
3451	0,0626	1,81	6,33
4002	0,0724	1,81	6,31
4540	0,0818	1,80	6,29
			6,31

Wenn wir so die Resultate über *s*- und *p*-Komponenten vereinigen, finden wir, daß der Trabant in 4 *s*- und 5 *p*-Komponenten zerlegt ist und also ein Nonet liefert.

Photographien, die die *s*-Komponenten gegenüber den *p*-Komponenten zeigen, sowie auch direkte Messungen von der Nullage aus, geben eine interessante Be-

Fig. 1.

ziehung zwischen den Lagen des Komponenten.

Es fand sich, daß alle 4 *p*-Komponenten mit den 4 *s*-Komponenten zusammenfielen.

Wenn a der totale Abstand zwischen den äußersten

Komponenten bedeutet, so ergeben sich die anderen Komponenten als

$$0(p); \quad \pm \frac{a}{4}(sp); \quad \pm \frac{2a}{4}(sp).$$

Hauptlinie.

Wie schon (p. 242) gesagt, scheint die Hauptlinie doppelt zu sein, wiewohl die Photographie sie nicht als solche zeigen konnte. Wir werden später sehen, daß ihr Verhalten im Magnetfeld einigermaßen eigentümlich ist und leicht erklärt werden kann, wenn wir sie als doppelte Linien betrachten. Die einzige Voraussetzung (und ich glaube berechtigt zu sein, sie zu machen) ist, daß die Hauptlinie ein Sextuplet mit 4 s - und 2 p -Komponenten liefert, wie von Runge und Paschen in stärkeren Magnetfeldern beobachtet wurde.

Wir werden die s - und p -Komponenten gesondert betrachten.

s -Komponenten.

Die Linie ist sehr breit und verbreitert sich noch mit wachsender Feldstärke. Bei 1500 Gauss teilt sie sich in zwei Komponenten. Die Komponente an der roten Seite nähert sich der Komponente des benachbarten Trabanten + 0,114 und vermischt sich später mit dieser und bei 5000 Gauss ergibt das schließlich drei Komponenten ungleicher Intensität, von welchen zwei dem Trabanten angehören (siehe oben).

Die Komponente an der violetten Seite bleibt lange als breite Linie bestehen, doch beginnt sie sich später zu teilen und schließlich ist sie in drei Komponenten zerlegt. Nun ist so viel außer Zweifel, daß diese letzteren drei Komponenten von der einen Hälfte der ursprünglichen Linien herkommen. Doch wenn wir an den Resultaten Runge und Paschens festhalten wollten, müßten nur zwei Komponenten hier auftreten. Hier erhebt sich die Frage: Woher kommt die dritte Komponente?

p -Komponenten.

Auch hier wirkt die Nähe des Trabanten an der Hauptlinie störend.

Bei Einschaltung eines Magnetfeldes bleibt die Linie zunächst praktisch unverändert, aber bei 1500 Gauss erhält sie eine Komponente von dem benachbarten Trabanten $+ 0,114 \text{ \AA.E.}$ Diese beiden vermischen sich miteinander und erzeugen eine einzige Linie die bis 4000 Gauss, wiewohl sie sich verbreitert, einfach bleibt. Bei 5000 Gauss wird sie vollständig in drei ungleich helle Komponenten zerlegt.

Nun gehört eine dieser drei Komponenten dem Trabanten an und zwei der Hauptlinie. In Anbetracht ihrer gegenseitigen Abstände müssen zwei von diesen zusammenfallen. So erhalten wir hier eine andere p -Komponente die scheinbar gar keiner Linie angehört.

Zusammenfassend sehen wir, daß außer den erwarteten 4 s -Komponenten und 2 p -Komponenten, die leicht aufgefunden werden, noch je eine überschüssige p - und eine s -Komponente auftritt.

Nun ist der Abstand dieser überzähligen p -Komponente gemessen von der Mitte der zwei p -Komponenten der Hauptlinie $+ 0,021$. [Diese Entfernung kann nicht so gemessen werden, daß man die ungestörte Hauptlinie unmittelbar mit der p -Komponente vergleicht, sowohl darum weil die Hauptlinie zusammengesetzt ist, als auch wegen ihrer ungewöhnlichen Breite.]

Überraschenderweise kommt dieser Abstand dem sehr nahe, der von Michelson¹⁾ und Fabry und Perot²⁾ für den nahe der Hauptlinie gelegenen Trabanten gemessen wurde.

Michelson	$+ 0,020$
Fabry und Perot	$+ 0,020$
Verfasser	$+ 0,021$.

Es wurde nun nach einer anderen s -Komponente dieses hypothetischen Trabanten gesucht und eine der drei oben erwähnten s -Linien hatte dieselbe Lage eingenommen, die sie als s -Komponente dieses Trabanten haben sollte.

Also sehen wir resümierend, daß die Hauptlinie von einem Trabanten $+ 0,021 \text{ \AA.E.}$ begleitet wird; daß ferner die Hauptlinie ein Sextet, der Trabant ein Triplet ergibt.

Folgendes sind die Messungen bei 4986 Gauss:

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

2) Ch. Fabry und A. Perot, C. R. 126. p. 407. 1898.

Trabant + 0,021 A.E.

H	$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{H} 10^{18}$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 H} 10^5$
4986	0,2229	4,47	15,60

Die spezifische Aufspaltung $\left(\frac{\Delta \lambda}{H \lambda^2} 10^5\right)$ des Triplet ist $\begin{cases} + 7,80 s \\ 0 p \\ - 7,80 s \end{cases}$

Hauptlinie.

Es waren gemessen $s_1'' s''$; $s_1' s'$; $p_1 p_2$ und ergibt sich bei 4986 Gauss:

$\Delta \lambda$	$\frac{\Delta \lambda}{H}$	$\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 H}$
$\pm 0,1120$	$\pm 2,25$	$\pm 7,84 s$
$\pm 0,0672$	$\pm 1,35$	$\pm 4,71 s$
$\pm 0,0227$	$\pm 0,46$	$\pm 1,60 p$
0	0	0

Vergleich der Resultate mit denen von Runge und Paschen.

Thallium-Hauptlinie $\lambda = 5350,6$.

Runge und Paschen	Verfasser
$\frac{\Delta \lambda}{H \lambda^2} 10^5$	$\frac{\Delta \lambda}{H \lambda^2} 10^5$
$\pm 7.78 s$	$\pm 7.84 s$
$\pm 4.69 s$	$\pm 4.71 s$
$\pm 1.60 p$	$\pm 1.60 p$

Wismut.

$\lambda = 4722$.

Die Linie besteht aus einer Hauptlinie und 5 Trabanten.

Viel Zeit und Mühe wurde dem Studium dieser Linie zugewandt, doch waren wegen der zu komplizierten Struktur der Linien die erlangten Resultate nicht bedeutend.

Infolge des Umstandes, daß Wismut seinen elektrischen Widerstand im Magnetfeld ändert, wurde der Bogen bei Einschaltung des Magnetfeldes unet und erlöschte bei höheren Feldern als 3000 Gauss.

Dann war die Kompliziertheit der Linien ein Hindernis für die Beobachtung des Zeeman-Effekts. Beinahe alle Trabanten zeigen eine Verschiebung in der einen oder anderen Richtung.

Die folgende Figur wird erklären was stattfand:

Fig. 2.

s-Komponenten.

Der Trabant $-0,103$ bewegt sich gegen das violette Ende des Spektrums und seine Verschiebung ist dem Quadrat der Feldstärke proportional. Bei 3000 Gauss scheint er sich in zwei Teile zu spalten.

$\Delta\lambda = \text{Verschiebung}$

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H^2} 10^{17}$
581	0,0023	6,85
1162	0,0090	6,66
1738	0,0207	6,85

Der Trabant $-0,029$ und die Hauptlinie bewegen sich gegeneinander und bilden dann eine Linie.

Der Trabant $+0,057$ bewegt sich gegen das violette Ende des Spektrums und seine Verschiebung ist dem Quadrat der Feldstärke proportional.

$\Delta\lambda = \text{Verschiebung}$

H	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{H^2} 10^{17}$
1162	0,0038	2,81
1738	0,0086	2,85
2326	0,0154	2,85

Der Trabant $+ 0,102$ bewegt sich gegen das rote Ende und teilt sich bei 3000 Gauss in ein verschwommenes Duplet.

p-Komponenten.

Der Trabant $+ 0,102$ bewegt sich gegen das rote Ende, verbreitert sich dann und scheint schließlich völlig zu verschwinden.

Der Trabant $+ 0,057$ bewegt sich gegen die Hauptlinie und dann verbreitert er sich.

Der Trabant $- 0,029$ und die Hauptlinie bewegen sich gegeneinander und bilden wie bei den *s*-Komponenten, eine Linie.

Der Trabant $- 0,061$ und der Trabant $- 0,103$ bewegen sich gegeneinander und bilden dann eine einzige Linie.

Zusammenfassung der Ergebnisse betreffs des Zeeman-Phänomens.

Es wurde gezeigt, daß die Oxydkathode erfolgreich für die Beobachtung des Zeeman-Effektes an Trabanten komplizierter Linien verwendet werden kann.

Einige Trabanten wurden zum erstenmal auf ihren Zeeman-Effekt hin geprüft. Ferner wurde gezeigt, daß die Trabanten eine sehr komplizierte Zerlegung zeigen. Die meisten von ihnen wurden quantitativ untersucht.

Einige Trabanten wurden in ein Triplet bzw. Quadruplet, Pentuplet, Sextuplet und Nonet zerlegt.

Im allgemeinen zeigten die Trabanten, daß die Trennung proportional der Feldstärke ist.

Ein Trabant von Cd. $\lambda = 4800$ ergab einen ungewöhnlichen Zerlegungstypus. Ein anderer zeigte, daß sich das Gesetz der Verschiebung mit wachsender Stromstärke ändert.

Die Cd.-Linie $\lambda = 4678$ zeigte, daß Trabanten, die unter gewöhnlichen Bedingungen nicht sichtbar sind, im Magnetfeld sichtbar werden können.

Die Wismutlinie $\lambda = 4722$ hat eine sehr komplizierte Zerlegung und zwei Trabanten zeigten eine Verschiebung, die dem Quadrat der Feldstärke proportional ist.

Es zeigte sich auch, daß mit genügend feinen Linien die Aufspaltung in sehr schwachen Feldern (etwa 300 Gauss) gemessen werden kann.

(Eingegangen 22. Juli 1912.)