**6. Zeeman-Effekt
an Wolfram und Molybdän;
von Robert Jack.**

(Gekürzte Göttinger Inaugural-Dissertation.)

I. Einleitung.

Der Nachweis der Richtigkeit des Prestonschen Gesetzes über den Zeeman-Effekt bei einer Anzahl serienbildender Linien durch Runge und Paschen¹⁾ hat die große Wichtigkeit der Kenntnis des Zeeman-Effektes bei den verschiedenen Linien der verschiedenen Elemente dargetan. Kennt man diesen Effekt, so kann man von dieser Grundlage aus rückwärts Serien oder andere Gesetzmäßigkeiten in den Linienspektren ableiten. Auf Anregung von Hrn. Geh.-Rat Voigt habe ich eine Untersuchung der Elemente Wolfram und Molybdän vorgenommen. Diese beiden Elemente sind Glieder der sechsten Reihe im periodischen System. Es war daher wahrscheinlich, daß die Ähnlichkeiten in den chemischen Eigenschaften auch in der Ähnlichkeit der Spektren Ausdruck finden würde, und die Gesetzmäßigkeit in den Spektren lassen sich eben bis zu einem gewissen Grade durch den Zeeman-Effekt erkennen. Da Kayser²⁾ angegeben hat, daß von Reihe zu Reihe im periodischen System die Serien sich weiter nach den kleineren Wellenlängen zu bewegen, so war allerdings zu erwarten, daß die Serienenden in dem Schumann-Gebiet des Spektrums liegen würden. Die Absicht mußte daher sein, eine *vollständige* Untersuchung des Zeeman-Effektes bei diesen beiden Elementen zu liefern. Mit den gewonnenen Resultaten sollten dann ältere bekannte und vielleicht noch später zu findende Gesetze geprüft werden. Die Arbeit war insofern erfolgreich, als sie bereits bekannte Gesetze wirklich bestätigte

1) C. Runge u. F. Paschen, Berichte d. Berl. Akad. **19.** 1902; **32.** 1902; **20.** 1904. Astrophys. Journ. **15.** p. 333; **16.** p. 123. 1902.

2) H. Kayser, „Spektroskopie“ **2.** p. 591.

und auch auf einige neue hindeutete. Außerdem gab sie einige neue Zerlegungen von Linien in sehr viele Komponenten.

Bei einigen Linien zeigte die Beobachtung eine deutliche Dissymmetrie der durch Zerlegung resultierenden Systeme. Diese Dissymmetrie ist von Wichtigkeit, da man aus ihr vermutlich dermaleinst eine genauere Kenntnis über die Anordnung der Elektronen und über die Konstitution des Atoms wird gewinnen können. Schon sind einige Arbeiten über diesen Gegenstand veröffentlicht.¹⁾ Auch das Studium der oben erwähnten Elemente trägt etwas zur Erweiterung dieser Kenntnis bei, wie ich später zeigen werde.

Bezüglich der Anordnung der Beobachtungen muß auf die Dissertation verwiesen werden. Hier mögen nur einige für das Verständnis der Resultate wichtige Bemerkungen Platz finden.

Die meisten Aufnahmen wurden bei einer Feldstärke von 24650 C.G.S.-Einheiten gemacht. Nur wenn Überdeckungen vermieden werden mußten, wurden schwächere Felder benutzt. Die Stärke des Feldes wurde aus besonderen Aufnahmen der Zn-Linie 4680,43²⁾ und der Ca-Linie 3968,62 erschlossen. Die letztere Linie schien von einer Verunreinigung der Kohlenelektroden herzurühren. Runges Messungen bei der ersten Linie bei einer Feldstärke von 23850 Gauss und bei der letzteren bei 31000 Gauss wurden der Berechnung zugrunde gelegt.

Der Abstand der Komponenten wurde in mm gemessen und diese Messungen auf die Schwingungsdifferenz pro Längeneinheit des Weges (cm) zwischen der ursprünglichen Linie und den Komponenten umgerechnet, d. h. es wurde $\Delta(1/\lambda)$ oder $-(\Delta\lambda)/\lambda^2$ berechnet. Diese Schwingungsunterschiede gelten also für ein Feld von 24650 Gauss. Um sie aber besser mit Runges Resultaten bei einem Feld von 23850 vergleichen zu können, wurden die Werte weiter auf dieses Feld reduziert, und die angegebenen Resultate beziehen sich auf dieses. Die

1) P. Zeeman, K. Akad. v. Wet., Amsterdam, November 1907, März 1908; W. Voigt, „Magneto- u. Elektrooptik“, Physik. Zeitschr. 4. p. 120. 1908; P. Gmelin, Physik. Zeitschr. 7. p. 212. 1908.

2) Die Wellenlängen sind immer in Å-Einheiten wiedergegeben.

Genauigkeit der Messungen des Abstandes zwischen den Komponenten hing größtenteils von der Schärfe der Linien, ihrem jeweiligen Abstand und von ihren Intensitäten ab. Bei günstigen Linien ist der übrig bleibende mögliche Fehler sehr gering, bei weniger guten Linien wird der Fehler selten 0,005 mm übersteigen. Beim Spektrum erster Ordnung würde dies bei einem Felde von 23850 für $\lambda = 4800$ einen Fehler im Schwingungsunterschied von höchstens 0,04 und für $\lambda = 2600$ von 0,13 bedeuten. Für Linien, die in der zweiten Ordnung gemessen sind — und die meisten Linien mit kurzer Wellenlänge sind so gemessen —, reduziert sich dieser größte Fehler auf die Hälfte, und für die dritte Ordnung auf ein Drittel. Die Möglichkeit solch großer Fehler wird durch die Tatsache verringert, daß bei den meisten Linien eine Wiederholung der Messung auf verschiedenen Platten stattfand, während andere durch Messungen in den verschiedenen Ordnungen des Spektrums kontrolliert wurden. Bei allen derartigen Messungen ergab sich nun der Fehler als viel kleiner. Nur bei schwachen Linien ist die genaue Messung schwierig.

Zur Erläuterung der Tabellen diene folgendes.

Die Intensitäten der Komponenten in der ersten Ordnung sind unter i verzeichnet. Unter $-(\Delta\lambda)/\lambda^2$ oder $\Delta(1/\lambda)^1$ ist die Änderung der Anzahl der Schwingungen pro cm verstanden. Daher bedeuten positive und negative Werte die respektiven Komponenten auf der blauen oder der roten Seite von der ursprünglichen Lage der Linie. Manchmal ist die Trennung in eine eckige Klammer [] eingeschlossen. In diesem Fall war es wegen der Lichtschwäche oder Unschärfe nicht möglich, sehr genau zu messen.

Die Buchstaben p und s , welche nun folgen, bedeuten, daß für diese Komponenten die elektrischen Schwingungen parallel oder senkrecht zu den Kraftlinien liegen. Wenn diesen Buchstaben ein Fragezeichen folgt, so bedeutet dies, daß die Komponenten nur auf Platten beobachtet wurden, die alle Komponenten enthielten und daß nur aus kleinen Verschiebungen, Intensitäts- oder sonstigen Beobachtungen der

1) Hier ist λ in cm angedrückt. Dagegen ist bei Angaben von Wellenlängen an anderen Stellen die Ångströmeinheit benutzt.

Schluß auf die wahrscheinlichste Schwingungsrichtung gezogen ist. Stehen *beide* Buchstaben p und s hinter der Messung, so besagt dies, daß in diesem Intervall *beide* Schwingungen gefunden wurden. Wenn zwei s - oder zwei p -Komponenten gleichzeitig mit verschiedenen Zeichen gegeben und ihre Intensitäten die gleichen sind, so ist unter i nur *eine* Zahl angegeben. Haben indessen die Komponenten verschiedene Intensitäten, so sind zwei Zahlen angegeben, von denen sich die erstere auf die violette Komponente bezieht. Wenn die s - und p -Komponenten die gleiche Trennung besitzen, so gehört die erste angegebene Intensität zu der s -Komponente, und wenn nur eine Intensität angegeben ist, so haben beide dieselbe. In jedem Fall ist die Intensität der s -Komponente zuerst gegeben. Sind zwei Intensitäten in einer runden Klammer () gegeben, so bezieht sich die erste auf die violette Komponente. Die Regel ist also, daß s immer vor p und Violett immer vor Rot in bezug auf Intensitäten steht.

„Die bisher beobachteten komplizierteren Zerlegungen von Spektrallinien im Magnetfelde zeigen die folgende Eigentümlichkeit: Die Abstände der Komponenten von der Mitte sind Vielfache eines aliquoten Teiles des normalen Abstandes

$$a = \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2} = \frac{e}{m} \frac{H}{4 \pi c}.$$

Sicher beobachtet sind bisher die Teile $a/2$, $a/3$, $a/4$, $a/5$, $a/6$, $a/7$, $a/11$, $a/12$.“ Dieses Resultat wurde von Runge gefunden.¹⁾ In dieser Formel ist e/m das Verhältnis von Ladung und Masse des Elektrons. H ist die Feldstärke und c die Lichtgeschwindigkeit. Aus diesem „Normalabstand“ bei den Quecksilberlinien haben Paschen und Runge berechnet

$$\frac{e}{m} = 1,69 \times 10^7 \text{ (cm}^{1/2} \text{ g}^{-1/2}\text{)}.$$

Indem ich bei Wolfram Linien mit vielen Komponenten benutzte, konnte ich bei derjenigen Feldstärke, auf die alle folgenden Beobachtungen reduziert sind, den Wert für den Normalabstand zu $a = 1,072$ berechnen. Daher hat a in den folgenden Tabellen diese Bedeutung. Unter Kolumne A wird

1) C. Runge, Physik. Zeitschr. 8. p. 232. 1907.

man diese Regel weiter bestätigt finden. Es stellte sich heraus, daß es besser war, wenn ein gemeinsamer Faktor vorhanden war, diesen in den Zähler des Bruches zu stellen. Infolgedessen zeigt nun A , daß die Intervalle Vielfache von *rationalen* Brüchen des Normalabstandes a darstellen.

II. Wolfram.

Die folgenden beiden Linien besitzen wahrscheinlich 19 Komponenten.

Tabelle I.

$\lambda = 3868,14$			$\lambda = 4008,93$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$-[2,69] s$	$25 \times ,106 (a/10)$	1	$-2,44 s$	$8 \times ,302 (2 a/7)$
1	$-[2,17] s$	20	2	$\pm 2,13 s$	7
2	$\pm 1,69 s$	16	3	$\pm 1,82 s$	6
4	$\pm 1,31 p$	12	4	$\pm 1,49 s$	5
2	$\pm 1,25 s$	12	4	$\pm 1,17 s$	4
4	$\pm 0,86 p$	8	4	$\pm 0,93 p$	3
3	$\pm 0,81 s$	8	4	$\pm 0,87 s$	3
4	$\pm 0,41 p$	4	4	$\pm 0,62 p$	2
4	$\pm 0,38 s$	4	4	$\pm 0,31 p$	1
4	$-0,03 p$	0	4	0 p	0

Diese Systeme sind beide ganz neue Typen und besitzen die größte bisher bei einer einzelnen Linie beobachtete Anzahl von Komponenten. Sie sind voneinander ganz verschieden. Man sieht, daß bei der ersten Linie zwei violette Komponenten und bei der zweiten eine fehlt. Die hierin ausgedrückte ein wenig größere Intensität auf der roten Seite ist auch einigemal von Zeeman beobachtet. Weiter erscheint die mittlere Komponente ein wenig nach Rot verschoben. Die anderen p -Komponenten liegen symmetrisch, nur diese eine Komponente ist verschoben. Man könnte sagen, daß die Abweichung unterhalb der Fehlergrenze liege; sie ist aber ganz deutlich erkennbar. Die A -Kolumne zeigt, daß die Intervalle Vielfache eines aliquoten Teiles von a sind. Das Intervall zwischen den

beiden letzten Komponenten von 3868,14 ist größer als die übrigen, sowohl der Messung nach wie auch für das Auge und der Faktor ist 25, während man 24 erwarten würde. Bei beiden Linien sind Beispiele von p - und von s -Komponenten mit gleichem Abstand zu bemerken. Die Intervalle 0,42 ($2a/5$) bei der ersten Linie und 0,31 ($2a/7$) bei der zweiten kommen je 15mal vor.

Die nächsten Linien haben 17 bzw. 15 Komponenten.

Tabelle II.

$\lambda = 3708,09$			$\lambda = 3817,60$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$\pm 3,68 s$	$24 \times ,153 (a/7)$	4	$\pm 4,03 s$	$26 \times ,154 (a/7)$
2	$\pm 2,91 s$	19	4	$\pm 3,07 s$	20
12	$\pm 2,27 p$	15	6	$\pm 2,89 p$	19
2	$\pm 2,16 s$	14	4	$\pm 2,17 s$	14
8	$\pm 1,54 p$	10	4	$\pm 1,89 p$	12
2	$\pm 1,40 s$	9	4	$\pm 1,05 s$	7
2	$\pm 0,77 p$	5	1	$\pm 0,88 p$	6
2	$\pm 0,58 s$	4	4	$\pm 0,08 s$	0
2	$+0,07 s$	0			

Dies sind ebenfalls zwei neue Typen mit einer großen Anzahl von Komponenten. In beiden Fällen ist die mittlere Komponente nach dem Violett zu verschoben. Es sind Anzeichen vorhanden, daß diese Dissymmetrie durch eine Verschiebung der Linse verändert werden kann. Es ist daher besser, diese Verschiebung nicht in Kolumne A in Betracht zu ziehen, sondern sie Null zu setzen. Beide Linien geben Vielfache von $a/7$, nur die Faktoren sind verschieden. Das Intervall 0,77 ($5a/7$) bei der ersten Linie kommt 14mal vor und bei der zweiten 0,92 ($6a/7$) achtmal. Beide Liniensysteme sind verschieden, trotzdem sie beide Vielfache von $a/7$ liefern.

Die folgenden beiden Linien sind ausgezeichnete Beispiele für vielfache Zerlegung. In dem Spektrum zweiter Ordnung sind die Komponenten sehr deutlich und vorzüglich getrennt. Sie haben beide 13 Komponenten.

Tabelle III.

$\lambda = 4045,75$			$\lambda = 4269,57$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
9	$\pm 3,81 s$	$32 \times ,119 (a/9)$	15	$\pm 4,61 s$	$15 \times ,306 (2a/7)$
6	$\pm 2,99 s$	25	15	$\pm 3,36 s$	11
3	$\pm 2,16 s$	18	15	$\pm 2,42 p$	8
9	$\pm 1,65 p$	14	15, 10	$\pm 2,15 s$	7
1	$\pm 1,33 s$	11	15	$\pm 1,22 p$	4
12	$\pm 0,82 p$	7	6, 15	$\pm 0,92 s$	3
12	0 p	0	15	0 p	0

Die mittleren Komponenten sind nicht verschoben, die Abstände $0,83 (7a/9)$ bei der ersten Linie und $1,23 (8a/7)$ bei der zweiten treten je 10mal auf. Bei 4269,57 gibt es eine Eigentümlichkeit in der Intensitätsverteilung. Bei dem einen zusammengehörigen Paar ist die rote Komponente schwächer, dagegen ist sie bei einem anderen Paare umgekehrt stärker. Die Linien 4008,93 und 4269,57 liefern beide Vielfache von $2a/7$, aber obgleich einige Faktoren bei ihnen gleich sind, haben die betreffenden Komponenten doch verschiedene Schwingungsrichtungen. Daher ist es wenig wahrscheinlich, daß die zweite Linie in Wahrheit so viel Komponenten besitzt, wie die oben erwähnte, und nur die einzelnen Komponenten zu schwach sind. Die Linien gehören sicher *nicht* zu einer Serie.

Die folgenden drei Linien haben 11, 9 und 7 Komponenten.

Tabelle IV.

$\lambda = 3809,38$			$\lambda = 4019,37$			$\lambda = 4274,74$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
4	$\pm 3,54 s$	$23 \times ,151 (a/7)$	1	$\pm 2,52 s$	$14 \times ,180 (a/6)$	5	$\pm 2,99 s$	$25 \times ,119 (a/9)$
1	$\pm 2,91 s$	19	2	$\pm 1,64 s$	9	5	$\pm 1,67 s$	14
1	$\pm 2,12 s$	14	2	$\pm 0,87 p$	5	8	$\pm 1,43 p$	12
1, 2	$\pm 1,55 p$	10	5	$\pm 0,74 s$	4	1	0 s	0
4	$\pm 0,74 p$	5	4	0 p	0			
4	0 p	0						

Man kann schon hier sehen, daß Vielfache von $a/7$ in dem Wolframspektrum häufiger vorkommen. Die Linien 3809,38 und 3708,09 (aus Tab. II) sollen verglichen werden. Sie zeigen beide eine gewisse Ähnlichkeit, aber zugleich Verschiedenheiten der Mittelkomponenten und andersartigen Intensitätsverhältnisse; die Linien liegen nicht entfernt genug voneinander, um diese verschiedenartigen Intensitäten durch sekundäre Umstände erklären zu können. Dies macht es zur Gewißheit, daß die Linien keineswegs zu der gleichen Serie gehören. Die Intervalle $0,77 (5a/7)$ und $0,89 (5a/6)$ treten je sechsmal auf. Die Linien 4274,74 und 4045,75 (in Tab. III) zeigen gleiche Vielfache von $a/9$, aber die Linien sind von verschiedenem Typus. Es mag Zufall sein, aber es ist doch interessant, daß alle bisher betrachteten Linien mit *vielen* Komponenten eine *ungerade* Zahl von Komponenten haben (19, 17, 15, 13, 11, 9, 7).

Jetzt kommen 6 Linien mit 6 Komponenten.

Tabelle V.

$\lambda = 2848,15$			$\lambda = 3617,67$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$\pm 3,24 s$	$21 \times ,155 (a/7)$	15	$\pm 1,95 s$	$11 \times ,178 (a/6)$
1	$\pm 2,46 p$	16	40	$\pm 1,25 p$	7
1	$\pm 0,64 s$	4	8	$\pm 0,89 p$	5

$\lambda = 3768,60$			$\lambda = 4111,97$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
5	$\pm 2,55 s$	$14 \times ,179 (a/6)$	2, 3	$\pm 1,70 s$	$14 \times ,121 (a/9)$
3	$\pm 1,59 s$	9	6, 5	$\pm 1,07 p$	9
12	$\pm 0,87 p$	5	2, 3	$\pm 0,61 s$	5

$\lambda = 4298,55$			$\lambda = 4543,66$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	+5,42 s	$50 \times ,108 (a/10)$	3	+1,60 s	$12 \times ,133 (a/8)$
2	+1,29 s	12	1	+1,60 p	12
2	0 s, p	0	4, 2	0 s, p	0
2	-1,27 s	12	1	-1,47 p	11
1	-4,60 s	43	1	-1,72 s	13

$a/8$ ist das einzige neuartige Grundintervall. Es treten bei den Linien 4019,37 (in Tab. IV) und 3768,60 zwar einige gleiche Intervalle auf, aber die fehlenden Komponenten können nicht wegen geringer Helligkeit verschwunden sein, wenn beide Linien zu derselben Serie gehören; dazu besitzt die Linie mit der kürzeren Wellenlänge die größere Intensität, und dies zeigt, daß keinerlei Zusammenhang zwischen beiden Linien besteht. Bei 4111,97 entspricht zwei zusammengehörigen s -Paaren mit stärkerer roter Komponente umgekehrt ein p -Paar mit stärkerer violetter Komponente. Die gleiche Erscheinung wurde schon bei 4269,57 erwähnt. Die Abstände 0,89 ($5a/6$) und 1,07 (a) kommen viermal vor. Die Linien 4298,55 und 4543,66 sind wegen der großen Dissymmetrie der Komponenten bemerkenswert, und auch deshalb, weil die *mittleren* Komponenten sowohl p - als s -Schwingungen besitzen. Die Linie 2848,15 hat vielleicht mehr Komponenten wie oben angegeben, aber sie waren zu undeutlich.

Die folgenden 7 Linien haben je 5 Komponenten.

Tabelle VI.

$\lambda = 2879,21$			$\lambda = 3025,01$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2	$\pm 3,39 s$	$19 \times ,178 (a/6)$	1	$\pm 1,55 s$	$10 \times ,154 (a/7)$
1	$\pm 2,83 p$	16	2	$\pm 1,39 p$	9
2	0 s	0	3	0 s	0

$\lambda = 3232,60$			$\lambda = 3570,82$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$\pm 2,06 \text{ s}$	$4 \times ,511 \text{ (a/2)}$	2	$+1,82 \text{ s}$	$12 \times ,153 \text{ (a/7)}$
2	$\pm 1,52 \text{ p}$	3	4	$+0,78 \text{ s}$	5
1	0 s	0	20	0 p	0
			4	$-0,78 \text{ s}$	5
			3	$-2,29 \text{ s}$	15

$\lambda = 3663,50$			$\lambda = 4022,27$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$\pm 2,42 \text{ s}$	$2 \times 1,19 \text{ (10 a/9)}$	3	$\pm 2,52 \text{ s}$	$2 \times 1,26 \text{ (7 a/6)}$
4	$\pm 1,15 \text{ s}$	1	1	$\pm 1,25 \text{ s}$	1
4	0 p	0	8	0 p	0

$\lambda = 2792,85$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2	$\pm 2,02 \text{ s?}$	$2 \times 1,01 \text{ (20 a/21)}$
2	$\pm 1,01 \text{ p?}$	1
2	0 p?	0

Es gibt hier nur *ein* neues Grundintervall, aber noch keine gleichartigen Zerlegungen. Der mögliche Fehler bei 3232,60 ist ziemlich groß wegen der geringen Stärke der Komponenten und dies berechtigt zu der angegebenen Zahl unter A . Das Grundintervall ist nicht neu, da es schon als $a/6$ vorgekommen ist. Die Linie 3570,82 ist dissymmetrisch sowohl in bezug auf Intervalle wie Intensitäten, aber in der Mitte befindet sich keine s -Komponente. Wahrscheinlich besitzt diese Linie mehr Komponenten, doch sind diese undeutlich. Die Komponenten von 2792,85 waren nur auf der Platte zu erkennen, die sämtliche Komponenten gab. Die drei Mittelkomponenten schienen ein wenig nach dem Rot verschoben, und das läßt vermuten, daß sie zu derselben Schwingungsart gehören, daß sie nämlich p -Komponenten sind. Dieser Punkt wird später besprochen werden. Die Komponenten sind hier also symmetrisch angegeben, weil diese Betrachtungsweise für Serienuntersuchungen besser zu sein scheint. Der Grund dafür, daß das Grund-

intervall hier zu $20a/21$ angenommen ist, soll später besprochen werden.

Die folgenden 74 Linien haben je 4 Komponenten.

Tabelle VII.

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2489,31	4	$\pm 1,69$ s	$11 \times ,154 (a/7)$	3427,85	3	$\pm 1,17$ s	$3 \times ,388 (4a/11)$
	3	$\pm 0,78$ p	5		5	$\pm 0,77$ p	2
2571,55	4	1,62	$9 \times ,178 (a/6)$	3443,14	4	1,40	$2 \times ,70 (2a/3)$
	2	0,87	5		4	0,67	1
2589,29	1	1,58	$8 \times ,198 (2a/11)$	3448,16	1	1,31	$4 \times ,327 (3a/10)$
	1	0,99	5		1	0,98	3
2613,20	3	1,37	$14 \times ,098 (a/11)$	3506,80	2	1,25	$7 \times ,18 (a/6)$
	1	0,87	9		2	0,73	4
2658,13	3	1,68	$11 \times ,154 (a/7)$	3526,98	1	[1,17]	$4 \times ,294 (3a/11)$
	2	1,12	7		1	0,89	3
2699,68	2	1,33	$3 \times ,448 (5a/12)$	3555,31	2	1,41	$4 \times ,344 (a/3)$
	1	0,91	2		2	1,00	3
2724,44	15	1,88	$3 \times ,63 (3a/5)$	3573,56	1	1,26	$8 \times ,158 (a/7)$
	10	1,27	2		1	0,48	3
2764,39	5	2,12	$8 \times ,267 (a/4)$	3584,26	4	1,47	$2 \times ,73 (2a/3)$
	4	1,34	5		4	0,73	1
2947,10	12	1,97	$3 \times ,65 (3a/5)$	3613,94	4	1,50	$7 \times ,214 (a/5)$
	4	2,61	4		5	0,48	2
3043,90	3	1,41	$4 \times ,347 (a/3)$	3625,56	3	1,10	$1 \times ,105 (a)$
	1	1,03	3		3	[0,99]	1
3208,39	8	1,22	$1 \times ,125 (7a/6)$	3657,71	8	1,68	$7 \times ,240 (2a/9)$
	5	1,27	1		8	0,95	4
3251,39	1	1,17	$8 \times ,15 (a/7)$	3683,48	6	1,38	$5 \times ,271 (a/4)$
	1	0,73	5		6	0,52	2
3331,81	6	1,96	$9 \times ,214 (a/5)$	3699,56	3	1,43	$8 \times ,180 (a/6)$
	4	1,88	8		3	0,91	5
3371,20	2, 4	2,00	$11 \times ,178 (a/6)$	3720,67	2	1,32	$5 \times ,264 (a/4)$
	2	0,70	4		2	1,06	4
3371,49	1	[2,08]	$3 \times ,099 (7a/11)$	3743,99	2	1,17	$2 \times ,585 (6a/11)$
	1	0,69	1		2	0,58	1
3402,02	4	1,34	$5 \times ,274 (a/4)$	3749,81	7	0,72	$4 \times ,180 (a/6)$
	4	0,85	3		7	0,54	3
3413,66	3	[1,59]	$1 \times 1,61 (3a/2)$	3829,27	4	1,53	$5 \times ,307 (2a/7)$
	3	1,64	1		4	0,31	1

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
3835,20	20	$\pm 1,74 s$	$3 \times ,585 (6 a/11)$	4259,52	10	$\pm 1,86 s$	$2 \times ,937 (7 a/8)$
	20	$\pm 0,60 p$	1		10	$\pm 0,95 p$	1
3864,51	5	1,46	$7 \times ,21 (a/5)$	4263,47	12	1,75	$8 \times ,217 (a/5)$
	5	0,43	2		12	0,64	3
3922,52	2	[1,57]	$3 \times ,52 (a/2)$	4273,89	1	1,52	$7 \times ,213 (a/5)$
	2	1,03	2		2	0,40	2
3924,86	2	1,29	$7 \times ,181 (a/6)$	4302,30	40	2,03	$3 \times ,667 (5 a/8)$
	4	0,70	4		40	0,64	1
3935,60	2	1,16	$2 \times ,597 (5 a/9)$	4307,04	6	1,72	$7 \times ,247 (3 a/13)$
	3	0,63	1		6	0,50	2
3955,43	7	1,40	$9 \times ,155 (a/7)$	4310,44	1	1,08	$5 \times ,214 (a/5)$
	15	0,62	4		2	0,63	3
3965,30	10	1,50	$5 \times ,303 (2 a/7)$	4355,33	5	1,20	$3 \times ,398 (3 a/8)$
	10	0,32	1		5	0,79	2
3969,33	4	1,47	$5 \times ,290 (3 a/11)$	4408,48	5	1,67	$14 \times ,120 (a/9)$
	4	0,56	2		8	0,36	3
3998,33	1	[1,05]	$1 \times 1,05 (a)$	4412,36	4	1,70	$7 \times ,242 (2 a/9)$
	1	1,04	1		4	0,72	3
4029,16	1	1,18	$9 \times ,130 (a/8)$	4420,63	5	1,24	$3 u. 1 \times ,405 (3 a/8)$
	1	[0,51]	4		5	0,38	$7 u. 2 \times ,180 (a/6)$
4040,72	1	1,48	$3 \times ,50 (5 a/11)$	4445,26	5	1,30	$3 \times ,435 (2 a/5)$
	2	1,00	2		4	0,44	1
4046,85	3	1,20	$9 \times ,132 (a/8)$	4513,42	2	1,00	$5 \times ,197 (2 a/11)$
	3	0,65	5		2	0,38	2
4060,82	4	1,45	$11 \times ,133 (a/8)$	4592,58	3	1,40	$9 \times ,156 (a/7)$
	4	0,41	3		3	0,63	4
4074,51	40	2,02	$3 \times ,677 (5 a/8)$	4613,45	3	1,72	$2 \times ,86 (4 a/5)$
	60	0,69	1		6	0,86	1
4109,90	15	1,10	$7 \times ,155 (a/7)$	4634,95	1	[1,13]	$7 \times ,158 (a/7)$
	8	0,61	4		1	0,61	4
4132,40	3	1,56	$8 \times ,197 (2 a/11)$	4642,76	3	1,08	$8 \times ,135 (a/8)$
	6	1,00	5		3	0,67	5
4133,60	5	1,38	$2 \times ,683 (7 a/11)$	4680,8	5	1,76	$9 \times ,195 (2 a/11)$
	5	0,67	1		10	0,77	4
4139,43	3	1,16	$10 \times ,117 (a/9)$	4843,1	3	1,87	$19 \times ,098 (a/11)$
	3	0,33	7		6	0,87	9
4180,38	3	1,22	$8 \times ,153 (a/7)$	5053,9	2	2,17	$11 \times ,195 (2 a/11)$
	3	0,46	8		6	1,15	6
4199,80	2	1,19	$3 \times ,403 (3 a/8)$	5514,1	2	$+1,29 s$	$1 \times 1,27 (7 a/6)$
	2	0,42	1		10	0 s, p	0
					2	$-1,25 s$	1

Für Linien mit wenig Komponenten ist es schwer, die Zahlen unter A passend zu wählen. Bedenkt man den möglichen Fehler, so können den Intervallen der Komponenten einer Linie verschiedene Vielfache von verschiedenen aliquoten Teilen von a zugehören. Z. B. gibt 4420,63 entweder Vielfache von $3a/8$ oder von $a/6$. Es wurde stets versucht, die Auswahl so zu treffen, daß die mittlere Abweichung so viel wie möglich geringer war, wie sie bei willkürlichen Intervallen¹⁾ berechnet wäre. Bei vielen Komponenten hat man hierin eine Kontrolle für die richtige Wahl des aliquoten Teiles, und je mehr Komponenten vorhanden sind, um so sicherer ist die Wahl; bei weniger Komponenten muß dagegen ein Hilfsmittel wie die *mittlere* Abweichung hinzukommen. Eine Gruppe von drei Linien gibt dieselben Zerlegungen: 3613,94; 3864,51 und 4273,89. Vier Linien sind nötig, eine Serie zu konstatieren. Aus drei Linien kann man berechnen, wo vielleicht eine vierte liegen müßte; aber den aus obigen Linien gewonnenen Werten entspricht keine Linie mit einer analogen Zerlegung. Die Linie 4273,89 scheint auch zu schwach zu sein, als daß sie zu derselben Serie gehören sollte. Es gibt auch noch 11 Paare mit einer gleichen Zerlegung für jedes einzelne Paar (a , $a/3$, $2a/3$, $a/6$, $a/7$ (3), $2a/7$, $3a/8$, $5a/8$, $2a/11$). Aber diese sind zur Aufsuchung einer Serie nicht ausreichend und sie geben auch nicht die gleichen Differenzen. Vielfache von $a/7$ und $a/11$ sind am häufigsten.

521 Linien sind Triplets; die sie aufführende Tab. VIII der Dissertation ist hier des Raummangels wegen fortgelassen.

Bei den früheren Zerlegungen war die Möglichkeit der Auffindung von Serien gering oder gar Null. Bei den Tripletlinien aber ist es sehr wahrscheinlich, daß man unter diesen Linien sehr viele Serien finden wird; denn viele von ihnen zeigen den gleichen Zeeman-Effekt. Diese große Zahl von Linien ist jedoch auch ein ungünstiger Umstand; denn, wie oben gezeigt, wächst die Möglichkeit eines Irrtums mit abnehmender Wellenlänge, und so kommt noch eine Schwierigkeit zu der anderen hinzu.

1) C. Runge, Physik. Zeitschr. 8. p. 232. 1907.

Alle diese Linien auf Serienbildung hin zu untersuchen, war unmöglich. Indem ich in jedem Fall die mögliche Größe des Fehlers in Betracht zog, habe ich Serien unter den Linien mit einer Trennung von 2,73; 2,29; 2,07; 1,53; 1,07; 0,74 und 0,62 gesucht. Eine Hilfe bei dieser Arbeit bot sich zufällig im Fall der Trennung 0,74, und half eine neue (wahrscheinliche) Serie aufdecken. Beachtet man die Intensitäten der Linien mit dieser Trennung, so wird man bemerken, daß die Intensität von den größeren Wellenlängen her allmählich abnimmt, bis die Linie 3416,76 erreicht ist. Diese Linie gibt dieselbe Trennung, gehört aber zu dem eigenartigen, zuerst von Becquerel und Deslandres beobachteten Typus, bei dem die *s*-Komponente in der Mitte liegt, während die Außenkomponenten *p*-Komponenten sind. Diese Linie scheint einen Wendepunkt darzustellen, denn beim weiteren Fortschreiten sind die Intensitäten zunächst wieder weit größer, nehmen dann aber nach den kleineren Wellenlängen zu wieder ab. Für die Trennungen 1,03 und 0,62 wurde dasselbe beobachtet, aber doch keine Serie gefunden. Die Schwierigkeiten sind hier groß, denn das erste Glied einer solchen Serie liegt schon weit im Ultraviolett, wo die Ungenauigkeiten der Messungen sehr groß sind; und die Messungen des Zeeman-Effektes können nicht viel weiter nach dem Ultraviolett hin ausgeführt werden.

Die folgende Tabelle gibt die (vermutlich) serienbildenden Linien.

Tabelle IX.

<i>m</i>	λ (Berechnet)	λ (Tabellen)	<i>i</i>	Abweichung
1		3326,33	10, 20	—
2		2625,34	2, 2	—
3		2466,96	1, 1	—
4	2397,20	2397,18	10	+0,02
5	2357,98	2358,01	1 (E. u. H.)	-0,03
6	2332,85	2332,90	1 „	-0,05
7	2315,38	2315,65	1 „	-0,27
8	2302,52	2302,80	1 „	-0,28

Die ersten drei Linien zeigen den gleichen Zeeman-Effekt und die Intensitäten nehmen nach den kürzeren Wellenlängen hin ab. Es wurde Runges erste Formel¹⁾:

$$\frac{10^8}{\lambda} = a + \frac{b}{m} + \frac{c}{m^2}$$

benutzt. Hierin sind a , b , c Konstanten der Serie und m durchläuft die Reihe der ganzen Zahlen. Durch Einsetzen der ersten drei λ mit ihren zugehörigen m wurden a , b , c berechnet und so gefunden

$$\frac{10^8}{\lambda} = 45081,17 - \frac{12945,66}{m} - \frac{2072,55}{m^2}.$$

Die Tabelle zeigt die gute Übereinstimmung der berechneten mit den beobachteten Werten bei den kleineren m . Bedauerlicherweise konnte aber der Zeeman-Effekt bei diesen (berechneten) Linien nicht beobachtet werden. In diesem Teil des Spektrums ist es nicht nur schwierig Aufnahmen zu machen, sondern, selbst wenn man Photographien besitzt, sind auch die Komponenten so nahe beieinander, daß sie nicht getrennt erscheinen. Für $\lambda = 2397,18$ ist die Intensität groß und paßt nicht mit der sonst beobachteten Abnahme der Intensität in den Serien. Die Intensitäten der anderen Linien stimmen dagegen mit der Regel überein. Für höhere Werte von m ergab sich, daß sich mehrere Linien in der Nähe der berechneten befanden. Zieht man in Betracht, daß mit wachsendem m der Unterschied zwischen beobachteten und berechneten Wellenlängen wächst, offenbar infolge der nicht genauen Formel, und daß Beobachtungen des Zeeman-Effektes die Entscheidung nicht stützen, so sieht man, daß es unmöglich ist zu entscheiden, welche der beobachteten Linien der berechneten entspricht, solange hier noch keine Beobachtungen des Zeeman-Effektes gemacht sind. Daher sind keine weiteren berechneten Werte angegeben, doch kann man sie leicht durch Einsetzen von größeren m erhalten.

Als Unterstützung für die Behauptung, daß hier eine neue Serie vorliegt, erwähne ich das Gesetz von der Bewegung der

1) C. Runge, „On the harmonic series of lines in the spectra of the elements“, Rep. Brit. Ass. 1888. p. 576—577.

Serien nach dem Violett beim Fortschreiten in den Gruppen des periodischen Systems. In Kayzers „Spektroskopie“ Bd. II, p. 591 ist eine Tabelle gegeben, die angibt, wo die zweiten Nebenserien zu Ende kommen. Aus dieser erkennt man die Richtigkeit des obigen Gesetzes und auch die Tatsache, daß in einer Gruppe eine Bewegung der Serien nach dem Rot hin stattfindet. Im folgenden sind diese Werte als Schwingungszahlen angegeben und dazu auch der neue Wert für Wolfram. Die Elemente sind so angeordnet wie sie auch in Mendeleejffs Tabelle enthalten sind.

Gruppe II	III	VI
	Al 48 244	
Zn 42 955		
Cd 40 797	In 44 535	
		W 45 081
Hg 40 218	Tl 41 506	

Die Werte der Serienenden für O, S, Se, die ebenfalls in die VI. Gruppe gehören, widersprechen diesem Gesetz; doch bestätigt dieser neue Wert für Wolfram seine Richtigkeit.

Die Aufsuchung gleicher Differenzen unter den Linien eines solchen Spektrums, wie es das Wolframspektrum ist, ist sehr mühevoll, doch wurde für die Trennung 1,29 die Mühe durch folgende interessante Resultate belohnt (Tab. X).

In dieser Tabelle sind die Schwingungszahlen (n) angegeben und auch die Differenzen (D) zwischen zwei Zahlen, die in der Horizontalreihe aufeinander folgen. Der erste Anstoß zu der Tabelle wurde durch die Beobachtung der gleichen Differenzen zwischen Linien mit der gleichen Trennung 1,29 gegeben. Die Tabelle wurde dann aber zusammengestellt auch mit Hilfe von Linien mit anderem Zeeman-Effekt und auch von solchen, die zu schwach waren, als daß man sie hätte beobachten können, wenn das Magnetfeld wirkte. Die Abweichung vom Mittel ist sehr gering und liegt innerhalb der Beobachtungsfehler. Die meisten Linien derselben Kolonne haben auch den gleichen Zeeman-Effekt. Mit Ausnahme der Linie $n = 26763,8$ mit der Intensität 10 hatten die Linien geringe Intensität. In der fünften Kolonne fehlt eine Linie, etwa $n = 27060$; doch geben die Tafeln keine Linie an dieser Stelle,

Tabelle X.

n (z) (Z.-E.)	D	n (z) (Z.-E.)	D	n (z) (Z.-E.)	D	n (z) (Z.-E.)	D	n (z) (Z.-E.)	D	n (z) (Z.-E.)	D
31043,1 (1)	1138,7 (1)	29904,4 (1)	747,8 (2) (1,31)	588,8 (1) (1,31)	525,2 (1)	28042,6 (1)	496,1 (1)	27546,5 (1)	483,5 (1)	27061,0 (1)	
30260,8 (1) (1,24)	1139,4 (1+)	29121,4 (2,09)	747,7 (1+)	588,5 (1) (1,30)	525,0 (1)	27785,2 (1,30)	496,0 (10) (1,69)	26763,8 (1,69)	483,6 (1)	26280,2 (1)	
28131,4 (1+)	1140,5 (1+)	26990,9 (1,28)	748,0 (2) (1,30)	589,1 (1+)	524,7 (2) (1,31)	25129,1 (1,31)	494,9 (1) (1,28)	24634,2 (1,28)	483,0 (1+)	24151,2 (0,90)	
27568,0 (2) (1,27)	1139,9 (1)	26428,1 (1,19)	748,1 (1) (1,31)	590,6 (1+)	524,0 (2)	24565,4 (2)	496,9 (1) (2,10)	24068,5 (2,10)	485,3 (2)	23583,2 (1,45)	
24645,1 (1+)	1140,0 (1+)	23505,1 (1,29)	748,1 (1) (1,27)	591,0 (1)	524,5 (1) (1,29)	21641,5 (1,29)					
Mittel	1139,7		747,9	589,6	524,7		496,0		483,5		
Ordnungs- zahl	1		2	3	4		5		6		

und eine Prüfung der Platten, die das Spektrum unzerlegt enthielten, ergab ebenfalls keine Linie. Vielleicht könnte man bei längerer Exposition solch eine Linie finden, denn da die meisten dieser Linien sehr schwach sind, so könnte die gesuchte vielleicht wegen ihrer geringen Intensität verloren gegangen sein. In der 6. und 7. Kolonne fehlen zwei Linien, doch würden diese in einem Teil des Spektrums liegen, der sehr wenig auf die Platte wirkt, so daß auch sie aus diesem Grunde nicht gefunden sein können.

Die Tatsache, daß bei diesen gleichen Differenzen eine Gesetzmäßigkeit vorliegt, sieht man aus der folgenden Kurve (Fig. 1).

Fig. 1.

Die Ordnungszahlen bilden die Abszissen und die Differenzen die Ordinaten. Die Kurve scheint asymptotisch zu beiden Achsen zu verlaufen. Vielleicht könnte aber eine Änderung hierin stattfinden, wenn man zu höheren Ordnungs-

zahlen geht, so daß dann die Kurve wieder aufgebogen würde. Es wurde auf viele-Weisen versucht, eine Formel für die Kurve aufzustellen, bis jetzt jedoch ohne Erfolg. Die Gleichung würde vielleicht eine ähnliche Gestalt haben wie bei Linienserien, man könnte sie etwa als Differenzserien bezeichnen. Beide Arten von Serien sind nach drei Richtungen voneinander verschieden. Die Differenzserien laufen von Violett nach Rot, die Linienserien von Rot nach Violett. Die Intensitäten bleiben konstant, während sie bei den Linienserien abnehmen, wenn die Glieder näher zusammenkommen, und außerdem ist der Zeeman-Effekt nicht bei allen Linien derselbe.

40 Linien erschienen ungetrennt; die sie enthaltende Tab. XI der Dissertation ist hier gleichfalls fortgelassen.

III. Molybdän.

Die folgenden beiden Linien haben 11 und 9 Komponenten.

Tabelle XII.

$\lambda = 4287,23$			$\lambda = 4292,37$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
4	$\pm 3,44 s$	$67 \times ,053 (a/21)$	1	$\pm 1,57 s$	$31 \times ,051 (a/21)$
3, 1	$\pm 2,37 s$	47	4	$\pm 1,03 s$	20
1	$\pm 2,05 p$	40	7, 6	$\pm 0,57 s$	11
3, 1	$\pm 1,37 s$	27	1, 2	$\pm 0,51 p$	10
2, 1	$\pm 1,02 p$	20	3	0 p	0
2	0 p	0			

Die Intensitäten sind wieder dissymmetrisch. In Kolumne A sind die Trennungen als Vielfache von $a/21$ angegeben. Es ist dies ein etwas gewagter Schritt, wenn man die Genauigkeit der Messung bedenkt, der erst noch der Rechtfertigung bedarf. Vielfache von $a/21$ scheinen häufig, sowohl im Wolfram wie im Molybdän, vorzukommen. Benutzt man die Linien im Wolfram mit vielen Komponenten, so kann man zeigen, daß die Messungen genau genug sind, die obige Annahme zu stützen. Bei diesen Linien ist oft eine kleine konstante Differenz zwischen p - und s -Komponenten vorhanden. Wenn

eine kleine Verschiebung von diesem Betrag zu einer dieser Gruppen hinzugefügt wird, so erhält man die folgenden Resultate, wo A die neuen Trennungen bedeutet und A' zeigt, daß all die Grundintervalle hier als Vielfache von $a/21$ vorhanden sind.

Tabelle XIII.

λ	Verschiebung	A	A'
4269,57	s-Komp. durch ,30	$1,22 \times (0, 1, 2, 3, 4)$	$1,22 = 24 \times ,051 (a/21)$
4045,75	s- „ „ ,30	$,82 \times (0, 1, 2, 3, 4, 5)$	$,82 = 16$
4019,37	s- „ „ ,13	$,87 \times (0, 1, 2, 3)$	$,87 = 17$
4008,93	s- „ „ ,06	$,31 \times (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)$	$,31 = 6$
3868,14	s- „ „ ,06	$,44 \times (0, 1, 2, 3, 4, 5, -)$	$,44 = 9$
3817,60	p- „ „ ,15	$1,03 \times (0, 1, 2, -, 3, 4)$	$1,03 = 20$
3809,38	s- „ „ ,21	$,77 \times (0, 1, 2, 3, 4, -)$	$,77 = 15$
3708,09	s- „ „ ,15	$,77 \times (0, 1, 2, 3, 4, 5)$	$,77 =$

Diese Tabelle zeigt die Berechtigung der Annahme, daß bei diesen Elementen Vielfache dieses aliquoten Teiles existieren. Im Wolfram- und auch im Molybdänspektrum gibt es viele Linien mit den Trennungen 0,51, 1,02, 2,04. Da diese so häufig auftreten, kann man nicht annehmen, daß z. B. 1,02 eine ungenaue Messung gegenüber der korrekten Messung 1,07 ist.

Nehmen wir die Rungesche Regel als richtig an (und sie ist ziemlich sichergestellt), daß die Zeeman-Effekte Vielfache von aliquoten Teilen des Normalabstandes sind, so ist der kleinste mögliche Nenner für diese Trennung 21. Die Wolframlinie $\lambda = 2792,85$ gibt viermal die Trennung 1,01.

Die beiden betrachteten Molybdänlinien liefern eine weitere Bestätigung für meine Annahme. Bei $\lambda = 4287,23$ wurde die Trennung 1,02 achtmal gefunden und zweimal bei $\lambda = 4292,37$, während 0,51 viermal bei der letzteren auftritt. Man wird finden, daß häufig Vielfache von $a/21$ mit dem Faktor 3 auftreten und dann die Trennung durch $a/7$ ausgedrückt werden kann. Doch ist dies keineswegs immer der Fall. Die in der obigen Tabelle als Verschiebungen bezeichneten Zahlen sind auch Vielfache von $a/21$.

Die folgenden Linien haben wahrscheinlich 8 Komponenten. Zwei von ihnen sind von Satelliten auf der Seite der größeren Wellenlängen begleitet. In dieser Lage wurden auch bei anderen Elementen die Satelliten beobachtet.

Tabelle XIV.

$\lambda = 4062,24$			$\lambda = 4148,73$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
6, 7	$\pm 2,16 s$	$12 \times ,180 (a/6)$	20	$\pm 2,17 s$	$12 \times ,181 (a/6)$
	—		24	$+1,47 s$	8
14, 20	$\pm 0,93 p$	5	60, 40	$\pm 0,87 p$	5
7, 4	$\pm 0,52 s$	3	20, 60	$\pm 0,57 s$	3

$\lambda = 4483,70$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2	$\pm 2,21 s$	$5 \times ,444 (5a/12)$
7	$\pm 0,90 p$	2
6, 7	$\pm 0,44 s$	1

Satellit $\lambda = 4068,53$			Satellit $\lambda = 4149,12$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
3	$\pm 1,34 s$	$10 \times ,133 (a/8)$	4	$\pm 1,34 s$	$10 \times ,137 (a/8)$
4	$\pm 0,39 p$	3	4, 8	$\pm 0,44 p$	3

$\lambda = 2930,60$			$\lambda = 4350,52$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
4	$\pm 2,48 s$	$6 \times ,41 (3a/8)$	4	$\pm 1,87 s$	$37 \times ,051 (a/21)$
4	$\pm 1,63 s$	4	4	$\pm 1,37 s$	27
10	$\pm 1,27 p$	3	7	$\pm 1,02 p$	20
4	$\pm 0,82 s$	2	4	$\pm 0,86 s$	17

Man bemerkt wieder eine Dissymmetrie der Intensitäten, wobei wie in Tab. III und V bei einem zusammengehörigen

Paar Komponenten die rote Komponente *schwächer*, dagegen bei einem anderen Paar aus demselben System umgekehrt *stärker* ist. Man könnte sagen, daß in dieser Weise die dissymmetrischen Intensitäten sich balancieren. $\lambda = 4433,70$ scheint den anderen Linien zu gleichen, neben denen sie liegt; aber die Trennung der innersten Komponenten, die Satelliten und auch die Intensitäten zeigen, daß sie einem anderen Typus zugehört. Die Linien 4062,24 und 4143,73 gehören sicher zu derselben Serie, wie durch den gleichen Zeeman-Effekt, die Satelliten und die Abnahme der Intensitäten in den Komponenten bei der Linie von kleinerer Wellenlänge bewiesen wird. Die Intensitäten bei diesen beiden Linien scheinen Spiegelbilder voneinander zu sein mit gleichzeitiger Verringerung der absoluten Intensität. Auch die Satelliten zeigen nach dem Violett zu abnehmende Intensitäten. Es wurde versucht, mit Hilfe einer anderen Linie eine Serie zu finden, doch ohne Erfolg. $\lambda = 4350,52$ zeigt wieder viermal die Trennung 0,51 und zweimal 1,02, so daß $a/21$ wieder als Grundintervall angenommen wurde.

Fünf Beispiele von Linien mit 7 Komponenten wurden bei diesem Element gefunden.

Tabelle XV.

$\lambda = 3574,05$			$\lambda = 4473,39$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2	$\pm 1,79 s$	$15 \times ,119 (a/9)$	2	$\pm 1,54 s$	$13 \times ,120 (a/9)$
4	$\pm 1,52 p$	13	3	$\pm 0,99 p$	8
12	$\pm 0,99 s$	8	6	$\pm 0,59 s$	5
6	0 p	0	4	0 p	0

$\lambda = 5570,69$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
1	$\pm 2,14 s$	$4 \times ,530 (a/2)$
3	$\pm 1,59 s$	3
4	$\pm 0,51 p$	1
5	0 p	0

$\lambda = 3537,41$			$\lambda = 3742,49$		
i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2	+2,07 s	$17 \times ,119 (a/9)$	2	+1,68 s	$15 \times ,106 (a/10)$
7	+1,41 p	12	10	+1,14 p	11
5	+0,47 p	4	2	+1,01 s	9
4	0 s	0	2	0 s	0
6	-0,47 p		2	-0,90 s	
4	-1,41 p		9	-1,14 p	
1	-1,99 s		2	-1,57 s	

Es treten hier keine gleichartigen Zerlegungen auf. Die ersten beiden Linien sind in Hinsicht auf die p - und s -Komponenten von verschiedenem Typus, obgleich sie 5 Komponenten mit dem gleichen Abstand enthalten und Vielfache von $a/9$ geben. Die letzten beiden Linien zeigen Dissymmetrie, die Mittelkomponenten sind nach Rot verschoben, aber der Zeeman-Effekt ist ganz verschieden.

Die folgenden 18 Linien haben 6 Komponenten.

Tabelle XVI.

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2602,90	2	$\pm 2,80 s ?$	$7 \times ,398 (3a/8)$	3475,16	4	$\pm 2,60 s$	$12 \times ,214 (a/5)$
	2	1,20 s	3		8	1,46 p	7
	6	0,78 p	2		4	1,28 s	6
2683,30	1	3,09 s	$23 \times ,134 (a/8)$	3725,69	4	1,55 s	$13 \times ,120 (a/9)$
	6	2,00 s	15		2, 1	0,57 p	5
	1	0,53 p	4		5	0,39 p	3
3074,50	5	+2,30 s	$5 \times ,465 (3a/7)$	4098,90	1	1,86 s	$5 \times ,376 (5a/14)$
	1, 6	+0,49 s, p	1		7	1,52 p	4
	6	-0,49 p			3	0,38 s	1
	6	-2,30 s		4411,76	30	2,31 s	$8 \times ,293 (3a/11)$
3172,90	1	$\pm [2,37] s$	$10 \times ,237 (2a/9)$		20	0,59 p	2
	3	0,97 s	4		8	0,32 s	1
	10	0,69 p	3	4437,05	3	2,71 s	$15 \times ,180 (a/6)$
3456,53	3	2,87 p	$24 \times ,120 (a/9)$		5	1,28 p	7
	30	2,06 s	17		3	1,23 s	7
	12	0,94 p	8	4499,60	2	2,61 s	$31 \times ,084 (a/13)$
3471,05	1	1,53 s	$7 \times ,216 (a/5)$		2	1,60 s	19
	3	1,06 p	5		4	1,09 p	13
	4, 7	0 s, p	0				

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
4526,55	3	$\pm 1,84 p$	$10 \times, 135 (a/8)$	4638,28	1	$\pm 2,26 p$	$25 \times, 090 (a/12)$
	2	$1,23 s$	9		1	$\pm 1,60 s$	18
	4, 10	$0 s, p$	0		3	$\pm 1,01 p$	11
4595,32	10	$3,23 s$	$8 \times, 403 (3 a/8)$	4647,98	2	$+ 1,48 s$	$17 \times, 084 (a/13)$
	10	$1,85 s$	4		2	$+ 1,21 p$	14
	15	$1,17 p$	3		6, 2	$0 s, p$	0
4611,36	1	$+ 3,11 s$	$14 \times, 214 (a/5)$		2	$- 1,08 p$	
	1	$+ 1,16 p$	5		2	$- 1,34 s$	
	2	$0 s, p$	0	5689,39	1	$\pm [2,56] s$	$31 \times, 088 (a/13)$
	1	$- 0,97 p$			1	$\pm [1,56] s$	19
	1	$- 2,88 s$			10	$\pm 1,09 p$	13

Hier gibt es ein gleichartiges Paar, nämlich $\lambda = 4499,60$ und 5689,39. Es ergibt sich dies aus der Trennung, so große Verschiedenheiten auch bei den Intensitäten vorhanden sind. (Die (sekundären) Ursachen der in verschiedenen Teilen der Spektren verschiedenen Intensitätsverhältnisse der Komponenten bei analogen Zerlegungen sind in der Dissertation ausführlich erörtert.) Das Suchen nach anderen Linien derselben Serie war vergeblich, man kann dies aber verstehen, weil die Intensitäten bei einer Serie nach dem Violett zu abnehmen und die Intensität bei $\lambda = 4499,60$ schon gering ist. Die Linien 4611,36 und 4647,98 zeigen ähnliche Konstitution. Zwar besitzen sie verschiedene Trennungen, doch ist die Tatsache besonders auffallend, daß sie einen gleichen Typus der Dissymmetrie besitzen.

15 Linien besitzen. 5 Komponenten.

Tabelle XVII.

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2909,20	3	$\pm 2,30 s$	$15 \times, 153 (a/7)$	3772,12	1	$\pm 1,38 p$	$1 \times 1,36 (9 a/7)$
	1	$1,22 p$	8		6	$1,35 s$	1
	8	$0 s$	0		10	$0 p$	0
3445,47	7, 4	$1,80 s, p$	$1 \times 1,80 (5 a/3)$	3915,60	4	$+ 1,62 s$	$9 \times, 179 (a/6)$
	9	$0 p$	0		1	$+ 1,40 p$	8
3582,02	2, 5	$1,82 s$	$5 \times, 364 (a/3)$		5	$0 p$	0
	15, 22	$1,09 p$	3		1	$- 0,91 p$	5
	6	$0 s$	0		4	$- 1,62 s$	9

λ	i	$-A\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-A\lambda/\lambda^2$	A
3917,67	1	$\pm 2,54 s$	$8 \times,321 (3 a/10)$	4338,85	2	$\pm 2,38 s$	$5 \times,476 (4 a/9)$
	6	$0,99 s$	3		3	$0,48 p$	1
	15	0 p	0		3	0 s	0
3947,30	5	$+1,68 p$	$11 \times,154 (a/7)$	4381,85	30	$2,29 s$	$17 \times,133 (a/8)$
	1	$+1,55 s$	10		20	$0,54 s$	4
	2	0 s	0		20	0 p	0
	4	$-1,68 p$	11	4407,05	3	$+1,43 p$	$12 \times,119 (a/9)$
4038,22	2	$-1,71 s$	11		3	$+1,18 s$	10
	6	$\pm 0,83 p$	$2 \times,417 (2 a/5)$		2	0 p	0
	4	$\pm 0,42 s$	1	4662,11	3	$-1,18 s$	10
	7	0 p	0		3	$-1,57 p$	13
4102,31	6	$\pm 0,92 p$	$2 \times,467 (3 a/7)$		1	$\pm 1,17 p$	$5 \times,233 (2 a/9)$
	3	$\pm 0,48 s$	1		1	$\pm 0,46 s$	2
	8	0 p	0		2	0 p	0
4188,42	19	$+2,01 s$	$17 \times,120 (a/9)$	5792,10	—	—	—
	25	$+0,86 p$	7		1	$\pm 1,08 p$	—
	19	0 s	0		2	0 p	—
	25	$-0,86 p$	7				
	19	$-1,77 s$	15				

Hier existieren keine gleichartigen Linien. Es sind vier Fälle von Dissymmetrie vorhanden, die man paarweise betrachten kann. Die Linien 3915,60 und 4407,05 haben dissymmetrische p -Komponenten. Im ersten Fall ist die Mittelkomponente nach Rot, im zweiten nach Violett verschoben. Die Intensitäten der beiderseitigen Komponenten sind die gleichen. Die Linien 3947,30 und 4188,42 haben dissymmetrische s -Komponenten und wieder ist die Mittelkomponente einmal nach Rot und einmal nach Violett verschoben. Bei 3947,30 ist die rote s -Komponente ein wenig stärker wie die violette. Eine solche spiegelbildliche Ähnlichkeit wurde schon bei der Besprechung der Linien mit 8 Komponenten erwähnt.

Die folgenden 96 Linien haben 4 Komponenten.

Tabelle XVIII.

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
2538,52	4	$\pm 1,56 s$	$5 \times ,311 (2a/7)$	3380,10	4	$\pm 1,30 s$	$3 \times ,444 (2a/5)$
	4	$0,62 p$	2		10	$0,92 p$	2
2636,74	2	$1,49 s$	$11 \times ,134 (a/8)$	3404,50	3	$1,60 s$	$9 \times ,177 (a/6)$
	3	$1,20 p$	9		10, 9	$0,70 p$	4
2701,49	8	$2,32 s$	$15 \times ,154 (a/7)$	3406,10	4	$1,18 s$	$8 \times ,150 (a/7)$
	2	$0,61 p$	4		12	$0,77 p$	5
2912,02	18	$1,70 s$	$11 \times ,153 (a/7)$	3421,40	1	$1,82 s$	$3 \times ,608 (4a/7)$
	6	$0,60 p$	4		3	$1,22 p$	2
2923,50	18	$1,63 s$	$2 \times ,81 (3a/4)$	3434,92	3	$1,52 s$	$5 \times ,30 (2a/7)$
	6	$0,80 p$	1		9, 7	$0,58 p$	2
2934,41	3	$2,13 s$	$7 \times ,304 (2a/7)$	3441,61	3	$1,60 s$	$18 \times ,088 (a/12)$
	8	$1,51 s$	5		6	$0,60 p$	7
2955,93	5	$1,23 s$	$7 \times ,174 (a/6)$	3452,74	6	$1,69 s$	$7 \times ,241 (2a/9)$
	2	$0,51 p$	3		6	$0,96 p$	4
3158,30	18	$2,12 s$	$7 \times ,301 (2a/7)$	3460,05	2	$1,08 s$	$7 \times ,153 (a/7)$
	6	$0,58 p$	2		5	$0,76 p$	5
3172,18	5	$1,68 s$	$7 \times ,24 (2a/9)$	3482,52	2	$2,49 s$	$7 \times ,249 (a/3)$
	6	$0,72 p$	3		1, 5	$0 s, p$	0
3183,15	4	$1,22 s$	$8 \times ,152 (a/7)$	3508,26	3	$1,58 s$	$2 \times ,797 (3a/4)$
	7	$0,76 p$	5		18	$0,81 p$	1
3192,25	5	$2,57 s$	$17 \times ,152 (a/7)$	3517,68	2	$1,02 s$	$5 \times ,203 (a/5)$
	5	$0,46 p$	3		6	$0,40 p$	2
3206,03	9	$1,60 s$	$10 \times ,153 (a/7)$	3518,36	2	$2,24 s$	$19 \times ,118 (a/9)$
	9	$0,44 p$	3		5	$0,70 p$	6
3240,88	3	$1,76 s$	$3 \times ,59 (5a/9)$	3524,74	5	$1,30 s$	$5 \times ,262 (a/4)$
	8, 6	$0,60 p$	1		5	$0,27 p$	1
3254,83	4	$1,51 s$	$7 \times ,218 (a/5)$	3566,20	2	$1,60 s$	$3 \times ,532 (a/2)$
	5	$1,32 p$	6		7	$0,53 p$	1
3276,47	2	$1,56 s$	$2 \times ,77 (5a/7)$	3585,84	3	$1,16 s$	$12 \times ,097 (a/11)$
	9	$0,75 p$	1		9	$0,68 p$	7
3279,01	2	$1,13 s$	$12 \times ,096 (a/11)$	3595,75	2	$1,47 s$	$11 \times ,133 (a/8)$
	7	$0,69 p$	7		6	$0,92 p$	7
3287,35	5	$1,93 s$	$9 \times ,217 (a/5)$	3612,16	2	$1,61 s$	$18 \times ,089 (a/12)$
	5	$1,11 p$	5		5, 6	$0,62 p$	7
3325,84	2	$2,00 s$	$15 \times ,133 (a/8)$	3614,43	7	$1,44 s$	$12 \times ,119 (a/9)$
	7	$0,52 p$	4		25	$0,82 p$	7
3361,52	2	$1,56 s$	$3 \times ,52 (a/2)$	3661,95	2	$1,50 s$	$7 \times ,213 (a/5)$
	9	$1,04 p$	2		5	$0,63 p$	3

λ	i	$-A\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-A\lambda/\lambda^2$	A
3665,90	2	$\pm 1,19 s$	$9 \times, 131 (a/8)$	4157,58	5	$\pm 1,15 s$	$11 \times, 105 (a/10)$
	3, 4	$0,52 p$	4		3, 6	$0,22 p$	2
3680,81	9	$2,02 s$	$15 \times, 134 (a/8)$	4162,85	5	$1,48 s$	$6 \times, 246 (3a/13)$
	22	$0,93 p$	7		10	$0,24 p$	1
3702,15	2	$[0,92] s$	$1 \times, 90 (5a/6)$	4194,71	3	$0,95 s$	$7 \times, 135 (a/8)$
	6	$0,88 p$	1		6	$0,27 p$	2
3755,66	2	$1,14 s$	$2 \times, 546 (a/2)$	4209,81	3	$1,60 s$	$4 \times, 403 (3a/8)$
	6	$0,50 p$	1		8	$1,22 p$	3
3758,69	3, 6	$1,51 s$	$14 \times, 108 (a/10)$	4241,01	8	$1,39 s$	$9 \times, 153 (a/7)$
	7, 9	$0,55 p$	5		10	$0,29 p$	2
3779,91	2	$1,17 s$	$4 \times, 292 (3a/11)$	4279,16	4	$1,62 s$	$3 \times, 091 (a/2)$
	5, 6	$0,29 p$	1		10	$1,02 p$	2
3786,52	2	$1,29 s$	$2 \times, 623 (4a/7)$	4282,00	5	$2,22 p$	$5 \times, 441 (5a/12)$
	5, 4	$0,58 p$	1		1	$0,87 s$	2
3888,31	8	$1,57 s$	$9 \times, 175 (a/8)$	4284,75	3	$1,56 s$	$5 \times, 31 (2a/7)$
	4	$0,70 p$	4		3	$0,61 p$	2
3890,86	1	$1,37 s$	$2 \times, 677 (5a/8)$	4290,40	2	$1,60 s$	$9 \times, 177 (a/6)$
	2	$0,66 p$	1		3	$0,70 p$	4
3925,99	3	$1,65 s$	$2 \times, 83 (7a/9)$	4296,80	1	$1,42 s$	$4 \times, 357 (a/3)$
	6	$0,84 p$	1		1	$1,08 p$	3
3944,15	2	$1,61 s$	$9 \times, 180 (a/6)$	4318,09	3	$1,29 s$	$3 \times, 427 (2a/5)$
	2	$0,78 p$	4		7	$0,42 p$	1
3954,05	2	$1,50 s$	$5 \times, 30 (3a/7)$	4321,97	3	$1,05 s$	$8 \times, 131 (a/8)$
	8	$0,90 p$	3		4	$0,92 p$	7
3982,21	2	$1,53 s$	$5 \times, 807 (8a/7)$	4341,58	8	$0,91 s$	$7 \times, 13 (a/8)$
	5	$0,93 p$	3		10	$0,26 p$	2
4017,50	2	$1,10 s$	$2 \times, 54 (a/2)$	4357,51	1	$1,23 s$	$7 \times, 176 (a/6)$
	3	$0,53 p$	1		3	$0,70 p$	4
4056,18	4	$1,25 s$	$2 \times, 637 (3a/5)$	4362,20	1	$1,38 p$	$1 \times, 137 (9a/7)$
	8	$0,66 p$	1		1	$1,36 s$	1
4057,75	1	$1,16 s$	$12 \times, 098 (a/11)$	4366,71	2	$1,37 s$	$9 \times, 151 (a/7)$
	4	$0,70 p$	7		4	$0,75 p$	5
4070,17	7	$0,80 p$	$5 \times, 156 (a/7)$	4369,25	8	$1,48 s$	$11 \times, 135 (a/8)$
	3	$0,45 s$	3		12	$0,68 p$	5
4075,40	1	$1,22 s$	$4 \times, 306 (2a/7)$	4377,91	17	$1,58 s$	$1 \times, 154 (10a/7)$
	2	$0,92 p$	3		17	$1,51 p$	1
4076,34	1	$1,02 s$	$3 \times, 340 (a/3)$	4380,49	5	$1,58 s$	$3 \times, 530 (a/2)$
	2	$0,34 p$	1		5	$0,54 p$	1
4123,81	3	$1,46 s$	$2 \times, 740 (2a/8)$	4394,66	3	$0,82 s$	$3 \times, 274 (a/4)$
	6	$0,76 p$	1		3	$0,55 p$	2
4132,37	1	$1,70 s$	$11 \times, 154 (a/7)$	4397,46	3	$1,49 s$	$7 \times, 210 (a/5)$
	4	$0,61 p$	4		12	$1,03 p$	5

λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A	λ	i	$-\Delta\lambda/\lambda^2$	A
4404,67	3	+1,41 s	6 × ,237 (2 a/9)	4598,04	2	± 1,29 s	12 × ,106 (a/10)
	1, 3	0 s, p	0		2	0,52 p	5
	2	-1,67 s	7	4618,12	1	[1,42] s	8 × ,177 (a/6)
4426,86	12	± 1,58 s	6 × ,267 (a/4)		2	0,53 p	3
	15, 18	0,29 p	1	4621,53	3	1,73 s	2 × ,867 (4 a/5)
4449,93	20	1,23 s	8 × ,152 (a/7)		8	0,87 p	1
	30	1,05 p	7	4775,87	1	1,37 s	9 × ,152 (a/7)
4457,55	12	1,09 s	3 × ,365 (a/3)		2	[0,61] p	4
	20	0,37 p	1	4776,54	1	1,60 s	3 × ,530 (a/2)
4491,46	20	1,67 s	14 × ,120 (a/9)		6	1,04 p	2
	20	0,37 p	3	5533,26	8	2,04 s	8 × ,255 (5 a/21)
4501,48	2	1,81 s	3 × ,606 (4 a/7)		8	0,25 p	1
	6	1,22 p	2	5751,67	—	—	—
4524,50	25	1,72 s	4 × ,434 (2 a/5)		5	0,69 p	—
	15	0,45 p	1	5858,52	—	—	—
4576,65	10	1,82 s	5 × ,363 (a/3)		3	0,50 p	—
	25	0,72 p	2				

Es ist bemerkenswert, daß nicht weniger als 27 von diesen Vielfache von $a/7$ geben. Es gibt 9 Paare mit den Trennungen 2,1 u. 3,1 ($a/2$); 3,1 ($a/3$); 2,1 ($3a/4$); 11,4 u. 8,5 ($a/7$); 5,3 ($3a/7$); 3,2 ($4a/7$); 18,7 ($a/12$) und drei andere Linien: 3325,84, 4209,81, 4362,20 können zusammengestellt werden mit bzw. 2683,30, 4595,32, 3772,12, die mehr Komponenten besitzen. Paare genügen nicht zur Auffindung einer Serie und gleiche Differenzen konnten nicht gefunden werden. Drei Gruppen gibt es zu drei Gliedern mit den Trennungen 3,2 ($a/2$); 5,2 ($2a/7$); 12,7 ($a/11$) und eine Gruppe von vier Linien mit der Trennung 9,4 ($a/6$). Nur im Fall 12,7 ($a/11$) liegen die Linien um so näher, je weiter man nach Violett kommt und daher kann allein diese Gruppe eine Serie bilden. In diesem einzigen Falle aber widersprechen die Intensitäten der Möglichkeit einer Serie und es gelang auch nicht, eine Formel aufzustellen, die andere Linien im Spektrum zu finden gestattete.

553 Linien liefern Triplets; sie sind in Tab. XIX der Dissertation zusammengestellt.

Wegen dieser großen Zahl von Triplets ist die Auswahl unter den Linien mit gleichem Zeeman-Effekt zur Bildung einer Serie sehr schwierig. Unter Berücksichtigung des mög-

lichen Fehlers wurde nach Serien unter den Linien mit der Trennung 1,29; 1,07; 1,02; 0,97; 0,92 gesucht. Nur in einem Fall $\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,07$ war die Untersuchung von einem teilweisen Erfolg begleitet. Unter Benutzung der früheren Formel wurden durch Einsetzen von $m = 3$ und $\lambda = 4731,64$, $m = 4$ und $\lambda = 4252,02$ und $m = 5$ und $\lambda = 4070,05$ die Werte von a , b und c berechnet. Die resultierende Formel war

$$\frac{10^8}{\lambda} = 25931,26 + \frac{4564}{m} - \frac{56864,40}{m^2}.$$

Für $m = 6$ ist der berechnete Wert $\lambda = 3980,36$, dem eine beobachtete Linie bei $\lambda = 3980,37$ entsprach. Diese vier Linien zeigen den gleichen Zeeman-Effekt und abnehmende Intensitäten. Wurde dagegen $m = 7$ eingesetzt, so wurde in der Nachbarschaft des berechneten Wertes keine Linie mit dem gleichen Zeeman-Effekt gefunden. Die Tatsache, daß die ersten Linien alle Bedingungen einer Serie erfüllen, wie auch der geringe Wert 25931 von a , d. h. dem Endpunkt der möglichen Serie (der auch mit den kleinen Werten übereinstimmt, die man schon für O, S und Se gefunden hat), lassen das Ganze erwähnenswert erscheinen.

Es wurden die Differenzen unter den Linien mit der Trennung 1,08 und der Trennung 1,29 untersucht und die Differenzen beider verglichen, um zu sehen, welche Differenzen beiden gemeinsam wären. Eine kleine Anzahl von nahezu gleichen Differenzen fand sich für die Trennung 1,08, eine größere für 1,29 und eine noch größere für beide 1,08 und 1,29 zusammen. Ein ähnliches Schema wie beim Wolfram ließ sich indessen nicht nachweisen. Einige der besten Beispiele sind in der folgenden Tabelle gegeben.

Tabelle XX.

	n	D	n
$-\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} = 1,29$	33943,18	5938,25	28004,93
	* 28396,34	5938,26	22458,08
	25049,78	2306,39	22743,39
	23501,21	2306,38	21194,83
	24728,79	491,07	24237,72
	22285,61	491,05	21794,56

* Es gibt zwei Paare mit dieser Differenz für $-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,29$, und ein Paar für $-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,08$.

	$-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,08$	$-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,29$	$-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,08$	$-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,29$
<i>n</i>	29171,10	29657,66	29667,61	28396,84 *
<i>D</i>	(6982,46)	(6982,44)	(5938,31)	(5938,26)
<i>n</i>	22188,64	22675,22	23729,30	22458,08
<i>n</i>	24535,60	24270,14	32490,95	25346,03
<i>D</i>	(3485,63)	(3485,64)	(3060,40)	(3060,42)
<i>n</i>	21049,97	20784,50	29430,55	22285,61
<i>n</i>	26855,44	24522,73	29688,92	22743,39
<i>D</i>	(2064,74)	(2064,65)	(258,37)	(258,34)
<i>n</i>	24790,70	22458,08	29430,55	22485,05

* Es gibt zwei Paare mit dieser Differenz für $-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,29$, und ein Paar für $-\Delta\lambda/\lambda^2 = 1,08$.

Die beiden Gruppen von je drei sehr hellen Linien, $\lambda = 3798, 3864, 3903$ und $\lambda = 5507, 5533, 5571$, welche die hervortretendsten Linien des Molybdäns sind, zeigen weder den gleichen Zeeman-Effekt, noch gleiche Differenzen.

19 Linien sind unzerlegt; dieselben sind in Tab. XXI der Dissertation aufgeführt.

IV. Einige allgemeine Bemerkungen.

Beide Spektren zeigen eine ungeheure Zahl von Triplets, aber nur eine kleine Anzahl von Linien ergibt eine normale Trennung.

Eine Anzahl von Linien mit gleicher komplizierterer Trennung ist in beiden Spektren vorhanden, aber doch keine große Anzahl. Es sind dies keine Linien mit sehr vielen Komponenten und daher ist auch die Sicherheit nicht sehr groß, daß sie wirklich gleich sind. Zieht man die Triplets gleichfalls in Betracht, so gibt es hier eine sehr große Anzahl von gleichen Zerlegungen, doch ist die Unsicherheit hier noch größer. Die größte Zahl von gleichen Linien, wenn man die Triplets beseitigt, ist vier, doch genügt dies nicht für eine Serie, wie oben schon einmal bemerkt. Beachtenswert ist, daß so viele Typen nur ein einziges Mal auftreten.

Man bemerkt, daß Trennungen, die bei Linien mit vielen Komponenten gefunden sind, häufig *teilweise* bei anderen Linien

wiederkehren, daß aber dann andere neue Trennungen hinzukommen oder andere nicht auftreten, deren Fehlen man nicht durch verminderte Intensität erklären kann. Z. B. $\lambda=3708,09$ gibt 24, 19, 15, 14, 10, 9, 5, 4, $0 \times a/7$ und bei $\lambda=3809,38$ finden sich die Trennungen 19, 14, 10, 5, $0 \times a/7$. Bei dieser letzteren Linie kommt aber noch $23 \times a/7$ hinzu, während 24, $15 \times a/7$ fehlt. Weiter gibt $\lambda=4019,37$ die Trennungen 14, 9, 5, 4, $0 \times a/6$ und $\lambda=3768,60$: 14, 9, $5 \times a/6$, während die Trennungen 9, $4 \times a/6$ bei anderen Linien nicht weniger als viermal auftritt. Weitere Beispiele kann man in der Tabelle finden. Diese deuten indessen nicht auf eine Serie hin und die Tabelle zeigt, daß unter den Linien mit mehr als drei Komponenten keine Serie von der bis jetzt bekannten Art vorhanden ist. Wahrscheinlich kann man unter den Triplets Serien finden.

Es wurden schon einige Gründe dafür angegeben, daß in diesen beiden Spektren von W und Mo Vielfache von $a/21$ vorhanden sind. Weitere Bestätigungen dieser Annahme liefert die Liste der Triplets. Die Trennung von ungefähr 1,02 kommt häufig vor und kann nicht immer als ungenaue Messung für 1,07 oder für eine kleinere Trennung als 1,02 angesehen werden, welche einen größeren aliquoten Teil als $a/21$ liefern würden, wenn ich sie als richtig annehme. In der Tat legt es die große Anzahl von Linien mit der Trennung $a/3$, $a/7$, $a/21$, welche man alle auf $a/21$ reduzieren kann, nahe, daß für eine Substanz alle Trennungen auf zwei oder drei aliquote Teile von a mit nicht sehr großem Nenner zurückgeführt werden können. Lohmann¹⁾ hat beim He beobachtet, daß hier bei den Serienlinien überall die gleiche Trennung stattfindet, nämlich die *normale* Trennung „ a “. Es könnte sein, daß mit wachsendem Atomgewicht die Nenner der aliquoten Teile größer werden. Aber unsere gegenwärtigen Beobachtungs- und Messungsmethoden sind noch nicht genau genug, um eine solche zugrunde liegende Einheitlichkeit aufzudecken.

Das häufige Auftreten eines sehr kleinen Intervalles zwischen den p - und s -Komponenten mit größeren Abständen zwischen den p -Komponenten selbst und den s -Komponenten

1) W. Lohmann, Physik. Zeitschr. 5. p. 145. 1908.

selbst, die aufeinander bezogen sind, wurde bereits in einer Tabelle gezeigt. In dieser trat hervor, daß beim Zunehmen um diesen kleinen Betrag manchmal bei den s -Komponenten und manchmal bei den p -Komponenten sich eine viel größere Regelmäßigkeit der Trennungen ergab. Die Trennungen, die bis dahin mit Hilfe von Faktoren ausgedrückt waren, die wenig regelmäßig waren, sind jetzt durch Vielfache mit den Faktoren 0, 1, 2, 3, 4 . . . dargestellt.

Die Tabellen zeigen eine Reihe von neuen Beispielen von Vielfachen aliquoter Teile, die von Runge erwähnt sind. Mit den von ihm gegebenen ergeben sich hier Vielfache folgender aliquoter Teile: $a/8$, $a/9$, $a/10$, $a/13$, $a/14$, $a/21$. Weitere Beispiele von Linien, bei denen die Abstände ihrer Komponenten Vielfache dieser aliquoten Teile sind, wurden schon von anderen Forschern veröffentlicht.¹⁾

In einer neu erschienenen Arbeit von Ritz²⁾ wird das allgemeine Gesetz für die Schwingungszahlen der Zeeman-Effekt-Komponenten abgeleitet.

$$\text{Parallel zu } H: \quad \nu_0 \pm m \omega \quad m = 0, 1, 2 \dots$$

$$\text{Senkrecht zu } H: \quad \nu_0 \pm \omega' \pm n \omega \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

Hier sind H = Feldstärke, ν_0 = Schwingungszahl der ursprünglichen Linie, m und n = ganze Zahlen, und ω , ω' sind zwei Grundzahlen.

Wenn dieses Gesetz richtig ist, so sollten die Intervalle zwischen den einzelnen s -Komponenten oder p -Komponenten gleich ω sein. Es könnte sein, daß einige Komponenten infolge ihrer Schwäche verschwinden, aber dann würden die Intervalle Vielfache von ω sein. Dies ist aber sehr häufig *nicht* der Fall, wie man aus den Tabellen für die von mir untersuchten Spektren sehen kann. Ich erwähne nur einige Beispiele: In $\lambda = 3817,60$ (Tab. II) ist eine Unregelmäßigkeit in den Intervallen zwischen den s -Komponenten ($7a/7$, $6a/7$, $6a/7$). Die Komponenten sind stark, und es ist nicht denkbar, daß solche Meßfehler vorgekommen sind, wie anzunehmen wäre, um Übereinstimmung mit der Ritzschen Theorie zu

1) B. E. Moore, Diss. Göttingen 1907.

2) W. Ritz, Ann. d. Phys. 25. p. 660. 1908.

bekommen. Die Unregelmäßigkeiten sind auch nicht durch das Fehlen einer Komponente entstanden. In $\lambda = 3809,38$ (Tab. IV) ist $5a/7$ das Intervall zwischen den p -Komponenten, aber bei den s -Komponenten findet man $5a/7$ und $4a/7$. Es ist nahezu ausgeschlossen, daß dies durch einen Fehler entstanden ist, weil die Komponenten stark und leicht meßbar sind. In 4062,24 und 4143,73 (Tab. XIV), die Duplikate sind, ist das p -Intervall $5a/6$, aber zwischen den s -Komponenten findet man $5a/6$ und $4a/6$; diese Abweichung ist sicher vorhanden. Weitere Beispiele sind in den Tabellen vorhanden, die die Verschiedenheit in den Intervallen zeigen, die bei beiden Schwingungsarten vorkommen.

Andererseits findet man eine Stütze für die Ritzschen Formeln in der Tab. XIII. Hier ist die Verschiebung ω' negativ, und die Formeln würden lauten:

$$\text{Parallel zu } H: \quad \nu_0 \pm m \omega \quad m = 0, 1, 2 \dots$$

$$\text{Senkrecht zu } H: \quad \nu_0 \mp \omega' \pm n \omega \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

Aber auch hier stimmen nicht *alle* Komponenten mit diesen Formeln überein.

Beiläufig sei bemerkt, daß aus den verschiedenen Kolonnen A sich schließen läßt, es sei

$$\frac{\mp \omega' \pm n \omega}{m \omega} = \text{rationale Zahl.}$$

Dies wäre, wenn weiter zu bestätigen, von großem Interesse für diese Theorie.

V. Zusammenfassung der Resultate.

1. Der Zeeman-Effekt wurde bei den Elementen Wolfram und Molybdän, die beide zu der sechsten Gruppe des periodischen Systems gehören, im ganzen erreichbaren Spektrum ausführlich untersucht.

2. Das Wolframspektrum enthält eine Anzahl von Linien mit einer sehr großen Anzahl von Komponenten. Hier wurden Typen aufgefunden mit der größten bis jetzt beobachteten Anzahl von Komponenten.

3. Bei Wolfram wurde eine neue Serie gefunden mit dem Ende bei $n = 45081$. Vergleicht man diesen Wert mit dem bei anderen Elementen gefundenen, so ergibt sich eine Bestätigung der Regel, daß beim Fortschreiten von Gruppe zu Gruppe in Mendelejeffs Tabelle die Serien weiter nach Violett liegen, und daß sie beim Fortschreiten in einer Gruppe selbst weiter nach Rot rücken.

4. Bei beiden Substanzen, Molybdän und Wolfram, wurde eine Anzahl von gleichen Differenzen zwischen den Schwingungszahlen aufgefunden. Bei dem letzteren ergab sich auch eine Beziehung zwischen diesen Differenzen.

5. Die Spektren beider Elemente enthalten eine außerordentliche große Zahl von Triplets, unter denen sich einige von dem Typus befinden, wie er zuerst von Becquerel und Deslandres beobachtet wurde.

6. Für alle Linien mit mehr als drei Komponenten wurde die Richtigkeit der Rungeschen Regel nachgewiesen, daß nämlich die Trennungen Vielfache eines aliquoten Teiles von einem Normalintervall „ a “ sind. Es wurden bei diesen Substanzen Typen beobachtet, die Vielfache aller von Runge erwähnten aliquoten Teile liefern. Dazu wurden noch Vielfache von $a/8$, $a/9$, $a/10$, $a/13$, $a/14$, $a/21$ beobachtet.

7. Bei Trennungen, die der Rungeschen Regel folgen, zeigt sich häufig eine wenig regelmäßige Aufeinanderfolge der Faktoren, wenn man die Trennungen als solche Vielfache aliquoter Teile von „ a “ ausdrückt. Es ist bemerkenswert, daß, wenn man zu einer Gruppe gleichartiger Komponenten kleine Verschiebungen hinzufügt, die meisten Trennungen dann Vielfache mit den Faktoren 0, 1, 2, 3 ... darstellen.

8. Nach der Ritzschen Theorie sollten die Abstände zwischen den s -Komponenten und zwischen den p -Komponenten unter sich und untereinander gleich sein; aber die Resultate für Wolfram und Molybdän geben einige Beispiele, die nicht mit dieser Theorie übereinstimmen.

9. Obgleich beide Elemente zu derselben Gruppe gehören, ist die Zahl gleichartiger Zerlegungen bei Linien mit mehr als drei Komponenten sehr gering.

10. Mit Hilfe einer neuen Methode wurde bestätigt, daß der Rotationssinn der zirkularen Komponenten bei einer Anzahl Zeemanscher Triplets der Hypothese eines negativ-geladenen Elektrons entspricht.

Mit Vergnügen ergreife ich die Gelegenheit, Hrn. Geh. Rat Prof. Voigt meinen herzlichsten Dank für die Anregung zu dieser Arbeit, für die vielen wertvollen Ratschläge und die freundlichste Hilfe bei ihrem Fortschreiten auch an dieser Stelle auszudrücken. Auch Hrn. Prof. Runge, der mir seine große unschätzbare Erfahrung in Spektralarbeiten zur Verfügung stellte, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

(Eingegangen 25. Januar 1909.)