ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 39.

1. *Normale und anomale Zeemaneffekte;* *von F. Paschen u. E. Back.*

(Hierzu Taf. VII u. VIII.)

Erst in neuerer Zeit ist an einer Reihe von Spektrallinien die von der Theorie von H. A. Lorentz geforderte „normale“ magnetische Aufspaltung exakt nachgewiesen. Es sind die Linien des Heliums nach Lohmann¹⁾ und außerdem sämtliche Linien der Serien einfacher Linien, welche im Magnetfeld untersucht wurden. Letztere sind:

6362 Zn I. N.S.²⁾, 6439 Cd I. N.S.²⁾, 4916, 4108 Hg II. N.S.³⁾,
4347 Hg I. N.S.³⁾, 5528,7, 4703,3 Mg I. N.S.²⁾, 2288 Cd II. N.S. u. H.S.⁴⁾,
4227 Ca wahrscheinlich II. N.S. und H.S.⁴⁾, 2852 Mg wahrscheinlich
II. N.S. und H.S.⁴⁾, betr. 5790 Hg I. N.S. vgl. p. 920.

Diesen normalen Aufspaltungen stehen gegenüber die mannigfaltigen anomalen Typen, welche bisher gefunden und hauptsächlich untersucht sind. Sie konnten zwar durch besondere Hypothesen theoretisch verstanden bzw. durch mathematische Zusatzglieder zur einfachen Theorie beschrieben werden. Aber hierbei ist für jeden Typus eine besondere ihm angepaßte Hypothese zu machen, welche indessen den Zusammenhang mit den spektralen Gesetzen nicht zugleich darstellt.

Auf der anderen Seite hat sich, angebahnt durch Prestons Untersuchungen, ein Zusammenhang der anomalen Typen mit den Spektralgesetzen nachweisen lassen. Diese Beziehung wird wohl so formuliert⁵⁾: 1. Alle Linien einer Serie haben qualitativ und quantitativ (in der Skale der Wellenzahlen $\Delta\lambda/\lambda^2$

1) W. Lohmann, *Physik. Zeitschr.* 9. p. 145. 1908.

2) T. Royds, *Ann. d. Phys.* 30. p. 1024. 1909.

3) F. Paschen, *Ann. d. Phys.* 30. p. 746. 1909.

4) F. Paschen, *Ann. d. Phys.* 35. p. 860. 1911.

5) Vgl. z. B. Th. Prestons Formulierung, wiedergegeben in *Kaysers Spektroskopie* 2. p. 619.

für dasselbe Feld) denselben magnetischen Typus. 2. Einander (nach den Seriengesetzen) entsprechende Linien verschiedener Elemente haben denselben magnetischen Typus. Liegt hiermit eine Gesetzmäßigkeit der Anomalien unzweifelhaft vor, so lohnt es, ihr nachzugehen, um zunächst die Tatsachen möglichst geordnet zu überblicken. Einerseits läßt sich die Beziehung zu den Serien richtiger und vollständiger mit derselben Wahrscheinlichkeit formulieren, mit der obige zwei Sätze aufgestellt sind. Andererseits können Tatsachen angegeben werden, durch welche das auffallende Verhalten des Heliums verständlich wird, dessen Linien das am besten entwickelte und bekannte Serienspektrum bilden, aber doch obigen zwei Sätzen nicht folgen, so daß Lohmann die Existenz der Serien schon anzuzweifeln geneigt ist.

Es ist der Zweck dieses Aufsatzes, besonders diesen zweiten Punkt zu beleuchten und durch neue Tatsachen bzw. bessere Ordnung der bekannten Tatsachen das Verhalten der Linien der Serien einfacher Linien und des Heliums verständlich zu machen. Dabei werden dann auch die Anomalien und schließlich die Liniengebilde selber, welche diese Anomalien zeigen, in einem neuen Lichte erscheinen.

Beschränken wir uns auf diejenigen Linien, welche Anomalien zeigen, und deren Rolle in den Spektralgesetzen zugleich genau bekannt ist, so entspricht folgendes den Tatsachen:

Eine Anomalie tritt nur auf an einer Linie, welche mit einer oder mehreren anderen Linien ein Seriendublet oder Triplet bildet. Bei verschiedenen Elementen hat dieselbe Linie des Dublets oder Triplets denselben magnetischen Typus.

In der von dem einen von uns benutzten abgekürzten Serienbezeichnung¹⁾ heißt das, daß Anomalien nur für solche Linien auftreten, von deren Serientermen mindestens einer einen Index führt, und daß der magnetische Typ jeder Kombination von Termen ein bestimmter ist, unabhängig von der Natur des Elementes und von den in der Kombination auftretenden Ordnungszahlen. In dieser Bezeichnung kann man z. B. folgende magnetische Typen einer H.S. oder II. N.S. anführen:

1) F. Paschen, *Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr.* 8. p. 177. 1911.

Es bedeutet in folgender Tabelle a den Wert der „Aufspaltung“ $Z = \Delta\lambda/\lambda^2 H$, der für ein „normales Triplet“ theoretisch gefordert und tatsächlich beobachtet ist. Es ist:

$$a = \frac{e}{m} \frac{1}{4\pi c} = 4,698 \times 10^{-5} \text{ Gauss}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$\left(\frac{e}{m} = 1,771 \times 10^7 \text{ Elm. Einh./g, } c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec} \right).$$

parallel $\pm \frac{a}{3}$ bedeutet zwei parallel dem Feld schwingende Komponenten, deren Aufspaltung α von der Mitte an gerechnet je $a/3$ ist.
senkrecht $\pm \frac{3a}{3}$, $5 \frac{a}{3}$ bedeutet je zwei senkrecht schwingende Komponenten dieser Aufspaltungen.

ν	Typus	parallel	senkrecht	Beispiel	
$n p_1 - m \uparrow$	Sextett	$\pm \frac{a}{3}$	$\pm \frac{3a}{3}, \frac{5a}{3}$	Natr. 5890 D_2	} Dublet
$n p_2 - m \uparrow$	Quartett	$\pm 2 \frac{a}{3}$	$\pm \frac{4a}{3}$	„ 5896 D_1	
$n p_1 - m s$	Nonet	$0, \pm \frac{a}{2}$	$\pm \frac{2a}{2}, \frac{3a}{2}, \frac{4a}{2}$	Hg 5461	} Triplet
$n p_2 - m s$	Sextett	$\pm \frac{a}{2}$	$\pm \frac{3a}{2}, \frac{4a}{2}$	Hg 4358	
$n p_3 - m s$	Triplet	0	$\pm \frac{4a}{2}$	Hg 4047	

Ähnlich hat wahrscheinlich jede der drei Linien $n p_i - m d^i$ eines Gliedes der I. N.S. oder entsprechender Kombinationsserien von Dublets und jede der sechs Linien eines Gliedes der I. N.S. oder entsprechender Kombinationsserien von Triplets $n p_i - m d^i$ ihren spezifischen magnetischen Typus. Die bei der I. N.S. bisher gefundenen Abweichungen von dieser verallgemeinerten Prestonschen Regel scheinen teilweise auf Beobachtungsfehlern zu beruhen, teilweise durch den in diesem Aufsätze zu besprechenden Effekt verursacht zu sein, wie der eine von uns besonders für einige Fälle nachweisen wird.

Kombinationen, in welche Terme mehrfacher Linien eingehen, zeigen, soweit Beobachtungen vorliegen, anomale Zeemantypen, z. B. die starke Kombination $n p_2 - m s$ zwischen den Tripletserien ($n p_2$) und den Serien einfacher Linien ($m s$) ein Triplet mit $\frac{3}{2} a$. So wie diese Kombination einen bestimmten

magnetischen Typus besitzt, ist es für jede Kombination zu erwarten. Das allgemeine Serienschema würde demnach zugleich die Ordnung der anomalen Zeemaneffekte darstellen. Obwohl dies durch die bekannten Tatsachen bereits nahegelegt ist, wäre es wichtig, es für viele Fälle zu untersuchen.

Soweit die anomalen Zeemaneffekte der Serienlinien bekannt sind, ordnen sie sich obigem Schema unter, welches daher als brauchbare Arbeitshypothese dienen kann. Zum Beispiel ist der Typus D_1 und D_2 in vielen Fällen beim ersten und zweiten Gliede der II. N.S. $2p_i - m s$ ($m = 1,5, 2,5$) gefunden. Das erste Glied der II. N.S. ist zugleich erstes Glied der H.S. Daß auch das folgende Glied der H.S. $1,5s - 3p_i$, dessen Schwingungsdifferenz $3p_2 - 3p_1$ kleiner als die $2p_2 - 2p_1$ des ersten Gliedes ist, denselben Typus hat, war noch nicht bekannt. Der eine von uns hat nach einem besonderen Verfahren das Funkenspektrum der Alkalien im Magnetfelde so lichtstark und doch in genügender Schärfe hergestellt, daß die magnetisch aufgespaltenen Linien Na 3302,5, 3303,1, K 4044,3, 4047,6 mit dem großen Rowlandgitter analysiert werden konnten. Es zeigte sich die Gültigkeit des aufgestellten Schemas (vgl. Anhang).

Man muß bei den Spektralgesetzen zweierlei unterscheiden: Erstens die Lagerung der Linien nach einer Serie und zweitens das Gebilde, welches in der Serie wiederholt ist. Dies kann eine völlig einfache Linie sein, wie z. B. Zn 6362, Cd 6438, Hg 4916 usw. Statt dessen kann es ein Dublet sein, also zwei Linien vom gleichen Typus der Unschärfe, der Selbstumkehr, des Intensitätsverhältnisses usw. Die konstante Schwingungsdifferenz des Dublets bei den Nebenserien, durch welche diese entdeckt wurden, ist nicht ein wesentliches Merkmal des Dublets. Bei den Hauptserien ändert sich die Schwingungsdifferenz von Glied zu Glied. Ähnlich kann ein Triplet als Serienglied auftreten mit analogen charakteristischen Eigenschaften wie das Dublet. Die Anomalien betreffen nur Linien solcher Dublets oder Triplets, nicht aber die Linien der Serien einfacher Linien. Die Gesetze der Anomalien sprechen dafür, daß diese Dublets oder Triplets etwas Besonderes vorstellen, und daß die Gründe für die Ausbildung eines solchen Gebildes zugleich auch die Gründe für die magnetischen Anomalien

seiner Linien sind. Dagegen hat die erste Art von Gesetzmäßigkeiten, die Serienverteilung der Linien, nichts mit der magnetischen Anomalie zu tun. Man wird sogar die Möglichkeit offen lassen müssen, daß solche Anomalien, wie sie z. B. von Lohmann im Neonspektrum gefunden sind, nur auf Gebilde mehrfacher Linien schließen lassen, ohne daß diese Gebilde nach Art der bisher bekannten Serien gelagert zu sein brauchen.

Daß dieser früher von dem einen von uns betonte¹⁾ Gesichtspunkt eine allgemeinere Grundlage der Gesetze ist, geht aus folgendem hervor: Das allgemeine Schema ist nur gültig, wenn sämtliche Linien des Triplets oder Dublets tatsächlich entwickelt sind. Fehlen z. B. bei einem Gliede der I. N.S. der Triplets die Satelliten $np_i - m d^i$, $d^i = d', d''$, so daß dieses Glied nur drei Linien enthält an Stelle der sechs Linien des Schema, so hat jede der drei Linien einen anderen (einfacheren) Typus als die sechs Linien des Schemas. Ein Beispiel ist die I. N.S. der Triplets bei Mg, bei deren Gliedern die Satelliten nicht getrennt auftreten, wie man meint, wegen zu geringer Schwingungsdifferenz. Auch wenn die Satelliten eines solchen Gliedes der I. N.S. noch getrennt werden, aber den Hauptlinien zu nahe kommen, wird das Schema ungültig (z. B. bei Zn).

Das Auffallende hierbei ist das Folgende: Die Mg-Linie 3838 ist das Glied $2p_1 - 3d$. Nach dem Serienschema sollte sie die drei Linien $2p_1 - 3d$, $2p_1 - 3d'$, $2p_1 - 3d''$ in sich enthalten, derart, daß sie in diese drei Linien durch genügende Dispersion aufzulösen wäre. Dementsprechend wäre als magnetischer Typus konsequenterweise zu erwarten die Übereinanderlagerung der drei magnetischen Typen, welche z. B. an den Hg-Linien 3650,31, 3655,00, 3663,05 und ebenso an den Cd-Linien 3610,66, 3613,04, 3614,58 beobachtet sind. Diesen sehr komplizierten Typus, den man erwarten sollte, zeigt Mg 3838 nicht. Statt dessen tritt ein einfacherer auf, der fast genau derselbe ist, wie bei dem Serienglied $2p_1 - 2,5s$ (5461 Hg z. B.).

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. 30. p. 754. 1909; Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. I. c. p. 184.

Ein noch merkwürdigeres Beispiel dieser Art bieten die Lithiumlinien dar. Wie bei den übrigen Alkalien sieht man auf Grund der Seriengesetze diese Linien als sehr enge Dublets an und erwartet dementsprechend als magnetischen Typus der Hauptserienlinien 6708 und 3233 die Übereinanderlagerung der Typen von D_1 und D_2 ; ebenso bei den Linien 6103,8 und 4603,0 der I. N.S. je die Übereinanderlagerung der drei Typen $2p_1 - 3b$, $2p_1 - 3b'$, $2p_2 - 3b'$. Statt dessen geben diese Lithiumlinien sämtlich exakt normale Triplets, wie der eine von uns gefunden hat (vgl. den Anhang).

Sauerstoff 4368 gibt ein normales Triplet, obwohl es die Linie $1,5f - 3p$ des Dubletsystems ist, also 3233 Li entspricht.

Schon aus diesem auffallenden Verhalten der Lithiumlinien geht hervor, daß das normale Triplet nicht nur dann auftritt, wenn eine wirklich einfache Linie vorliegt, sondern auch, wenn an ihre Stelle ein sehr enges Dublet tritt. Wäre diese theoretische Doppellinie, z. B. 6708 Li durch genügende Dispersion getrennt, so müßte man auf Grund unserer Anschauung zunächst in sehr kleinen magnetischen Feldern ein Aufspalten der zwei Dubletkomponenten mit den Typen D_1 und D_2 erwarten. Ist das Endresultat in stärkerem Felde das normale Triplet, so liegt ein neuer Effekt des magnetischen Feldes auf die Lichtschwingungen vor. Das Magnetfeld muß imstande sein, Seriedublets zu zerstören und einfache Linien daraus zu machen.

Es ist auch möglich, daß die Mg-Linie 3838 und die Lithiumlinien tatsächlich einfache Linien sind und zwar bei noch so hoher Dispersion. Die Erfolglosigkeit von Versuchen, bei den Lithiumlinien die Dublets von der theoretisch geforderten Schwingungsdifferenz nachzuweisen¹⁾, spricht dafür. Da nun in Analogie mit den Spektren chemisch und spektral-analytisch verwandter Elemente zweifellos bei Li z. B. Dublets vorhanden sein müßten, so wären diese Dublets schon ohne Magnetfeld zerstört, etwa durch atomistische Kräfte, welche der Dubletbildung entgegenwirken. Man müßte in diesem Falle eine gewisse Instabilität des Dublets bzw. Triplets annehmen, die um so größer ist, je geringer die Schwingungs-

1) A. Hagenbach, Ann. d. Phys. 9. p. 729. 1902.

differenz seiner Linien ist. Diese Annahme der Instabilität des Gebildes, welches als Dublet, Triplet oder zusammengesetztes Glied der I. N.S. erscheint, so daß dies Gebilde zerstört und in eine einfache Linie verwandelt werden kann, wenn die Schwingungsdifferenzen klein werden, ist das Gemeinsame der beiden erörterten Möglichkeiten. Nimmt man die Instabilität einer mehrfachen Linie an, so sollte man erwarten, daß auch äußere Kräfte ein Dublet oder Triplet verändern. Die erste oben behandelte Alternative läßt sogar erwarten, daß allgemein ein sehr enges Dublet oder Triplet durch magnetische Felder derart umgewandelt wird, daß als Endresultat in sehr starkem Felde ein normales Zeemantriplet auftritt, der Zeemaneffekt einer wirklich einfachen Linie.

Wir haben uns die Aufgabe gestellt, einige sehr enge, aber noch deutlich getrennte Seriedublets und -triplets nach diesem Gesichtspunkt zu untersuchen. Das engste bekannte richtige Serientriplett ist dasjenige $1,5s - 3p_i$ der H.S. des Sauerstoffs, welches von Runge und Paschen gefunden ist¹⁾ und nach unserer Messung aus den drei Linien 3947,438, 3947,626, 3947,731 zusammengesetzt ist. Unsere Erwartung hat sich an ihm erfüllt. Wir konnten seine magnetische Zerstörung und Verwandlung verfolgen bis zum Auftreten eines Zeemantyps, der bereits Ähnlichkeit mit einem einfachen Zeemantriplet hat.

Enge Dublets kommen im Heliumspektrum vor. Auch dies haben wir eingehend untersucht. Doch zeigte sich, daß die Doppellinien des Heliums nicht, wie man bisher meinte, richtige Dublets nach Art der gelben Natriumlinien sind, sondern daß die schwachen Komponenten wahrscheinlich Satelliten der stärkeren Linien bilden nach Art der Kombinationslinien. Die starke Komponente der Heliumdoppellinien ist allein das Serienglied und spaltet sich nahezu in ein normales Triplet auf. Daß es sich bei diesen Linien nicht um richtige Dublets handelt, war schon lange dadurch wahrscheinlich, daß die schwache Komponente bei den Nebenserien auf der Seite der längeren Wellenlängen liegt. Bei sämtlichen richtigen Dublets der Nebenserien liegt sie nach kürzeren

1) C. Runge u. F. Paschen, Wied. Ann. 61. p. 659. 1897.

Wellenlängen. Auch Lohmanns Beobachtungen hätten zu obigem Schlusse schon berechtigt. Unsere Beobachtungen geben weitere Beweise für denselben.

Auch die Wasserstoffserie würde hierher gehören, wenn der Befund einiger Forscher richtig ist, daß H_α , H_β , H_γ Doppellinien sind, und dieser Befund keine Selbstumkehrung der Linien bedeutet. Nach Janicki ist H_α eine Doppellinie.¹⁾ Wir haben daher auch diese Linien untersucht und finden magnetische Triplets von nicht normaler Aufspaltung und von unvollständiger Polarisierung der Mittelkomponente und auffallender Schwäche der Seitenkomponenten. Obwohl dies in mancher Hinsicht analog dem Verhalten des magnetisch umgewandelten Sauerstofftriplets ist, können die Wasserstofflinien nicht mit Sicherheit als Beispiele einer magnetischen Verwandlung angegeben werden, wenn sie es auch wahrscheinlich sind.

Schließlich wird der eine von uns im Anhang zeigen, daß die Linie 2852 der H.S. des Na, welche zweifellos wie die *D*-Linien und das Dublet bei 3303 ein Dublet sein sollte, im Magnetfelde nicht die Übereinanderlagerung der Typen D_1 und D_2 zeigt, sondern in ein Triplet mit nahe normaler Aufspaltung und Polarisierung verwandelt ist.

Nachdem durch diese Beispiele gezeigt ist, daß ein Gebilde mehrfacher Linien durch Magnetfelder zerstört und in eine einfache Linie verwandelt werden kann, sind die Ausnahmen von der allgemeinen Ordnung der anomalen Zeemaneffekte verständlich. Denn sie sind meistens durch dieses Phänomen verursacht. Zugleich aber erscheinen die durch das Serienschema geregelten Anomalien selber wieder als Ausnahmezustände, für deren Zustandekommen eine Art Zwangszustand der Lichtschwingungen anzunehmen ist. Denn es ist möglich, diesen Zustand wieder zu beseitigen. Da hierbei das Gebilde der mehrfachen Linie in eine einfache Linie, der anomale magnetische Typus in den normalen verwandelt wird, ist es wahrscheinlich, daß durch den Zwangszustand eine ursprünglich einfache Linie mehrfach geworden ist. Wir haben also als Anfang und Ende die einfache Linie, deren normale magnetische Beeinflussung durch die Annahmen verstanden

1) L. Janicki, Ann. d. Phys. 19. p. 36. 1906.

werden kann, die Lorentz für das einfache Zeemanphänomen ersonnen hat. Magnetische Komplikationen entsprechen demselben Zwangszustand, der das Gebilde der mehrfachen Linie verursacht hat. Die Stabilität des Zwangszustandes ist um so geringer, je kleiner die Schwingungsdifferenz der Komponenten der mehrfachen Linie ist. Möglicherweise wäre bei den Linien des Li, He, O 4368, deren Schwingungsdifferenzen sehr klein sein müßten, die Instabilität des Zwangszustandes so groß, daß sein Zustandekommen durch innere Atomkräfte von vornherein verhindert ist, und daß die Linien aus diesem Grunde einfach geblieben sind.

Es war für unsere Untersuchung notwendig, Geissler-
röhren im Magnetfelde intensiv zum Leuchten zu bringen. Dufours und Lohmanns Methode, die Pole zu durchbohren und die Geisslerröhre durch die Durchbohrung zu führen, hat den Zweck, die Stromfäden parallel den Kraftlinien zu leiten. Trotzdem wird die Entladung durch das Magnetfeld behindert. Man muß höhere Potentiale anwenden, um die Intensität des Leuchtens aufrecht zu erhalten. Dann aber erwärmen sich die im Inneren der Polschuhe steckenden Elektroden bis zum Schmelzen. Ein schlimmerer Nachteil ist die Inhomogenität und der kleine Betrag der Feldstärke infolge der Poldurchbohrungen.

Das Beispiel der senkrecht ins Feld geführten Quecksilber-
geisslerröhre¹⁾ zeigt andererseits, daß Hg-Dampf in dem dünnen Lichtfaden, der durch die Wirkung des Magnetfeldes an die Wand gedrückt wird, auch in einem sehr intensiven Felde zu starkem Leuchten zu bringen ist. Es war von vornherein zu erwarten, daß dieser Lichtfaden auch in anderen Gasen herstellbar sein würde. Versuche mit Glasröhren scheiterten an der Wärmeproduktion im Lichtfaden. Das Glas schmolz unter ihm. Erst eine Geisslerröhre aus Quarzglas widerstand für einige Stunden der Erhitzung. Nur allmählich brannte sich der Lichtfaden in die Wand ein. Der Lichtfaden ließ sich durch Erhöhung des Entladungspotentials herstellen. Ein gewöhnliches Induktorium lieferte dabei aber nicht mehr genügende Elektrizitätsmengen. Der Lichtfaden blieb mit ihm

1) F. Paschen, *Physik. Zeitschr.* 1. p. 478. 1900.

nur sehr lichtschwach. Mit einem besonders hierfür konstruierten Klingelfuss'schen Induktorium, welches starke sekundäre Ströme bei genügender Spannung gab, gelang es, dem Lichtfaden eine Helligkeit zu geben, welche völlig genügte, um die stärksten Linien bei einstündiger Exposition in den drei ersten Ordnungen des großen Rowlandgitters zu photographieren. Bei Helium genügten sogar einige Minuten, um die Zeemaneffekte der stärksten Linien bis zur fünften Gitterordnung ausexponiert zu erhalten. Zur Ausbildung des Lichtfadens war im Feld ein größerer Gasdruck als gewöhnlich in Geisslerröhren nötig, bei Sauerstoff z. B. 5 mm Quecksilber.

Die Quarzgeisslerröhre hatte beistehende Form (Fig. 1). Die massiven Aluminiumelektroden *A* waren mit langen dünnen,

Fig. 1.

eingekitteten Messingdrähten gehalten. Da die Röhre sehr heiß wurde, mußten alle Zuleitungsröhren ca. 10 cm lang sein, damit die drei Siegelackkittstellen kalt blieben. Die Kapillare wurde mehrmals erneuert, wenn sie durch Einbrennen des Lichtfadens zu undurchsichtig geworden war. Ließ man den Lichtfaden an die hintere Kapillarenwand drücken und beobachtete ihn durch die unversehrte vordere Wand hindurch, so konnte man mehrere Aufnahmen mit einer Kapillaren machen.

Sauerstoff und Wasserstoff wurden elektrolytisch aus ausgekochtem angesäuerten Wasser entwickelt und in einem

Vorratsgefäß über Phosphorpentoxyd getrocknet. Helium wurde aus Cleveit gewonnen und in bekannter Weise durch Funken mit Sauerstoff gereinigt.

Wir erhielten die Wasserstofflinien zugleich mit dem Sauerstoffspektrum und zwar besonders scharf bei geringerem Gasdruck. Das Sauerstoffspektrum, welches ohne Feld vorzugsweise das Serienspektrum ist, änderte sich bereits in schwachem Felde erheblich. Analog dem Argonspektrum traten viele Linien des Flaschenfunkenpektrums (elementary lines spectrum) dazu. Im Serienspektrum verblaßten besonders die Linien der Nebenserien. Außerdem traten im Ultraviolett eine Reihe von Linien auf, welche bisher nicht bekannt sind. Diese neuen Linien dürften nach ihrem magnetischen Verhalten Serienlinien sein.

Trotzdem das Heliumspektrum als Beispiel für unsere Betrachtung fortfiel, haben wir doch alle gut analysierbaren Zeemaneffekte unserer Aufnahmen gemessen und geben die Resultate an.

In bezug auf Normalen zur Feldbestimmung waren wir anfangs in Verlegenheit. Es erschienen im Sauerstoffspektrum nur die Quecksilberlinien 2536, 4358 und 4047. Erstere war allein stark genug zur exakten Messung. Wir haben dann später absichtlich etwas Quecksilberdampf in die Röhre gelassen und bekamen damit neben den Sauerstoff- und Heliumlinien obige drei Hg-Linien stark genug zur genauen Messung. Wir haben so für zwei verschiedene Felder die Aufspaltung Z einiger O- und He-Linien festgelegt, und benutzten diese Werte zur Feldbestimmung solcher Aufnahmen, auf denen die Quecksilberlinien fehlten.

Den Zeemantypus von Hg 2536 fanden wir in Übereinstimmung mit früheren Versuchen des einen von uns¹⁾ in starkem Feld als Triplet mit $\frac{3}{2}a$. Die seitlichen Komponenten dieser Linien waren äußerst scharf. Die mittlere longitudinal schwingende Komponente war meist nicht vorhanden. Doch haben wir auf zwei Aufnahmen unsymmetrisch nach kleiner Wellenlänge verschoben zwischen den seitlichen Komponenten eine scharfe Mittellinie. Diese ist wohl nach

1) F. Paschen, *Ann. d. Phys.* **35**. p. 876. 1911.

Versuchen von Wood¹⁾ als der eine Rand der durch Selbstumkehr in der Mitte ausgelöschten Mittelkomponente anzusehen. In einem Felde von 14000 Gauss war die Aufspaltung von 2536 3 Proz. größer als $\frac{3}{2}a$. Diese nicht näher verfolgte Abweichung liegt vielleicht daran, daß auch die Seitenkomponenten in schwächerem Felde Spuren von Selbstumkehr haben. Denn die Dampfdichte des Hg war hier größer.

Direkt an die Quecksilberlinien angeschlossen wurden die Linien He 6678, 5016, 3889, O 4368, 3905, welche scharf sind und in verschiedenen Feldern exakt normale Triplets geben, außerdem eine scharfe charakteristische Gruppe von O-Linien bei 2500 Å.-E., welche in verschiedenen Feldern Triplets mit $\frac{3}{2}a$ geben. Wir haben gefunden, daß diese Feldbestimmungen vielfach bis auf wenige Promille übereinstimmen; doch ist eine solche Genauigkeit nur mit sehr scharfen Zeemaneffekten in höherer Ordnung des großen Gitters erreichbar. Wir hätten die Messungen Lohmanns an den Heliumlinien unserer Feldbestimmung zugrunde legen können. Doch würden wir dann nur seine Genauigkeit von etwa 3 Proz. gehabt haben, während unsere Aufnahmen eine Genauigkeit von weniger als 1 Proz. ergeben. Außerdem wäre die Extrapolation der von Lohmann in schwachen Feldern gefundenen Resultate auf die 2—3 mal stärkeren Felder unserer Messungen unbefriedigend gewesen. Die Prüfung der Feldnormalen in zwei wesentlich verschiedenen Feldern war nötig, da man bei den noch unbekannten Typen der O- und He-Linien die Konstanz der Größe Z nicht ohne weiteres voraussetzen konnte.

Übersicht über die Feldbestimmung.

I. Starkes Feld, Röhre mit Hg, O und He gefüllt.

	H	Mittel	Wertung
Aus 2536 III. O.	25901	25907	2
2536 IV. O.	25913		
4047 II. O.	25880	25944	1
4047 III. O.	26008		
4358 II. O.	25988	25910	2
4358 III. O.	25832		

angenommen $H = 25916$

1) R. W. Wood, Physik. Zeitschr. 13. p. 353. 1912.

Aus derselben Aufnahme wurde mit diesem Felde gefunden:

		Ordn.	Z		
He	6678	I	$4,701 \times 10^{-5}$	}	4,704
		II	4,708 „		
He	3889	IV	4,700 „	}	4,700
		V	4,683 „		
		III	4,684 „		
		II	4,735 „		
He	5016	II	4,735 „	}	4,734
		III	4,733 „		
O	3905,6	II	4,687 „	}	4,713
		III	4,705 „		
		IV	4,748 „		
O	4368,4	II	4,734 „	}	4,702
		III	4,670 „		

Sauerstoffgruppe bei 2500 Å.-E., Werte von $Z \times 10^5$.

Ordn.	2506,9	2514,4	2516,2	2519,3	2524,2	2528,6
II					7,055	7,100
IV	7,087	7,096	7,107	6,994	7,085	7,115
V ¹⁾	7,083	7,011	7,055	7,046	7,036	7,072
VI	7,075		7,030			
Mittel	7,082	7,039	7,062	7,029	7,053	7,090

II. Schwaches Feld.

		H	
Aus 4047	III. O.	14340 14195 14523 14080	} Mehrere Messungen an verschiedenen Stellen der Linie
4358	III. O.	14361 14188 14218 14238	
	Mittel	14268	Desgleichen

Aus 2536 ergab sich 14559 (vgl. p. 908).

Aus derselben Aufnahme wurde mit dem Werte $H = 14268$ gefunden:

1) Zweifach gewertet.

		Ordn.	Z	Mittel Z
He 6678	II	{	4,735	$4,688 \times 10^{-5}$
			4,658	
			4,673	
He 5016	II	{	4,702	4,698
			4,756	
			4,654	
He 3889	IV	{	4,598	4,614
			4,630	

3889 war überexponiert. Die Komponenten waren breit

O 3905,6	IV	{	4,622	4,675
			4,727	
O 4368,4	III	{	4,686	4,685
			4,647	
			4,721	
O 2516,2	IV	{	7,055	7,090
			7,098	
			7,117	
	V		6,90	

Die Abweichung zwischen 5016 und 6678 He starkes Feld beruht auf Beobachtungsfehlern. In anderen Aufnahmen war die Aufspaltung dieselbe, wie folgende Zusammenstellung zeigt, in der nur Werte von $\Delta\lambda/\lambda^2$ für beide Linien angegeben sind, da das Feld aus diesen Linien ermittelt wurde.

Aufnahme	H	Ordn.	$\Delta\lambda/\lambda^2$	Mittel $\Delta\lambda/\lambda^2$
He 2	31713	6678 II	1,498	1,497
			1,496	
			1,498	
		5016 III	1,498	1,491
			1,491	
			1,484	
He 5	18900	6678 II	0,886	0,887
			0,888	
			0,888	
		5016 III	0,889	0,888
			0,888	
			0,888	
He 3	6841	6678 II	0,324	0,323
			0,323	
			0,321	
		5016 III	0,327	0,329
			0,328	
			0,332	

Mehrere der Linien sind in anderen Aufnahmen schärfer erschienen und dann gegen die stets scharfe O-Gruppe bei 2500 Å.-E. gemessen, so O 3905,6 und 4368,4; ebenso He 3889 in schwächeren Feldern und He 5016. Letztere ergab z. B.

$$\begin{array}{ll} H = 26200 & 4,705 \\ H = 19761 & 4,704 \end{array}$$

Die Aufspaltung a des normalen Triplets ist $4,698 \times 10^{-5}$ und $\frac{3}{2}a = 7,047$. Aus den angeführten Beobachtungen folgt, daß innerhalb der Beobachtungsfehler in den beiden Feldern aufspalten:

$$\text{He 3889, 5016 und 6678} \quad \text{O 3905,6 und 4368,4}$$

mit dem normalen Werte a , die Sauerstoffgruppe bei 2500 mit dem Werte $\frac{3}{2}a$. Dies wurde angenommen. Andere Felder wurden aus der Aufspaltung dieser Linien unter Annahme der genauen Werte von a und $\frac{3}{2}a$ bestimmt.

Sauerstoff.

A. Die magnetische Verwandlung des Triplets 3947,438, 3947,626, 3947,731 (vgl. Fig. 2 und Taf. VII).

Nach den Untersuchungen von C. Runge und F. Paschen¹⁾ ist dieses Triplet das zweite der Triplet-Hauptserie, also das Serienglied $1,5s - 3p$. Nach dem allgemeinen Schema sollten daher folgende Typen auftreten:

	ν	λ	magnet. Typus von			
stärkste Linie	$1,5s - 3p_1$	3947,438	5461 Hg	5183 Mg	5086 Cd usw.	
mittlere „	$1,5s - 3p_2$	3947,626	4358 Hg	5173 Mg	4800 Cd usw.	
schwächste „	$1,5s - 3p_3$	3947,731	4047 Hg	5168 Mg	4678 Cd usw.	

In der Tat spalten in Feldern unterhalb 6000 Gauss die drei Linien des Triplets jede für sich magnetisch auf. In der III. Gitterordnung zeigt sich dies deutlich an der Verbreiterung der Linien. Die senkrechten Komponenten liegen dieser Erwartung gemäß. Sobald aber die magnetischen Komponenten der drei Linien übereinander greifen, was von 6000 Gauss an

1) C. Runge u. F. Paschen, Wied. Ann. 61. p. 641. 1897.

geschieht, und besonders, sobald seitliche Komponenten der einen auf mittlere der nächsten Linie fallen, setzt die Verwandlung ein. Man erkennt schon bei 11000 Gauss keine der Komponenten der ursprünglichen Linien wieder. Die Komponenten, welche noch sichtbar sind, liegen nicht an den berechneten Orten. Mit steigendem Felde werden die Komponenten schwächer. Es bildet sich eine starke magnetische Mittelkomponente bei 3947,564 aus, also ungefähr im Schwerpunkte des ursprünglichen Triplets. Diese besitzt in schwachem Felde sowohl parallele wie senkrechte Schwingungen, ist also noch unvollständig polarisiert. Es bleiben von ihr in einem Felde von 32000 Gauss aber nur die parallelen Schwingungen. Die Polarisation wird also mit wachsendem Felde vollständig. Die senkrechten Schwingungen sind sehr schwach, bestehen bis $H = 20000$ aus einzelnen Komponenten, die dann in diffuse, schwache Wische übergehen. Bei 32000 Gauss sind die diffusen Seitenkomponenten bereits schmaler geworden und haben sich von der Mittelkomponente getrennt. Sie schwingen zum größten Teile senkrecht. Ob aber ihre Polarisation bereits vollständig ist, ist bei ihrer Schwäche nicht zu sagen. Bei noch stärkerem Felde erwarten wir, daß auch die diffusen Seitenkomponenten schärfer und stärker werden, um schließlich ein normales Triplet zu ergeben. Taf. VII zeigt einige unserer Aufnahmen der III. Ordnung des großen Rowlandgitters. Die Vergrößerung der ursprünglichen Aufnahmen ist 4,37 fach. 1 mm entspricht 0,20 Å.-E. Fig. 2 enthält untereinander das, was auf Grund des Serienschemas und der oben behandelten Erörterungen eintreten sollte, und das, was tatsächlich beobachtet ist.

Die Verwandlung der parallel schwingenden Komponenten ist bereits vollständig, die der senkrechten Komponenten dagegen noch weit entfernt von einem endgültigen Typus.

Wir haben versucht, die Verwandlung durch Messung der scharfen aber schwachen Komponenten zu studieren. Allein es lassen sich nur zwei schwache, weit abliegende, senkrecht schwingende Komponenten verfolgen, die auf der Photographie zu sehen sind. Sie liegen zunächst bis $H = 21800$ nahe symmetrisch zur magnetischen Mittelkomponente 3947,564, werden aber in stärkerem Felde unsymmetrisch.

Fig. 2.

Die schwachen äußersten Komponenten.

H	$Z \times 10^5$	
	kleine λ	große λ
11340		11,3
12774		9,8
19766	9,25	9,77
21830	9,32	9,20
27887	8,08	9,27
27700	8,14	9,61
31900	7,4	9,37

Der Wert der Aufspaltung ist also bis 21800 Gauss $Z = 9,5 \times 10^{-5}$, also nahe $2a$ (die Aufspaltung der äußersten Komponenten der drei ursprünglichen Linien). Die Komponente größerer Wellenlänge behält diesen Wert bis 32000 Gauss, die Komponente kleiner Wellenlänge rückt heran. Ihre Aufspaltung ist bei 32000 Gauss nur noch $7,4 \times 10^{-5}$.

B. Beobachtungen an anderen O-Linien.

Die folgenden Angaben beruhen auf gelegentlichen, aber genauen Messungen, besonders an den neuen ultravioletten Linien, welche im Magnetfeld auftreten. Die Wellenlängen sind genau gegen die Heliumlinien bestimmt.

Int. 6	2435,273	Eisig ¹⁾ 2433,6. Eisigs Linie 2445,6 erschien ebenfalls schwach, ist aber nicht gemessen. Normales magnetisches Triplet $Z = 4,67 \times 10^{-5}$.
„ 6	2478,577	Wohl eine O-Linie und nicht identisch mit C 2478,71 (Exner und Haschek), Eisig 2478,8. Normales magnetisches Triplet $Z = 4,68 \times 10^{-5}$.
„ 5	2506,923	Charakteristische starke und scharfe Gruppe.
„ 4	2514,382	Magnetisch (vgl. p. 909) analog den Gruppen Mg 2783,1,
„ 7	2516,189	2781,5, 2779,9, 2778,4, 2776,8, Ca 4318,8, 4307,9,
„ 3	2519,295	4302,7, 4299,1, 4289,5, 4283,2, Sr 3380,9, 3366,4,
„ 4	2524,231	3351,3, 3330,2, 3322,3, 3307,6, 3301,8, sowie einer
„ 5	2528,653	anderen Sr-Gruppe zwischen 4800 und 4900 Å.-E.

Der Zeemaneffekt aller dieser Linien ist innerhalb der Messungsfehler ein Triplet von $\frac{3}{2}a$. Die Linien werden eine ähnliche Kombination darstellen zwischen den Serien einfacher Linien und den Tripletserien, wie die Kombination $2p_2 - mS$, für welche bei Zn, Cd, Hg dieser magnetische Typ nachgewiesen ist.

Int. 4	2631,357	Wahrscheinlich normales Triplet $Z = 4,7 \pm 0,2$.
„ 8	2881,67	Stärkste Linie, normales Triplet $Z = 4,69$, daneben liegen noch zwei schwächere Linien 2879,0 und 2884,0, letztere identisch mit 2883,95 (Runge und Paschen). Die magnetische Aufspaltung dieser zwei Linien ist komplizierter und nicht genau verfolgt.

1) M. Eisig, Diss. Marburg 1894.

Bei größeren Wellenlängen finden wir die stärksten Linien Eisigs wieder. Doch sind Eisigs Zahlen um 0,2 Å. E. zu groß. Wir haben noch folgende Linien genau gemessen:

Int. 5	3823,714	(Runge u. Paschen). Magn. Triplet $Z = 6,24 \times 10^{-5}$ (gefunden 6,263 für $H = 31800$, 6,218 für $H = 21800$, 6,24 für $H = 27700$).
„ 5	3905,647	In Feldern zwischen 14000 und 32000 Gauss wiederholt gemessen. Magnetisch stets ein normales Triplet $Z = 4,701 \times 10^{-5}$ (vgl. p. 909).
„ 2	3912,133	
„ 6	3954,734	Runge und Paschen 3954,775. Magnetische Aufspaltung kompliziert. Eine zweite Linie scheint an dieselbe Stelle zu fallen. Die Zeemaneffekte beider scheinen übereinander gelagert. Die angegebene Wellenlänge ist in allen Feldern als stärkste parallel schwingende Komponente vorhanden.
„ 5	3973,734	Magnetisches Triplet $Z = 6,23 \times 10^{-5}$. Diese Linie und 3823,714 bilden ein Triplet mit $\frac{4}{3}a = 6,264 \times 10^{-5}$ innerhalb der Fehler.
„ 3	3982,88	Magnetisches Triplet $Z = 8,2 \times 10^{-5}$.

Die Linie 4368,466 (Runge und Paschen) spaltet in schwachen und starken Feldern stets genau in ein normales Triplet auf. Gefunden ist:

$H = 14268$	19761	21830	25916	26200	27723	31900
$Z = 4,685$	4,693	4,700	4,702	4,715	4,656	4,680

Dies ist wichtig, weil sie die Linie $1,5\frac{1}{2} - 3p$ der Hauptserie des Seriensystems ist, von dessen Nebenseriengliedern Runge und Paschen einige als Dublets gesehen haben. Ist auch sie ein enges Dublet, so ist ihre magnetische Verwandlung völlig beendet. Dies ist möglich. Denn nach den Serien-gesetzen würde die Schwingungsdifferenz der zwei Linien dieses Dublets etwa $\frac{1}{10}$ der Schwingungsdifferenz des Sauerstoff-triplets 3947 sein. In bezug auf dies „theoretische“ Dublet gilt dasselbe wie für die Lithiumlinien.

Helium.

Unser Hauptinteresse war den Linien mit Satelliten gewidmet. Wir hofften, die Natur der Satelliten aufzudecken. Es zeigte sich, daß auch bei einigen Linien des Systems ein-

facher Linien im Magnetfeld Satelliten erschienen, so daß schließlich nur wenige Linien völlig einfach blieben. Wir behandeln zunächst die Linien 5876, 4713 und 4388, deren Wechselwirkung mit ihren Satelliten im Felde ziemlich kompliziert ist, aber durch Aufnahmen in verschiedenen Feldern aufgedeckt wurde.

Betreffs der Wellenlängen und Serien beziehen wir uns auf die Abhandlung von C. Runge und F. Paschen¹⁾. Einige Wellenlängen geben wir nach eigener Messung an.

5875,870 und 5876,217 (vgl. Fig. 3).

Die Hauptlinie spaltet in ein nahezu normales Triplet auf. Wir fanden:

H	$Z \times 10^5$	
	größere λ	kleinere λ
6841	im Mittel 4,70	
14300	„ „	4,59
18726	„ „	4,63
26000	4,57	4,73
31729	4,46	4,70

Fig. 3.

Der Satellit spaltet in ein Triplet auf. Seine magnetischen Komponenten sind in schwachen Feldern nicht voll-

1) C. Runge u. F. Paschen, Astrophys. Journ. January 1896.

ständig polarisiert. Die Mittelkomponente enthält mehr senkrecht, die Seitenkomponenten mehr parallel schwingendes Licht. Die Seitenkomponenten werden jenseits $H = 18000$ sehr schwach. Die Mittelkomponente bleibt, wird vollständig senkrecht schwingend polarisiert und lagert sich von außen an die magnetische Komponente größerer Wellenlänge der Hauptlinie an, diese nach innen drängend. Dabei verschiebt sich die Mittelkomponente nach größerer Wellenlänge. Folgende Verschiebungen sind gemessen:

$H =$	6841	14300	18700	26000	31719
$\Delta\lambda$ Å.-E.	0,026	0,081	0,121	0,220	0,294

Die Aufspaltung Z beider Komponenten des Satellits ist nur in schwachen Feldern meßbar. In starken Feldern ist nur die Komponente kleiner Wellenlänge sichtbar und infolgedessen ihre Aufspaltung von der verschobenen Mittellinie an gemessen. Da in schwachen Feldern das Zeemantriplet des Satellits symmetrisch zu seiner Mittellinie bleibt und demnach als ganzes verschoben wird, ist diese Messung berechtigt.

Aufspaltung des Satellits.

$H =$	6841	14300	18761	31710
$Z =$	4,9	8,3	6,4	5,0

Die Veränderung von Z ist wohl durch die Verschiebung der Mittellinie bedingt.

Das Zeemantriplet der Hauptlinie ist nur in seiner Hälfte kleiner Wellenlängen normal. Die andere Hälfte ist kleiner als normal. Die Mittelkomponente bleibt dabei exakt an ihrem Platze. Die Komponente großer Wellenlänge wird also von dem Rest des Satellits an die Mittelkomponente gedrückt. W. Lohmann hat 5876 in schwachen Feldern studiert und findet hier in seiner letzten Veröffentlichung ungefähr dasselbe wie wir. Außerdem gibt er einen Satelliten bei kleinerer Wellenlänge an, den wir nicht beobachtet haben.

Die Linie 4472, welche mit 5876 zur I. N.S. gehört, zeigt analoge Erscheinungen, hat aber noch einen weit aufspaltenden zweiten Satelliten bei kleiner Wellenlänge und ist zu diffus für genaue Untersuchungen.

4713,252 und 4713,475 (vgl. Fig. 4).

Die Hauptlinie spaltet in ein nahezu normales Triplet.

H	$Z \times 10^5$	
	größere λ	kleinere λ
6841	Mittel	5,23
14300	„	4,786
18726	„	4,702
26000	4,67	5,03
31729	4,64	4,91

Fig. 4.

Der Satellit spaltet in ein Triplet auf

$$\begin{array}{ll}
 H = 6841 & Z = 9,4 \times 10^{-5} \\
 18726 & 8,4
 \end{array}$$

Seine Mittellinie verschiebt sich nach größerer Wellenlänge, für $H = 6841$ um 0,028, für $H = 18726$ um 0,055 Å.-E., wird also von der Hauptlinie fortgedrängt. Sie schwingt hauptsächlich parallel. Sie und die magnetische Komponente großer Wellenlänge sind in größeren Feldern als 18000 nicht mehr sichtbar. Es bleibt allein die senkrecht schwingende Komponente kleiner Wellenlänge, welche sich von innen der Zeeman-komponente kleiner Wellenlänge der Hauptlinie nähert und

diese nach außen drängt. Denn der Abstand dieser Komponente der Hauptlinie von der Mittellinie ist größer als der Abstand der Komponente größerer Wellenlänge, welcher normal bleibt. Die Mittelkomponente der Hauptlinie bleibt genau an ihrem Platz.

4388,100.

Ohne Feld eine einfache Linie, erhält im Feld nach kleinen Wellenlängen einen Satelliten, dessen Mitte bei 4387,6 liegt. Die Aufspaltung der Hauptlinie ist nahezu normal, die des Satellits fast die doppelte.

H	$Z \times 10^5$	
	Hauptl.	Satell.
6841	5,5	10,1
18726	4,66	8,4
31730	4,59	8,4

Die Komponente kleiner Wellenlänge und die Mittelkomponente des Satellits verschwinden in stärkeren Feldern. Die Komponente größerer Wellenlänge schwingt senkrecht und bleibt inmitten des Zeemantriplets der Hauptlinie sichtbar.

Es handelt sich bei diesen Linien um ähnliche Erscheinungen der Abstoßung, wie bei der gelben Hg-Linie 5790,9 und 5789,9 von Gmelin und der Intensitätsänderung wie bei dem einen Satelliten der grünen Hg-Linie 5461 von Lüneburg und Wendt studiert sind. Die schwachen Begleiter der Linien des einen Seriensystems der Heliumlinien wären hiernach wohl als Kombinationslinien aufzufassen. Hierfür spricht auch das Erscheinen eines Begleiters neben 4388, einer Linie des Systems einfacher Linien. Die Konsequenz dieser Auffassung wird unten behandelt. Sämtliche folgende Heliumlinien fanden wir als Triplets mit nahe normaler Aufspaltung in verschiedenen Feldern.

2945,22	$Z = 4,68 \times 10^{-5}$	
3187,83	$Z = 4,64$	„
3888,78	$Z = 4,69$	„ vgl. p. 909
3964,88	$Z = 4,70$	„
4026,34	$Z = 4,85$	„ diffus
4437,72	$Z = 4,74$	„
4471,65	$Z = 4,70$	„ mindestens zwei Satelliten diffus
4922,10 ¹⁾	$Z = 4,57$	Komponente kleiner Wellenl. Satellit?
	$Z = 4,67$	„ größer „
5015,73	$Z = 4,70 \times 10^{-5}$	„ vgl. p. 909
6678,37	$Z = 4,70$	„ „

1) Die Werte sind in $H = 14200$ und 25900 gleich gefunden.

Als zusammenfassendes Resultat unserer Untersuchung über die angeführten Heliumlinien sowie der früheren Versuche von Lohmann bei schwachen Feldern und an den sichtbaren Linien ergibt sich:

Sämtliche untersuchten Heliumlinien spalten nahezu in normale Triplets auf, und zwar die Linien, welche keine Satelliten besitzen, innerhalb der Messungsfehler genau. Die Linien mit Satelliten erscheinen durch diese in ihrem magnetischen Verhalten gestört, wie besonders aus dem eingehend untersuchten Verhalten von 5876 und 4713 hervorgeht. Denn bei ihnen konnte nachgewiesen werden, daß nur diejenige magnetische Komponente beeinflußt erscheint, in deren Nähe der magnetische Rest des Satellits bleibt, während die andere Komponente die normale Aufspaltung beibehält. Hierdurch findet die wiederholt geäußerte Auffassung des einen von uns über die Störung der Hg-Linie 5790,9 durch den schwingungsverwandten Satelliten 5789,9¹⁾ ein Analogon und eine Bestätigung.

Nun bestehen in den Spektren von Zn, Cd, Hg, Mg und wahrscheinlich auch von Ca, Sr, Ba drei verschiedene Systeme von Serien: je eins von einfachen Linien, von Dublets und von Triplets. Es ist danach angezeigt, mindestens das eine der zwei Seriensysteme des Heliums als ein System von sehr engen Dublets oder Triplets anzusehen, die nach den Erörterungen dieses Aufsatzes wegen zu geringer Schwingungsdifferenz magnetisch normale Triplets zeigen. Es würde ferner noch ein drittes Seriensystem des Heliums fehlen. Auf dieses deutet auch die Existenz der Satelliten hin, wenn diese als Kombinationslinien aufzufassen sind, wie solche bei Zn, Cd, Hg nachgewiesen sind. Denn diese Satelliten können nach den Zahlenwerten ihrer Serienterme nicht Kombinationen der zwei vorhandenen Seriensysteme sein. Die hauptsächlichsten Kombinationen zwischen zwei verschiedenen Seriensystemen, welche bei Zn, Cd, Hg vorkommen, sind solche zwischen Triplets und einfachen Linien. Sie sind dargestellt durch Linien, welche mit gleicher Schwingungsdifferenz neben den Linien der zwei Nebenserien herlaufen, wie es bei Helium der

1) F. Paschen, Ann. d. Phys. 35, p. 878. 1911.

Fall ist. Diese Analogie würde zu dem Schlusse führen, daß die Heliumsatelliten Kombinationen zwischen dem noch fehlenden Seriensystem und dem System sind, mit dessen Linien sie die konstante Schwingungsdifferenz haben. Diese beiden Seriensysteme wären dann solche von Triplets und einfachen Linien, so daß das vorhandene Seriensystem, dessen Linien meist keine Satelliten haben, ein solches sehr enger Dublets wäre. Mit den theoretischen hier erwähnten sehr engen Dublets und Triplets könnte es natürlich ähnlich stehen, wie mit den Lithiumlinien. Sie könnten wie diese nur theoretische Dublets und Triplets, in Wirklichkeit aber einfache Linien sein, wenn die oben erwähnte Möglichkeit den Tatsachen entspricht, daß die Entstehung enger Dublets und Triplets durch atomistische Kräfte verhindert werden kann.

Wiewohl die eben gezogenen Schlüsse bei unserer noch sehr spärlichen Kenntnis von den verschiedenen Seriensystemen eines Spektrums und bei der empirischen Natur der Materie unsicher erscheinen, haben wir sie als Arbeitshypothesen erwähnt. Nach einem dritten Seriensystem des Heliums sollte z. B. gefahndet werden.

Wasserstoff. H_α , H_β , H_γ (Taf. VIII).

Berndt¹⁾ sieht H_α magnetisch als diffuses Triplet, Dufour²⁾ meint, der Abstand der äußeren Komponenten dieses Triplets sei etwa halb so groß wie der der D_1 -Linie. Quantitative Messungen und qualitative Untersuchungen einiger Genauigkeit fehlen.

Bei reiner Wasserstofffüllung sehr diffus und nicht einmal intensiv werden die Linien schärfer und heller, wenn sie als Verunreinigung von Sauerstoff und Helium bei geringem Gasdruck und nicht zu hoher Stromstärke erscheinen. Unter solchen Bedingungen fanden wir die Breite der unmagnetischen Linie H_α zu 0,20 Å.-E., H_β zu 0,24 Å.-E.

In Feldern von 3000—10000 Gauss erfahren die Linien eine mit der Feldstärke zunehmende Verbreiterung. Bei 11250 Gauss ist H_α soeben deutlich in ein Triplet zerlegt.

1) G. Berndt, Ann. d. Phys. 8. p. 639. 1902.

2) A. Dufour, Sur les spectres de l'hydrogène Thèse, Paris 1906. p. 45.

H_β erst bei höherem Felde. Von 19800 Gauss an bis 32000 Gauss sind die Aufspaltungen beider Linien meßbar. H_γ konnte, weil lichtschwächer und noch diffuser, nur auf einer Aufnahme bei $H = 25916$ Gauss in II. und III. Ordnung exakt gemessen werden.

Die magnetischen Triplets der drei Linien zeigen in sich und auf allen Aufnahmen übereinstimmend folgende Anomalien: 1. Die Intensitätsverteilung auf die drei Komponenten ist anomal. Die Mittelkomponente von H_α hat etwa die dreifache Intensität der senkrecht schwingenden Seitenkomponenten, und zwar scheinen die seitlichen Komponenten ungewöhnlich schwach, während die Intensität der Mittelkomponente derjenigen entspricht, welche ohne Feld gefunden wird. Die seitlichen Komponenten werden mit wachsendem Felde schärfer, besser definiert und relativ zur Mittellinie stärker. 2. Die Polarisierung der Mittelkomponente ist unvollständig und daher anomal. Zu dem parallel schwingenden Licht erscheint eine nicht unbeträchtliche Menge senkrecht schwingenden hinzugesellt, und zwar bei H_β mehr als bei H_α , wie aus den Reproduktionen klar hervorgeht. Diese Anomalie ist bei schwachen Feldern größer als bei starken. Die Reproduktion der senkrechten Schwingungen von H_β läßt auch dies erkennen. Die nicht ausgelöschte Mittelkomponente ist im schwächeren Felde stärker als die Seitenkomponenten, im stärkeren Felde ebenso stark. Das senkrecht schwingende Licht der Mittelkomponente von H_α ist stets schwächer als das der Seitenkomponenten. Diese Intensitätsanomalien sind nicht durch das Gitter hervorgebracht. Denn die Heliumlinie 6678, welche nahe bei H_α liegt und vielfach zugleich erschien, zeigt nichts davon. Auch sind die Bilder in I. und II. Ordnung stets genau übereinstimmend. Ebenso sind solche Anomalien nicht auf Linien zu sehen, welche in der Nähe von H_β und H_γ liegen und mit photographiert wurden. Wir geben z. B. eine Reproduktion von 6678 He, welche derselben Aufnahme entstammt, wie die Reproduktionen der senkrechten Schwingungen von H_α und H_β . Aus ihr geht hervor, daß in beiden Feldern das parallel schwingende Licht völlig ausgelöscht war. Denn während der Aufnahme war die Röhre zugleich mit Helium gefüllt. Die seitlichen Komponenten sind in allen Feldern

bei H_α und H_β vollständig senkrecht schwingend polarisiert. 3. Die Aufspaltung Z ist mit Sicherheit bei allen drei Linien übereinstimmend größer als normal und kein kleinzahliges Vielfaches von α .

Den jetzt mitzuteilenden Messungsergebnissen liegen 40 unabhängige Messungen auf zehn Aufnahmen bei zehn verschiedenen Feldstärken zugrunde. Hiervon entfallen auf H_α I. und II. Ordnung 30, auf H_β I., II. und III. Ordnung acht, und auf H_γ II. und III. Ordnung zwei. Die größte Abweichung beträgt innerhalb derselben Aufnahme für H_α 4 Proz., für H_β 6 Proz., für H_γ 1 Proz., auf den schärfsten Aufnahmen für H_α 1 Proz., für H_β 1,5 Proz. Die Genauigkeit steht demnach, wie bei der Unschärfe der Linien erklärlich, hinter der bei Sauerstoff und Helium erreichten zurück. Diese Angaben beziehen sich auf die Messungen der senkrecht schwingenden Außenkomponenten. Für die Mittelkomponente ist der Fehler der Einstellung größer. Sie ist weniger gut definiert und auf den unpolarisierten Aufnahmen meist überlichtet. Der größere mögliche Fehler erklärt jedoch nicht eine sehr auffällige Unsymmetrie des Triplets, welche auf fast allen Aufnahmen wiederkehrt. Die Mittelkomponente ist um 4—12 Proz. des halben Abstandes beider Seitenkomponenten relativ zu diesen verschoben, und zwar auf den meisten Aufnahmen nach rot, auf einer Aufnahme jedoch nach blau. Irgend eine Gesetzmäßigkeit ließ sich nicht aufdecken. Die naheliegende Vermutung, daß die Mittelkomponente aus zwei benachbarten Schwingungen besteht, deren Polarisationsverhältnisse verschieden sind, findet durch einen Vergleich der Aufnahmen mit und ohne Polarisation keine Stütze. Die Frage mußte unentschieden gelassen werden. Sie ist erwähnt zur Rechtfertigung des Verfahrens bei der Bestimmung der Aufspaltung Z , welche aus der Hälfte des Abstandes der zwei Seitenkomponenten berechnet ist.

Von den in der folgenden Tabelle gegebenen Mittelwerten $Z \times 10^5$ weichen die Einzelresultate maximal um 2,5 Proz. bei H_α und um 3,5 Proz. bei H_β ab.

Es scheint eine Andeutung dafür vorhanden zu sein, daß mit steigender Feldstärke der Wert Z kleiner wird. Dem widersprechen jedoch die zwei schärfsten Aufnahmen Nr. 2 und 5. Gibt

man diesen das dreifache Gewicht, so folgt als Mittelwert $Z = 5,20 \times 10^{-5}$ als Aufspaltung der drei Wasserstofflinien in allen hier untersuchten Feldern.

Aufspaltung $Z \times 10^5$.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H =	14270	19760	21830	25916	26270	27720	27890	31690	31900	32400
H _{α} =	5,21	5,20	5,11	5,24	5,19	5,24	5,23	5,13	5,15	5,15
H _{β} =		5,20			5,21	5,16	5,35	5,05		
H _{γ} =				5,26						

Wir vergleichen jetzt den tatsächlichen mit demjenigen magnetischen Typus, der auf Grund des Serienschemas zu erwarten wäre und fassen die Wasserstofflinien auf als I. Dublet-Nebenserie. Wir nehmen den von Michelson gefundenen Abstand von 0,14 Å.-E. der zwei Komponenten von 6563 an. Die Dubletnatur von H _{α} ist durch Janickis Beobachtung zweier selbst umgekehrter Komponenten¹⁾ im obigen Abstand bestätigt. H _{γ} ist von Michelson als Dublet ungefähr gleicher Schwingungsdifferenz gefunden (H _{α} $\Delta\nu = 0,32$, H _{γ} $\Delta\nu = 0,42$). Unsere folgenden Erörterungen entsprechen daher einer Möglichkeit. Der Serientyp der I. Dublet-N.S. ist $2p_i - m d^i$ und führt drei Linien.

	$2p_1 - m d$	$2p_1 - m d'$	$2p_2 - m d'$
	Hauptlinie	Satellit	Hauptlinie
Beispiel { Al	3092,84	3092,95	3082,27
{ Ca	3179,45	3181,40	3158,98
Magn. Typ ²⁾	Triplet	Oktett	Triplet

Bei kleinem Wert der Schwingungsdifferenz $2p_2 - 2p_1$ ist kein Satellit mehr sichtbar. Dann spalten die beiden Linien je in ein normales Triplet auf, wie die zwei Magnesiumlinien 2798 ($2p_1 - 3d$) und 2790 ($2p_2 - 3d'$). Dieser Fall wäre den Wasserstofflinien zugrunde zu legen: Wir nehmen also zwei Linien im Abstände 0,14 Å.-E. für H _{α} an, 6562,97 und 6563,11 (beob. Mittel 6563,04), und lassen jede in ein normales

1) Man vgl. hierzu H. Kayser, Spektroskopie 5. p. 484.

2) Vgl. C. Runge u. F. Paschen, Berl. Ber. 32. p. 720. 1902.

Triplet aufspalten. Fig. 5 stellt das Resultat dar. Die beobachteten Typen sind für zwei Felder unter die berechneten gezeichnet. Bei 6919 Gauss fällt je eine Außenkomponente der einen auf eine Innenkomponente der anderen Linie. Ungefähr von diesem Stadium an begann die magnetische Zerstörung des Sauerstoff-Serientriplets. In der Tat ist von 14000 Gauss an der beobachtete Typ ein anderer als die Übereinanderlagerung der zwei Einzeltypen. Letztere würde

Fig. 5.

stets ein normales Triplet mit breiten Komponenten sein. Eine größere Aufspaltung könnte nicht zustande kommen. Unsere Messungen geben eine um 10 Proz. größere Aufspaltung und sind bis auf weniger als 3 Proz. sicher. Wir hätten also auch in der quantitativen Messung ein Anzeichen von magnetischer Verwandlung. Für eine solche spräche vor allem die unvollständige Polarisation der Mittelkomponenten analog wie beim Sauerstofftriplet in mittleren Feldern, welche bei den Wasserstofflinien nicht durch Überlagerung verschieden schwingender Einzelkomponenten zustande kommen kann. Analog wäre schließlich in beiden Fällen, daß die Polarisation der Mittelkomponenten für stärkere Felder vollständiger wird. Die Differenz der Wellenzahlen $\Delta\nu = \Delta\lambda/\lambda^2$ der äußersten Linien des Sauerstofftriplets ist $1,8 \text{ cm}^{-1}$, die der Komponenten von H_α (und daher auch H_β , H_γ) nach Michelson $0,32 \text{ cm}^{-1}$. Man sollte also, gleiche Stabilität des Gebildes vorausgesetzt,

die Wasserstofflinien in einem vorgerückteren Stadium der magnetischen Verwandlung erblicken. Die vorgeschrittenere Entwicklung der seitlichen Komponenten würde dem entsprechen. Ihre Lichtschwäche, Unschärfe und anomale Aufspaltung würde ebenso wie die noch unvollständige Polarisation der Mittelkomponente aber ein Zeichen dafür sein, daß die Entwicklung noch nicht beendet ist. Daß die Polarisation der Mittelkomponente mit wachsendem Felde vollständiger wird, würde ein Kennzeichen einer Veränderung im Gebiete unserer Feldstärken sein. Ein weiteres Zeichen der Veränderung ist das Wachsen der Intensität und die Zunahme der Schärfe der seitlichen Komponenten. Obwohl so die magnetische Veränderung der Wasserstofflinien weiter vorgeschritten scheint, ist sie in bezug auf die Polarisation der Mittelkomponente zurück gegen das Sauerstofftriplet, dessen magnetische Mittelkomponente bei 32000 Gauss nur parallel schwingendes Licht enthält.

Aus dieser Erörterung geht hervor, daß die magnetische Verwandlung der Wasserstofflinien nach den Beobachtungen durchaus möglich, ja vielleicht wahrscheinlich ist. Um sie mit Sicherheit zu beweisen, wären Beobachtungen an den zwei Dubletkomponenten für kleine Felder, oder die Anwendung bedeutend stärkerer Felder nötig, als wir zur Verfügung haben.

A n h a n g.

Der transversale Zeemaneffekt einiger Linien des Lithiums, Natriums und Kaliums; von E. Back.

Gegenstand der bisherigen Untersuchung war das Lithiumspektrum als Ganzes, ferner die Natriumlinien 3303,07, 3302,47, 2852,91 und die Kaliumlinien 4047,62, 4044,29. Bei allen diesen Linien wurde der transversale Zeemaneffekt qualitativ und quantitativ untersucht. Als Lichtquelle diente eine Funkenstrecke, die in bekannter Weise zwischen den Polen eines Magnets angeordnet war; die spektrale Zerlegung erfolgte durch das große Konkavgitter von 6,4 m Krümmungsradius. Neuartig ist die Weise, in der das Alkali in den Funken ein-

gebracht wurde. Geschieht dies nach einer der bekannten Methoden durch Zuführung von Salzlösung oder Salzperlen, so erhält man sehr unscharfe Linien, deren an sich schon geringe Intensität durch wachsende Feldstärken immer weiter herabgedrückt wird.

Von diesen Mängeln ist die in vorliegender Arbeit angewandte Methode frei. Sie benutzt nach einem Vorschlage von Hrn. Professor Paschen Elektroden aus einer metallischen Legierung der Alkalien und erreicht dadurch zwei Vorteile: 1. die Metallelektroden geben scharfe Linien, 2. die Helligkeit des Spektrums läßt sich durch Vermehrung der Energie in der Funkenentladung fast beliebig steigern, ohne daß Urschärfe und Umkehrungen eintreten, vorausgesetzt, daß man das Mengenverhältnis des in der Legierung anwesenden alkalischen Metalles zur anderen Komponente richtig wählt.

Die Herstellung geeigneter Legierungen begegnet bei den Alkalien allerdings mehr Schwierigkeiten, als bei den meisten anderen Metallen, sie ist aber keineswegs unmöglich. Als Hauptkomponente der Legierung diente reines Silber. Im Stickstoffstrom konnte metallisches Natrium unter die Oberfläche des geschmolzenen Silbers direkt eingebracht werden und legierte sich nach kurzer Zeit. Die Schmelze wurde auf eine Stahlplatte ausgegossen und nach Erkalten aus dem ziemlich brüchigen Gußstück Elektroden passender Form herausgesägt. Die Schnittfläche war mattglänzend, silberweiß mit schwach rötlichem Schimmer und luftbeständig. Für Lithium war diese Methode nicht brauchbar. Nach längeren Versuchen fand sich aber ein viel einfacherer allgemein anwendbarer Arbeitsvorgang, der außerdem bessere spektroskopische Resultate gibt. Er beruht darauf, daß die Legierung aus der Schmelze eines Alkali- und Silbersalzes durch Reduzierung mit Kohle direkt gewonnen wird. Das Metall scheidet sich auf der Oberfläche der Kohle aus, und wenn man dieser passende Form gibt, kann man sie mit der Metallhaut überzogen als Elektrode verwenden. Zur Herstellung der zu den Natriumaufnahmen erforderlichen Elektroden wurde beispielsweise folgendermaßen verfahren: 40 g NaNO_3 und 20 g AgNO_3 werden in ihrem Kristallwasser im Tiegel geschmolzen und die Schmelze auf der Temperatur des Siedepunktes gehalten. In die Flüssigkeit werden die Kohle-

lamellen eingebracht. Nach einigen Sekunden tritt heftige Entwicklung von CO_2 und NO_2 ein, die, wenn die Kohle nicht nach einigen Minuten herausgenommen wird, bis zur völligen Verzehrung der Kohle andauert. Beim Herausnehmen ist diese mit einer Schicht etwa vom Aussehen des natürlichen Bimsteins überzogen. Sie wird an der Luft oder in einiger Entfernung von der Bunsenflamme getrocknet und dann auf Schmirgel geschliffen. Hierbei tritt eine über die Kohle gleichmäßig ausgebreitete Metallschicht zutage, ebenfalls mattglänzend, silberweiß mit rötlichem Anhauch. Zur Herstellung der Kaliumelektroden wurde ungefähr die Hälfte des NaNO_3 durch KNO_3 ersetzt, zur Erzeugung des Lithiumspektrums, bei dem die Neigung zur Unschärfe und Selbstumkehrung der Linien größer ist, der Schmelze ungefähr 3 Proz. LiNO_3 zugesetzt.

Bemerkenswert an dem Vorgang scheint zu sein, daß in Gegenwart des Silbers die Alkalien mit Kohle reduzierbar sind, und daß eine eigentliche Verbrennung der Kohle unter Wärmeentwicklung nicht nötig ist. Letztere muß sogar vermieden werden, weil die Reaktion sonst so heftig wird, daß die Kohle meist zerplatzt und von dem Metall nur das Silber zurückbleibt. Es wäre von Interesse, zu untersuchen, wieviel von dem Alkali in die Legierung wirklich eingeht, die Frage ist aber mit einfachen Mitteln nicht zu entscheiden; sie steht jedoch mit dem Zweck dieser Arbeit in keiner Verbindung, da es nach wenigen Proben stets gelang, ein solches Mengenverhältnis der Salze zu finden, daß ein scharfes und lichtstarkes Spektrum erhalten wurde. Als Anhalt für die erreichte Helligkeit diene die Angabe, daß das Linienpaar Na 3303 bei einem Feld von 36400 CGS. in III. und IV. Ordnung des großen Gitters in 35 Min. ausexponiert war. Die elektrischen Bedingungen waren bis auf die primäre Stromstärke bei allen Aufnahmen die gleichen. Wechselstrom von 110 Volt und $50 \sim \text{sec}^{-1}$ auf etwa 6000 Volt transformiert; Hemsalechscher Schwingungskreis, Kapazität etwa $25 \cdot 10^3 \text{ cm}$, Selbstinduktion $4 \cdot 10^{-4}$ Henry. Primärstrom 2,5—11,0 Amp. Funkenlänge ca. 1 mm.

Den in der angegebenen Weise hergestellten Aufnahmen ist gute Schärfe und Vermeidung von Umkehrungen gemeinsam. Sie bringen daher die gesetzmäßige Änderung im Aus-

sehen der Spektrallinien von Element zu Element sehr deutlich zur Anschauung. Die Linien des Na sind schmaler wie die des Li, die des K wieder schmaler wie die des Na. Genaue Betrachtung zeigt, daß die größere Breite der Linien nicht in der Art der Entladung ihren Grund hat, sondern daß offenbar ihre spektrale Breite mit wachsendem Atomgewicht abnimmt.

Es folgt nun die Angabe der Messungsergebnisse.

I. Lithium.

(Feldstärke: $H = 29819 \pm 0,3$ Proz.)

	λ	Serien- bezeichnung	Typus	Polarisation	Z , Mittel- werte der Aufspaltung
H.S.	6708,20	$1,5 s - 2 p$	Triplet	normal ¹⁾	4,687
I. N.S.	6103,77	$2 p - 3 d$	„	„	4,697
II. N.S.	4971,98	$2 p - 3,5 s$	„	„	zu schwach
I. N.S.	4603,04	$2 p - 4 d$	„	„	4,685
H.S.	3232,77	$1,5 s - 3 p$	„	„	4,711

Die Genauigkeit der Messung ergibt sich aus folgenden größten Abweichungen der Einzelmessungen unter sich: für 6708: 1,4 Proz., für 6103: 0,8 Proz., für 4603: 1,5 Proz., für 3232: 4 Proz. Innerhalb der Fehlergrenzen sind demnach die gemessenen Linien sämtlich normale Triplets mit dem von der Theorie geforderten Wert: $a = 4,6978 \times 10^{-5}$ Gauss⁻¹ cm⁻¹.²⁾ Die Bedeutung dieser Tatsache ist im vorangehenden Aufsätze diskutiert.

II. Natrium und Kalium.

Es wurden die Linien der Hauptserie Na 3302, 3303 und die entsprechenden K 4044, 4047 [$1,5 s - 3 p_1$ und $1,5 s - 3 p_2$] sowie das folgende Glied Na 2852 [$1,5 s - 4 p$] untersucht. An ihnen sollte die Gültigkeit der Prestonschen Regel für

1) Mittelkomponente parallel zu den Kraftlinien schwingend, Außenkomponenten senkrecht.

2) Bei 6708 Li schließt Voigt aus der magnetischen Doppelbrechung ebenfalls auf normale Aufspaltung. Physik. Zeitschr. 6. p. 217. 1912.

die Hauptserie durch direkte Beobachtung des Transversaleffektes geprüft werden.

Das Ergebnis ist folgendes: Die beiden K-Linien stimmen mit den D -Linien qualitativ und quantitativ vollkommen überein. Von dem entsprechenden Natriumpaar 3303,07, 3302,47 gilt bezüglich der quantitativen Aufspaltung und der Polarisationsverhältnisse dasselbe, jedoch zeigt sich in der Intensitätsverteilung eine Abweichung, die auch in der beigegebenen Vergrößerung (Taf. VIII) deutlich zu erkennen ist: die einander zugewendeten Hälften des D_1 - und D_2 -Typus sind verstärkt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß hierin sich eine beginnende Störung der engen Doppellinie durch das Magnetfeld anzeigt, ähnlich wie sie für das enge Triplet des Sauerstoffs in der vorangehenden Abhandlung im einzelnen nachgewiesen worden ist.

Nachdem die Geltung der Prestonschen Regel somit für das Glied $1,5s - 3p_i$ festgestellt war, erhob sich die Frage, wie nun das nächste Glied der Na-Hauptserie $1,5s - 4p_i$ magnetisch zerfällt. Die Doppellinie ist hier so eng geworden, daß sie nicht mehr getrennt beobachtet werden kann. Die Seriengesetze fordern trotzdem, daß man diese Linie als Doppellinie betrachtet, und man muß demnach auch von jeder einzelnen ihrer Komponenten annehmen, daß sie nach dem ihr zukommenden Typus D_1 bzw. D_2 im Magnetfeld zerfällt. Man muß also eine Übereinanderlagerung der beiden D -Typen erwarten (vgl. hierzu in der Fig. 6, Nr. 4). Bei der hohen Schwingungszahl und entsprechend geringen Aufspaltung von 2852 wird man allerdings nicht fordern können, daß die übereinander liegenden Komponenten getrennt gesehen werden. Der kombinierte Typus von D_1 und D_2 muß sich aber dadurch zu erkennen geben, daß im Magnetfelde am Orte der unmagnetischen Linie keine Komponente liegt, und daß bei senkrechter Polarisation die Trennung etwa doppelt so groß ist wie bei paralleler. Ein Blick in die Fig. 6 (Nr. 4) zeigt dies sofort. Statt dieses zu erwartenden Typus tritt hier ein Triplet auf! Am Orte der unmagnetischen Linie liegt die gut definierte Mittelkomponente, die nur parallel zu den Kraftlinien schwingendes Licht enthält, auf jeder Seite liegt eine nicht vollständig polarisierte unscharfe Komponente. Die Größe

der Aufspaltung ist ungefähr die des normalen Triplets und ist bei paralleler und senkrechter Polarisierung innerhalb der Fehlergrenzen gleich [bei senkrechter Polarisierung: im Mittel $Z = 4,72 \pm 3$ Proz., bei paralleler $Z = 4,67 \pm 3$ Proz.]. Zur Erläuterung der Fig. 6 wird folgendes bemerkt: Links am Rande liegt die Mg-Linie 2852,22. Sie erschien auf allen Aufnahmen und war von außerordentlicher Schärfe.¹⁾ Von ihr oder ihrer magnetischen Mittelkomponente aus wurden die Abstände der einzelnen Komponenten der diffuseren Linie

Fig. 6.

2852 Na gemessen. Die Mittelwerte dieser Messungen, aus denen zugleich die oben angegebenen Werte für Z berechnet sind, sind der Fig. 6 in Nr. 1, 2, 3 zugrunde gelegt. Bei der Schwäche und immerhin beträchtlichen Unschärfe der Na-Linie 2852 war die Messung schwierig und die Genauigkeit dementsprechend geringer als beim vorangehenden Gliede $1,5s - 3p_1$. Sie beträgt für die schmale und gut definierte Mittelkomponente ± 2 Proz., für die unscharfen breiten Seitenkomponenten $\pm 3,5$ Proz. des Abstandes von 2852,22. Die in der Figur in Nr. 2 und 3 unter den Komponenten stehenden Kreuze geben die Breite der Schwärzung und deuten

1) Sie spaltet exakt in ein normales Triplet auf. Vgl. F. Paschen, Ann. d. Phys. 35. p. 860. 1911.

durch ihre Größe das Intensitätsverhältnis an. Die angegebene Feldstärke von 32888 C.G.S. ist aus Na 3303 IV. Ordnung und 3933 Ca III. Ordnung berechnet, ihre Genauigkeit ist $\pm 0,6$ Proz.

Trotz der angegebenen nicht sehr großen Genauigkeit der Messung steht als wesentliches Ergebnis außer allem Zweifel: Die Linie 2852,91 ist ein Triplet von ungefähr normaler Aufspaltung mit parallel schwingender Mittelkomponente und unvollständig polarisierten Seitenkomponenten.

Dieses Ergebnis müßte eigentlich als eine nicht recht erklärliche Abweichung von der im übrigen bestätigten Preston-schen Regel angesehen werden. Vergleicht man es aber mit den bis ins einzelne ähnlichen Erscheinungen, die bei der Verwandlung des Sauerstofftriplets im vorangehenden Aufsätze aufgezeigt wurden, und stellt man sich auf den dort eingenommenen Standpunkt, so erkennt man, daß die scheinbare Ausnahme nur die Wirkung eines allgemeineren Gesetzes ist: Die von den Seriengesetzen geforderte enge Doppellinie ist auch hier zerstört — sei es bereits durch innere Kräfte, sei es durch das Magnetfeld —, mit ihr fällt der Träger der magnetischen Anomalie. An Stelle der übereinanderfallenden Typen der *D*-Linien muß ein vereinfachter Typus treten, der sich um so mehr dem normalen Triplet nähert, je vollkommener die Zerstörung der Doppellinie und die Einfachheit der neu erzeugten Linie ist.

(Eingegangen 19. Juli 1912.)