

3. *Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes auf Spektrallinien.*

V. Feinzerlegung der Wasserstoffserie¹⁾; von J. Stark.

Inhalt: § 1. Aufgabe. — § 2. Technisches. — § 3. Zahl und Intensitätsverhältnis der elektrischen Komponenten. — § 4. Abhängigkeit des Komponentenabstandes von der Feldstärke. — § 5. Folgerung.

§ 1. Aufgabe.

Das Wasserstoffatom nimmt in chemischer Hinsicht eine ausgezeichnete Stellung unter den übrigen Elementen ein; seine Serie von Spektrallinien hat als Ausgangspunkt und Vorbild für die Ermittlung von Serien anderer Elemente gedient. Aus diesen Gründen besitzt eine eingehende Untersuchung der Zerlegung der Wasserstoffserie durch das elektrische Feld eine grundlegende Bedeutung.

Die Zerlegung der ersten vier Glieder der Wasserstoffserie H_α , H_β , H_γ , H_δ , wie sie in einem mäßig starken Felde bei mäßiger Dispersion und geringer Lichtstärke erscheint, ist bereits an früherer Stelle²⁾ beschrieben worden. Wer die dort mitgeteilten Spektrogramme jener Linien betrachtet, dem wird die Breite und Unschärfe ihrer elektrischen Komponenten auffallen. Und vielleicht ist er zunächst geneigt, den Grund dafür in einer mangelhaften Einstellung des verwendeten Spektrographen (Konkavgitter) zu suchen. Indes kann dies nicht der Grund sein; denn die Komponenten der Heliumlinien, welche mit demselben Apparat erhalten wurden, sind im Vergleich dazu schmaler und schärfer.

Bedenkt man nun, daß die Wasserstofflinien in den Kanalstrahlen überwiegend von bewegten Atomen, die Heliumlinien überwiegend von ruhenden Atomen emittiert werden, so mag

1) Ausgeführt mit Unterstützung des Solvay-Instituts; Nachr. d. Kgl. Gesellschaft d. Wiss. zu Göttingen 1914.

2) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. 43, p. 1017. 1914.
Annalen der Physik. IV. Folge. 48.

man die Erklärung des Unterschiedes in der Schärfe der elektrischen Komponenten beider Linienarten in folgender Überlegung suchen. Die abbildende Öffnung des verwendeten Spektrographen umfaßt ein endliches Winkelfeld; innerhalb dieses besitzen darum die Kanalstrahlen für einen Teil der Sehachsen eine fortlaufende, für einen anderen Teil eine weglauende Geschwindigkeit, für den dritten Teil die relative Geschwindigkeit Null. Infolge des Dopplereffektes muß darum eine von den bewegten Atomen in den Kanalstrahlen emittierte Linie verbreitert erscheinen, auch wenn die Achse der abbildenden Öffnung senkrecht zur Achse des Kanalstrahlenbündels steht. In der Tat erhält man die Serienlinien des Wasserstoffs für diese Achsenstellung auch ohne die zerlegende Wirkung des elektrischen Feldes in den Kanalstrahlen erheblich breiter als die Bandenlinien des Wasserstoffs oder die überwiegend ruhenden Serienlinien des Heliums.

Wenn man auch die vorstehende Erklärung der Unschärfe der elektrischen Komponenten der Wasserstofflinien zunächst für ausreichend erachten durfte, so mußte sie doch genauer nachgeprüft werden. Es war ja außerdem mit der Möglichkeit zu rechnen, daß die Breite jener Linienkomponenten durch ein Nebeneinanderliegen schärferer Komponenten bedingt wird. Es erhob sich somit die Aufgabe, die zunächst erhaltene Grobzerlegung der Serienlinien des Wasserstoffs durch eine Untersuchung auf eine mögliche Feinzerlegung zu ergänzen.

§ 2. Technisches.

Um eine Feinzerlegung der Wasserstofflinien zu gewinnen, empfiehlt es sich nicht, die Dispersion des anzuwendenden Spektrographen ($1 : 8,5 \text{ mm} : \text{Å}$) etwa auf das Doppelte oder Dreifache zu steigern. Eine so große Dispersion liefert nämlich im Zusammenwirken mit dem oben gekennzeichneten Dopplereffekt stark verbreiterte Linienkomponenten; infolge der Verteilung der an sich kleinen Intensität über ihre erhebliche Breite gewinnen dann diese nicht die genügende Schwärzung mehr, um photographisch sichtbar zu werden. Muß man aus diesem Grunde auf eine Steigerung der Dispersion verzichten, so bleibt zum Zweck der Feinzerlegung nur übrig, die zerlegende Feldstärke von dem anfänglich von mir verwendeten Wert ($30000 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$) auf das Doppelte oder Dreifache

zu steigern, um so möglicherweise dicht beieinander liegende Komponenten auseinander zu zerren. Dieser Weg hat sich, wie weiter unten dargelegt ist, als gangbar erwiesen. Zunächst sei indes der optische Teil der Untersuchung näher beschrieben.

Wenn auch hinsichtlich der Dispersion keine große Anforderung an die Spektrographen für die Feinzerlegung der Wasserstofflinien gestellt wird, so ist doch großes Gewicht auf eine andere Seite zu legen, nämlich auf die Lichtstärke. Denn erstens ist die Emission des Kanalstrahlenbündels im elektrischen Feld an und für sich nicht intensiv. Zweitens wird eine als Ganzes schon nicht intensive Linie in eine Anzahl von Komponenten zerlegt. Drittens ist deren Intensität sehr verschieden; es kommen unter ihnen solche vor, die zehnmal schwächer sind als die intensivsten Komponenten.

Auf Grund dieser Überlegungen habe ich für die Feinzerlegung der Wasserstofflinien einen Gitter- und einen Prismenspektrographen von folgenden Eigenschaften zurechtgemacht. Ein großes Plangitter, ausgerüstet mit Objektiven von großem Öffnungsverhältnis, ist einem Konkavgitter an Lichtstärke weit überlegen; zudem arbeitet es im Unterschied von diesem stigmatisch, eine Eigenschaft, welche nicht allein die Lichtstärke begünstigt, sondern auch die Inhomogenität des abgebildeten elektrischen Feldes deutlich zu erkennen gestattet. Das von mir verwendete Plangitter hat eine geteilte Fläche von $6,8 \times 9,9$ qcm und 15000 Striche auf dem Zoll; es besitzt seine größte Intensität in der ersten Ordnung auf der einen Seite seiner Normalen; der erste Geist im Blau kommt erst bei beträchtlicher Überlichtung einer Linie heraus. Es ist ausgerüstet mit einem Zeissessar von 59 cm Brennweite und 1:6,3 Öffnung als Spaltrohrobjektiv, mit einem Zeissessar von 50 cm Brennweite und 1:4,5 Öffnung als Kameraobjektiv. Diese Objektive liefern von λ 560—420 $\mu\mu$ scharfe Abbildung. Im Rot ist ihre Abbildung zwar mangelhaft, aber doch noch brauchbar; im Violett nimmt ihre Schärfe hinter λ 420 $\mu\mu$ rasch ab. Das Plangitter habe ich so gegen die Achse des Spaltrohres geneigt, daß sich folgende Dispersion ergibt:

$$H_{\alpha} 1 : 8,16 \text{ mm} : \text{Å}; \quad H_{\beta} 1 : 16,8 \text{ mm} : \text{Å}; \quad H_{\gamma} 1 : 18,3 \text{ mm} : \text{Å}.$$

Den für den vorliegenden Zweck verwendeten Prismenspektrographen habe ich, um die Lichtstärke im Violett nicht zu sehr durch die Absorption zu verringern, nur mit einem einzigen Verbundprisma ausgestattet. Sein Spaltobjektiv ist ein Achromat von 1:6,5 Öffnung und 30 cm Brennweite; sein Kameraobjektiv ein Zeisstessar von 1:3,5 Öffnung und 30 cm Brennweite; beide Objektive arbeiten im Violett noch bis λ 390 $\mu\mu$ scharf. Die Dispersion dieses Spektrographen ist für die Feinzerlegung oberhalb λ 440 $\mu\mu$ unzureichend. Dieses Spektralgebiet wird indes von dem Gitterspektrographen beherrscht; unterhalb jener Wellenlänge bis λ 390 $\mu\mu$ dagegen ist der Prismenspektrograph für den vorliegenden Zweck brauchbar und ergänzt somit das Gitter. Bei λ 410 $\mu\mu$ beträgt die Dispersion 1:20,0 mm Å.

Um mit den zwei Spektrographen gleichzeitig Aufnahmen machen zu können, wurden ihre Spaltrohre entgegengesetzt koaxial aufgestellt; mitten zwischen ihnen die Kanalstrahlenröhre. Der übrige Teil der Optik war derselbe, wie er bereits an früherer Stelle beschrieben wurde. Es wurde also das leuchtende Spannungsfeld durch je ein Fenster in der Kanalstrahlenröhre und je eine Wollastonplatte hindurch mittels je eines Zeisstessars (1:3,5 - $f = 5$ cm) auf jeden der zwei Spektrographenspalte scharf abgebildet. Die Belichtungszeiten betragen 10—24 Stunden.

Bei den ersten Aufnahmen der feinerlegten Linien war die Kanalstrahlenröhre horizontal gestellt. Dies geschah in folgender Absicht. Die Öffnung des Lichtbündels, welches das Prisma oder das Gitter des Spektrographen verläßt, umfaßt in der Lotrechten ein größeres Winkelfeld als in der Wagrechten; das leuchtende Spannungsfeld besitzt parallel den Elektroden eine größere Ausdehnung als senkrecht dazu. Man hat darum eine größere Gewähr für Füllung der Öffnungen der Spektrographen, wenn man die Achse der Kanalstrahlenröhre horizontal stellt. Obwohl mit Hilfe dieser Aufstellung vorzügliche Spektrogramme erhalten wurden, gab ich sie schließlich aus folgenden Gründen auf. Erstens wird die Röhre in dieser Stellung an ihrer oberen Seite außen weniger gut durch die Luftströmung gekühlt; infolgedessen erwärmt sie sich auf dieser Seite am Spannungsfeld leicht so stark, daß der elektrische Strom zwischen den Elektroden des Span-

nungsfeldes auf die Glaswand überspringt und diese unter Lichtbogenbildung zerstört. Zweitens erhält man nur dann scharfe elektrische Komponenten für diese Stellung, wenn man in der Abbildung des leuchtenden Spannungsfeldes den unmittelbar an der Hilfselektrode liegenden Teil desselben bevorzugt. In diesem Teil ist nämlich das elektrische Feld homogen, in dem an der Kanalstrahlenelektrode liegenden Teil dagegen inhomogen.

Bei den späteren Aufnahmen wurde demgemäß die Kanalstrahlenröhre vertikal aufgestellt. In dieser Stellung wird sie auf allen Seiten gleichmäßig von außen durch die Luftströmung gekühlt. Die Füllung der Objektive ist für sie zwar weniger leicht zu erreichen, besonders schlecht bei kleinem Elektrodenabstand des Spannungsfeldes; indes bietet diese Stellung dafür einen anderen Vorteil. Es wird nämlich das leuchtende Spannungsfeld so abgebildet, daß seine Achse parallel dem Spektrographenspalt steht. Hat darum die Feldstärke entlang der Achse einen variablen Wert, so gibt die Größe der elektrischen Zerlegung der Spektrallinien für die einzelnen Niveauebenen des Spannungsfeldes getrennt die in ihnen herrschenden Feldstärken wieder. Über diesen Punkt wird voraussichtlich Hr. J. Koch (Gothenburg) genauere Mitteilungen machen; hier sei des Verständnisses halber nur folgendes erwähnt. Man erhält für die betrachtete Stellung der Kanalstrahlenröhre, besonders wenn man durch eine geringe Neigung der Röhre die Partie unmittelbar unter den Löchern zu einer intensiven Abbildung bringt, die aus der schematischen

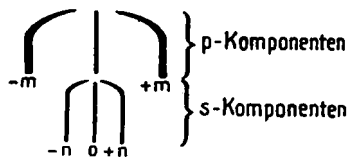


Fig. 1.

Fig. 1 ersichtliche Form von Linienkomponenten; während eine am Ort der unzerlegten Linie auftretende Komponente 0 auf ihrer ganzen Länge gerade ist, erscheinen die seitlichen p - und s -Komponenten ($\pm m$ bzw. $\pm n$) an dem einen Ende gekrümmt. Die gekrümmten Linienteile kommen aus dem an der durchlöcherten Kanalstrahlenelektrode anliegenden Teil

des Spannungsfeldes, die geraden Teile aus demjenigen Teil, welcher an die ebene lochfreie Hilfselektrode angrenzt. Dies gilt, mag das elektrische Feld die gleiche oder die entgegengesetzte Richtung wie die Kanalstrahlen haben. Hieraus ist zu schließen, daß die Inhomogenität des Feldes und infolgedessen die Krümmung der Linienkomponenten durch die Anwesenheit der Löcher in der Kanalstrahlenelektrode bedingt wird.

Diese Krümmung der Enden von Linienkomponenten bietet die Möglichkeit, eine Linie neben dem Orte einer unzerlegten Linie sofort als seitliche Komponente von dieser zu erkennen und von einer fremden Linie, etwa einer Bandenlinie, zu unterscheiden. So konnte ich von dieser Möglichkeit Gebrauch machen, um gewisse Linien, über deren Zugehörigkeit ich früher im Zweifel war, endgültig als elektrische Komponenten der Wasserstofflinien nachzuweisen.

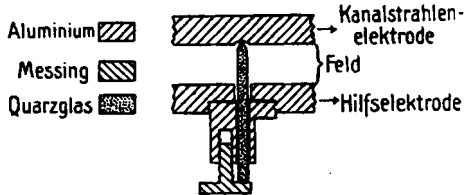


Fig. 2.

Die Anwendung sehr starker elektrischer Felder zum Zweck der Feinzerlegung machte eine Vorrichtung notwendig, welche eine Verstellung der Elektroden des Spannungsfeldes gegeneinander verhindert. Als solche bewährte sich die Feststellung dieser zwei Elektroden gegeneinander durch vier Quarzglasstifte in den Ecken eines Quadrates. Aus Fig. 2 ist an einem dieser Stifte die Art der Befestigung zu erkennen.

Wie bereits an früheren Stellen mitgeteilt wurde, läßt sich eine Zerlegung von Spektrallinien erhalten, sowohl wenn die Kanalstrahlen und das zerlegende elektrische Feld dieselbe Richtung (Gleichschaltung) als auch wenn sie entgegengesetzte Richtung (Gegenschaltung) zueinander haben; die Zerlegungen sind in diesen zwei Fällen dieselben, nur ist bei den Serienlinien des Wasserstoffs das Intensitätsverhältnis¹⁾ lang- und kurzwelliger Komponenten gleicher Nummer für

1) H. Lunelund, Ann. d. Phys. 45. p. 517. 1914.

die zwei Schaltungen verschieden. Soweit man nicht dieses Intensitätsverhältnis zum Gegenstand einer Untersuchung machen will, ist die Gegenschaltung der Gleichschaltung aus folgenden Gründen vorzuziehen.

Erstens läßt die Gegenschaltung eine größere Stärke des Kanalstrahlenstromes und darum eine größere Lichtintensität im Spannungsfelde zu. Es erwärmt sich nämlich die Anode des Kanalstrahlenstromes einmal unter dem Einfluß der eigenen Kathodenstrahlen dieses Stromes, sodann unter dem Einfluß der aus dem Spannungsfeld durch die Löcher in der Kathode kommenden Strahlen, also der Kathodenstrahlen im Falle der Gleichschaltung, der Kanalstrahlen im Falle der Gegenschaltung. Diese zweite Erwärmung ist bei Gleichschaltung größer als bei Gegenschaltung. Es kann darum in diesem Falle der Kanalstrahlenstrom, welcher die Lichtemission im Spannungsfeld anregt, stärker als in jenem Falle gewählt werden.

Zweitens liefert die Gegenschaltung eine größere Feldstärke, und somit eine größere Zerlegung als die Gleichschaltung bei gleicher elektromotorischer Kraft und gleichem Widerstand im Stromkreis des Spannungsfeldes. Es fließt nämlich durch dieses, wie ich an früherer Stelle darlegte, immer ein elektrischer Strom; je stärker dieser ist, desto mehr Spannungsabfall legt sich auf den Vorschaltwiderstand unter Verringerung der auf dem Spannungsfeld liegenden Spannungsdifferenz. Nun ist im Falle der Gleichschaltung die Stromstärke durch das Spannungsfeld sehr viel größer als bei Gegenschaltung. Erzeugt man darum den Kanalstrahlenstrom mit dem Induktorium, so erhält man auch bei gleicher stationärer Einstellung des Elektrometers, welches die Spannungsdifferenz auf dem Spannungsfeld mißt, bei Gleichschaltung eine um 10—20 Proz. kleinere Zerlegung als bei Gegenschaltung. Zudem sind in jenem Falle infolge der größeren Spannungsschwankungen die Linienkomponenten breiter und unschärfer.

In den meisten Aufnahmen diente ein Induktorium zur Erzeugung des Primärstromes. Um zu prüfen, ob die erhaltene Feinzerlegung der Wasserstofflinien nicht vielleicht durch Schwankungen in der Stärke des Kanalstrahlenstromes vorgetäuscht werde, machte ich auch zwei Aufnahmen, in denen zur Erzeugung des Kanalstrahlenstromes eine zwanzig-

plattige Influenzmaschine diente. Wegen der geringeren Stromstärke und somit geringeren Lichtstärke erhielt ich zwar nur die intensiven Komponenten der Feinzerlegung, aber in gleicher Zahl und in gleichem Abstand wie mit dem Induktorium.

Zur Herstellung des Spannungsfeldes standen mir eine Schuckertdynamo von 5000, eine Bornhäuserbatterie von 6000 Volt und eine Klingelfußbatterie von 4000 Volt zur Verfügung. Ich erhielt die Feinzerlegung mit 10000 Volt Batteriespannung ebenso wie mit 15000 Volt Spannung, wenn die Dynamo hinzugenommen wurde. So war erwiesen, daß die Feinzerlegung auch nicht durch ein Schwanken der Dynamo-spannung vorgetäuscht sein konnte.

§ 3. Zahl und Intensitätsverhältnis der elektrischen Komponenten.

Nachdem einmal mehr Komponenten in der Feinzerlegung als in der Grobzerlegung aufgefunden waren, mußte ein Ziel der vorliegenden Untersuchung sein, wenn möglich sämtliche Komponenten einer zerlegten Linie zu ermitteln. Ich muß leider gestehen, daß es mir nicht gelang, diese Aufgabe vollständig zu lösen. Der Grund liegt darin, daß die Intensitäten der elektrischen Komponenten einer Linie außerordentlich große Unterschiede zeigen; es ist darum mit der Möglichkeit zu rechnen, daß außer den beobachteten wenig intensiven Komponenten noch weitere Komponenten vorkommen, welche noch lichtschwächer sind und darum in meinen Spektrogrammen unterbelichtet blieben. Mit Sicherheit möchte ich diesen Fall bei der Linie H_α vermuten. Bei dieser Linie waren nämlich einerseits selbst die neun intensivsten Komponenten kaum normal belichtet; andererseits läßt die Analogie zu den übrigen Linien der Serie vermuten, daß auch bei H_α die Zahl der Komponenten von der Ordnung 30 ist. Was die Linien H_β , H_γ und H_δ betrifft, so ist ihre Komponentenzahl wohl annähernd richtig; immerhin können auch bei ihnen noch weitere, sehr wenig intensive Komponenten vorkommen und, auch hiervon abgesehen, muß ich einige der für sie im Nachstehenden angegebenen Komponenten als fraglich bezeichnen, da sie entweder nur zweifelhaft schwach herauskamen, oder weil sie in den Gitterspektrogrammen am Orte möglicher Geister liegen.

Während im Zeemaneffekt die magnetischen Komponenten einer Linie alle eine Intensität von der gleichen Ordnung haben, zeigt sich im elektrischen Effekt einer Linie die bemerkenswerte Erscheinung, daß ihre elektrischen Komponenten in weiten Grenzen voneinander verschieden sind. Es ist möglich, daß in dieser Erscheinung eine wichtige Eigenart der Anordnung oder Dynamik der Serienelektronen eines Atoms zum Ausdruck kommt. Aus diesem Grund schien es mir wünschenswert, über das Intensitätsverhältnis der elektrischen Komponenten einer Serienlinie genauere Angaben zu machen, als etwa durch die übliche rohe Abschätzung des Verhältnisses ihrer Schwärzungen.

Für diesen Zweck lag folgendes von mir und Hrn. Lunelund mehrfach erprobte Verfahren nahe.¹⁾ Es seien S_1 und S_2 normale Schwärzungen zweier Komponenten einer Linie in demselben Spektrogramm; dann ist das Intensitätsverhältnis dieser Komponenten

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{\frac{s_1 - s_2}{m}},$$

wo der Intensitätsexponent m eine für die verwendete Plattensorte zu ermittelnde Konstante ist. Da die Intensitäten der elektrischen Komponenten der Wasserstofflinien sehr verschieden sind, erscheinen sie im allgemeinen nicht alle in demselben Spektrogramm normal geschwärzt. Darum mußte ich die Intensitätsverhältnisse an zwei Spektrogrammen ermitteln, an einem, in welchem die schwachen und mittelstarken Komponenten normal geschwärzt waren, und an einem anderen Spektrogramm, in welchem die mittelstarken und starken Komponenten normale Schwärzung aufwiesen. Das Vorkommen der mittelstarken Komponenten in den zwei Messungsreihen ermöglichte dann die Umrechnung der Intensitätsverhältnisse auf eine einzige Skala.

In den nachstehenden Tabellen und Zeichnungen ist innerhalb der Reihe der p - oder der s -Komponenten die relative Intensität 1 der schwächsten Komponente gegeben. Die angegebenen relativen Intensitäten gelten nur innerhalb einer Reihe von p - oder von s -Komponenten, nicht von einer p - zu

1) J. Stark, Ann. d. Phys. **35**. p. 461. 1911; Ber. d. Münch. Akad. 1914, p. 205.

einer s -Reihe oder von einer Linie zu einer anderen. Zudem ist wegen der Schwierigkeiten der ganzen Untersuchung ihre Genauigkeit nicht hoch anzuschlagen.

Es ist noch ein Wort über das Intensitätsverhältnis lang- und kurzwelliger Komponenten gleicher Nummer zu sagen. Dieses kehrt sich ja um, wenn die Feldrichtung in bezug auf die Kanalstrahlenrichtung umgekehrt wird. Diese Erscheinung gilt auch für den Fall der Feinzerlegung¹⁾, wie ich für alle untersuchten Linien H_α , H_β , H_γ , H_δ neuerdings feststellte. Da es sich hier um das Intensitätsverhältnis von Komponenten verschiedener Nummer handelt, habe ich bei seiner Berechnung das Mittel aus den Schwärzungen der lang- und kurzwelligen Komponenten gleicher Nummer genommen und diesen die gleiche relative Intensität gegeben.

Was den Abstand einer kurz- und einer langwelligen Komponente von der unzerlegten Linie betrifft, so habe ich bereits an einer anderen Stelle²⁾ die Schwierigkeiten dargelegt, über eine etwaige Dissymmetrie zuverlässige Angaben zu machen. Diese Dissymmetrie ist, wenn sie überhaupt vorhanden ist, nur gering und bedarf einer besonderen Untersuchung. Ich habe darum in der vorliegenden Arbeit von einer Verfolgung dieses Punktes abgesehen und habe auch für den Abstand einer kurz- und einer langwelligen Komponente gleicher Nummer den Mittelwert aus ihren gemessenen Abständen in die Tabellen eingetragen.

Die weiter unten mitgeteilten Zahlen für die Linien H_α , H_β , H_γ , H_δ sind von Spektrogrammen derselben Aufnahme abgenommen, in denen die Feldstärke $104000 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$ betrug.

Endlich ist noch ein Wort zu sagen zu dieser Angabe der Feldstärke in den folgenden Tabellen. Nach den bis jetzt vorliegenden Messungen darf es als sicher gelten, daß der Komponentenabstand in der Grobzerlegung proportional der Feldstärke ist. Dagegen kann der absolute Wert des Verhältnisses

$$\frac{\text{Komponenten-Abstand}}{\text{Feldstärke}}$$

1) H. Lunelund, l. c.

2) J. Stark, Die elektrische Spektralanalyse chemischer Atome. S. Hirzel, Leipzig 1914. p. 60.

noch nicht als genau bezeichnet werden, wie ich an anderer Stelle („Die elektrische Spektralanalyse“, p. 38) dargelegt habe. Gemäß dem hier gemachten Vorschlag habe ich darum die Feldstärke aus der Zerlegung berechnet unter Annahme des Wertes

$$3,0 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Å}}{\text{Volt} \times \text{cm}^{-1}}$$

für die intensivsten p -Komponenten von H_{β} .

Tabelle I.

Elektrische Komponenten von H_{α} in einem Felde von $104000 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$ bei $1 : 8,15 \text{ mm} : \text{Å}$ Dispersion.

Komponentenart	Komponentennummer	Abstand von Mitte in Å	Intensität
p -Komponenten	3	11,5	1,2
	2	8,8	1,1
	+ 1	+ 6,2	1
	- 1	- 6,2	1
	2	8,8	1,1
	3	11,5	1,2
s -Komponenten	+ 1	+ 2,6	1
	0	0	2,6
	- 1	- 2,6	1

Tabelle II.

Elektrische Komponenten von H_{β} in einem Felde von $104000 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$ bei $1 : 16,8 \text{ mm} : \text{Å}$ Dispersion.

Komponentenart	Komponentennummer	Abstand von Mitte in Å	Intensität	Bemerkungen
p -Komponenten	6	19,4	1	fraglich
	5	16,4	11,5	
	4	13,2	9,1	
	3	10,0	4,8	
	2	6,7	1	
	+ 1	+ 3,3	1,2	
	0	0	1,4	fraglich
	- 1	- 3,3	1,2	
	2	6,7	1	
	3	10,0	4,8	
	4	13,2	9,1	
	5	16,4	11,5	
	6	19,4	1	

Tabelle II (Fortsetzung).

Komponenten- art	Komponenten- nummer	Abstand von Mitte in Å	Intensität	Bemerkungen
s-Komponenten	6	19,3	1	fraglich
	5	16,4	1,1	
	4	13,2	1,3	
	3	9,7	9,7	
	2	6,6	12,6	
	+1	+ 3,4	3,3	
	0	0	1,4	
	-1	- 3,4	3,3	fraglich
	2	6,6	12,6	
	3	9,7	9,7	
	4	13,2	1,3	
	5	16,4	1,1	
	6	19,3	1	

Tabelle III.

Elektrische Komponenten von H_γ in einem Felde von
104000 Volt \times cm $^{-1}$ bei 1 : 18,3 mm : Å Dispersion.

Komponenten- art	Komponenten- nummer	Abstand von Mitte in Å	Intensität	Bemerkungen
p-Komponenten	7	29,4	1	fraglich
	6	23,9	10,8	
	5	19,9	7,2	
	4	15,9	2,0	
	3	10,6	1	
	2	6,6	1,5	
	+1	+ 2,7	1,6	
	-1	- 2,7	1,6	fraglich
	2	6,6	1,5	
	3	10,6	1	
	4	15,9	2,0	
	5	19,9	7,2	
	6	23,9	10,8	
	7	29,4	1	
s-Komponenten	6	26,3	1,1	
	5	22,8	1	
	4	17,3	6,1	
	3	13,3	4,3	
	2	9,7	1,2	
	+1	+ 3,9	3,6	
	0	0	7,2	
	-1	- 3,9	3,6	
	2	9,7	1,2	
	3	13,3	4,3	
	4	17,3	6,1	
	5	22,8	1	
	6	26,3	1,1	

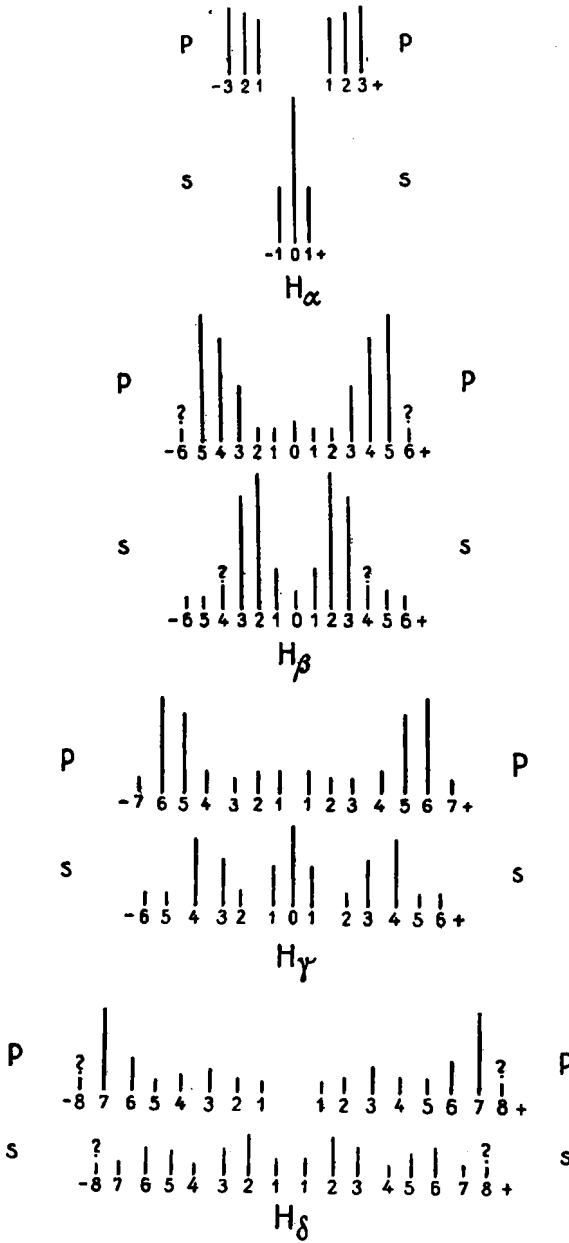


Fig. 3.

Tabelle IV.

Elektrische Komponenten von H_3 in einem Felde von
104000 Volt \times cm $^{-1}$ bei 1 : 20,0 mm : Å Dispersion.

Komponenten- art	Komponenten- nummer	Abstand von Mitte in Å	Intensität	Bemerkungen
p-Komponenten	8	37,5	1	fraglich
	7	33,4	7,2	
	6	28,6	2,8	
	5	24,2	1,1	
	4	19,6	1,2	
	3	14,4	1,5	
	2	9,6	1,2	
	+ 1	+ 5,2	1	
	- 1	- 5,2	1	
	2	9,6	1,2	
	3	14,4	1,5	
	4	19,6	1,2	
	5	24,2	1,1	
	6	28,6	2,8	
	7	33,4	7,2	
	8	37,5	1	fraglich
s-Komponenten	8	34,8	1,1	fraglich
	7	30,4	1,3	
	6	25,8	2,4	
	5	21,2	2,0	
	4	17,2	1	
	3	11,9	2,1	
	2	7,4	3,2	
	+ 1	+ 2,4	1,3	
	- 1	- 2,4	1,3	
	2	7,4	3,2	
	3	11,9	2,1	
	4	17,2	1	
	5	21,2	2,0	
	6	25,8	2,4	
	7	30,4	1,3	
	8	34,8	1,1	fraglich

§ 4. Abhängigkeit des Komponentenabstandes von der Feldstärke.

Die Höchstpunkte in den Schwärzungen der Komponenten in der Grobzerlegung entsprechen den intensivsten Komponenten in der Feinzerlegung. Da erwiesen ist, daß die Abstände jener Höchstpunkte von der unzerlegten Linie proportional der elektrischen Feldstärke sind, so gilt dies auch für die Abstände der intensivsten Komponenten in der Feinzerlegung. Dagegen erhebt sich die Frage, ob das Gesetz der Proportionalität auch für die übrigen Komponenten der Feinzerlegung gilt.

In meinem Buche über die elektrische Spektralanalyse habe ich (p. 59) bereits vorläufige Messungen mitgeteilt, aus denen eine bejahende Antwort auf die vorstehende Frage folgt. Gleichwohl schien mir die aufgeworfene Frage für eine erneute Prüfung wichtig genug. In den nachstehenden Tabellen sind für die Linien H_β , H_γ und H_δ die Verhältnisse der Abstände von Komponenten gleicher Nummer für zwei verschiedene Feldstärken mitgeteilt.

Tabelle V.

Linie H_β	Komponentennummer	Volt \times cm ⁻¹	
		Abstand für 104000	Abstand für 76000
p-Komponenten	5—5	1,37	
	4—4	1,39	
	3—3	1,37	
	2—2	1,37	
	1—1	1,38	
s-Komponenten	6—6	1,36	
	5—5	1,32	
	3—3	1,31	
	2—2	1,37	
	1—1	1,33	

Tabelle VI.

Linie H_γ	Komponentennummer	Volt \times cm ⁻¹	
		Abstand für 104000	Abstand für 75000
p-Komponenten	6—6	1,35	
	5—5	1,40	
	4—4	1,31	
	3—3	1,40	
	2—2	1,40	
	1—1	1,40	
s-Komponenten	6—6	1,39	
	5—5	1,40	
	4—4	1,40	
	3—3	1,40	
	2—2	1,40	
	1—1	1,38	

Tabelle VII.

Linie H _{γ}	Komponenten- nummer	Abstand für 104000 Volt \times cm ⁻¹	
		Abstand für 64000	
p-Komponenten	6-6	1,60	
	5-5	1,65	
	4-4	1,66	
	3-3	1,60	
	2-2	1,60	
	1-1	1,70	
s-Komponenten	4-4	1,61	
	3-3	1,61	
	1-1	1,64	

Tabelle VIII.

Linie H _{γ}	Komponenten- nummer	Abstand für 104000 Volt \times cm ⁻¹	
		Abstand für 64000	
p-Komponenten	7-7	1,62	
	6-6	1,63	
	5-5	1,61	
	3-3	1,63	
	2-2	1,60	
s-Komponenten	6-6	1,60	
	5-5	1,60	
	3-3	1,60	
	2-2	1,65	
	1-1	1,65	

Wie aus den vorstehenden Tabellen hervorgeht, ist innerhalb der Beobachtungsfehler das Verhältnis der Abstände der Komponenten gleicher Nummer von der unzerlegten Linie für verschiedene Feldstärken unabhängig von der Nummer, also für alle Nummern dasselbe. Das System der elektrischen *p*- und *s*-Komponenten einer Linie bleibt sich somit bei Änderung der zerlegenden Feldstärke ähnlich; und da der Abstand der intensivsten Komponenten proportional der Feldstärke ist, so gilt dies demnach auch für alle anderen Komponenten.

§ 5. Folgerung.

Von grundlegender Bedeutung sind folgende Tatsachen. Die Serienlinien des Wasserstoffs werden in eine große Anzahl von *p*- und *s*-Komponenten symmetrisch durch ein elektrisches

Feld zerlegt. Der relative Abstand und das Intensitätsverhältnis der Komponenten ist von Linie zu Linie verschieden. Nach der Untersuchung von J. Koch¹⁾ zeigen auch die Linien der diffusen Nebenserien des Heliums in der Feinzerlegung eine Anzahl von elektrischen Komponenten; indes sind deren Abstände und Intensitäten dissymmetrisch zur unzerlegten Linie.

Aus dem Zusammenhalten dieser Tatsachen läßt sich folgern, daß die Anordnung und das Intensitätsverhältnis im elektrischen Komponentensystem einer Serienlinie des Wasserstoffs bedingt ist durch die Struktur des Atoms, insbesondere durch die räumliche Anordnung negativer Elektronen, da ja die Zentren der Serienlinien gemäß dem Zeeman-effekt negative Elektronen sind.

Jene Tatsachen und diese Folgerung schließen die Annahme aus, daß im Wasserstoffatom nur ein einziges Elektron vorkommt, das bei seiner Beschleunigung relativ zu einem positiven Kern die Serienlinien zur Emission bringt.

Vielmehr ist zu folgern, daß selbst an der Emission einer einzigen Serienlinie im einzelnen Wasserstoffatom mehrere Elektronen beteiligt sind. Im nichtdeformierten Atom, so ist zu schließen, besitzen alle diese Elektronen dieselben Freiheitsgrade; auch ein magnetisches Feld deformiert nicht merklich das Atom, sondern legt die drei Freiheitsgrade aller gleichartigen Elektronen einer Linie qualitativ und quantitativ übereinstimmend auseinander; ein elektrisches Feld dagegen deformiert das Atom derartig, daß wenigstens für eine ganze Anzahl der Elektronen einer Serienlinie die Freiheitsgrade hinsichtlich der Frequenz und der Intensität voneinander verschieden werden.

1) Vorläufiger Bericht in meinem Buche: Die elektrische Spektralanalyse chemischer Atome, p. 73.

Aachen, Physik. Institut der Technischen Hochschule,
25. Oktober 1914.

(Eingegangen 21. August 1915.)