

3. Der Effekt des elektrischen Feldes auf ultraviolette Linien des Heliums; von G. Liebert.

Inhalt: § 1. Einleitung. — § 2. Methoden. — § 3. Hauptserie von He I. — § 4. Scharfe (II.) Nebenserie von He I. — § 5. Diffuse (I.) Nebenserie von He I. — § 6. Hauptserie von He II. — § 7. Nebenserie von He I. — § 8. Übersicht über den Effekt des elektrischen Feldes auf die He I-Serien. — Nachtrag: § 9. System der He II-Serien. — § 10. Gesetz der übereinstimmenden Effekte des elektrischen Feldes im System der He II-Serien.

§ 1. Einleitung.

Über den Effekt des elektrischen Feldes auf Serienlinien des Heliums liegt bereits eine Arbeit von J. Stark und H. Kirschbaum¹⁾ vor. Insbesondere bildeten den Gegenstand ihrer Untersuchung die diffusen Nebenserien von He I und He II (Parhelium). Sie haben auch Messungen über den Effekt des Feldes auf Hauptserienlinien angestellt. Ihre Angaben hierüber hat jedoch Stark später als zweifelhaft bezeichnet. Ferner hat Stark in seiner „Elektrischen Spektralanalyse chemischer Atome“ (S. Hirzel, Leipzig 1914) eine vorläufige Mitteilung gemacht über Feinzerlegung von Heliumlinien nach den Ergebnissen einer Untersuchung, die J. Koch unternahm. Letzterer hat außerdem eine Abhandlung veröffentlicht: „Über eine neue Linienserie des einwertigen Heliums.“²⁾ Schließlich liegen noch die Arbeiten vor von E. J. Evans und C. Croxson³⁾ und R. Brunetti.⁴⁾ Die Ergebnisse der ersteren kenne ich nur aus den Beiblättern zu den Annalen der Physik, und letztere ist mir auch nur dem Titel nach bekannt geworden.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit sind zunächst die Messungen über den Effekt des elektrischen Feldes auf die Haupt-

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. **48**, p. 983. 1914.

2) J. Koch, Ann. d. Phys. **48**, p. 98. 1915.

3) E. J. Evans u. C. Croxson, Phil. Mag. (6) **32**, p. 327—329. 1916.

4) R. Brunetti, Lincei Rend. **24**, p. 719—723. 1915.

serienlinien. Ferner ist die Arbeit als Fortführung der Untersuchungen von Stark und Kirschbaum zu betrachten, insofern die höheren Gliednummern der von ihnen untersuchten Nebenserien einer Beobachtung hinsichtlich ihres elektrischen Effektes unterzogen wurden.

§ 2. Methoden.

Zur vorliegenden Untersuchung wurde das von Stark angegebene Verfahren zur Herstellung des elektrischen Feldes angewendet. Es wurden die von Stark in seiner Abhandlung über Feinzerlegung von Wasserstofflinien¹⁾ angegebenen Kanalstrahlröhren benutzt. Die Röhren sind folgendermaßen konstruiert: An der Rückseite der Kanalstrahlenkathode ist parallel dieser eine Hilfselektrode angebracht, die von der Kathode durch dazwischen gestellte Quarzstifte isoliert ist. Die Entfernung zwischen Kathode und Hilfselektrode betrug in der einen Röhre 2,5 mm, in der anderen 1,5 mm.

Mit Hilfe eines Quarz-Flußspatachromats wurde das leuchtende Spannungsfeld durch ein Kalkspatrhomboider hindurch in der bekannten Weise auf den Spalt des Spektrographen abgebildet.

Der Spektrograph, mit dem gearbeitet wurde, entstammt der Firma Steinheil. Kamera- und Kollimatorobjektiv haben dieselbe Brennweite, die für gelbes Licht 872 mm beträgt. Die Dispersion wird erzeugt durch zwei getrennte 30°-Prismen und ein Cornusches 60°-Prisma.

Die Aufnahmen erfolgten in zwei Einstellungen, von denen die eine das Gebiet von 4100—8000 Å, die andere von 3000 bis 2700 Å scharf lieferte. Die Spektrogramme wurden auf Hauff-Extrarapid-Platten aufgenommen, die sich im Ultraviolett empfindlicher erwiesen als die Ultrarapid-Platten der gleichen Firma. Die Belichtungszeit betrug 22—24 Stunden.

Das zu den Versuchen nötige Helium wurde nach der Methode von Stark in folgender Weise hergestellt: In einem mit pulverisiertem Bröggerit gefüllten Hartglasrohre wurde durch starkes Anheizen mit der Gebläseflamme Rohgas entwickelt und dieses über Phosphorpentoxyd hinweg in ein Gefäß mit karbonisierter Kokosfaser geleitet, das mit flüssiger

1) J. Stark, *Ann. d. Phys.* **43**, p. 967. 1914.

Luft umgeben war. Auf diese Weise wurde die Kondensation der im Rohgas vorhandenen Verunreinigungen erreicht. Die spektrale Untersuchung ergab, daß das so erhaltene Helium nur ein geringes Quantum Wasserstoff und eine Spur Stickstoff enthielt, sonst aber von anderen Beimengungen vollkommen frei war. Nach Verlauf von mehreren Stunden wurde das so gereinigte Helium in ein Vorratsgefäß übergeführt, das nach dem Kondensationsgefäße zu abgesperrt wurde. Eine durch zwei Hähne abgeschlossene Kapillare, welcher aus dem Vorratsgefäße Helium zugeführt werden konnte, gestattete das dosenweise Nachlassen des Gases, um das bei der Entladung verschwindende Helium zu ersetzen und so den Druck in der Röhre annähernd konstant zu halten.

Zum Betriebe der Kanalstrahlenröhre diente ein Induktorium mit Wechselstrom. Das Feld zwischen Kathode und Hilfselektrode wurde mit Hilfe einer Hochspannungsdynamo von 3500 Volt und einer Hochspannungsbatterie von 1200 Volt hergestellt. Ferner ist noch zu bemerken, daß die sogenannte Gegenschaltung Anwendung fand, d. h. die Kanalstrahlen verliefen hinter der Kathode entgegen dem Felde, so daß sie also, soweit sie positiv geladen waren, eine Verzögerung durch das Feld erfuhren.

Um den Einfluß des Feldes auf die Serienlinien festzustellen, wurde folgendes Verfahren angewendet: es wurden einerseits Aufnahmen der Heliumlinien unter Anwendung verschieden starker Felder gemacht, andererseits dieselben Linien ohne das elektrische Feld aufgenommen, was durch Kurzschließen der beiden Elektroden des Spannungsfeldes, also der Kathode und Hilfselektrode erreicht wurde. Auf allen Spektrogrammen wurde nach Aufnahme der Heliumlinien mit einer Quarzlampe ein Quecksilberspektrum als Vergleichsspektrum entworfen. Um die Gewähr dafür zu haben, daß das Objektiv stets in derselben Weise mit Licht gefüllt war, wurde die Beleuchtung des Spaltes mit der Bogenlampe unter Zuhilfenahme eines im Winkel von 45° gegen die Spaltebene geneigten weißen Kartons vorgenommen. Unter diesen Umständen war es möglich, den Abstand der parallel und senkrecht zum Felde schwingenden Komponenten (*p*-Komponenten und *s*-Komponenten) der Heliumlinien von den benachbarten Quecksilberlinien unter stets gleichen Bedingungen (Füllung

des Objektivs in derselben Weise) zu messen. Die Differenz des Abstandes einer vom Felde beeinflussten Linie und derselben vom Felde nicht beeinflussten Linienkomponente ergab dann die Verschiebung durch das Feld.

§ 3. Hauptserie von He I.

Tab. I stellt die Linien der Hauptserie von He I zusammen, an welchen Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes angestellt wurden. Wie man aus Tab. I

Tabelle I.

Wellenlänge	Glieder-nummer	Verschiebung in Å		Dispersion Å/mm
		17 900 Volt $\times \text{cm}^{-1}$	27 500 Volt $\times \text{cm}^{-1}$	
3888,79	2	} unmerklich gering		16,3
3187,83	3			7,5
2945,22	4	+ 0,20	+ 0,47	6,7
2829,17	5	+ 0,57	+ 1,25	6,0
2763,90	6	+ 1,27	+ 3,25	5,2
2723,18 ¹⁾	7	+ 1,89	+ 3,88	5,1

entnimmt, werden die Linien der Hauptserie, wie bereits Stark und Kirschbaum angedeutet gefunden haben und nunmehr einwandfrei festgestellt ist, durch das elektrische Feld nach längeren Wellenlängen verschoben, und zwar zeigen die *p*-Komponenten dieselbe Verschiebung wie die *s*-Komponenten. Daher war diese Unterscheidung in Tab. I nicht nötig. Fig. 1 gibt die Abhängigkeit der Verschiebung von den Hauptserienlinien (ausgezogene Kurven) der Feldstärke wieder. Wie hiernach außer Zweifel steht, ist die Verschiebung der beobachteten Linien der Hauptserie der Feldstärke nicht proportional, sondern nimmt mit wachsender Feldstärke rascher zu als diese. Ferner sei bemerkt, daß die Linien der Hauptserie dem allgemeinen Seriengesetze des elektrischen Effektes folgen, wie ebenfalls aus Fig. 1 ersichtlich ist. Es nimmt nämlich mit steigender Gliednummer die Größe der durch das Feld bewirkten Frequenzänderung sehr schnell zu.

1) Diese Linie wurde nach der Kathodenschichtmethode in Feldern von 19 000 und 26 600 Volt $\times \text{cm}^{-1}$ beobachtet (vgl. Nachtrag).

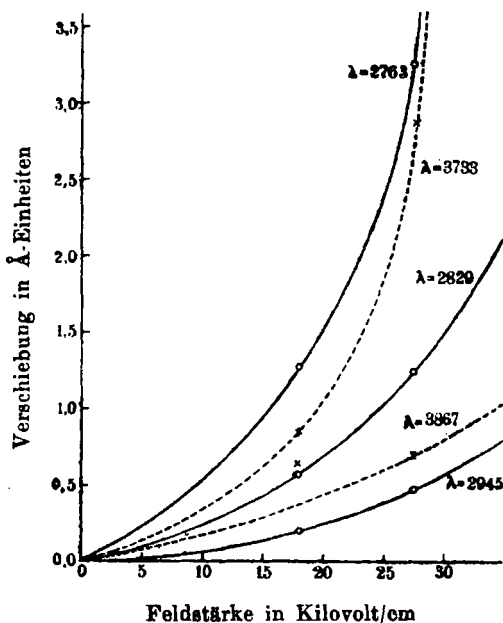


Fig. 1.

Vorliegende Arbeit bringt zum erstenmal eine Untersuchung über den Effekt des elektrischen Feldes auf Linien einer Hauptserie mit positivem Erfolge. Die Serien des Lithiums zeigen mit den Serien des Heliums Serie für Serie und Glied für Glied eine weitgehende Übereinstimmung des elektrischen Effektes. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß auch die Hauptserienlinien des Lithiums hinsichtlich ihres elektrischen Effektes eine nur in der Größenordnung abweichende Übereinstimmung mit den He-Linien zeigen werden, daß also auch sie eine Verschiebung nach längeren Wellenlängen durch das elektrische Feld erfahren.

§ 4. Scharfe (II.) Nebenserie von He I.

Auch über den Effekt des elektrischen Feldes auf diese Serie liegen noch keine genauen Messungen vor. Lediglich Stark und Kirschbaum haben darauf hingewiesen, daß die Verschiebung der Linien dieser Serie nach Rot wahrscheinlich sei. Die Beobachtung einiger Glieder der Serie

brachte ein positives Ergebnis und bestätigte die von Stark und Kirschbaum als wahrscheinlich bezeichnete Angabe. Die erhaltenen Resultate sind in Tab. II zusammengestellt. In Fig. 1 sind auch die Verschiebungen der Linien 3867 und 3793 (gestrichelte Kurven) in Abhängigkeit von der Feldstärke graphisch veranschaulicht.

Tabelle II.

Wellenlänge	Glieder- nummer	Verschiebung in Å		Dispersion Å/mm	Intensität
		17 900 Volt × cm ⁻¹	27 500 Volt × cm ⁻¹		
3867,61	5	+ 0,64 ¹⁾	+ 0,70	16,3	2
3793,14	6	+ 0,84	+ 2,57	14,3	1

Es werden also die Linien der zweiten Nebenserie ebenso wie diejenigen der Hauptserie durch ein elektrisches Feld rascher als proportional nach Rot ohne Zerlegung mit steigender Gliednummer in wachsendem Maße verschoben.

§ 5. Diffuse (L) Nebenserie von He I.

Die Grobzerlegung der Linien der ersten Nebenserie ist bereits von Stark und Kirschbaum für die ersten 5 Glieder der Serie durchgeführt worden. Es hat sich dabei gezeigt, daß die Komponenten der Linien mit steigender Gliednummer um je eine *p*- und *s*-Komponente zunehmen. Das fünfte Glied der Serie λ 3705 besitzt nach ihnen je fünf *p*- und *s*-Komponenten. Allerdings haben sie die äußerste nach Rot zu gelegene *p*-Komponente und die entsprechende *s*-Komponente als zweifelhaft angegeben. Auch haben sie bei den angewendeten Mitteln die übrigen Komponenten nur in geringer Intensität erhalten können. Meine Beobachtungen ergaben, daß die erwähnten Komponenten in der Tat vorhanden sind. Sie zeigten sich auch auf meinen Spektrogrammen im Vergleich zu den übrigen wenig intensiv, doch waren sie noch gut meßbar, und ein Zweifel an ihrem Vorhandensein ist nunmehr ausgeschlossen.

Unter diesen Umständen war es von Interesse zu untersuchen, ob in der Tat die erwähnte Gesetzmäßigkeit, also

1) Anscheinend zu groß.

Zunahme der Komponentenzahl um Eins, für die folgenden Glieder zutrifft. Es sei von vornherein bemerkt, daß es sich bei den von Stark und Kirschbaum angestellten Versuchen nur um eine Grobzerlegung handelt. Ebenso ist bei der von mir angewendeten geringen Dispersion und mäßigen Feldstärke ebenfalls nur eine Grobzerlegung möglich. Denn nach den Resultaten von Koch über die *Feinzerlegung* von Heliumlinien ist auch für die hier beobachteten Linien bei Anwendung größerer Dispersion und erheblicher Feldstärke eine erheblich weitgehendere Zerlegung mit Sicherheit zu erwarten. So konnte ich für die Linien λ 3634 auf dem Spektrogramm aus dem Felde 17900 Volt/cm zunächst nur je sechs Komponenten für parallele und senkrechte Schwingung konstatieren. Ebenfalls besitzt die folgende Gliednummer λ 3587 mindestens je sieben parallel und senkrecht schwingende Komponenten auf dieser Platte. Doch sind sie wegen ihrer geringen Intensität nicht zu messen. Im Felde von 27500 Volt/cm dagegen wird λ 3634 schon in zehn Komponenten jeder Art zerlegt, wie aus Tab. V ersichtlich ist. Außerdem erscheinen einige Komponenten zum Teil sehr stark verbreitert, so daß zu erwarten steht, daß sie sich in stärkerem Felde in mehrere Komponenten aufspalten werden. Das eben Gesagte erläutert, daß hier bei dieser Feldstärke die Feinzerlegung dieser Linie gerade in Erscheinung tritt.

In den Tab. III—V sind die an der ersten Nebenserie ausgeführten Messungen enthalten. In dem schwachen Felde von 7125 Volt/cm war es nicht mehr möglich, die einzelnen

Tabelle III (Feld 7125 Volt/cm).

Wellenlänge	Gliednummer	Komponentenabstand für parallele Schwingung in Å	Komponentenabstand für senkrechte Schwingung in Å
3619,75	4	3,11	2,28
3705,15	5	3,52	3,22
3634,52	6	3,60	3,54

Komponenten zu bestimmen, doch konnten wenigstens die Abstände der äußeren Komponenten bei einigen Linien mit ziemlicher Genauigkeit gemessen werden. Diese Angaben ent-

hält Tab. III. Tab. IV und V stellen die Messungen auf den aus den beiden anderen Feldern erhaltenen Aufnahmen zusammen.

Tabelle IV (Feld 17900 Volt/cm).

Wellenlänge	Gliednummer	Abstand der Komponenten von der unzerlegten Linie für parallele Schwingung in λ	Intensität, Bemerkungen	Abstand der Komponenten von der unzerlegten Linie für senkrechte Schwingung in λ	Intensität, Bemerkungen	Dispersion
4026,34	3	$\left\{ \begin{array}{l} - 2,98 \\ - 0,21 \\ + 1,93 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 6 \\ 6 \\ 6 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - 2,73 \\ - 0,35 \\ + 1,98 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 6 \\ 6 \\ 6 \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 17,5$
3819,75	4	$\left\{ \begin{array}{l} - 3,93 \\ - 1,32 \\ + 1,29 \\ + 3,85 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 4 \\ 4 \\ 3 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - 3,93 \\ - 1,35 \\ + 1,23 \\ + 3,63 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 4 \\ 4 \\ 4 \\ 3 \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} 16,3$
3705,15	5	$\left\{ \begin{array}{l} - 6,60 \\ - 3,51 \\ - 0,68 \\ + 1,18 \\ + 3,63 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - 5,69 \\ - 3,19 \\ - 0,76 \\ + 1,75 \\ + 3,95 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 1, \text{ verbreitert} \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} 14,0$
3684,52	6	$\left\{ \begin{array}{l} - 7,61 \\ - 4,96 \\ - 2,02 \\ + 1,31 \\ + 4,43 \\ + 6,03 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1, \text{ verbreitert} \\ \text{schwach, verbreit.} \\ \text{,, stark verbreit.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - 7,48 \\ - 4,44 \\ - 1,33 \\ + 1,31 \\ + 4,43 \\ + 6,03 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{stark verbreit.} \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1, \text{stark verbreit.} \\ 1, \text{verbreitert} \end{array} \right.$	
3587,57	7	—	mindestens 7 Komponent.	—	mindestens 7 Komponent.	

In Figg. 2 und 3 ist die Abhängigkeit der Abstände der äußeren Komponenten von der Feldstärke graphisch dargestellt. Für λ 4026 wurde die Proportionalität zwischen Komponentenabstand und Feldstärke schon von Stark festgestellt.¹⁾ Eine ebenfalls lineare Abhängigkeit der Komponentenabstände ergibt sich bei λ 3819. Für λ 3705 und λ 3634 gilt dies anscheinend nicht. Hier wächst der Komponentenabstand rascher als die Feldstärke. Für die Linie λ 4472 derselben Serie fanden Stark und Kirschbaum, daß der Komponentenabstand weniger rasch wächst als die Feldstärke. Es ist also, falls

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. 48. p. 1017. 1914.

die Abweichungen nicht durch das Ineinanderspielen von Grob- und Feinzerlegung vorgetäuscht werden, die Abhängig-

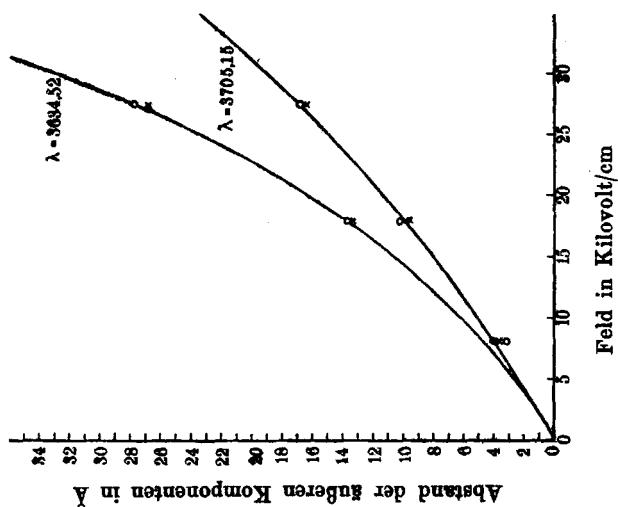


Fig. 3.

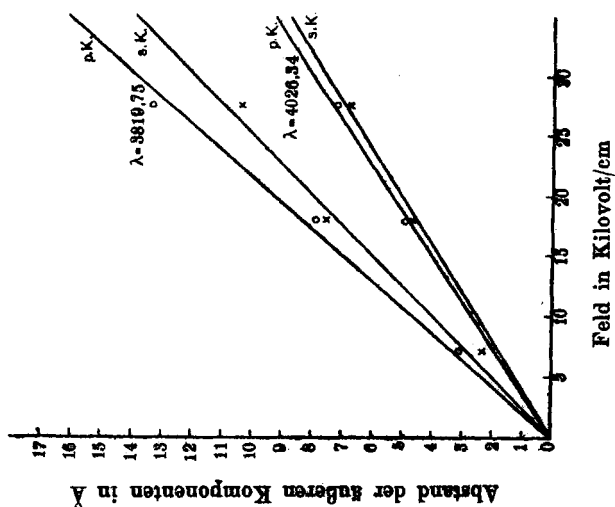


Fig. 2.

keit dieses Abstandes von der Feldstärke innerhalb der Serie nicht einheitlich.

Tabelle V (Feld 27 500 Volt/cm).

Wellenlänge	Gliednummer	Abstand der Komponenten von der unzerlegten Linie für parallele Schwingung in Å	Intensität, Bemerkungen	Abstand der Komponenten von der unzerlegten Linie für senkrechte Schwingung in Å	Intensität, Bemerkungen	Dispersion
4026,34	3	- 4,34	6	- 4,24	6	17,5
		- 0,86	6	- 0,70	6	
		+ 2,91	6	+ 2,61	6	
3819,75	4	- 8,23	3	- 5,07	3	16,8
		- 3,08	4	- 1,52	4	
		+ 0,99	4	+ 1,53	4	
		+ 5,77	3	+ 5,28	3	
3705,15	5	- 9,14	3	- 8,09	schwach, verbreit.	14,0
		- 5,40	3	- 4,42	3	
		- 1,09	3	- 0,01	3	
		+ 3,35	1	+ 3,60	3	
		+ 7,66	schwach, verbreit.	+ 8,19	1, verbreitert	
		- 18,25	1, starkverbreit.	- 18,25	1	
3634,52	6	- 14,39	1, verbreitert	- 14,57	1, verbreitert	13,4
		- 11,85	1, "	- 11,92	1, "	
		- 7,66	1, "	- 7,78	1, "	
		- 5,47	1	- 5,47	1	
		- 2,28	schwach	- 2,28	1	
		+ 0,18	1	+ 0,18	1	
		+ 2,13	schwach	+ 2,13	1	
		+ 5,58	1, verbreitert	+ 5,58	1, verbreitert	
		+ 9,58	1, "	+ 8,72	1, "	

§ 6. Hauptserie von He II.

Von den Linien dieser Serie sind die Gliednummern 3 und 4 bereits von Stark und Kirschbaum im elektrischen Felde untersucht worden. Auf meinen Spektrogrammen habe ich die Gliednummern 5 bis 6 erhalten. Beim dritten Gliede λ 3964 war es wegen der Nähe einer starken Al-Linie nicht möglich, Messungen anzustellen. Bei λ 3355 konnte ich wegen der geringen Intensität eine Verschiebung lediglich wahrnehmen, mußte aber auf ihre Messung verzichten. Der Vollständigkeit halber sei hier auch der Effekt auf λ 3964 nach den Messungen von Stark und Kirschbaum¹⁾ für ein Feld von 28500 Volt \times cm⁻¹ angegeben: Er besteht in einer Verschie-

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, Ann. d. Phys. 43. p. 991. 1914.

bung der Linie in der Richtung nach kürzeren Wellenlängen um 0,86 Å. Für λ 3614 erhielten Stark und Kirschbaum eine Verschiebung um 2,1 Å.

Tabelle VI (Feld 28800 Volt \times cm⁻¹).

Wellenlänge λ	Gliednummer n	Komp.-Abstand parallele Schwingung in Å	Intensität	Komp.-Abstand senkrechte Schwingung in Å	Intensität	Dispersion
3614,78	4	– 3,5	3	– 3,5	3	13,3
3447,73	5	– 4,01	1	– 4,01	1	10,7
3354,66	6	nicht genau meßbar				

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, zeigt auch die He II-Hauptserie als elektrischen Effekt eine Verschiebung ihrer Linien, jedoch im Gegensatz zur He I-Hauptserie nicht nach längeren, sondern nach kürzeren Wellenlängen mit wachsender Gliednummer, analog den übrigen Serien, in steigendem Maße.

§ 7. III. Nebenserie von He I.

Der Tatsache, daß, wie Koch entdeckt hat, eine bisher unbekannte Serie des Heliums unter Einwirkung des elektrischen Feldes beträchtlich an Intensität gewinnt, darf große Wichtigkeit beigemessen werden. Ihr entspricht die von Stark näher untersuchte Erscheinung, daß die dritte Nebenserie des Lithiums durch das elektrische Feld eine beträchtliche Verstärkung ihrer Intensität erfährt.¹⁾ Wie bereits Koch erkannte, ist diese Serie als dritte Nebenserie des Heliums anzusprechen. Koch fand, daß diese Serie eine Kombinationsserie, und zwar eine Differenzserie ist. Die Wellenzahlen der einzelnen Glieder ergeben sich, wenn man die Wellenzahlen der Hauptserienglieder von der Grundschwingung subtrahiert.

Bei dieser Sachlage war es angezeigt, nach weiteren Gliedern dieser Serie zu forschen, zumal sich die Beobachtungen von Koch nicht mehr auf die von mir untersuchten Wellengebiete ausdehnten. Es lieferten nun gleich die ersten Aufnahmen weitere Glieder der Serie. In Tab. VII sind alle

1) J. Stark, Ann. d. Phys. 48. p. 210. 1915.

bisherigen Beobachtungen über die Serie, einschließlich der Beobachtungen von Koch, dargestellt.

Tabelle VII.

Berechnete Wellenlänge	Glieder-nummer	Beobachtete Wellenlänge				Verschiebung für 27500 Volt $\times \text{cm}^{-1}$	Dispersion
		extrapoliert auf das Feld 0	7125 Volt $\times \text{cm}^{-1}$	17900 Volt $\times \text{cm}^{-1}$	27500 Volt $\times \text{cm}^{-1}$		
6067,026	1	6060,0	—	—	—	—	—
4517,407	2	4518,77	—	—	—	—	—
4045,224	3	4046,02	—	—	—	—	—
3829,475	4	3830,0	3830,0	3830,0	3830,0	0	16,4
3709,602	5	3711,3	3712,0	3713,0	3714,0	2,7	14,1
3636,757	6	3636,9	3638,5	3641,0	3643,0	6,1	13,5
3589,394	7	3586,7	3592,0	3600,0	3608,0	21,3	12,5

In der ersten Spalte sind die in oben angegebener Weise berechneten und auf Luft reduzierten Wellenlängen angegeben. Die zweite Spalte enthält die durch Extrapolation für das

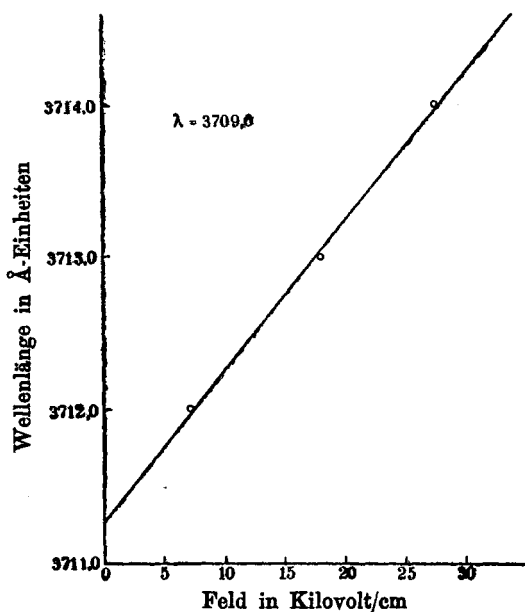


Fig. 4.

Feld 0 gewonnenen Werte, während in den übrigen Spalten die Wellenlängen folgen, die in den einzelnen angewendeten Feldern beobachtet wurden.

In Figg. 4—6 ist die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Feldstärke graphisch dargestellt.

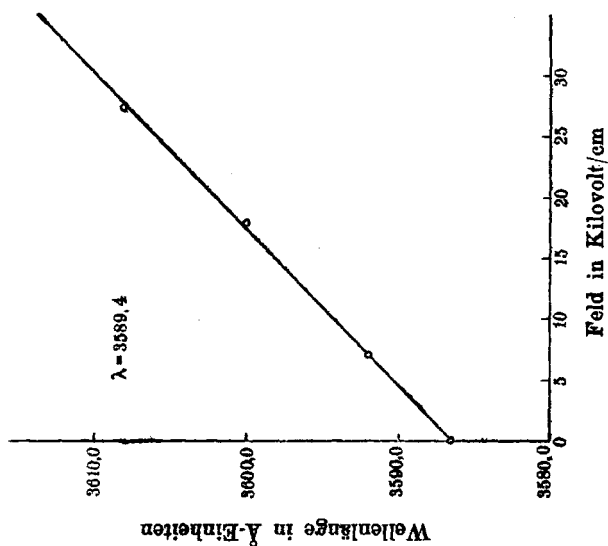


Fig. 6.

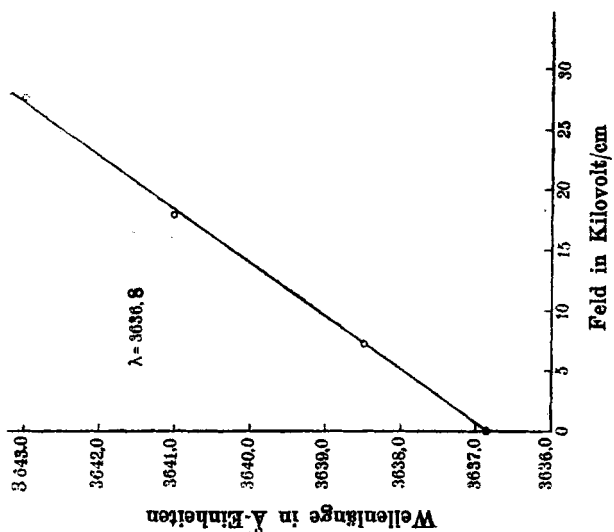


Fig. 5.

Es findet mit zunehmender Feldstärke in proportionalem Verhältnis eine Verschiebung der Linien nach längeren Wellenlängen statt. Auch Koch fand für die von ihm beobachteten

Linien Proportionalität zwischen Verschiebung und Feldstärke. Hiermit steht die dritte Heliumserie zur entsprechenden Lithiumserie¹⁾ im Gegensatze. Bei letzterer wächst nämlich die Verschiebung schneller als die Feldstärke an. Wie bei den übrigen Serien, *so bestätigt sich auch hier wieder das allgemeine Seriensgesetz des elektrischen Effektes von seiner Zunahme mit steigender Gliednummer.*

Gelegentlich einer Untersuchung über die dritte Lithiumserie hat Stark die Frage aufgeworfen, ob das Intensitätsverhältnis zweier aufeinanderfolgenden Gliednummern mit wachsender Feldstärke dasselbe bleibt, ob also dieses Intensitätsverhältnis eine Funktion der Feldstärke oder eine Konstante ist. Bei den angewendeten Mitteln konnte er die Frage nicht mit Gewißheit beantworten. Doch gab er als wahrscheinlich an, *daß die Intensität des Gliedes niedriger Nummer im Verhältnis zur Intensität des benachbarten Gliedes höherer Nummer mit steigender Feldstärke rascher wächst als diese* oder umgekehrt die Intensität der Linien höherer Nummer im Verhältnis zur Intensität der benachbarten Linie niedriger Nummer mit abnehmender Feldstärke wächst. Was Stark für die dritte Lithiumserie wahrscheinlich gemacht hat, tritt bei der dritten Heliumserie klar zutage und bestätigt somit die Richtigkeit der Beobachtungen von Stark an der Lithiumserie, wie man aus der sonstigen weitgehenden Übereinstimmung der an beiden Elementen beobachteten Gesetzmäßigkeiten ohne weiteres folgern kann.

In Tab. VIII sind die Schwärzungen der *p*-Komponenten und *s*-Komponenten mitgeteilt.

Tabelle VIII.

Wellenlänge	Glieder-nummer	<i>p</i> -Komponenten			<i>s</i> -Komponenten		
		7125 Volt × cm ⁻¹	17900 Volt × cm ⁻¹	27500 Volt × cm ⁻¹	7125 Volt × cm ⁻¹	17900 Volt × cm ⁻¹	27500 Volt × cm ⁻¹
3829,42	4	0	0,94	1,18	0	0,36	0,78
3709,60	5	0,08	0,73	0,91	0,05	0,25	0,50
3636,75	6	0,43	0,60	0,23	0,08	0,22	0,04
3589,79	7	0,59	0,07	—	0,10	0,01	—

Es zeigt sich deutlich, daß die Differenz der Schwärzungen zweier aufeinanderfolgenden Glieder mit der Feld-

1) H. Lüssem, Ann. d. Phys. 49. p. 879. 1916.

stärke sich ändert. Es erscheinen also bei großer Feldstärke die niederen Gliednummern sehr intensiv, während die höheren Gliednummern im Vergleich zu ihnen nur geringe Intensität besitzen. Dagegen erscheinen bei kleiner Feldstärke die niederen Gliednummern in ganz geringer Intensität oder gar nicht, während die höheren Glieder ihnen gegenüber eine beträchtlichere Intensität aufweisen.

Schließlich sei noch bemerkt, daß die von Koch beobachtete starke Polarisation der Linien sich bei den von mir beobachteten Gliedern ebenfalls bestätigen läßt. Es ist ausnahmslos die *p*-Komponente beträchtlich intensiver als die *s*-Komponente.

§ 8. Übersicht über den Effekt des elektrischen Feldes auf die He I-Serien.

In Fig. 7 sind die Beobachtungen von Stark und Kirschbaum, Koch und meine eigenen über den Effekt des elektrischen Feldes auf die He I-Serien zusammengestellt. Die Übereinstimmung zwischen der Hauptserie und der zweiten und dritten Nebenserie einerseits, das abweichende Verhalten der ersten Nebenserie andererseits springen in die Augen.

Vorliegende Untersuchung wurde im Physikalischen Institut der Universität Greifswald unter Leitung von Hrn. Prof. Stark ausgeführt.

Meinem Lehrer, Hrn. Prof. Stark, sage ich für die Förderung meiner Arbeit auch an dieser Stelle verbindlichen Dank.

Greifswald, Physik. Institut d. Univers., April 1918.

(Eingegangen 24. April 1918.)

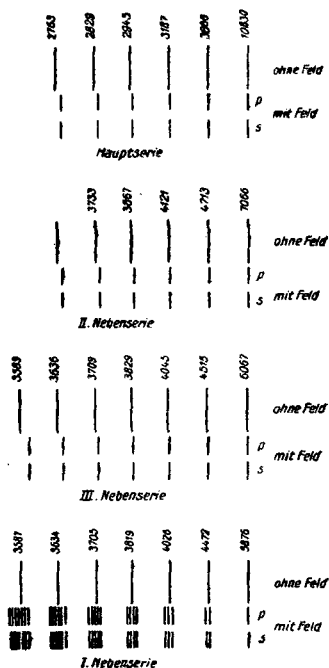


Fig. 7.

Nachtrag bei der Korrektur am 10. August 1918.

§ 9. System der He II-Serien.

Nachdem Hr. Prof. Stark zwei neue He I-Hauptserien aufgefunden und das System der sechs He I-Serien aufgestellt hatte, lag es nahe zu vermuten, daß ein ähnliches System von sechs He II-Serien besteht, wie es im Nachstehenden unter Zugrundelegung der Bezeichnungsweise der vorhergehenden Arbeit Starks dargestellt ist.

$$\text{Diffuse Hauptserie } \nu = Ez(h)_{II} - Lz(m, d)_{II}$$

$$\text{Diffuse Nebenserie } \nu = Ez(n)_{II} - Lz(m, d)_{II}$$

$$\text{Scharfe Hauptserie } \nu = Ez(h)_{II} - L(m, s)_{II}$$

$$\text{Scharfe Nebenserie } \nu = Ez(n)_{II} - Lz(m, s)_{II}$$

$$\text{Fastcharfe Hauptserie } \nu = Ez(h)_{II} - Lz(m, f)_{II}$$

$$\text{Fastcharfe Nebenserie } \nu = Ez(n)_{II} - Lz(m, f)_{II}.$$

Von diesen sechs Serien sind bereits bekannt die diffuse Nebenserie unter der Bezeichnung „erste He II-Nebenserie“, die scharfe Nebenserie unter der Bezeichnung „zweite He II-Nebenserie“, und die fastcharfe Hauptserie unter der Bezeichnung „He II-Hauptserie“ und außerdem die fastcharfe Nebenserie. In meiner folgenden Arbeit ist der Nachweis für das Vorhandensein der letztgenannten Serie geführt.

Sie ist dort „dritte He II-Nebenserie“ genannt. Es bleibt demnach noch übrig der Nachweis für das Vorkommen der diffusen He II-Hauptserie und der scharfen He II-Hauptserie. Auf Veranlassung von Hrn. Prof. Stark machte ich zwecks Aufsuchung dieser Serien nach Abschluß meiner vorstehenden Arbeit mit der von Stark benutzten Methode der ersten Kathodenschicht unter Verwendung derselben Stromröhre eine Aufnahme im Gebiete 410—320 $\mu\mu$, um ein intensiveres Spektrum als mit der vorher angewandten Kanalstrahlenmethode zu erhalten.

Der Versuch war von vollem Erfolge begleitet. Die theoretische Vorhersage wurde durch die Erfahrung durchaus bestätigt. Ich erhielt in dem untersuchten Gebiete eine Reihe neuer Linien, welche ähnlich wie die diffuse He II-Nebenserie, wie schon der erste Blick lehrte, in mehrere Komponenten zerlegt werden. In Tab. IX und X sind zusammengestellt

die Wellenlängen der Glieder der *diffusen He II-Hauptserie*, die nach der vorstehenden Formel unter Benutzung der Zahlen von B. Dunz¹⁾ berechnet wurden, und daneben die beobachteten Wellenlängen. Die Übereinstimmung zwischen den beiden Zahlenreihen ist eine so gute, daß an der Richtigkeit der Auffassung von der neuen Serie kein Zweifel bestehen kann.

Tabelle IX.
Diffuse He II-Hauptserie.

Wellenlänge (berechnet)	Wellenlänge (beobachtet)
5043,6	nicht untersucht
3973,3	3974
3617,9	3618
3450,4	3450
3356,6	3356

Schwieriger liegen die Verhältnisse für die Auffindung der neuen scharfen He II-Hauptserie. Infolge der weitgehenden Übereinstimmung zwischen den He I-Serien und den He II-Serien ist zu erwarten, daß die Linien der scharfen He II-Hauptserie ähnlich wie die Linien der von Stark aufgefundenen scharfen He I-Hauptserie sehr viel weniger intensiv sind als die Linien der beiden anderen Hauptserien. Das bestätigt sich auch in der Tat. Ich habe mit Sicherheit nur eine einzige Linie der scharfen He I-Hauptserie auf meinem Spektrogramme auffinden können; indes ist die Übereinstimmung der beobachteten Wellenlänge mit der durch Rechnung gewonnenen und das Aussehen der Linie im Verhältnis zu anderen Linien des Spektrogrammes derartig, daß an der Wirklichkeit des Vorkommens der *scharfen Hauptserie* ebenfalls kein Zweifel bestehen kann. In Tab. X sind die Wellenlängen der Glieder der neuen scharfen Hauptserie zusammengestellt.

Wie es Stark für die diffuse und die scharfe He I-Hauptserie gefunden hat, so *treten auch die beiden neuen He II-Hauptserien nur im elektrischen Felde mit merklicher Intensität auf*. Es setzen sich nämlich in meinem Spektrogramme die Linien bzw. die Komponenten der Linien dieser Serien nicht mit

1) B. Dunz, Bearbeitung unserer Kenntnisse von den Serien. Dissertation Tübingen 1911.

merklicher Intensität aus dem Gebiete starken Feldes in das Gebiet schwachen Feldes fort, wie das bei den Gliedern der fastscharfen He II-Hauptserie und der diffusen und scharfen He II-Nebenserie der Fall ist.

Tabelle X.
Scharfe He II-Hauptserie.

Wellenlänge (berechnet)	Wellenlänge (beobachtet)
5380,3	} nicht untersucht
4053,4	
3651,6	} durch Hg-Linie 3650,3 der Beobachtung entzogen
3467,8	
	3468

§ 10. Gesetz der übereinstimmenden Effekte des elektrischen Feldes im System der He II-Serien.

Es sei zunächst der Effekt des elektrischen Feldes auf die Linien der neuen He II-Hauptserien mitgeteilt. Aus der Krümmung der *scharfen He II-Hauptserienlinie* λ 3468 ist zu folgern, daß sie durch das von mir angewandte elektrische Feld von $28900 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$ *nur um einen geringen Betrag nach längeren Wellen verschoben sein kann*, da die von mir im genannten Felde beobachtete Wellenlänge nur um wenigens größer als die berechnete Wellenlänge ist.

In Tab. XI ist die Zerlegung der diffusen He II-Hauptserie durch ein elektrisches Feld von $28500 \text{ Volt} \times \text{cm}^{-1}$ dargestellt.

Tabelle XI.

Glied- nummer	Wellenlänge (beobachtet)	p-Komponenten	s-Komponenten
2	3974	- 1,6	- 1,3
		+ 2,6	+ 2,0
3	3618	- 2,1	- 2,0
		+ 0,9	+ 1,0
		+ 4,2	+ 4,1
4	3450	- 3,8	- 4,2
		- 1,5	- 1,6
		+ 0,9	+ 1,3
		+ 3,1	+ 3,9
5	3356	5 Komponenten [nicht genau meßbar]	5 Komponenten [nicht genau meßbar]

Es zeigen gemäß der vorstehenden Tabelle die aufeinander folgenden Glieder der diffusen Hauptserie ebensoviel p- und s-Komponenten als die Gliednummer Einheiten enthält. Der Abstand der äußeren Komponenten nimmt wie in allen bisher bekannten Fällen mit steigender Gliednummer zu.

Wie Stark für die He I-Serien gezeigt hat, gilt für sie das Gesetz, daß Glieder gleicher Laufzahl aus einer Hauptserie und einer zugeordneten Nebenserie im Maße der Wellenzahl

$$\Delta \nu = - \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2}$$

ausgedrückt, denselben Effekt des elektrischen Feldes zeigen.

Was die scharfe He II-Haupt- und die scharfe He II-Nebenserie betrifft, so steht auf Grund der bisher vorliegenden Beobachtungen fest, daß die Glieder beider Serien ohne Zerlegung nach längeren Wellen verschoben werden. Die Verschiebung ist für die Glieder gleicher Laufzahl in beiden Serien sehr klein. So gibt Nyquist¹⁾ für das 4. Glied der scharfen Nebenserie von He II λ 4438 eine Verschiebung um 0,58 Å nach Rot durch ein elektrisches Feld von 36400 Volt \times cm⁻¹ an. Nach meiner Beobachtung ist die Rotverschiebung des 4. Gliedes der scharfen He II-Hauptserie für ein Feld von 28300 Volt \times cm⁻¹ jedenfalls nicht größer als 0,5 Å. Ein genauerer quantitativer Vergleich der Verschiebungen ist indes wegen der Ungenauigkeit dieser Messungen leider nicht möglich.

Günstiger liegen die Verhältnisse für die fastscharfen He II-Serien. Zunächst ist außerordentlich bezeichnend, daß die Glieder der fastscharfen He II-Nebenserie (vgl. folgende Mitteilung) ebenso wie die Glieder der fastscharfen He II-Hauptserie durch das elektrische Feld ohne Zerlegung nach kürzeren Wellen verschoben werden, ein Verhalten, in dem sich diese Serien von allen anderen bisher beobachteten unterscheiden. Außerdem stimmen auch, wie die Tab. XII erkennen läßt, die Verschiebungen der Glieder gleicher Laufzahl in den beiden Serien innerhalb der Fehlergrenze quantitativ überein, wenn sie statt in Wellenlänge in Wellenzahl gemessen werden.

1) H. Nyquist, a. a. O.

Tabelle XII.

Fastcharfe He II-Hauptserie			Fastcharfe He II-Nebenserie		
Wellenlänge λ	Verschiebung		Wellenlänge λ	Verschiebung	
	$\Delta \lambda$	$\Delta \nu$		$\Delta \lambda$	$\Delta \nu$
3965	- 0,40	$2,5 \cdot 10^{-8}$	4912	- 0,56	$2,3 \cdot 10^{-8}$
3618	- 3,33	$2,6 \cdot 10^{-7}$	4385	- 4,54	$2,4 \cdot 10^{-7}$
3447	- 4,09	$3,4 \cdot 10^{-7}$	4143	- 5,85	$3,4 \cdot 10^{-7}$

Daß die Effekte entsprechender Glieder der diffusen Haupt- und Nebenserie übereinstimmen, wurde bereits erwähnt. In Fig. 8 sind die Zerlegungen des 2. und 3. Gliedes der beiden Serien, für die Nebenserie nach Stark und Kirschbaum¹⁾ und für die Hauptserie nach meinen Beobachtungen zusammengestellt.

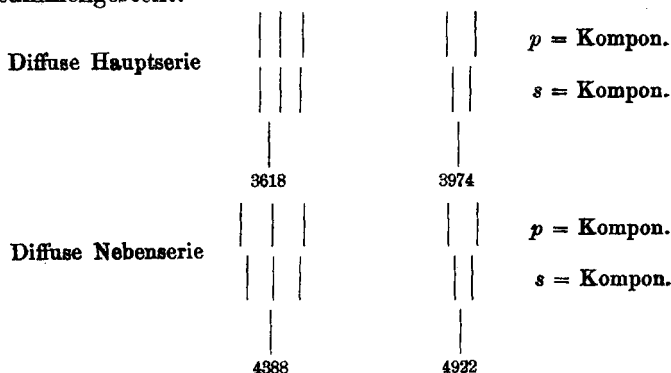


Fig. 8.

Wie man aus der Fig. 8 ersieht, besitzen entsprechende Glieder der beiden Serien in der Grobzerlegung gleichviel Komponenten in ungefähr derselben Anordnung in bezug auf die Lage der unzerlegten Linie. Die Übereinstimmung zwischen den Effekten des elektrischen Feldes in den beiden Serien ist auch quantitativ gleich, wenn man, wie es z. B. in Tab. XIII für die s-Komponente geschehen ist, die Wellenzahl

$$\left(\Delta \nu = - \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2} \right)$$

statt der Wellenlänge zur Messung der Komponentenabstände benutzt.

1) J. Stark u. H. Kirschbaum, l. c.

Tabelle XIII.

Diffuse He II-Hauptserie			Diffuse He II-Nebenserie		
Wellenlänge λ	Abstand der äußeren s-Komponenten		Wellenlänge λ	Abstand der äußeren s-Komponenten	
	$\Delta\lambda$	$\Delta\nu$		$\Delta\lambda$	$\Delta\nu$
3974	3,3	$2,1 \cdot 10^{-7}$	4922	4,6	$2,0 \cdot 10^{-7}$
3618	5,9	$4,7 \cdot 10^{-7}$	4388	8,1	$5,3 \cdot 10^{-7}$

Gemäß vorstehenden Darlegungen bewährt sich also das Gesetz der übereinstimmenden elektrischen Effekte auch für das System der He II-Serien, soweit es sich an den bisherigen Beobachtungen prüfen läßt.