

**4. Eine neue Heliumserie
unter der Wirkung des elektrischen Feldes;
von G. Liebert.**

I.

Einer der bemerkenswertesten Züge des Effektes des elektrischen Feldes auf die Spektren chemischer Elemente ist die Verstärkung der Intensität von Linien im Verhältnis zu derjenigen anderer Linien und unter Umständen sogar die Sichtbarmachung neuer Linien, deren Intensität in einem schwachen elektrischen Felde unmerklich ist. Das erste Beispiel für die Verstärkung von Linien eines Elementes im Verhältnis zu anderen Linien stellt die von Stark¹⁾ beschriebene Wirkung des elektrischen Feldes auf die Linien der 3. Lithiumnebenserie dar. Das erste Beispiel für die Sichtbarmachung neuer, bis dahin nicht bekannter Serienlinien durch das elektrische Feld, verdanken wir J. Koch²⁾, der die 3. Nebenserie von He_I in einem starken elektrischen Felde entdeckt hat. In der vorhergehenden Arbeit habe ich meine Beobachtungen über vier weitere Glieder der letztgenannten Serie mitgeteilt. Erst nach Niederschrift meiner ersten Arbeit sind mir die beiden dort erwähnten Arbeiten von R. Brunetti³⁾ und eine Abhandlung über den Effekt des elektrischen Feldes auf Linien des Heliums und Neons von H. Nyquist⁴⁾ bekannt geworden.

1) J. Stark, Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes auf Spektrallinien. VI. Polarisierung und Verstärkung einer Serie. *Ann. d. Phys.* 48. p. 210. 1915.

2) J. Koch, Über eine neue Linienserie im Spektrum des einwertigen Heliums. *Ann. d. Phys.* 48. p. 98. 1915.

3) R. Brunetti, Il fenomeno di Stark-Lo Surdo nell'elio. *Lincei Rend.* 24. p. 719. 1915. — R. Brunetti, Altre ricerche sul fenomeno di Stark-Lo Surdo nell'elio. *Lincei Rend.* 24. p. 55. 1915.

4) H. Nyquist, The Stark effect in helium and neon. *Phys. Rev.* (II) p. 226. 1917.

Die Untersuchung von Nyquist hat mehrere wichtige Resultate gebracht. So hat Nyquist die Erscheinung der Sichtbarmachung neuer Linien durch das elektrische Feld an einer großen Anzahl (34) neuer Neonlinien beobachten können. Ferner hat Nyquist den Effekt des Feldes auf die berühmte Heliumlinie 4686 zum erstenmal beobachtet. Ihre symmetrische Zerlegung ist nach ihm der Wasserstofflinie H_{α} sehr ähnlich. Eine interessante Seite ihrer Beobachtungen indes haben sowohl Nyquist wie Brunetti übersehen. Beide haben nämlich gewisse Linien des Heliumspektrums als Komponenten („Satelliten“) bereits bekannter Heliumlinien angesehen. Sie sind indes, worauf mich Hr. Prof. Stark beim Lesen der Arbeiten sofort aufmerksam machte, als Linien einer neuen Serie des Heliums, und zwar einer 3. Nebenserie von He_{II} (Parhelium) anzusehen. Erst bei Berücksichtigung gewisser Resultate meiner vorhergehenden Arbeit gewinnen die nicht richtig gedeuteten Beobachtungen von Brunetti und Nyquist die ihnen zukommende richtige Bedeutung. Daher sei an dieser Stelle nach den mir von Hrn. Prof. Stark gegebenen Hinweisen eine aus den Arbeiten entnommenen Charakteristik der neuen Serie zusammengestellt.

Nach Koch berechnen sich die Wellenzahlen der 3. Nebenserie von He_I aus den Wellenzahlen der zugehörigen Hauptserie als Differenzen der Wellenzahl $1/\lambda_n$ eines späteren Gliedes n gegen die Wellenzahl $1/\lambda_1$ der Grundschwingung dieser Serie. Bedeutet also λ_n' die Wellenlänge einer Linie der 3. Nebenserie, so ist demnach

$$\frac{1}{\lambda_n'} = \frac{1}{\lambda_n} - \frac{1}{\lambda_1}.$$

Auch ohne Kenntnis der Beobachtungen von Brunetti und Nyquist hätte man vermuten können, daß sich, in derselben Weise wie aus der Hauptserie von He_I , auch aus der Hauptserie von He_{II} die Wellenzahlen bzw. Wellenlängen einer neuen Serie berechnen lassen. Die Berechnung ist in der nachstehenden Tabelle durchgeführt. Nun haben Brunetti und Nyquist in der Tat unmittelbar hinter den Linien der 1. Nebenserie von He_{II} neue Linien beobachtet, ohne sich freilich darüber klar zu sein, daß es sich hier tatsächlich um neue, infolge von Intensitätsverstärkung durch das elektrische Feld sicht-

Tabelle.

Glieder- nummer ²	Hauptserie		Glieder- nummer	III. Nebenserie			Effekt des elektrischen Feldes (27 500 Volt \times cm ⁻¹)			
	Wellenzahl $1/\lambda_n$	Wellenlänge λ_n		Wellenzahl $1/\lambda_n' = 1/\lambda_1'$	Wellenlänge λ_n' (berechnet)	Wellenlänge λ_n' (beobachtet)	Komp.-Zahl der Haupt- serienglieder	Komp.-Zahl der Neben- serienglieder	Verschie- bung der Hauptserien- glieder in Å	Verschie- bung der Nebenserien- glieder in Å
1	486,62	20582,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1993,73	5015,7	2	1507,11	6635,2	—	1	1	sehr klein	—
3	2522,15	3964,9	3	2035,53	4912,2	4910,8	1	1	— 0,40	— 0,56
4	2767,18	3613,8	4	2280,56	4384,9	4384,5	1	1	— 3,33	— 4,54
5	2900,46	3447,7	5	2413,84	4142,8	4143,4	1	1	— 4,09	— 5,85

bar gemachte Linien und nicht um Komponenten des Gliedes der 1. Nebenserie handelt. Aus den nur qualitativen Angaben von Brunetti lassen sich die Wellenlängen der neuen Linien nicht ermitteln, doch sind sie aus den Angaben von Nyquist zu entnehmen. Ihre Genauigkeit freilich dürfte wohl nicht größer als 1 Å. sein. Die von Nyquist beobachteten Wellenlängen λ_n' sind in der Tabelle neben den in der angegebenen Weise berechneten Zahlen eingetragen. Wie man sieht, ist die Übereinstimmung zwischen Berechnung und Beobachtung so genau, als man es bei den Schwierigkeiten der Messungen Nyquists und der Messung der Wellenlänge des Anfangsgliedes der Hauptserie von He_{II} (20582) überhaupt erwarten kann. Diese gute Übereinstimmung für drei Glieder läßt es als ausgeschlossen erscheinen, daß sie nur eine zufällige ist, und wir dürfen somit den Nachweis des Auftretens einer neuen Serie von He_{II} als gesichert betrachten. *Übereinstimmend mit der 3. He_I-Serie tritt diese He_{II}-Serie nur in einem erheblich starken elektrischen Felde auf und besitzt in einem erheblich schwachen elektrischen Felde, so in der positiven Lichtsäule und der negativen Glimmschicht, keine merkliche Intensität.*

Ein weiterer Beweis für die Richtigkeit der eben entwickelten Auffassung ist in dem elektrischen Effekte der Linien der neuen He_{II}-Serie im Verhältnis zum elektrischen Effekte der Hauptserienlinien von He_{II} zu erblicken. Wie ich in meiner vorhergehenden Arbeit dargelegt habe, zeigen

die Linien der 3. He_I -Nebenserie Glied für Glied denselben elektrischen Effekt wie die Glieder der He_I -Hauptserie. Es werden nämlich die Linien der einen wie die der anderen Serie durch ein elektrisches Feld nach längeren Wellen verschoben mit wachsender Gliednummer in steigendem Maße, und zwar angenähert in demselben Betrage. Außerdem erfolgt die Verschiebung ohne eine Zerlegung in einzelne Komponenten. Für das 2. Glied der He_{II} -Hauptserie war es nun schon durch die Untersuchung von Stark und Kirschbaum bekannt, daß es ohne Zerlegung nach kürzeren Wellenlängen durch das elektrische Feld verschoben wird. Durch meine eigene Untersuchung ist festgestellt, daß auch die folgenden Glieder dieser Serie durch das elektrische Feld nach kürzeren Wellenlängen verschoben werden. Nach Auffindung mehrerer Linien der 3. Nebenserie von He_{II} taucht von selbst die interessante Frage auf, ob diese Linien, ebenso wie sich ihre Wellenzahlen aus den He_{II} -Hauptseriengliedern berechnen, auch in ihrem elektrischen Effekte nach Art, Vorzeichen und Größenordnung mit ihnen übereinstimmen. In der beigegebenen Tabelle ist der Effekt des elektrischen Feldes auf die Hauptserienlinien von He_{II} nach den von mir angestellten Beobachtungen angegeben. Der Effekt des elektrischen Feldes auf die Linien der 3. Nebenserie ist der Arbeit von Nyquist entnommen und auch nach dessen Angaben auf dieselbe Feldstärke umgerechnet, bei welcher ich die He_{II} -Hauptserienlinien aufnahm. Wie man sieht, stimmen die elektrischen Effekte jedes Gliedes der Hauptserie mit denjenigen der zugehörigen Glieder der 3. Nebenserie nach Vorzeichen und Größenordnung sowie auch annähernd in der Verschiebung überein. Es werden nämlich die Glieder der 3. Nebenserie wie diejenigen der zugehörigen Hauptserie nach kürzeren Wellen durch das elektrische Feld verschoben.

II.

Nachdem im vorhergehenden das Tatsächliche, das bisher über die neue He_{II} -Serie bekannt geworden ist, herausgehoben wurde, mögen nunmehr einige irrtümliche Auffassungen von R. Brunetti und H. Nyquist richtiggestellt werden. Beide beobachten die neuen Linien nach der Methode der ersten

Kathodenschicht, auf die zuerst Stark¹⁾ hingewiesen hat und die dann von Lo Surdo angewendet wurde. Sie photographieren also die Linien von der Oberfläche der Kathode weg entlang dem elektrischen Felde in der ersten Kathodenschicht bis zur negativen Glimmschicht und gewinnen so für die verschiedenen Feldstärken in den aufeinanderfolgenden Querschnitten für eine jede elektrische Komponente Punkt für Punkt in einem verschiedenen Abstände von der Lage der unbeeinflussten Linie, also im ganzen gekrümmte Linienkomponenten bzw. gekrümmte verschobene Linien. Sie beobachten, daß unmittelbar hinter einigen Linien der 1. He_{II}-Nebenserie nach kürzeren Wellen zu Linien auftreten,



Fig. 1.

welche an der Grenze kleiner Feldstärke (Ende des Dunkelraumes) nicht in die unbeeinflussten Linien der ersten He_{II}-Nebenserie einmünden. Die der einen Arbeit von R. Brunetti entnommene Fig. 1 zeigt das von einer solchen Linie erhaltene Spektrogramm mit der sich an die unbeeinflusste Wellenlänge nicht anschließenden neuen Linie. Obwohl also die Wellenlängen dieser Linien extrapoliert auf das Feld Null nicht mit den Wellenlängen der benachbarten Linien der 1. Nebenserie von He_{II} zusammenfällt, wollen Brunetti und Nyquist sie gleichwohl als Komponenten oder in etwas wenig klarer Ausdrucksweise als „Satelliten“ dieser Linien auffassen. Diese Auffassung ist aber offenbar irrtümlich. Denn als elektrische Komponente einer Linie kann eine Linie natürlich nur dann angesprochen werden, wenn der Abstand von dem Orte der unbeeinflussten Linie für die Feldstärke Null gleich Null wird, d. h. die Linien müssen als Komponenten sich allmählich mit schwächer werdendem Felde der unbeeinflussten Wellenlänge nähern und schließlich mit dieser zusammenfallen. Daß die in Rede stehenden Linien als selbständige Linien zu betrachten sind, folgt ja auch aus der im vorhergehenden beschriebenen Tatsache, daß sie sich als besondere Serie darstellen lassen, deren Wellenlänge sich aus den Wellenlängen der Hauptserie berechnen läßt, aber in keinerlei Zusammenhang mit den Wellenlängen der ersten Nebenserie stehen. Wenn also Nyquist die Verschiebung dieser vermeintlichen Kompo-

1) J. Stark, Ber. Berl. Akad. d. Wiss. 47. p. 932. 1913.

nenten der 1. Nebenserie (tatsächlichen Komponenten der 3. Nebenserie) mit der Feldstärke E gemäß der Gleichung

$$\delta\lambda = a + b E$$

darstellt, so hat die Konstante a lediglich die Bedeutung, den Abstand der unbeeinflussten Linie von der benachbarten Linie der 1. He_{II}-Nebenserie berechnen zu lassen. Statt die Lage der neuen Linien bzw. ihrer Komponenten im elektrischen Felde auf die benachbarten Linien der 1. He_{II}-Nebenserie zu beziehen, hätte Nyquist sie ebensogut auf unmittelbar benachbarte Linien anderer Elemente beziehen können, genau so, wie ich die Verschiebung der von mir untersuchten ultravioletten Heliumlinien in bezug auf die benachbarten Hg-Linien gemessen habe.

Die Meinung Brunettis, daß die nach Lo Surdo benannte Methode der ersten Kathodenschicht zum Unterschied von der Kanalstrahlenmethode allein imstande sei, das Auftreten dieser so eigenartigen „Komponenten“ bzw. „Satelliten“ feststellen zu lassen, ist selbstverständlich irrtümlich. Es ist nicht einzusehen, warum zwischen den in den beiden verschiedenen Methoden angewandten elektrischen Feldern ein prinzipieller Unterschied bestehen sollte, der eine Verschiedenheit des elektrischen Effektes je nach der angewandten Untersuchungsmethode bedingt. Zudem läßt sich tatsächlich nach der von Stark ausgearbeiteten Kanalstrahlenmethode durch Aufnahme einer Linie für zwei oder mehrere verschiedene Feldstärken und Extrapolation der Wellenlänge auf die Feldstärke Null die Lage der Linie oder ihre Wellenlänge im Felde Null ermitteln und so entscheiden, ob eine Komponente bzw. Linie für die Feldstärke Null mit einer elektrisch unbeeinflussten Linie zusammenfällt, oder eine von ihr verschiedene Linie darstellt. Dies haben bereits Koch für die 3. Nebenserie von He_I und ich selbst in meiner vorhergehenden Arbeit für weitere Glieder derselben Serie ausführlich dargelegt.

Schließlich sei noch bemerkt, daß ich für die Aufstellung der obigen Tabelle, nur die Angaben von Nyquist benutzt habe, da Brunetti überhaupt keine quantitativen Angaben mitteilt. Brunettis Beobachtungen über die Zerlegung der

Heliumlinien im elektrischen Felde, die mit einem Stufengitter gemacht sind, sind weniger durchsichtig als die Angaben Nyquists, dessen Beobachtungen mit einem Prismenapparate ausgeführt sind. Brunetti hat offenbar das Vorzeichen der mit dem Stufengitter beobachteten Verschiebungen durchweg falsch angegeben. Denn nur, wenn die von ihr gemachten qualitativen Angaben das entgegengesetzte Vorzeichen besäßen, stimmten sie überein mit den Angaben von Nyquist und älteren Angaben von Stark und Kirschbaum und auch mit meinen eigenen Beobachtungen an den He-II-Hauptserienlinien.

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

(Eingegangen 21. Mai 1918.)
