

## Über die Absorptionsgrenzen in der *L*-Serie.

Von G. Hertz.

Mit zwei Abbildungen. (Eingegangen am 30. Juli 1920.)

Während die Absorptionsgrenzfrequenzen in der *K*-Serie bei fast allen Elementen bekannt und die theoretischen Verhältnisse hier durch die Zuordnung der ganzen *K*-Serie zu der einen vorhandenen Grenze klar sind, liegen für die Absorptionsgrenzfrequenzen in der *L*-Serie bisher nur verhältnismäßig wenige Messungen bei den schwereren Elementen vor. Zuerst hat Wagner<sup>1)</sup> im Gebiete der *L*-Serie von Pt und Au je zwei Absorptionsbandkanten festgestellt und gemessen. Die wegen des Auftretens kurzwelliger Linien jenseits der kurzwelligen Grenze zu erwartende dritte Grenze konnte von de Broglie<sup>2)</sup> bei den Elementen Au, Bi, Th und U aufgefunden und ihre Wellenlänge gemessen werden. Die Zuordnung der Linien der *L*-Serie zu den einzelnen Absorptionsgrenzen ist für die stärkeren, den beiden langwelligen Grenzen zugehörigen Linien theoretisch von Sommerfeld<sup>3)</sup> auf Grund des Auftretens des *L*-Dubletts durchgeführt und neuerdings von Webster<sup>4)</sup> durch Messung des Anregungspotentials für die einzelnen Linien bestätigt worden. Für die übrigen Linien hat Sommerfeld aus dem Auftreten eines zweiten Dubletts, des *A*-Dubletts, geschlossen, daß sie einem weiteren Paar von Absorptionsgrenzen, den *A*-Grenzen, zuzuordnen seien, von denen die erste nahezu mit der kurzwelligen *L*-Grenze zusammenfalle, so daß sie auf den Aufnahmen der Absorptionsspektren nicht hervortrete. Zweck der vorliegenden Arbeit ist, durch Messung der Absorptionsgrenzfrequenzen, insbesondere durch Aufsuchen der kurzwelligen Grenze bei den leichteren Elementen zur Klärung dieser Frage beizutragen.

Versuchsanordnung. Das benutzte Röntgenrohr war ein mit einfachen Mitteln zusammengebautes Glühkathodenrohr. Der bei den vorliegenden Versuchen mit einer dünnen Schicht von reinem Blei überzogenen Kupferplatte der wassergekühlten Antikathode stand der gerade, 0,2 mm dicke und etwa 4 cm lange Wolfram-Glühdraht gegenüber. Durch ein dahinter angebrachtes Eisenblech von geeigneter Form wurden die vom Glühdraht ausgehenden Elektronen auf einen strichförmigen

1) E. Wagner, Ann. d. Phys. **46**, 868, 1915.

2) de Broglie, C. R. **163**, 354, 1916.

3) Zusammenfassende Darstellung: A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1919.

4) D. L. Webster, Proc. Nat. Acad. Sc. **6**, 26, 1920.

Brennfleck konzentriert. Kathode und Antikathode waren mit Hilfe von mit Siegellack gekitteten 5 cm weiten Planschliffen an dem Röntgenrohr befestigt. Um sie jederzeit leicht auswechseln zu können, waren auf die die Schliche tragenden Stützen des Rohres Heizspiralen gewickelt<sup>1)</sup>. Auf diese Weise konnten die Schliche in wenigen Minuten geöffnet und geschlossen werden. Diese Einrichtung ist nicht nur wesentlich billiger als konische Schliche, sondern sie hat auch den Vorteil, daß die Schliche sich auch nach längerem Gebrauch ohne Mühe und ohne Erschütterung des Apparates öffnen lassen, und daß man leicht beliebig viele auswechselbare Schliche herstellen kann. Das Fenster des Röntgenrohres wurde mit Zelluloid von einem photographischen Film verschlossen. Zur Aufrechterhaltung des Vakuums diente ein von der Firma Hanff und Buest geliefertes Aggregat aus einer Diffusionspumpe und einer Volmerschen Quecksilberdampfstrahlpumpe, welches durch ein 2,5 cm weites Rohr mit dem Röntgenrohr verbunden war. Zum Ausfrieren des Quecksilbers diente ein von der gleichen Firma nach Angaben von Herrn Volmer hergestelltes kugelförmiges Dewargefäß, dessen Zwischenraum zwischen den beiden Wandungen einen Teil der Pumpenleitung bildete. Als Stromquelle diente die Hochspannungsmaschine des Berliner Physikalischen Instituts. Die Spannung betrug 10 000 Volt, bei einigen Versuchen 10 500 Volt, der Strom 55 bis 60 Milliampere, die Belichtungszeiten 5 bis 6 $\frac{1}{2}$  Stunden. Der Spektrograph war nach dem Prinzip der Seemannschen Schneidmethode<sup>2)</sup> konstruiert. Die Schneide war auf einen Abstand von etwa 0,1 mm von der Oberfläche des benutzten Steinsalzkristalls eingestellt<sup>3)</sup>. Die zu den Aufnahmen benutzten Films (Schleußner-Röntgen-Films) wurden in einen kreisförmigen Rahmen in einem Abstände von 14,9 cm von der Schneide eingespannt.

Untersucht wurden die Elemente von Caesium bis Neodym, von denen das Cer als Nitrat, die übrigen als Chloride benutzt wurden<sup>4)</sup>. Die Salze wurden als Lösungen in Fließpapier aufgesaugt, das in den

---

<sup>1)</sup> Dieses Verfahren hatte sich bei einer Arbeit von H. Rubens und G. Hertz, Berl. Ber. 1912, S. 262, bewährt, wo die zum Schutz der Verschlussplatten eines Absorptionsrohres vor zu großer Abkühlung bei Versuchen mit flüssiger Luft angebrachten Heizspiralen mit Vorteil auch zum gleichmäßigen Erhitzen der Schliche beim Auf- und Abkitten der empfindlichen Verschlussplatten benutzt wurden.

<sup>2)</sup> H. Seemann, Ann. d. Phys. 49, 470, 1916.

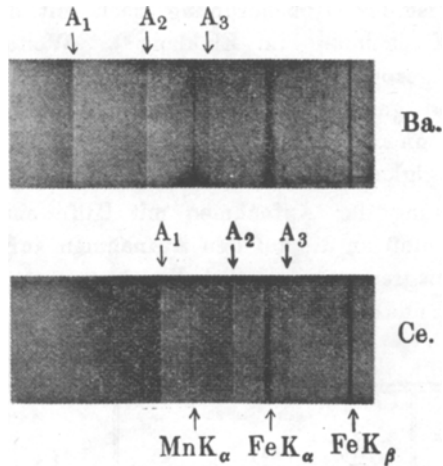
<sup>3)</sup> Für die Überlassung einiger geeigneter Steinsalzkristalle bin ich Herrn Seemann zu großem Danke verpflichtet.

<sup>4)</sup> Oxyde bzw. Nitrate der benutzten seltenen Erden wurden mir von Herrn Volmer und von Herrn Swinne in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt, wofür ich ihnen meinen besten Dank ausspreche.

Strahlengang eingeschaltet war. Da der strichförmige Brennfleck die nötige Länge besaß, brauchte der Spektralapparat während der einzelnen Aufnahme nicht gedreht zu werden. Daß Kristallfehler keine störende Rolle gespielt haben, ergibt sich aus der Schärfe der Linien und der Gleichmäßigkeit des kontinuierlichen Spektrums.

Ergebnisse: Als Beispiel für die erhaltenen Aufnahmen sind in Fig. 1 Aufnahmen mit Cer und Barium in zweifacher Vergrößerung reproduziert. Sie zeigen zunächst mit großer Intensität die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Linien der *K*-Serie des Eisens und die  $K_\alpha$ -Linie des Mangans. Da für die Antikathode sehr reines Blei benutzt wurde, so ist das Auftreten dieser Linien jedenfalls auf ein schwaches Sublimieren des

Fig. 1.



hinter dem Glühdraht angebrachten Eisenblechs zurückzuführen. Die Linien, von denen die  $K_\alpha$ -Linien des Eisens auf den Originalfilmen nicht überexponiert erscheinen, wie auf der Reproduktion, sondern deutlich als Dublett  $\alpha$ ,  $\alpha'$  hervortreten, dienen als Ausgangspunkt für die Wellenlängenmessung, welcher für die Wellenlänge der  $K_\alpha$ -Linie des Eisens der Wert  $1,9324 \cdot 10^{-8}$  cm zugrunde gelegt wurde<sup>1)</sup>. Neben diesen Linien treten überall drei Absorptionsbandkanten auf, von denen die verhältnismäßig schwache kurzwelligste hoffentlich auch in der Reproduktion erkennbar sein wird.

Die stärkeren Absorptionsgrenzen erscheinen dem Auge nicht als ein der Spaltbreite entsprechend verbreiteter Sprung in der Schwärzung, wie es bei den Absorptionsbandkanten der schwereren Elemente

<sup>1)</sup> M. Siegbahn, Ann. d. Phys. 59, 56, 1919.

der Fall ist, sondern als eine helle Absorptionslinie, neben welcher auf den genügend lange belichteten Films (z. B. auf der in Fig. 1 reproduzierten Cer-Aufnahme) noch eine zweite schwache Absorptionslinie erkennbar ist, an welche sich die kontinuierliche Absorption anschließt. Da die starke Linie auf den Originalfilms auch bei 30 facher Vergrößerung noch als deutlicher heller Streifen auftritt, so kann ihr Erscheinen nicht auf eine optische Täuschung zurückzuführen sein. Da sie ferner bei ganz verschiedenen Schwärzungsgraden des Films auftritt und daher kaum durch das Schwärzungsgesetz der photographischen Schicht erklärt werden kann<sup>1)</sup>, so haben wir hier ohne Zweifel die Feinstruktur der Absorptionsbandkante in der *L*-Serie vor uns, die der von Stenström<sup>2)</sup> in der *M*-Serie entdeckten Feinstruktur entspricht. Die Breite der Feinstruktur ist der Größenordnung nach mit der Kosselschen Theorie dieser Erscheinung im Einklang<sup>3)</sup>. Weitere Folgerungen sollen hier nicht gezogen werden. Versuche, durch Aufnahmen mit engerem Spalt ein genaueres Bild der Feinstruktur des Absorptionsspektrums zu gewinnen, sind im Gange. Insbesondere soll auch die zu erwartende Abhängigkeit von der chemischen Bindung untersucht werden.

Die Ausmessung der Aufnahmen mit Hilfe eines Komparators ergab durch Anschluß an die auf den Aufnahmen auftretenden Linien für die Absorptionsgrenzen die in Tabelle 1 zusammengestellten Werte der Wellenlängen und Frequenzen.

Tabelle 1.

Element	Wellenlängen			$\nu/N$ -Werte		
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
55 Cs. . . . .	2,459	2,299	2,157	370,6	396,4	422,5
56 Ba. . . . .	2,348	2,194	2,063	388,1	415,3	441,7
57 La. . . . .	2,250	2,098	1,971	405,0	434,4	462,3
58 Ce. . . . .	2,158	2,007	1,887	422,3	454,0	482,9
59 Pr. . . . .	2,071	1,922	1,808	440,0	474,1	504,0
60 Nd. . . . .	1,992	1,842	1,736	457,5	494,7	524,9

Diese Zahlen geben zunächst die Möglichkeit der Prüfung der Kosselschen Beziehung<sup>4)</sup>  $\nu_{K\alpha} = \nu_{K_A} - \nu_{L_{A_1}}$ . In Tabelle 2 sind die

<sup>1)</sup> Auch Entwicklungsfehler (Bromkali-Effekte) dürften bei der durchweg nur geringen Schwärzung der Originalfilme nicht in Frage kommen. Sie würden auch das Auftreten der doppelten Absorptionslinien nicht erklären können.

<sup>2)</sup> W. Stenström, Experimentelle Untersuchungen der Röntgenspektra. Vgl. auch W. Kossel, ZS. f. Phys. 1, 119, 1920.

<sup>3)</sup> W. Kossel, Verh. d. D. Phys. Ges. 18, 339, 1916.

<sup>4)</sup> Derselbe, ebenda 16, 956, 1914.

Tabelle 2.

Element	$K_A - K_\alpha$	$L_{A_1}$	$K_A - K_{\alpha'}$	$L_{A_2}$
55 Cs . . . . .	363	371	385	396
56 Ba . . . . .	408	388	437	415
57 La . . . . .	410	405	436	434
58 Ce . . . . .	407	422	443	454
59 Pr . . . . .	428	440	467	474
60 Nd . . . . .	453	458	494	495

Werte von  $\left(\frac{\nu}{N}\right)_{K_A} - \left(\frac{\nu}{N}\right)_{K_\alpha}$  denen von  $\left(\frac{\nu}{N}\right)_{L_{A_1}}$  und die Werte von  $\left(\frac{\nu}{N}\right)_{K_A} - \left(\frac{\nu}{N}\right)_{K_{\alpha'}}$  denen von  $\left(\frac{\nu}{N}\right)_{L_{A_2}}$  gegenübergestellt. Für die Werte der Absorptionsgrenzfrequenzen in der *K*-Serie sind die von Siegbahn und Jönsson<sup>1)</sup> gemessenen eingesetzt, für  $K_\alpha$  und  $K_{\alpha'}$  die Werte von Siegbahn und Stenström<sup>2)</sup>. Man erkennt, daß im allgemeinen Übereinstimmung herrscht. Die unregelmäßigen Abweichungen dürften auf Ungenauigkeit der älteren Wellenlängenmessungen zurückzuführen sein.

Tabelle 3 gibt eine Zusammenstellung der Frequenzdifferenzen für die beiden langwelligeren Grenzen ( $A_2 - A_1$ ) mit den Frequenzdiffe-

Tabelle 3.

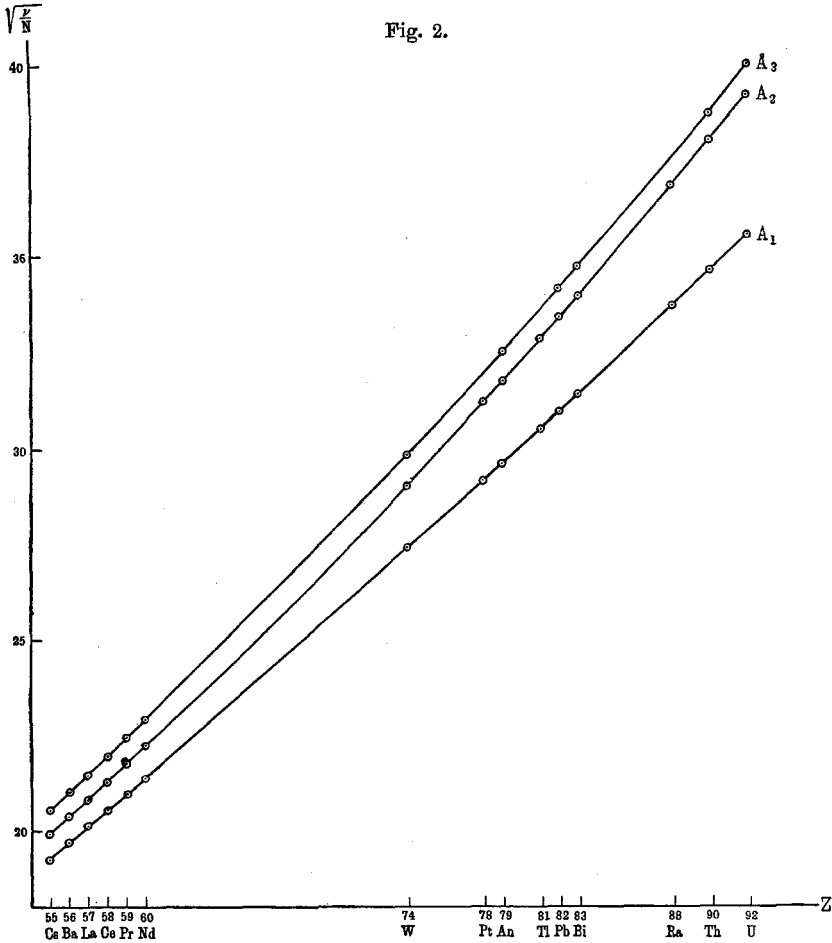
Element	$A_2 - A_1$	$\beta - \alpha'$
55 Cs . . . . .	37,2	37,5
56 Ba . . . . .	34,1	34,8
57 La . . . . .	31,7	32,1
58 Ce . . . . .	29,4	29,5
59 Pr . . . . .	27,2	27,6
60 Nd . . . . .	25,8	25,2

renzen des Sommerfeldschen *L*-Dubletts ( $\beta - \alpha'$ ) und zeigt, daß die Übereinstimmung innerhalb der Meßgenauigkeit vollkommen ist. Dagegen ist die Frequenzdifferenz  $A_3 - A_2$  etwa fünfmal so groß wie die des Sommerfeldschen *A*-Dubletts. Wenn man daher die Grenze  $A_3$  als die kurzwelligere Grenze des Dubletts der *A*-Grenzen ansehen will, so könnte die langwelligere *A*-Grenze hier jedenfalls nicht mehr mit der kurzwelligeren *L*-Grenze zusammenfallen, sondern sie müßte näher an  $A_3$  als an  $A_2$  liegen. Eine solche vierte Grenze findet sich aber auf keiner Aufnahme auch nur angedeutet.

<sup>1)</sup> M. Siegbahn und E. Jönsson, Phys. ZS. 20, 251, 1919.

<sup>2)</sup> Den Tabellen des oben zitierten Sommerfeldschen Buches entnommen.

Auffallend ist, daß die drei Absorptionsgrenzen bei den hier untersuchten Elementen nahezu äquidistant liegen, während ihre Anordnung bei den früher untersuchten schwereren Elementen der Sommerfeldschen Erwartung des nebeneinander liegenden breiten  $L$ - und schmalen



$A$ -Doublets entsprach. Fig. 2, in welcher die gesamten bisher bekannten

$\sqrt{\frac{\nu}{N}}$ -Werte für die drei Absorptionsgrenzen der  $L$ -Serie als Funktion der Ordnungszahl aufgetragen sind, zeigt jedoch, daß die neuen Werte sich ausgezeichnet an die älteren anschließen, so daß sich nunmehr ein gutes Bild des Verlaufes der drei Absorptionsgrenzen in der Reihe der Elemente ergibt. Während die Kurven für die Grenzen  $A_1$  und  $A_2$

entsprechend ihrem Dublettcharakter mit abnehmender Ordnungszahl konvergieren, verläuft die Kurve  $A_3$  völlig gleichartig in  $A_2$ , jedoch um ein Stück von der Länge 1,3 nach kleineren Ordnungszahlen verschoben. Da entsprechend der Moseleyschen Formel  $\sqrt{\nu} = \alpha(Z - Z_0)$  der Schnittpunkt der Kurve mit der *Z*-Achse ein Maß für die Abschirmung der Kernladung durch die inneren Elektronenringe ergibt, so ist daraus zu schließen, daß für die der Grenze  $A_3$  zugehörige Elektronenbahn eine größere wirksame Kernladung anzunehmen ist als für die beiden *L*-Bahnen, daß sie also ganz innerhalb der *L*-Bahnen verläuft. Genaueren Aufschluß wird man hierüber erst durch die mittels Vakuum-Spektrographen auszuführende Messung der Absorptionsgrenzfrequenzen der *L*-Serie bei leichteren Elementen gewinnen können.

Während sich das Dublett  $A_1, A_2$  als das Sommerfeldsche *L*-Dublett mehrfach in den Linien der *L*-Serie wiederfindet, finden sich unter den bekannten Linien keine, deren Frequenzdifferenz gleich  $A_3 - A_2$  oder  $A_3 - A_1$  ist. Dies deutet auf die Wirksamkeit eines Auswahlprinzipes auch im Gebiet der Röntgenspektren hin, welches verhindert, daß von ein und derselben mehrquantigen Bahn sowohl Sprünge auf die beiden *L*-Bahnen als auch auf die der Grenze  $A_3$  zugehörige Bahn vorkommen.

Berlin, Physikal. Inst. d. Universität, Juli 1920.

---