

## Atommodelle und Serienspektren.

Von Prof. Dr. E. Gehrcke, z. Zt. Zoppot.

Die Erklärung der optischen Serienspektren machte bisher der Theorie die größten Schwierigkeiten. Die üblichen Methoden, auf irgendwelche Differentialgleichungen zurückzugehen, haben hier keine Aussicht auf Erfolg, schon darum nicht, weil die Serienspektren durch *unstetige* Funktionen dargestellt werden. Eher erscheint es möglich, ein *Modell* zu ersinnen, das die optischen Gesetze wiedergibt. Hierzu muß aber eine Theorie der Materie selbst zugrunde gelegt werden.

Nun haben wir seit Jahren eine hochentwickelte Elektronentheorie, die durch verschiedenartige Erscheinungsgebiete gestützt wird. Insbesondere lehrt diese Theorie, daß die (elektromagnetischen) Lichtwellen der Serienlinien von bewegten, negativen Elektronen herühren; diese Annahme wird z. B. durch den *Zeeman-Effekt* aufs beste bestätigt und nahegelegt. Ferner folgt, daß eine Serienlinie von sehr weitgehender Homogenität nur dann zustande kommen kann, wenn auf das schwingende Elektron eine Kraft wirkt, die direkt proportional ist der Entfernung aus der Ruhelage; nur bei Annahme dieses Abstandsgesetzes kommt eine Sinusschwingung des Elektrons und dementsprechend eine homogene Welle, d. h. eine scharfe Spektrallinie zustande. Diese Forderung ist längst bekannt; man nennt die so beschaffene Kraft, die das Elektron in seine Ruhelage proportional der Elongation zurücktreibt, eine *quasielastische* Kraft, und will mit einem solchen Namen die formale Gleichheit der Kraft mit einer elastischen Kraft zum Ausdruck bringen.

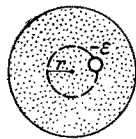


Fig. 1.

Die quasielastische Kraft ist eines der größten Rätsel der Optik. Welches ist ihre nähere physikalische Natur? Ist sie vielleicht eine magnetische oder elektrische Kraft? Ist sie auf eine besondere Elastizität des Atoms zurückzuführen? Oder ist sie die Übereinanderlagerung mehrerer verschiedener physikalischer Kräfte, etwa einer magnetischen und einer elektrischen? Diese und ähnliche Fragen müssen beantwortet werden, bevor wir hoffen können, ein befriedigendes Modell für die Serienspektren zu erhalten.

J. J. Thomson<sup>1)</sup> stellte 1904 folgendes Atommodell auf, das implizite eine Erklärung für die quasielastische Kraft gibt: das Atom ist eine mit gleichförmiger, positiver Volumladung geladene Kugel, in der ein oder mehrere negative Elektronen frei umherschweben können. Die positive Atomladung ist also hier eine Art von Gallerte, welche elektrostatische Anziehungskräfte auf die negativen Elektronen ausübt, aber sonst völlig durchlässig für diese. Beschränken wir uns auf den einfachsten Fall eines solchen Modells: auf ein einziges Elektron im Innern einer positiven Volumladung (Fig. 1). Dann muß das im Abstand  $r$  vom Mittelpunkt der Kugel entfernte Elektron der Ladung  $-e$  nach dem Mittelpunkt hingezogen werden, wie man leicht einsieht: denn die die Kugelschale vom Radius  $r$  umgebende Schale übt *keinerlei* elektro-

statische Kraft aus, da alle von der positiven Ladung dieser Schale ausgehenden Kräfte sich das Gleichgewicht halten, wie aus der alten Potentialtheorie folgt; wohl aber übt die positive Ladung der inneren Kugel vom Radius  $r$  eine Anziehung auf das negative Elektron aus. Diese Anziehung erfolgt so, als käme sie vom Zentrum her und als wäre alle positive Volumladung der Kugel vom Radius  $r$  im Zentrum vereinigt, wie ebenfalls die Potentialtheorie lehrt. Also folgt, da die Anziehungskraft nach dem elektrostatischen Anziehungsgesetz umgekehrt proportional  $r^2$  und ferner direkt proportional der Größe der anziehenden Ladung, d. h. dem Volumen der Kugel vom Radius  $r$ , also  $r^3$ , daß die Anziehungskraft proportional  $\frac{r^3}{r^2}$ , also pro-

portional  $r$ . Die Anziehungskraft erfolgt also wie eine quasielastische Kraft, und die letztere ist damit rein elektrostatisch erklärt. Das Elektron führt also, wenn es durch irgendeinen Anlaß, z. B. durch Zusammenstoß des ganzen Atoms mit einem andern, aus seiner Ruhelage entfernt wurde, Sinusschwingungen um die Ruhelage aus und erzeugt mithin eine einzelne scharfe Spektrallinie. Die Größenordnung der optischen Frequenzen kommt, wie die Rechnung zeigt, heraus, wenn die positive Ladung gleich der eines Elektrons, über einen Raum von der Größenordnung eines Atoms ( $10^{-8}$  cm) verteilt, vorausgesetzt wird.

Das Thomsonsche Atommodell, das man nach obigem Muster auch für *mehr* als ein Elektron im Innern einer positiven Volumladung etwas komplizierter konstruieren kann, in der Absicht, mehr als nur eine Schwingung zu erhalten, führt nun aber zu einer großen Schwierigkeit: diese besteht darin, daß die elektrostatischen Anziehungskräfte im Innern des Atoms zu schwach sind, um gewisse andere Erscheinungen erklären zu können, welche viel beträchtlichere Kräfte erfordern. Insbesondere ist experimentell gefunden worden, daß  $\alpha$ -Strahlen von radioaktiven Substanzen beim Durchgang durch sehr *dünne* Metallfolien um *beträchtliche* Winkel aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt werden; dieses Verhalten zeigt, daß bereits ganz wenige Atome (der Metallfolie) auf die  $\alpha$ -Teilchen mit beträchtlichen Kräften einwirken, jedenfalls mit Kräften, wie sie in dem Thomsonschen Atommodell nicht vorhanden sind. Deshalb nahm Rutherford<sup>2)</sup> (1911) an, daß die positive Volumladung von Thomsons Atommodell durch eine auf einem äußerst kleinen Raumteil konzentrierte positive Ladung zu ersetzen sei. Wir kommen so zum Rutherfordschen Atommodell (Fig. 2): das negative Elektron ist hier in einer Entfernung von der Größenordnung  $10^{-3}$  cm (Atomdurchmesser) von einem positiven „Kern“ in einer Gleichgewichtslage befindlich; der positive Kern, den man auch ein positives Elektron nennen könnte, hat einen Durchmesser von nur etwa  $10^{-16}$  cm, er ist also noch mehr als 1000-mal kleiner als ein negatives Elektron ( $2 \cdot 10^{-13}$  cm). Bei dieser Kleinheit des positiven Kerns ist, gleiche Ladung wie beim Elektron vorausgesetzt, ein genügend starkes elektrisches Kraftfeld in der Nähe desselben vorhanden, um die Streuung der  $\alpha$ -Strahlen zu erklären. Diese Kleinheit des Kerns führt auch wegen des starken elektrostatischen Feldes zu einem bedeutenden Trägheitswiderstand gegen jede Bewegungsänderung; die große träge Masse des Kerns und damit des Atoms gegenüber der Masse des Elektrons erklärt sich also ebenfalls. Das Rutherfordsche Modell zerstört aber wieder

<sup>1)</sup> J. J. Thomson, Phil. Mag. 7, 237, 1904.

<sup>2)</sup> E. Rutherford, Phil. Mag. 21, 669, 1911.

den Vorteil des Thomsonschen Modells, die quasi-elastische Kraft, und man weiß nicht, wie es kommt, daß das Elektron in einer gewissen Ruhelage quasi-elastisch gehalten wird und nicht einfach mit dem positiven Kern sich vereinigt; nimmt man an, daß das Elektron um den Kern *rotiert*, so hat man die Schwierigkeit, daß die Dämpfung dieser Bewegung durch Ausstrahlung die Frequenz ändern müßte.

Ein Atommodell, das in optischer Hinsicht mehr leistete wie die Modelle von *Thomson* und *Rutherford*, ersann der leider frühzeitig verstorbene *Ritz* (1908). Dieses ist ein magnetisches, kein elektrisches Modell. Im Innern des Atoms dachte sich *Ritz*<sup>1)</sup> ein Magnetfeld. Wie dieses erzeugt wird, kann dahingestellt bleiben. Denken wir uns also in einfacher Weise einen Elementarmagneten der Länge  $l$  (Fig. 3). In der Entfernung  $r$  sitze auf der Achse desselben ein Elektron —  $e$ , das dort eine Gleichgewichtslage haben möge, derart, daß es nicht näher als bis  $r$  an den Magneten heran kann, aber senkrecht zur Achse frei beweglich ist. Das Elektron befindet sich dann in einem magnetischen Feld  $H$ , herrührend von unserem Magneten  $l$ ; wenn wir die Polstärke mit  $m$  bezeichnen, so folgt:

$$H = m \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+l)^2} \right).$$

Nun muß ein bewegtes Elektron im homogenen Magnetfeld eine Schraubenbewegung ausführen, ebenso wie ein Kathodenstrahl (bewegte Elektronen) in einem genügend starken Magnetfeld zu einer Schraubenlinie

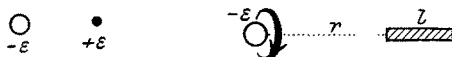


Fig. 2.

Fig. 3.

gebogen wird. Die Umlaufzeit um einen Schraubengang kann berechnet werden; man findet für das Reziproke der Umlaufzeit, für die Schwingungszahl  $\nu$ :

$$\nu = \frac{e}{\mu c} \cdot H; \text{ hier ist } e \text{ die Ladung, } \mu \text{ die Masse des Elektrons, } c \text{ die Lichtgeschwindigkeit.}$$

Demnach folgt also aus den letzten beiden Gleichungen:

$$\nu = \frac{m e}{\mu c} \cdot \left[ \frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+l)^2} \right].$$

Diese Formel bringt nun *Ritz* auf die Form einer Serienformel durch folgende Annahme: Die Magnetfelder der Atome sind nicht durch *einen*, sondern durch  $n$  Elementarmagnete der Länge  $s$  erzeugt. Setze ich also  $l = n \cdot s$  und ferner  $r = a \cdot s$ , so folgt:

$$\nu = \frac{m e}{s^2 \mu c} \cdot \left[ \frac{1}{a^2} - \frac{1}{(a+n)^2} \right] \dots \dots (1)$$

Dies ist eine Serienformel, sobald man  $n$ , die Anzahl der Elementarmagnete, variieren läßt. Die ganze Zahl der Serienformel tritt also hier als ganze Zahl von Elementarmagneten auf; die optischen Schwingungen erhält man durch passende Wahl der Konstanten  $m$ ,  $s$ ,  $a$ , über die frei verfügt werden kann. Damit ist zum ersten Male eine optische *Serienformel* theoretisch abgeleitet.

Ergab das Ritzsche magnetische Modell eine Serienformel der Form nach, so gelang es *Bohr*<sup>2)</sup> (1913), auch die Konstante der Formel für einige einfachste

Fälle von Spektren aus theoretischen Spekulationen abzuleiten. Das Bohrsche Modell geht wieder auf die Vorstellungen von *Rutherford* (s. oben) zurück und benutzt ferner eine Hypothese, die früher schon von *Lenard* für die Energie des Leuchtens an sogenannten Leuchtphosphoren aufgestellt worden ist. *Lenard* stellte sich vor, daß die Lichtaussendung der Leuchtphosphore dadurch zustande kommt, daß ein Elektron von seinem ursprünglichen Sitz auf dem Atom in große Entfernung verschoben worden ist, und daß dann bei der aus irgendeinem Anlaß erfolgenden *Rückkehr* des Elektrons in seine alte Ruhelage elektrostatische potentielle Energie in kinetische Elektronenenergie verwandelt wird, aus der die Lichtschwingungen ihren Energievorrat schöpfen; nach dieser Vorstellung stammt also die Schwingungsenergie der Elektronen aus der elektrostatischen Anziehung des positiven Atomkerns. *Bohr* setzte voraus, daß die Rückkehr des Elektrons in seine Ruhelage *nicht* aus beliebigen Entfernungen vom Atomkern erfolgen könne, sondern nur aus ganz bestimmten, näher zu definierenden Entfernungen. Durch diese Annahme wird dem Umstande Rechnung getragen, daß nur ganz bestimmte, ausgezeichnete Schwingungen, eben die Serienschwingungen, zustande kommen. Weiter nahm *Bohr* an, daß die Energie des Elektrons zum Teil auch in *Rotationsenergie* um den positiven Kern als Mittelpunkt besteht, und daß bei der Annäherung des Elektrons an den Atomkern die Hälfte des aus der Anziehung zur Verfügung stehenden Energiebetrages in Rotationsenergie verwandelt wird. Das Elektron soll nun aber nicht etwa wegen des Umlaufens um den Atomkern auf geschlossener, etwa kreisförmiger Bahn Lichtstrahlung aussenden, es soll im Gegenteil bei der Rotation *überhaupt nicht* strahlen. Die Lichtstrahlung soll *während des Überganges* aus einer (ganz bestimmten) großen Entfernung in eine (ganz bestimmte) kleine Entfernung ausgesandt werden. Wesentlich für das Bohrsche Atommodell ist noch die Plancksche Hypothese der Energiequanten: die Energie einer Schwingung der Frequenz  $\nu$  soll nur existenzfähig sein in ganzzahligen Beträgen  $p \cdot h \nu$ ; hier ist  $p$  eine ganze Zahl,  $h$  eine gewisse Konstante, die mit der Konstanten der Wien-Planckschen Spektralgleichung des schwarzen Körpers übereinstimmt.

Aus all diesen Voraussetzungen war nun *Bohr* imstande, die Energieverhältnisse des Elektrons beim Übergang von irgendeiner großen Entfernung in eine kleinere zu berechnen und mit der Schwingungszahl  $\nu$  des Elektrons in Verbindung zu bringen. Er findet so die Formel:

$$\nu = \frac{2 \mu \pi^2 e^4}{h^3} \cdot \left[ \frac{1}{r_n^2} - \frac{1}{r_m^2} \right], \dots \dots (2)$$

wo  $r_n$  und  $r_m$  ganze Zahlen sind. Diese Formel ist für  $r_n = 2$ ,  $r_m = 3, 4, 5, \dots$  identisch mit der empirischen Serienformel des Wasserstoffs von *Balmer*. Auch der Zahlenfaktor kommt richtig heraus; aus den bekannten Konstanten  $\mu$  und  $e$  des Elektrons und der ebenfalls bekannten Größe  $h$  findet sich der Wert:

$$\frac{2 \mu \pi^2 e^4}{h^3} = 3,29 \cdot 10^{15} \dots \dots (3)$$

Das ist genau der in der empirischen Serienformel von *Balmer* vorkommende Wert der Konstanten; sie führt den Namen *Rydbergsche Konstante*.

Man erhält aus obiger Formel für  $r_n = 3$ ,  $r_m = 4, 5, 6, \dots$  eine andere Serie, die ebenfalls mit einer empirischen Serie übereinstimmt, nämlich der sogenannten ultraroten Wasserstoffserie von *Paschen*.

<sup>1)</sup> W. Ritz, Ann. d. Phys. 25, 660, 1908.

<sup>2)</sup> N. Bohr, Phil. Mag. 26, 1, 1913.

Das Bohrsche Atommodell besitzt, wenn man es vollkommen klarmachen will, Lücken. Insbesondere ist es schwierig, sich vorzustellen, wie das Elektron es fertig bringt, beim Übergang von einem Kreis zum andern zu strahlen, und zwar mit einer Frequenz, die auch von dem Kreise abhängt, zu dem es erst *hinkommt*. Das Elektron scheint also in die Zukunft sehen zu können. Abgesehen von dieser seherhaften Fähigkeit des Elektrons ist noch nicht klargemacht, wie in den Grundlagen des Modells die *Strahlungslosigkeit* beim Rotieren mit den anderen sonst gemachten Annahmen zu vereinigen sei. Das Modell ist augenscheinlich zum Teil nur begrifflich, nicht anschaulich gedacht, und so mag es kommen, daß es Widersprüche enthält.

Die verschiedenen Spektrallinien der Balmerischen Serie rühren also nach Bohr von Elektronen her, die sich in verschiedenen Entfernungen vom Atomkern befunden haben, und zwar sind diese Entfernungen um so größer, je kürzer die Wellenlänge der Linien. Beispielsweise ist für die letzte, im Laboratorium noch beobachtete Wasserstofflinie  $\tau_m = 12$  und die zugehörige Entfernung vom Atomkern  $= 1,6 \cdot 10^{-8}$  cm; für  $\tau = 33$ , d. i. für die letzte, an astronomischen Objekten (Nebelflecken) noch beobachtete Wasserstofflinie ist die zugehörige Entfernung des Elektrons vom Atomkern  $= 1,2 \cdot 10^{-5}$  cm. Man sieht also, daß ein Wasserstoffatom, das die astronomischen Linien liefern soll, einen größeren Raum zur Verfügung haben muß als ein Wasserstoffatom, das nur die längeren, im Laboratorium erzeugbaren Serienlinien erzeugen soll. Dies erklärt sich nach Bohr dadurch, daß das Gas in den Nebelflecken in sehr großer Verdünnung vorhanden ist; der Gasdruck muß hier, entsprechend dem Wert  $\tau = 33$ , kleiner als 0,02 mm sein; dagegen ist der Druck der im Laboratorium gebrauchten Geißlerschen Röhren, entsprechend  $\tau = 12$ , nur etwa  $= 7$  mm. Hieraus würden wir also den Schluß zu ziehen haben, daß bei Konstruktion eines Geißlerschen Rohres mit sehr geringem Wasserstoffdruck auch im Laboratorium die höheren astronomischen Serienlinien herauskommen müßten.

Nach älteren Forschungen soll der Wasserstoff noch eine Serie besitzen, die von *Pickering* zuerst auf dem Stern  $\zeta$ -Puppis gefunden wurde, und deren Serienformel sich nur durch den Faktor 4 von der obigen Balmerischen Formel unterscheidet. Für diese ist kein Platz in obigem Wasserstoffmodell. Man kann sie erhalten, wenn man ein Atom voraussetzt, das statt eines positiven Kerns der *einfachen* Elementarladung  $+e$  einen solchen von *doppelter* Elementarladung voraussetzt, also ein Atom, welches im übrigen ebenso gebaut ist wie das obige, aber ein Gebilde aus drei Elementarladungen ist:  $+2e$  (Kern) und  $-e$  (Elektron). Ein solches Atom ist nach außen hin nicht neutral, vielmehr ein positives Ion, und stellt auf Grund anderer Erwägungen das Modell eines Heliumatoms dar. Bohr schließt also, daß die Serie von  $\zeta$ -Puppis *nicht* durch Wasserstoff, wie man bisher glaubte, sondern durch Helium erzeugt wird, und kann zugunsten dieser Ansicht neuere Versuche von *Fowler* anführen, der diese und andere Linienserien in *Gemischen* von Wasserstoff und Helium im Laboratorium herstellen können, und der ebenfalls die Ansicht annahm, daß das Helium, nicht der Wasserstoff, der Träger dieser Linienserien ist.

Weitere Atommodelle anderer Elemente konstruiert Bohr durch Vermehrung der positiven Kernladungen. So soll z. B. Lithium aus 3 Kernen bestehen. Es

finden sich aber auf diesem Wege nicht die bekannten Spektralserien des Lithiums, sondern neue, unbekannte Serien, so daß man sagen muß, daß das Bohrsche Modell außer für Wasserstoff und Helium bisher keine weiteren optischen Serien ergab. Bei diesen letzteren Elementen gibt es aber eine recht gute Darstellung der Spektren und deutet auch die Zahlenkoeffizienten der empirischen Formeln in bestimmter Weise. Von den sehr kurzwelligen Röntgenstrahlungsspektren, die eine besondere Erklärung verlangen, sehen wir hier ab.

Von Spektren der höheren Elemente habe ich<sup>1)</sup> diejenigen der Alkalien zu erklären gesucht. Mein Atommodell knüpft an dasjenige von *Rutherford* und *Bohr* an, weicht aber von letzterem in wesentlichen Zügen ab. Zunächst vermag ich mit meinem Modell auch das Wasserstoffspektrum quantitativ zu erhalten, und zwar in einfacherer Weise wie Bohr. Hieraus sieht man schon, daß offenbar nicht nur ein einziges, sondern *mehr* als ein Modell die Serienspektren zu erhalten erlaubt, und daß man gut tut, nicht zu sehr an alle Voraussetzungen der Atommodelle zu glauben. Erst der weitere Gang der Forschung kann unter den verschiedenen Möglichkeiten von Atommodellen aussieben und ein (oder mehrere) Modelle in die engere Wahl stellen, die der Wirklichkeit am nächsten kommen dürften.

Ich sehe in meinem Modell von der Rotationsenergie des Elektrons, im Gegensatz zu Bohr, ab und lasse auch die Idee der nur quantenhaften Teilbarkeit der Energie fallen. Statt dessen setze ich voraus, daß die vor anderen ausgezeichnete Ruhelage des Elektrons — hätte es diese nicht, so müßte es sich mit dem positiven Kern gänzlich vereinigen — durch gewisse, in bestimmten Entfernungen vom Atomkern real vorhandene Störungszonen bedingt ist. Das Atom ist also hier nicht einfach eine positive und eine negative Ladung; vielmehr nehme ich außer dem negativen Elektron und der positiven Kernladung ein System von Ringen als vorhanden an, in deren Zentrum der positive Kern steht. Ob diese Ringe materiell sind oder nicht, kann dahingestellt bleiben, jedenfalls bestehen sie *nicht* aus dem Äther, der das ganze Atom umgibt und der der Träger der Lichtschwingungen ist, die das Atom ausstrahlt. Diese Annahme von Ringen aus „Äthervakuum“ setzt uns instand, die grundlegende Beziehung:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h \cdot \nu \quad \dots \dots \dots (4)$$

welche zwischen der Geschwindigkeit  $v$  eines Elektrons und der Frequenz  $\nu$  der vom Elektron erzeugten Schwingungen besteht, physikalisch einigermaßen zu begreifen. Stellen wir uns vor, ein Elektron der Geschwindigkeit  $v$  laufe gegen eine Grenzfläche des Äthers, der Einfachheit halber in normaler Richtung, an. Was wird geschehen? Die elektrischen Kraftlinien des Elektrons, die sich nach *Faraday* und *Maxwell* zu verkürzen streben, werden sich nach der Äthergrenzfläche hinbiegen, und es wird so sein, als wäre am Orte des Spiegelbildes des Elektrons eine gleich große positive Ladung. Die Äthergrenzfläche wirkt mithin *anziehend* auf das Elektron. Wir erhalten dann eine Erklärung für die quasielastische Kraft und für die obige Gleichung (4), sobald wir bei großer Nähe des Elektrons an der Äthergrenzfläche eine geeignete Deformation der Äthergrenzfläche annehmen, wobei auch das vom bewegten Elektron erzeugte, *magnetische* Kraftfeld zu berücksichtigen ist, dessen Kraftlinien

<sup>1)</sup> E. Gehrcke, Physikal. Ztschr. 15, 123, 198, 344, 1914.

parallel der Äthergrenzfläche verlaufen. Jedenfalls — und darauf kommt es hier an — gibt uns die Annahme von Ringen aus Äthervakuum, die einen positiven Kern umgeben, ein Mittel an die Hand, die Existenz ausgezeichneter Ruhelagen eines Elektrons, die quasielastische Kraft und die Gleichung (4) zu erklären. Ich wüßte nicht, welche einfachere Annahme alles dieses vermöchte. Die Annahme dieser Ringe kann übrigens u. a. auch herangezogen werden, um die Erscheinungen der Adhäsion, Kohäsion und Elastizität zu erklären, das sind Erscheinungen, die dann auftreten, wenn viele Atome einander nahe benachbart sind; in diesem Falle müssen die Atome mit ihren Ringsystemen ineinanderfassen, wobei natürlich Widerstände gegen eine Trennung (Adhäsion, Kohäsion) und gegen eine Formänderung (Elastizität) auftreten werden.

Unser Ringsystem, in dem nun ein negatives Elektron unter Wirkung der elektrostatischen Anziehung der positiven Kernladung sich tummeln kann, etwa indem es infolge eines äußeren Ereignisses (Zusammenstoß) einen äußeren Ring verläßt, im elektrischen Felde des Kerns beschleunigt wird, mit der erlangten lebendigen Kraft auf einen inneren Ring trifft und hier gemäß Gleichung (4) seine kinetische Energie in Schwingungsenergie (Licht einer Serienlinie) verausgibt, liefert uns mit Leichtigkeit die Balmerische Formel, wie hier nicht weiter ausgeführt sei<sup>1)</sup>. Das Elektron schwingt in radialer Richtung, senkrecht zur Ringoberfläche. Die Durchmesser der verschiedenen Ringe sind hier nicht mit denjenigen der rotierenden Elektronenbahnen im Bohrschen Modell identisch,

Das zweite Spektrum ist die sogenannte zweite Nebenserie, das dritte die erste Nebenserie; auch diese bestehen aus Linienpaaren. Die gemeinsamen Eigenschaften dieser Alkalispektren sind kurz zusammengefaßt folgende:

1. Sie bestehen aus einer Hauptserie und zwei Nebenserien.
2. Das Ende der Hauptserie liegt bei höheren Schwingungszahlen als das der Nebenserien ( $N_\infty > \nu_\infty$ ).
3. Die Enden der Nebenserien fallen zusammen ( $\nu_\infty^I = \nu_\infty^{II}$ ).
4.  $N_\infty - \nu_\infty = N_2$ , wo  $N_2$  die Schwingungszahl der ersten Linie der Hauptserie (Ordnungszahl = 2). Das ist die sogenannte Rydbergsche Regel.
5. Jede der drei Serien besteht aus Paaren.
6. Die Paare der Hauptserie werden nach dem Ende hin immer enger und fallen dort unbegrenzt nahe zusammen.
7. Die Paare der Nebenserien haben den gleichen konstanten Abstand.
8. Der Abstand der Paare der Nebenserien ist gleich dem Abstand des ersten Paares der Hauptserie.
9. In der Hauptserie ist die kurzwelligere, in den Nebenserien die langwelligere Linie eines Paares die stärkere.
10. Die Hauptserie ist stärker als die Nebenserien, die erste Nebenserie stärker als die zweite.

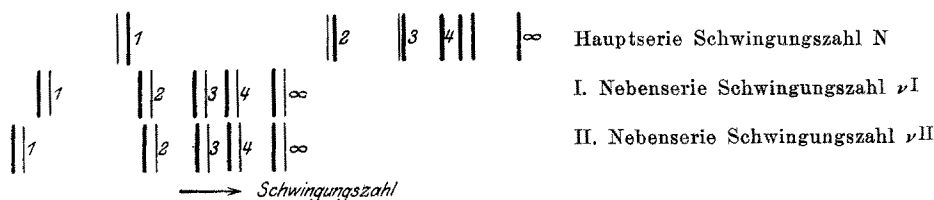


Fig. 4.

vielmehr sind sie alle doppelt so groß als bei Bohr. Es sei bemerkt, daß dieses Ergebnis mit Versuchen von Gehrcke und Janicki<sup>2)</sup> über den Photoeffekt der Metalle im Einklang ist, während diese Versuche weniger gut mit dem Bohrschen Modell zu stimmen scheinen. Mein Modell ist aber auch geeignet, die Spektren der Alkalien einigermaßen getreu wiederzugeben.

Die Serienspektren der Alkalimetalle sind viel komplizierter als die des Wasserstoffs und Heliums und durch ganz charakteristische, merkwürdige Eigentümlichkeiten gekennzeichnet. Fig. 4 gibt eine schematische Darstellung der Spektren eines Alkalimetalls, z. B. des Kaliums, wie es typisch ist für die Klasse der Alkalien und nur mit Veränderung der relativen Linienabstände für die verschiedenen Elemente dieser Klasse sich immer wiederholt. Zur besseren Unterscheidung sind die 3 Spektren, die meist zusammen vorkommen, in Fig. 4 getrennt übereinander gezeichnet. Das oberste stellt die sogenannte Hauptserie dar; diese besteht aus einem System von Linienpaaren (Doppellinien), die im sichtbaren Spektrum beginnen und deren letzte Linie (Ordnungszahl  $\infty$ ) im Ultraviolett liegt.

<sup>1)</sup> Vgl. E. Gehrcke, l. c. S. 124.

<sup>2)</sup> E. Gehrcke und L. Janicki, Ann. d. Phys. 47, 693, 1915.

Alle diese komplizierten Eigenschaften kommen heraus und lassen sich erläutern, wenn man folgendes Modell eines Alkaliatoms zugrunde legt: Die positive Kernladung besteht aus zwei räumlich voneinander getrennten Elementarladungen. Diese sind umgeben von einem Ringsystem, das aus Paaren von Ringen besteht. In einem solchen Gebilde befindet sich ein Elektron. Sonach wirkt dieses Modell nach außen hin nicht neutral, sondern als positives Ion mit einer positiven Valenz. Dies ist im Einklang mit der Chemie der Alkalien und mit den Versuchsergebnissen an Anodenstrahlen<sup>1)</sup>. Die nähere Ausführung und die Ableitung der Formeln für die Spektren würde hier zu weitläufig sein und es muß deshalb auf die zitierte Publikation verwiesen werden.

Das Modell der Alkalien unterscheidet sich also von demjenigen des Wasserstoffs nur dadurch, daß statt einer Kernladung und statt eines Ringsystems zwei Kernladungen und zwei ineinandergeschachtelte Ringsysteme angenommen werden. Die Spektren weiterer Elemente werden sich nach ähnlichen Prinzipien aufbauen lassen, insbesondere dürften die Erdalkalien aus einem Elektron und einem dreifachen Kern mit drei-

<sup>1)</sup> Vgl. E. Gehrcke und O. Reichenheim, Ann. d. Phys. 25, 876, 1908.

fachem Ringsystem zu konstruieren sein; dies würde die doppelte chemische Valenz und das Auftreten von Tripletserien erklären. Die Verhältnisse liegen bei den Erdalkalien indessen wesentlich komplizierter und auch das optische Erfahrungsmaterial ist noch sehr der Ergänzung bedürftig.

Es kann hier nicht auf alle durch die Atommodelle behandelbaren und erklärbaren Erfahrungstatsachen eingegangen werden. Die obige Darstellung ist nur ein kleiner Teil des Erreichten; von der Berechnung der Ionisierungsspannung, dem Verhalten der Spektrallinien im magnetischen und elektrischen Felde u. a. wird hier Abstand genommen.

Wenn sonach in vielen Punkten eine erstaunliche Übereinstimmung der erfahrungsmäßig bekannten Tatsachen mit den Eigenschaften des Atommodells besteht, und wenn diese Übereinstimmung im Laufe der Entwicklung immer besser wurde und wohl auch in Zukunft noch besser werden wird, so ist es doch gut, beständig daran zu denken, daß das Modell nur eine *Denkmöglichkeit*, keineswegs das *wirkliche* Atom selbst ist. Es ist sehr gut möglich, daß ein anderes, auf anderer Grundlage als das obige aufgebaute Modell gefunden wird, das ebensoviel zu erklären imstande ist. Insbesondere ist bei Beschränkung auf bestimmte, enger umgrenzte Erscheinungsgebiete eine Mehrheit von logisch zulässigen Modellen denkbar. So hat Planck<sup>1)</sup> ein Modell konstruiert, das die Balmersehe Wasserstoffserie liefert und auch noch einige andere physikalische Eigenschaften wiedergibt, also dasselbe leistet wie die Modelle von Bohr und von mir; dieses Plancksche Modell ersetzt die Kreisbahnen der Elektronen bei Bohr, oder die Kreisinge in meinem Modell, durch *Ellipsen* und findet dann die passende Gleichung durch den Ansatz, daß der Maximalwert der kinetischen Energie der Radialbewegung des in einer Ellipse laufenden Elektrons gleich  $h\nu$  ist. Im übrigen ist das Modell von Planck dem von Bohr ähnlich, auch in seinen geometrischen Abmessungen: die Werte der großen Halbmesser der (ausgezeichneten) Bahnellipsen bei Planck sind dieselben wie die Radien der (ausgezeichneten) Kreisbahnen bei Bohr. Man sieht aber an diesem Beispiel, daß augenscheinlich *verschiedene* Modelle auf das gleiche Ergebnis führen; erst kommende Untersuchungen können klarstellen, welche von den Zutaten jedes Bildes willkürlich sind, und welche sich mit Notwendigkeit aus den erfahrungsmäßigen Eigenschaften der Spektren ergeben.

## Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin:

### Finnland und Nordrußland auf Grund eigener Anschauungen.

In der Sitzung am 1. Juli hielt Dr. Richard Pohle (St. Petersburg) einen Vortrag mit Lichtbildern über *Finnland und Nordrußland auf Grund eigener Anschauung und Studien*. Finnland bildet den östlichen Teil jenes in der Hauptsache aus Urgestein aufgebauten, mit vielen Seen und reißenden Flüssen bedeckten Ländergebietes, das zwischen Atlantischem Nordmeer und Weißem Meer gelegen, von den skandinavischen Forschern mit dem Namen „Fennoskandia“ bezeichnet wird. Die Südgrenze Finnlands läuft durch den Finnischen Meerbusen, den Ladoga- und Onegasee im Bogen hinauf zum Weißen Meer; die nördliche Grenze

berührt das norwegische Finnmarken und taucht mit der Halbinsel Kola ins nördliche Eismeer. Dieses größere Finnland ist nach Penck ein typisches Zwischenland; einheitlich ist hier der geologische Bau, einheitlich auch die Bevölkerung — in der Hauptmasse Finnen (Tawasten, Karelrier und Lappen); Russen leben in kleinen, weit auseinander liegenden Ortschaften lediglich an den Küsten der kalten Meere; die schwedische Bauernbevölkerung dagegen siedelt an schmalen Küstenstreifen längs des Finnischen und Bottnischen Meerbusens; charakteristisch ist hier, daß die Schweden gerade Gebiete mit fruchtbarem Lehm Boden besetzt haben und weiter ins Innere in geschlossener Menge nicht vorgedrungen sind.

Finnland ist bekannt durch seinen kolossalen Reichtum an Seen, deren Becken vom Inlandeise im kalkarmen Felsboden ausgehöhlt worden sind. Die Flüsse sind kurz; nur im Norden ist der Seenreichtum geringer, während die Flüsse länger werden. In diesem Falle strömen sie streckenweise mit vielen Stromschnellen reißend fort, oder aber sie fließen in schmalen, tiefen Betten fast ohne jegliche Strömung dahin. Die Oberfläche des Landes gleicht einem gebuckelten Schilde, dessen Ränder mehr oder weniger plötzlich zu den Meeren abfallen. Daher weisen die Gewässer ganz allgemein in nächster Nähe der Küsten, insbesondere derjenigen des Weißen Meeres, ein starkes Gefälle auf; sie liefern also gerade am Meere bedeutende Wasserkräfte. Ihrer Ausnutzung im Binnenlande verdankt Tammerfors, das finnische Manchester, seine Blüte. Dieses geographische Moment ist ungemein wichtig für Finnlands Industrie, um so mehr, als das Land keine Kohle besitzt. Indem das Land nach Westen und Süden abfällt, wendet es sein Gesicht nach Mitteleuropa hin, und zwar den vorherrschend von Süden und Südwesten wehenden Winden entgegen. Das ergibt Vorteile insofern, als die nördliche Lage klimatisch durch Verlängerung der Vegetationsperiode ausgleichend wird. Ein weiteres geographisches Moment, die ungemein reiche Gliederung der Küste durch zahlreiche vorgelagerte Inseln, die Schären, die den Schiffen des Landes brauchbare Schutz- und Schlupfwinkel bieten, begünstigt die Schifffahrt und somit den Seehandel des scheinbar so armen Landes ungemein. Auch die Westküste des Weißen Meeres weist diesen Reichtum an Schären auf, ebenso wie die nördlichen Teile des Ladoga- bzw. Onegasees.

Finnland wird oft das Land der 1000 Inseln genannt, aber allein der Päijännesee mit seinen zahlreichen Buchten enthält fast 1000 Inseln. Die Entstehung der finnischen Seen ist nach Sederholm teils auf Bruchspalten, teils auf Ausräumung der Becken durch Gletscher zurückzuführen. Zahlreiche Inseln sind nichts weiter als die über das Wasser emporragenden Teile der für Finnland charakteristischen Äsar, jener aus Kies und Geröllen aufgebauten, als Wirkungen der früheren Gletscher gedeuteten Hügellücken, die in nordwest-südöstlicher Richtung das Land durchziehen. Die östlichen Seen Finnlands, deren natürliche Abflüsse in den Ladogasee münden, werden durch den 55 km langen Saimakanal, der bei Viborg den Bottnischen Meerbusen erreicht, dem westeuropäischen Verkehr erschlossen. Die Zahl der den Kanal passierenden Schiffe beträgt mehr als 40 000 jährlich. Finnland ist ein Agrarland. Insbesondere die Forstwirtschaft steht sehr hoch. 57 % des Landes sind mit Wald bedeckt. Auch in der Moorkultur ist Gewaltiges geleistet worden.

<sup>1)</sup> M. Planck, Sitzungsber. d. Berliner Akademie 1915, S. 909.