

## INHALT.

### Originalmitteilungen.

- H. A. Lorentz, Zur Theorie des Zeemaneffektes, S. 39.  
 I. Rhumbler, Über eigentümliche spirale Sprungfiguren in Hühnerweiß, welches auf einer festen Unterlage eingetrocknet ist, S. 41.  
 F. Giesel, Nachtrag zu meinem Aufsatz: Über Radium und Polonium, S. 43.

### Vorträge etc.

- I. Rhumbler, Physikalische Analyse und künstliche Nachahmung des Chemotropismus amöboider Zellen, S. 43.

### Vorträge und Diskussionen von der 71. Naturforscherversammlung zu München:

- I. J. Klemenčič (Innsbruck),

- Ein Versuch über das Mitschwingen, nach Boltzman, S. 47.  
 2. E. Englisch (Stuttgart), Über den zeitlichen Verlauf der durch das Licht verursachten chemischen Veränderungen der Bromsilbergelatine, S. 47.  
 3. J. Precht, Die chemische Wirkung der Röntgenstrahlen, S. 48.  
**Briefkasten, S. 48.**

## ORIGINALMITTEILUNGEN.

### Zur Theorie des Zeemaneffektes.

Von H. A. Lorentz.

Den theoretischen Betrachtungen über die Änderungen, welche die Spektrallinien unter dem Einflusse eines magnetischen Feldes erleiden, lassen sich zwei verschiedene Formen geben. Man kann entweder sich auf ein einziges leuchtendes Teilchen beschränken, und mittels gewisser Voraussetzungen die Bewegungsgleichungen für seine freien Schwingungen aufstellen, oder aber von vornherein ein ganzes System leuchtender Moleküle, wie es in einer Flamme oder sonst einer Lichtquelle vorliegt, der Untersuchung unterwerfen.

Den zuerst genannten Weg habe ich in verschiedenen Arbeiten eingeschlagen. Nimmt man an, dass jedes Molekül ein einziges bewegliches Ion enthält, und dass dieses bei seiner Bewegung im Magnetfelde einer Kraft unterworfen ist, die in bekannter Weise von der Geschwindigkeit und der magnetischen Kraft abhängt, so gelangt man in einfacher Weise zu den Triplets, die Zeeman entdeckt hat und die in der Mehrzahl der untersuchten Fälle existieren.

Es war natürlich erwünscht, die Theorie, so weit das ging, von der genannten speciellen Voraussetzung über den Bau eines leuchtenden Teilchens unabhängig zu machen. Zunächst lässt sich völlig allgemein aus Betrachtungen über die Symmetrieverhältnisse ableiten<sup>1)</sup>, dass das in der Richtung der Kraftlinien ausgestrahlte Licht von irgend einer bestimmten Wellenlänge nur entweder unpolarisiert, oder vollständig resp. zum Teil, rechts oder links circular polarisiert sein kann. Dergleichen, dass man es bei der Beobachtung senkrecht zu den Kraftlinien,

wenn überhaupt mit polarisiertem Licht, nur mit einer geradlinigen Polarisation, vollständig oder partiell, zu thun haben kann, und dass dabei die Polarisationsebene parallel oder senkrecht zu den Kraftlinien liegen muss.

Indem ich mir ein leuchtendes Teilchen als ein System vorstellte, das unendlich kleine Schwingungen um eine Lage stabiler Gleichgewichts ausführen kann, untersuchte ich weiter<sup>2)</sup>, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit sich ein reines Triplet ergebe. Diese Bedingungen bestehen darin, dass es unter den fundamentalen Schwingungsformen des Systems drei geben muss, für welche, ausserhalb des magnetischen Feldes, die Schwingungszeit dieselbe ist, dass also, wie man sagen kann, drei äquivalente Freiheitsgrade existieren, und dass ausserdem das System in gewissem Sinne isotrop sein muss. Es darf nämlich der Einfluss des magnetischen Feldes auf die Perioden nicht von der Orientierung des Systems im Felde abhängen.

Indessen zeigten die weiteren Beobachtungen, dass das Triplet nur eine besonders einfache Form des Phänomens ist. Cornu entdeckte bei einer der D-Linien das bekannte Quadruplet, und andere Forscher fanden noch kompliziertere Zerlegungen der Spektrallinien.

Diese neuen Erscheinungen bereiteten der Theorie erhebliche Schwierigkeiten, die bis jetzt noch keineswegs überwunden worden sind. Zwar muss, wie Hr. Pannekoek zuerst bemerkte<sup>3)</sup>, bei leuchtenden Teilchen mit mehr als drei äquivalenten Freiheitsgraden eine Zerlegung der Spektrallinien in ebenso viele Komponenten stattfinden, und werden diese Komponenten auch ebenso scharf wie die ursprüngliche Linie

1) Lorentz, Wied. Ann. Bd. 63, S. 278.

2) Lorentz, Proceedings Academy of Amsterdam, Vol. I, S. 96.

1) Lorentz, Proceedings Academy of Amsterdam, Vol. I, S. 90.

sein, wenn der obengenannten Bedingung der Isotropie genügt wird, aber damit ist die Frage noch nicht erledigt. In Verfolgung dieses Gedankens habe ich die Schwingungen kugelförmiger, elektrisch geladener Systeme<sup>1)</sup>, speciell die Schwingungen höherer Ordnung, näher untersucht. Hier treten nun wirklich Änderungen der Schwingungszeiten auf, wie sie den komplizierteren Formen des Zeemaneffektes entsprechen, allein ich stieß auf eine neue Schwierigkeit. Wenn eine Kugelschale, über welche eine elektrische Ladung gleichmäßig verteilt ist, eine der höheren Schwingungen ausführt, so teilt sie sich durch Knotenlinien in Felder mit verschiedener Bewegungsrichtung, und aus diesem Grunde ist sie nicht fähig, eine beobachtbare Lichtmenge auszustrahlen. Ich war daher genötigt, zu einer neuen Hypothese zu greifen. Ich erinnerte daran, dass wie V. A. Julius es schon vor vielen Jahren ausgesprochen hatte<sup>2)</sup>, die Gesetzmässigkeiten in dem Baue vieler Spectra auf die Existenz von Kombinations-schwingungen (Summations- und Differenz-schwingungen) hinzuweisen scheinen, und zeigte, dass man durch geeignete Kombination der Schwingungen verschiedener Ordnung zu neuen Schwingungen gelangt, die wirklich zu einer Lichtausstrahlung Anlass geben können und bei welchen zu gleicher Zeit eine Zerlegung in mehr als drei Komponenten stattfinden muss.

Freilich wurde die Theorie in dieser Weise sehr verwickelt und konnte sie um so weniger befriedigen, als es nicht gelang, die von derselben angezeigten multiplen Linien mit den in irgend einem Falle beobachteten, etwa mit dem Cornuschen Quadruplet, vollkommen zu identifizieren.

Die zweite der obengenannten Betrachtungsweisen hat zuerst Voigt<sup>3)</sup> gewählt. Dieser Physiker hat indessen nicht direkt die Emission des Lichtes, sondern die Absorption desselben untersucht. Er hat nämlich in die für einen absorbierenden Körper geltenden Bewegungsgleichungen gewisse Zusatzglieder aufgenommen, welche den Einfluss einer äusseren magnetischen Kraft darstellen sollen, und deren Gestalt der auch von mir angenommenen Wirkung dieser Kraft auf bewegliche Ionen entspricht. Was Voigt nun aus seinen Gleichungen ableitet, das ist der Zeemaneffekt bei den Absorptionslinien, oder, wie er sagt, der inverse Zeemaneffekt. Dieser ist in einigen Fällen auch wirklich beobachtet worden, und auf Grund des Parallelismus zwischen Emission und Absorption wird man immer aus den Beobachtungen über

den direkten Effekt auf die Existenz des inversen Effektes, und umgekehrt, schliessen dürfen.

Jede der beiden im obigen besprochenen Erklärungsweisen hat, wie mir scheint, ihre Vor- und Nachteile.

Was die zweite betrifft, so erinnere ich an den durch dieselbe angezeigten Zusammenhang zwischen dem Zeemanschen und dem Faradayschen Phänomen und an die weiteren schönen, und durch die Beobachtung bestätigten Folgerungen, die Voigt aus seinen Gleichungen gezogen hat. Überhaupt gestattet nur die zweite Methode die Behandlung von Fragen, in denen es auf die Breite der Spektrallinien ankommt.

Ein schöner Fortschritt wäre es, wie mir scheint, wenn eine ähnliche Theorie wie für die Absorption nun auch direkt für die Emission entwickelt werden könnte.

Werden bei zunehmender Verdünnung eines Gases die Spektrallinien sehr fein, so stehen die Ergebnisse der Voigtschen Theorie in voller Übereinstimmung mit meinen Betrachtungen über die Schwingungen einzelner Moleküle. Poincaré hat dieses bestritten<sup>1)</sup> und die Meinung geäußert, es könne aus ähnlichen Formeln wie die von Voigt zwar das in der Richtung der Kraftlinien beobachtete Doublet, nicht aber das Triplet abgeleitet werden. Diese Behauptung scheint mir, wie ich an einer anderen Stelle auseinandergesetzt habe<sup>2)</sup>, unstatthaft zu sein. Die Vernachlässigung eines gewissen Gliedes in einer der Gleichungen<sup>3)</sup> von Poincaré ist nicht mehr erlaubt, sobald die Spektrallinie fein genug ist, um in ein deutliches Doublet verwandelt zu werden; behält man aber das Glied bei, so ergibt sich für die Ausstrahlung senkrecht zu den Kraftlinien ein ebenso deutliches Triplet.

Es dürfte übrigens wohl kaum zweifelhaft sein, dass die von einem Gase ausgehende Emission schliesslich bei fortgesetzter Verdünnung unabhängig von der Wechselwirkung der leuchtenden Teilchen werden muss; dann müssen aber auch die Resultate der beiden erwähnten Auffassungsweisen auf dasselbe hinauskommen. Annahmen, die bei der einen Betrachtungsweise gemacht werden, müssen sich dann auch in die andere übertragen lassen. Auf diesem beschränkten Gebiete der Emission sehr verdünnter Gase möchte ich nun die direkte Betrachtung der einzelnen Moleküle der anderen Theorie vorziehen, weil sie einfacher und übersichtlicher ist, und uns die Bedeutung der eingeführten Annahmen klarer vor Augen treten lässt.

1) *Ibid.* Vol. I. S. 340.

2) V. A. Julius, *Die lineare spectra der elementen.* Verh. d. Akad. v. Wei. te Amsterdam, Bd. 46.

3) Voigt, *Göttinger Nachrichten*, 1898, Heft 4. S. 329; *Wied. Ann.*, Bd. 67, S. 345.

1) Poincaré, *Éclairage Électrique*, Bd. 19, S. 5.

2) Lorentz, *Proceedings Academy of Amsterdam*, II. S. 52.

3) Nämlich des Gliedes  $\epsilon_k a \frac{dZ_k}{dt}$  in der Gleichung (6), S. 8.

Es sei mir gestattet, dieses noch an einem Beispiele zu erläutern. Voigt hat vor kurzer Zeit<sup>1)</sup> einen sehr beachtenswerten Erklärungsversuch für die komplizierteren Formen des Zeemaneffektes, zunächst für das Cornusche Quadruplet, veröffentlicht. In demselben benutzt er wieder, ebenso wie früher, die Gleichungen für absorbierende Körper, fügt aber denselben einige neue Glieder hinzu. Man kann nun in meiner Theorie in ähnlicher Weise verfahren, und zwar wie folgt.

Es sei in dem betrachteten Molekül,  $\zeta_1$  die Verschiebung des beweglichen Ions in der Richtung der  $z$ -Achse, und es möge diese Verschiebung, so lange noch kein magnetisches Feld existiert, durch die Differentialgleichung

$$(1) \quad \zeta_1 + b \frac{d^2 \zeta_1}{dt^2} = 0$$

mit konstantem positivem  $b$ , bestimmt werden.

Um nun zu erklären, wie die mittlere Komponente eines Zeemanschen Triplets in zwei Linien zerfallen kann, sodass ein Quadruplet entsteht, nehmen wir an, es könne in dem Molekül noch eine zweite Störung des Gleichgewichtes stattfinden, die sich ebenfalls durch einen gewissen Vektor  $\zeta_2$ , in der Richtung der  $z$ -Achse darstellen lässt. Dieser Vektor genüge, wenn keine magnetische Kraft existiert, der Gleichung

$$(2) \quad \zeta_2 + b \frac{d^2 \zeta_2}{dt^2} = 0.$$

Den Koeffizienten in dieser Gleichung setzen wir jenem in (1) gleich, damit die periodischen Änderungen von  $\zeta_1$  und  $\zeta_2$  mit gleicher Frequenz geschehen mögen, und denselben also nur eine einzige Spektrallinie entspreche. Es möge nun ein magnetisches Feld in der Richtung der  $z$ -Achse erregt werden, und es möge dadurch zwischen  $\zeta_1$  und  $\zeta_2$  eine gewisse Verbindung entstehen, die sich in der Weise ausdrücken lässt, dass man in (1) das Glied  $a \frac{d\zeta_2}{dt}$ , und in (2) das Glied  $a \frac{d\zeta_1}{dt}$  aufnimmt, beide mit denselben von der magnetischen Kraft herührenden Koeffizienten  $a$ .

Die Gleichungen sind dann

$$\zeta_1 + a \zeta_2 + b \frac{d^2 \zeta_1}{dt^2} = 0$$

$$\zeta_2 + a \zeta_1 + b \frac{d^2 \zeta_2}{dt^2} = 0.$$

Man kann denselben genügen, cinnal indem man  $\zeta_2 = \zeta_1$  setzt, und dann mittels der Annahme  $\zeta_2 = -\zeta_1$ . Die Schwingungsdauer wird in diesen Fällen

$$2\pi \sqrt{\frac{b}{1+a}} \quad \text{und} \quad 2\pi \sqrt{\frac{b}{1-a}},$$

oder, wenn  $a$  sehr klein ist,

$$2\pi (1 - \frac{1}{2}a) \sqrt{b} + \text{und} \quad 2\pi (1 + \frac{1}{2}a) \sqrt{b}.$$

Dies wären die den mittleren Komponenten des Cornuschen Quadruplets entsprechenden Perioden.

Auf Versuche, die Erklärung auf gewisse Annahmen über den Bau der leuchtenden Teilchen zurückzuführen, werde ich nicht eingehen. Jedenfalls liessen sich derartige Versuche leichter an die obigen Formeln als an die Gleichungen der Voigtschen Theorie anknüpfen.

Leiden, August 1899.

(Eingegangen 4. Septbr. 1899.)

### Über eigentümliche spirale Sprungfiguren in Hühnereweiss, welches auf einer festen Unterlage eingetrocknet ist.

Von L. Rhumbler in Göttingen.

Lässt man eine 1—4 mm hohe Schicht von Hühnereweiss auf Glas, Porzellan oder sonst einer festen Unterlage bei nicht zu feuchtem Wetter eintrocknen, so zerspringt nach ca. 20—30 Stunden das Eiweiss zunächst in kleine polygonale Schollen von etwa 0,5—4 mm Durchmesser. Die Kiskanten der Schollen haben dabei das Bestreben, sich mit ihren zusammentreffenden Enden senkrecht zu einander zu stellen (Fig. 1 u. 2). Ähnliche Risse lassen sich auch bei anderen eingetrockneten Kolloiden, z. B. eingetrocknetem Leim, Gummi arabicum, Kanadabalsam und dergl. nachweisen. Was aber die Eiweisschollen besonders auszeichnet, ist die Eigentümlichkeit, dass in jeder derselben meist an irgend beliebiger excentrischer Stelle, seltener im Centrum, eine Risslinie auftritt, die oftmals eine geradezu unglaublich exakt ausgeführte, bald rechts, bald links gewundene Spirale von 3—6 Umgängen und etwa 0,3—3 mm Umfang darstellt. In der Regel handelt es sich dabei um Archimedische Spiralen, doch kommen auch allerlei Abweichungen und Komplikationen vor, welche in Fig. 1 zur Abbildung gekommen sind und auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Das abgebildete Schollen-Ensemble ist ausnahmsweise unregelmässig kombiniert, es reicht an die Schönheit regelmässiger Sprungstücke nicht entfernt heran, hat aber den Vorteil, verschiedene Varietäten der Spiralen vorzuführen. (Fig. 1.)

Frei aufgehängtes Eiweiss lieferte ebenso wenig wie auf Quecksilber aufgelagertes Spiralfiguren beim Eintrocknen; es zersprang bloss in Schollen. Ebenso entstanden bloss Schollen

1) Voigt, Wied. Ann. Bd. 68, S. 352.