

Ein Weg zur experimentellen Prüfung der Richtungsquantelung im Magnetfeld.

Von Otto Stern in Frankfurt a. Main.

Mit zwei Abbildungen. — (Eingegangen am 26. August 1921.)

In der Quantentheorie des Magnetismus und des Zeemaneffektes wird angenommen, daß der Vektor des Impulsmomentes eines Atoms nur ganz bestimmte diskrete Winkel mit der Richtung der magnetischen Feldstärke \mathfrak{H} bilden kann, derart, daß die Komponente des Impulsmomentes in Richtung von \mathfrak{H} ein ganzzahliges Vielfaches von $\hbar/2\pi$ ist¹⁾. Bringen wir also ein Gas aus Atomen, bei denen das gesamte Impulsmoment pro Atom — die vektorielle Summe der Impulsmomente sämtlicher Elektronen des Atoms — den Betrag $\hbar/2\pi$ hat, in ein Magnetfeld, so sind nach dieser Theorie für jedes Atom nur zwei diskrete Lagen möglich, da die Komponente des Impulsmomentes in Richtung von \mathfrak{H} nur die beiden Werte $\pm \hbar/2\pi$ annehmen kann. Denken wir z. B. an einquantige Wasserstoffatome, so müssen die Ebenen der Elektronenbahnen sämtlich senkrecht auf \mathfrak{H} stehen.

Hieran knüpft sich sofort folgender naheliegender Einwand. Wenn wir einen Lichtstrahl senkrecht zu \mathfrak{H} in das Wasserstoffatomgas schicken, so wird der parallel zu \mathfrak{H} schwingende elektrische Lichtvektor, der die Elektronen aus ihrer Bahnebene herauszieht, eine ganz andere Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben als der senkrecht zu \mathfrak{H} schwingende, der die Elektronen in ihrer Bahnebene verschiebt. Das Gas müßte also starke Doppelbrechung zeigen, und zwar müßte der Betrag der Doppelbrechung unabhängig sein von der Stärke des Magnetfeldes. Auch bei komplizierteren einquantigen, ja sogar mehrquantigen Atomen müßte, wie sich leicht übersehen läßt, ein solcher Effekt eintreten, und ebenso ändert die Berücksichtigung der Wechselwirkung der Atome bei nicht allzu dichten Gasen nichts Wesentliches. Ein derartiger Effekt ist aber bisher noch nie beobachtet worden, obwohl er bei den zahlreichen auf diesem Gebiete unternommenen Experimentaluntersuchungen zweifellos hätte gefunden werden müssen.

Nun hat die obige Überlegung allerdings zur Voraussetzung, daß man die Dispersion des Gases auf Grund der klassischen Theorie nach

¹⁾ Literatur s. A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Braunschweig 1921.

der Debye-Sommerfeldschen Methode berechnen kann. Da man aber die Frequenz des einfallenden Lichtes weit entfernt von den Eigenfrequenzen der dispergierenden Atome wählen kann und es sich nur um die Größenordnung des Effektes handelt, so scheint diese Voraussetzung unbedenklich. Sicherheit hierüber kann aber erst eine rationelle Quantentheorie der Dispersion geben.

Eine weitere Schwierigkeit für die Quantenauffassung besteht, wie schon von verschiedenen Seiten bemerkt wurde, darin, daß man sich gar nicht vorstellen kann, wie die Atome des Gases, deren Impulsmomente ohne Magnetfeld alle möglichen Richtungen haben, es fertig bringen, wenn sie in ein Magnetfeld gebracht werden, sich in die vorgeschriebenen Richtungen einzustellen. Nach der klassischen Theorie ist auch etwas ganz anderes zu erwarten. Die Wirkung des Magnetfeldes besteht nach Larmor nur darin, daß alle Atome eine zusätzliche gleichförmige Rotation um die Richtung der magnetischen Feldstärke als Achse ausführen, so daß der Winkel, den die Richtung des Impulsmomentes mit \mathfrak{H} bildet, für die verschiedenen Atome weiterhin alle möglichen Werte hat. Die Theorie des normalen Zeemaneffektes ergibt sich auch bei dieser Auffassung aus der Bedingung, daß sich die Komponente des Impulsmomentes in Richtung von \mathfrak{H} nur um den Betrag $\frac{h}{2\pi}$ oder Null ändern darf.

Ob nun die quantentheoretische oder die klassische Auffassung zutrifft, läßt sich durch ein prinzipiell ganz einfaches Experiment entscheiden. Man braucht dazu nur die Ablenkung zu untersuchen, die ein Strahl von Atomen in einem geeigneten inhomogenen Magnetfeld erfährt¹⁾. Die Theorie des Versuchs ist kurz folgende:

Wir führen ein rechthändiges kartesisches Koordinatensystem ein (Fig. 1), dessen Nullpunkt sich im Schwerpunkt des betrachteten Atoms befindet und dessen z -Achse die Richtung der dort herrschenden Feldstärke \mathfrak{H} hat. Ist \mathfrak{m} der Vektor des magnetischen Momentes des Atoms, der mit dem Vektor \mathfrak{J} seines Impulsmomentes durch die

¹⁾ Herr W. Gerlach und ich sind seit einiger Zeit mit der Ausführung dieses Versuches beschäftigt. Den Anlaß zur vorliegenden Veröffentlichung gibt die bevorstehende Publikation einer Arbeit der Herren Kallmann und Reiche über die Ablenkung von elektrischen Dipolmolekülen in einem inhomogenen elektrischen Feld. Wie ich aus den mir freundlichst übersandten Korrekturen ersehe, ergänzen sich unsere Überlegungen gerade gegenseitig, da die Herren Kallmann und Reiche ausschließlich den bei elektrischen Dipolmolekülen wohl meist realisierten Fall behandeln, daß der Vektor des elektrischen Momentes senkrecht auf dem des Impulsmomentes steht, während ich mich auf den beim magnetischen Atom realisierten Fall beschränkt habe, daß diese beiden Vektoren die gleiche Richtung haben.