Versuch 27

Der Zeeman-Effekt

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 25.06.2017
Abgabe: 28. Oktober 2017

1 Theorie

In dem Folgenden Versuch sollen die bei Einwirken eines Magnetfeldes auf ein Atom entstehende Aufspaltung und Polarisation von emittierten Spektrallinien untersucht werden. Dies geschieht anhand der blauen und roten Spektrallinien einer Cadmium Lampe.

1.1 Das magnetische Moment

Aufgrund der Quantenmechanik ist bekannt, dass jedes Hüllenelelektron eines Atoms zwei verschiedene Drehimpulse besitzt, den Bahndrehimpuls $\vec{l}$ sowie den Spin $\vec{s}$, welcher auch als Eigendrehimpuls bezeichnet wird. Beiden Impulsen wird eine für das Atom charakterisierende Quantenzahl zugewiesen mit der sich die Beträge errechnen lassen:

$$|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)}\hbar \ (l = 0, 1, 2..., n-1) \tag{1}$$

$$|\vec{s}| = \sqrt{s(s+1)}\hbar \ (s = \frac{1}{2}). \tag{2}$$

Aufgrund der Ladung des Elektrons lässt sich mit dem Bahndrehimpuls ein magnetisches Moment $\vec{\mu_\mathrm{l}}$ verknüpfen. Mithilfe des Stern-Gerlach-Experimentes wurde zudem nachgewiesen, dass aufgrund des Spins ebenfalls ein magnetisches Moment $\vec{\mu_\mathrm{s}}$ definiert werden kann. Beide Momente sind neben dem Betrag der Impulse auch Abhängig von $\hbar$ sowie dem Bohrschen Magneton μ_b abhängig.

$$\mu_\mathrm{B} := -\frac{1}{2}e_0\frac{\hbar}{m_0} \tag{3}$$

$$\vec{\mu_\mathrm{l}} = -\mu_\mathrm{B}\frac{\vec{l}}{\hbar} = -\mu_\mathrm{B}\sqrt{l(l+1)}\vec{l_\mathrm{e}} \tag{4}$$

$$\vec{\mu_\mathrm{s}} = -g_\mathrm{s}\mu_\mathrm{B}\frac{\vec{s}}{\hbar} = -g_\mathrm{s}\mu_\mathrm{B}\sqrt{s(s+1)}\vec{s_\mathrm{e}} \tag{5}$$

Beide Momente besitzen zudem den Landé-Faktor g, welcher beim Bahndrehipmuls 1 und beim Spin 2 ist. Aufgrund dessen ist bei s=l $\vec{\mu_\mathrm{s}}$ doppelt so groß wie $\vec{\mu_\mathrm{l}}$, was auch als magnetomechanische Anomalie bezeichnet wird.

1.2 Wechselwirkungen im Atom

In einem Mehrelektronenatom treten die vorher eingeführten verschiedenen Größen aufgrund mehrerer Elektronen in Wechselwirkung zueinander, weswegen im folgenden die zwei in der Natur am häufigsten realisierten Grenzfälle betrachtet werden. Charakterisiert werden diese dabei mittel der Kernladungszahl Z.

Bei Atomen mit einer relativ geringen Kernladungszahl ist die Wechselwirkung der einzelnen $\vec{l}_{\mathrm{i}}$ untereinander so groß, dass sich ein Gesamtbahndrehimpuls $\vec{L}$ definieren lässt:

$$\vec{L} = \sum \vec{l}_{\mathrm{i}} \; mit \; |\vec{L}| = \sqrt{L(L+1)}\hbar. \tag{6}$$

Da bei abgeschlossenen Schalen der Bahndrehimpuls stets Null ist, müssen hier nur Elektronen der äußeren Schalen betrachtet werden. Für die Werte 0,1,2,3 der Quantenzahl L werden die Bezeichnungen S,P,D und F zugeordnet.

Besitzt das Atom ebenfalls eine nicht allzu hohe Ordnungszahl, dann lässt sich zudem ein Gesamptspin $\vec{S}$ definieren.

$$\vec{S} = \sum \vec{s}_{\mathrm{i}} \; mit \; |\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)}\hbar \tag{7}$$

Somit ändert sich für beide auch das magnetische Moment:

$$|\vec{\mu_{\mathrm{B}}}| = \mu_{\mathrm{L}}\sqrt{L(L+1)} \tag{8}$$

$$|\vec{\mu_{\mathrm{B}}}| = g_{\mathrm{S}}\mu_{\mathrm{S}}\sqrt{S(S+1)}. \tag{9}$$

Aufgrund des in der relativistischen Betrachtung vom Proton erzeugtem Kreiststromes kommt es zu einer Spin-Bahn-Kopplung (**LS-Kopplung**), welche bei nicht allzu hohen Feldstärken auch bestehen bleibt. Somit kann ein neuer Drehimpuls als Summe von Spin- und Bahndrehimpuls definiert werden:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \tag{10}$$

$$|\vec{J}| = \sqrt{J(J+1)}\hbar. \tag{11}$$

Um die verschiedenen Größen zu notieren verwendet man folgende Schreibweise:

$$^{2s+1}\mathrm{L}_{\mathrm{J}}. \tag{12}$$

Bei dem zweiten Grenzfall beobachtet man schwere Atome. Hier dominieren die Wechselwirkungen zwischen den $\vec{l}_\mathrm{i}$ und den $\vec{s}_\mathrm{i}$, sodass sich kein Gesamptspin und Gesamtdrehimpuls mehr definieren lassen. Deshalb bezeichnet man diese Fall auch als **j-j-Kopplung**. Für den Gesamtdrehimpuls ergibt sich daher folgendes:

$$\vec{J} = \sum \vec{j}_\mathrm{i} = \sum \vec{l}_\mathrm{i} + \vec{s}_\mathrm{i}. \tag{13}$$

1.3 Aufspaltung im homogenen Magnetfeld