Nr. 606

Messung der Suszeptibilität paramagnetischer Substanzen

Sara Krieg
sara.krieg@udo.edu

Marek Karzel
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 09.04.2019 Abgabe: 16.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

In diesem Versuch werden die Suszeptibilitäten paramagnetischer Substanzen mit Hilfe einer Brückenschaltung bestimmt. Außerdem wird die Filterkurve des dabei verwendeten Selektivverstärkers untersucht.

1.1 Die magnetische Suszeptibilität

Die magnetische Suszeptibilität χ ist eine dimensionslose Größe, die angibt, wie gut ein Material in einem externen Magnetfeld magnetisierbar ist, d.h. wie sich die Magnetisierung $\vec{M}$ des Materials durch ein externes Magnetfeld ändert. Diese Größe ist im Allgemeinem von vielen Variablen abhängig (z.B. von der magnetischen Feldstärke $\vec{H}$ und der Temperatur T) und tensoriell.

Allerdings nehmen die Suszeptibilitäten verschiedener Materiale unter Raumtemperatur und bei kleinen Magnetfeldern mit Feldstärken $\vec{B}$ kleiner einem Tesla näherungsweise konstante Werte an, welches den linearen Ausdruck

$$\vec{M} = \mu_0 \chi \vec{H} \tag{1}$$

liefert. Mit dessen Hilfe lassen sich Materialien durch ihre magnetische Suszeptibilität unterscheiden.

Stoffe mit einer Suszeptibilität $\chi < 0$ sind diamagnetisch, d.h. das Material magnetisiert in einem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt zur Feldrichtung des Feldes, sodass das innere Magnetfeld des Stoffvolumens schwächer ist. Materialien mit einer Suszeptibilität $\chi > 0$ verhalten sich paramagnetisch, sodass das Magnetfeld im Inneren des Stoffvolumens durch die Magnetisierung stärker ist, als das äußere anregende Magnetfeld.

Bei höheren Temperaturen verschwindet die Ordnung der Magnetisierung $\vec{M}$ nahezu einheitlicher Richtung mit

$$\chi \propto \frac{1}{T} \tag{2}$$

antiproportional zur Umgebungstemperatur.

1.2 Die Berechnung paramagnetischer Suszeptibilitäten

Zur Berechnung der Suszeptibilität muss der Zusammenhang zwischen atomarem Drehimpuls und magnetischem Momenten bekannt sein. Der Drehimpuls $\vec{J}$ eines Atoms setzt sich aus dessen Bahnimpuls der Elektronenhülle $\vec{L}$, dem Gesamtspin $\vec{S}$ und dem für den Paramagnetismus vernachlässigbaren Kerndrehimpuls zusammen. Dabei sind $\vec{L}$ und $\vec{S}$ Vektorsummen der einzelnen Elektronendrehimpulse und -spins und ihnen können durch Erkenntnisse aus der Quantenmechanik folgende magnetische Momente zugeordnet werden:

$$\vec{\mu}_L = -\frac{\mu_\mathrm{B}}{\hbar}\vec{L} \tag{3}$$

$$\vec{\mu}_S = -g_S\frac{\mu_\mathrm{B}}{\hbar}\vec{S} \tag{4}$$

μ_B beschreibt dabei das Bohrsche Magneton und g_S das gyromagnetische Verhältnis.
Mit den Quantenzahlen der Drehimpulse $\vec{J}$ und $\vec{L}$ und des Spins $\vec{S}$ ergeben sich die Beträge

$$|\vec{\mu}_L| = -\mu_\mathrm{B}\sqrt{L\,(L+1)} \tag{5}$$

$$|\vec{\mu}_S| = -g_S \cdot \mu_\mathrm{B}\sqrt{S\,(S+1)} \tag{6}$$

Zudem lässt sich aus Abbildung ... die Beziehung

$$|\vec{\mu}_J| = |\vec{\mu}_S| \cdot \cos(\alpha) + |\vec{\mu}_L| \cdot \cos(\beta) \tag{7}$$

ableiten und mit dem Kosinussatz zu

$$|\vec{\mu}_J| \approx \mu_\mathrm{B} \cdot g_J\sqrt{J\,(J+1)} \tag{8}$$

mit dem Lande-Faktor

$$g_J = \frac{3J(J+1) + [S(S+1) - L(L+1)]}{2J(J+1)} \tag{9}$$

vereinfachen.
Aus der Quantenmechanik geht des weiteren die Richtungsquantelung hervor, d.h. der Winkel zwischen äußerem Magnetfeld und $\vec{\mu}_J$ ist nicht beliebig, sondern es gilt die Beziehung

$$\mu_{J_Z} = -\mu_\mathrm{B} \cdot g_J \cdot m \tag{10}$$

für die Z-Komponente des magnetischen Moments μ_{J_Z} mit der ganzzahligen Orientierungsquantenzahl m, durch die es $2J+1$ Einstellungsmöglichkeiten von $\vec{\mu}_J$ bezüglich des äußeren Magnetfeldes gibt.
Über alle möglichen Einstellungen mit ihren jeweiligen Wahrscheinlichkeiten summiert, ergibt sich für die Suszeptibilität der Zusammenhang

$$\chi = \frac{\mu_0 \cdot \mu_\mathrm{B}^2 \cdot g_J^2 \cdot NJ(J+1)}{3kT} \tag{11}$$

mit der Momentenanzahl pro Volumeneinheit N, der Boltzmannkonstante k und der Temperatur T.

In den Atomhüllen Seltener-Erd-Verbindungen sind sogenannte 4f-Elektronen dafür verantwortlich, dass deren Paramagnetismus besonders gut beobachtbar ist. Für diese Elektronen und den Gesamtdrehimpuls $\vec{J}$ gelten die Hundschen Regeln:

- Die einzelnen Spins $\vec{s}_i$ summieren sich nach dem Pauli-Prinzip zum Gesamtspin $\vec{S} = \sum \vec{s}_i$ auf.
- Die einzelnen Bahndrehimpulse $\vec{l}_i$ summieren sich nach dem Pauli-Prinzip zum Maximaldrehimpuls $\vec{L} = \sum \vec{l}_i$ auf.
- Der Gesamtdrehimpuls beträgt $\vec{J} = \vec{L} - \vec{S}$, wenn die Elektronenschale weniger und $\vec{J} = \vec{L} - \vec{S}$, wenn die Schale mehr als halbvoll besetzt ist.

2 Durchführung

3 Auswertung

4 Diskussion