

V606 - Messung der Suszeptibilität paramagnetischer Substanzen

Jan Herdieckerhoff
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 07.05.2019, Abgabe: 14.05.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Suszeptibilität und Paramagnetismus	3
2.1.1	Magnetisierung	3
2.1.2	Paramagnetismus	3
2.1.3	Drehimpuls	3
2.1.4	Seltene-Erd-Verbindungen	4
2.1.5	Hundsche Regeln	4
2.2	Berechnung der theoretischen Suszeptibilität	4
2.3	Berechnung der Suszeptibilität mittels Brückenspannung	4
2.4	Berechnung der Suszeptibilität mittels Abgleichbedingung	5
3	Durchführung	5
3.1	Unterdrückung von Störspannung mittels Selektivverstärker	5
3.2	Untersuchung der Filterkurve des Selektivverstärkers	6
3.3	Suszeptibilität mittels Spannungsverhältnis bzw. Widerstandsverhältnis	6

1 Ziel

Das Ziel dieses Versuchs ist es die Suszeptibilität paramagnetischer Substanzen mit zwei unterschiedlichen Methoden sowie theoretisch zu bestimmen. Diese Substanzen werden Seltene-Erd-Verbindungen genannt.

2 Theorie

2.1 Suszeptibilität und Paramagnetismus

Im Folgenden werden zunächst für den Versuch relevante Dinge erklärt.

2.1.1 Magnetisierung

Die Magnetisierung \vec{M} ist die Änderung der magnetischen Flussdichte \vec{B} in Materie und entsteht durch atomare magnetische Momente. Sie ist abhängig von der magnetischen Feldstärke \vec{H} :

$$\vec{M} = \mu_0 \chi \vec{H}.$$

Dabei ist χ die Suszeptibilität, welche von der magnetischen Feldstärke H und der Temperatur T abhängt.

2.1.2 Paramagnetismus

Paramagnetismus tritt bei Atomen, die einen Drehimpuls besitzen, auf. Er entsteht durch die Orientierung der magnetischen Momente zu einem äußeren Feld. Die Ausrichtung ist durch thermische Bewegung gestört, weshalb der Paramagnetismus temperaturabhängig ist.

2.1.3 Drehimpuls

Der Gesamtdrehimpuls \vec{J} eines Atoms setzt sich hier nur aus dem Gesamtbahndrehimpuls und dem Gesamtspin zusammen. Die Gesamtdrehimpulsquantenzahl ist gegeben durch

$$|\vec{J}| = |\vec{L}| + |\vec{S}|.$$

Für die Summanden gilt

$$|\vec{L}| = \sqrt{L(L+1)}\hbar$$
$$|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)}\hbar,$$

wobei L die Bahndrehimpulsquantenzahl und S die Spinquantenzahl ist.

2.1.4 Seltene-Erd-Verbindungen

Verbindungen, die Ionen Seltener Erden enthalten, sind stark paramagnetisch. Die Elektronenhülle dieser Atome muss also große Drehimpulse besitzen. Diese werden von inneren Elektronen erzeugt, weil der Effekt auch bei Ionen zu erkennen ist. Der Paramagnetismus Seltener Erden entsteht durch die 4f-Elektronen.

2.1.5 Hundsche Regeln

Die Anordnung der Elektronen in der un abgeschlossenen 4f-Schale und der resultierende Gesamtdrehimpuls \vec{J} werden durch die Hundschen Regeln definiert.

- Die Spins \vec{s}_i summieren sich zum maximalen Gesamtspin, der nach dem Pauli-Prinzip möglich ist.
- Der maximale Drehimpuls ist die Summe der Bahndrehimpulse \vec{l}_i . Er muss mit dem Pauli-Prinzip und der ersten Regel verträglich sein.
- Es gilt $\vec{J} = \vec{L} - \vec{S}$, wenn die Schale weniger als halb voll und $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, wenn die Schale mehr als halb voll ist.

2.2 Berechnung der theoretischen Suszeptibilität

Die Suszeptibilität kann durch

$$\chi = \frac{\mu_0 \mu_B^2 g_J^2 N J(J+1)}{3 k_B T} \quad (1)$$

bestimmt werden. Dabei ist k_B die Boltzmann-Konstante, T die Temperatur und N die Anzahl der Momente pro Volumeneinheit. Außerdem ist

$$\mu_B = \frac{1}{2} \frac{e_0}{m_0} \hbar$$

das Bohrsche Magneton mit der Ladung e_0 und der Masse m_0 des Elektrons und dem Plankschen Wirkungsquantum \hbar . Der sogenannte Landé-Faktor ist als

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

definiert. Hier ist J wieder die Gesamtdrehimpulsquantenzahl, S die Spinquantenzahl und L die Bahndrehimpulsquantenzahl.

2.3 Berechnung der Suszeptibilität mittels Brückenspannung

Die Suszeptibilität kann mittels Induktivitätsmessung einer Spule bestimmt werden. Die Induktivität einer Zylinderspule ist durch

$$L = \mu_0 \frac{n^2 F}{l}$$

gegeben. Dabei ist n die Windungszahl, F die Querschnittsfläche und l die Länge der Spule. Die Induktivität einer Spule, die vollständig mit Materie gefüllt ist, unterscheidet sich um den Faktor μ_r . Der Querschnitt Q einer Probe im Inneren der Spule ist kleiner als der Querschnitt der Spule. Damit ändert sich die Induktivität insgesamt zu

$$L_M = \mu_0 \frac{n^2 F}{l} + \chi \mu_0 \frac{n^2 Q}{l}.$$

Die Änderung der Induktivität ist also

$$\Delta L = \mu_0 \chi Q \frac{n^2}{l}.$$

Die Suszeptibilität kann mittels des Verhältnisses der Brückenspannung U_{Br} und der Speisespannung U_{Sp} bestimmt werden

$$\chi = 4 \frac{F}{Q} \frac{U_{Br}}{U_{Sp}}. \quad (2)$$

Dabei wird der Querschnitt der Probe folgendermaßen definiert

$$Q = \frac{M}{d \rho},$$

wobei M die Masse, d die Länge und ρ die Dichte der Probe ist.

2.4 Berechnung der Suszeptibilität mittels Abgleichbedingung

Nach dem Einführen einer Probe in eine Spule erhöht sich die Brückenspannung. Das Verhältnis aus dem Wert ΔR , um den der Widerstand R_3 korrigiert werden muss, und diesem Widerstand R_3 kann genutzt werden, um die Suszeptibilität zu bestimmen:

$$\chi = 2 \frac{\Delta R}{R_3} \frac{F}{Q}. \quad (3)$$

3 Durchführung

3.1 Unterdrückung von Störspannung mittels Selektivverstärker

Um die Brückenspannung zu messen muss die Störspannung herausgefiltert werden. Dazu wird ein Selektivverstärker verwendet, weil die Brückenspannung eine monofrequente Spannung ist. Die Durchlassfrequenz ν_0 des Selektivverstärkers wird auf die Signalfrequenz gestellt. Frequenzen, die nah an der Frequenz ν_0 liegen, werden nicht herausgefiltert. Eine Filterkurve eines Selektivverstärkers ist in Abb. 1 zu sehen.

3.2 Untersuchung der Filterkurve des Selektivverstärkers

Bei einer Güte von $G = 100$ wird die Filterkurve des Selektivverstärkers untersucht. Bei einer konstanten Eingangsspannung $U_E = 100 \text{ mV}$ wird die Ausgangsspannung U_A bei variierender Frequenz gemessen. Die Frequenz wird auf $\nu = 20 \text{ kHz}$ gestellt und in 1 kHz Schritten auf 40 kHz erhöht. In einem Bereich von plus und minus 1 kHz vom Spannungsmaximum wird noch einmal genauer in $0,1 \text{ kHz}$ Schritten gemessen. Eine theoretische Filterkurve eines Selektivverstärkers ist in Abb. 1 dargestellt.

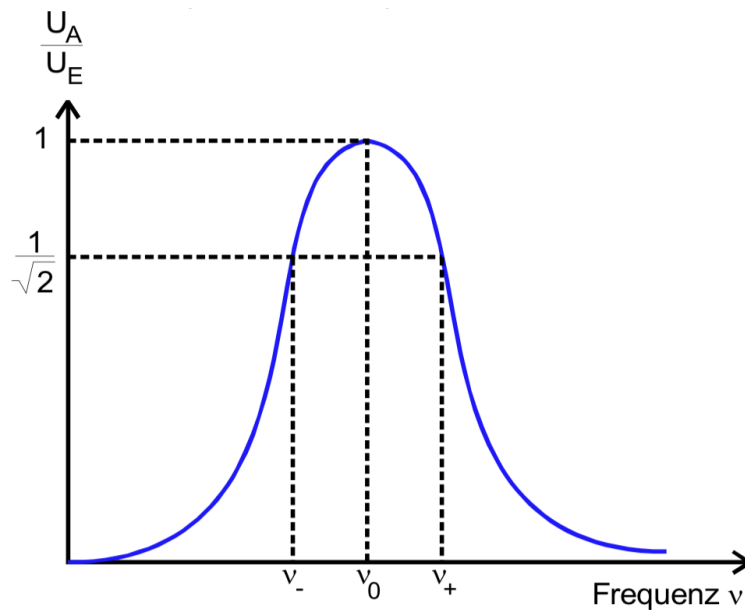


Abbildung 1: Filterkurve eines Selektivverstärkers. Die Frequenz ist gegen das Verhältnis von Ausgangs- und Eingangsspannung aufgetragen. Es sind die Durchlassfrequenz ν_0 sowie die Frequenzen, bei denen das Verhältnis der Spannungen $\frac{1}{\sqrt{2}}$ beträgt, eingetragen. [V606]

3.3 Suszeptibilität mittels Spannungsverhältnis bzw. Widerstandsverhältnis

Es wird die Schaltung aus Abb. 2 nachgebaut.

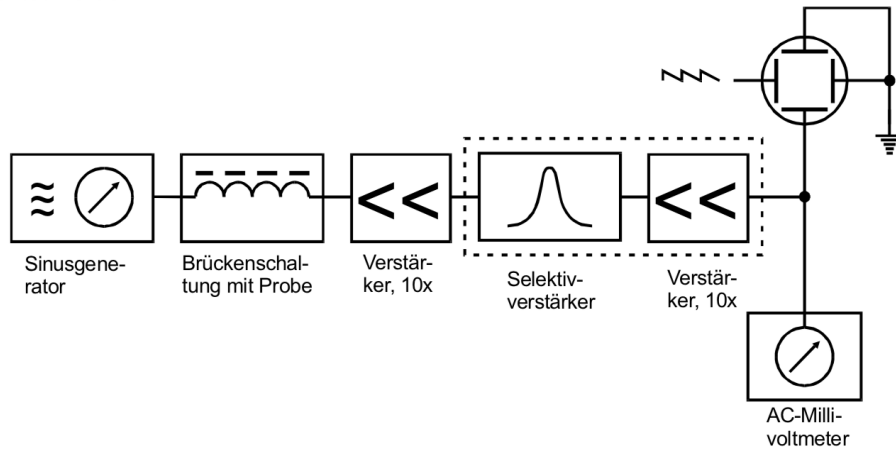


Abbildung 2: Schaltung zur Bestimmung der Suszeptibilität. [V606]

Die Brückenspannung wird mittels der Widerstände auf ihr Minimum abgeglichen. Die Probe wird in die Brückenschaltung geschoben. Die jetzt angezeigte Brückenspannung wird aufgenommen. Anschließend wird die Brückenspannung mit dem Widerstand wieder auf ihr Minimum abgeglichen. Der Wert des Widerstandes wird ebenfalls aufgenommen. Das Ganze wird für alle vier Proben drei mal durchgeführt.

Aus der Änderung der Brückenspannung ΔU_{Br} bzw. aus der Änderung des Widerstandes ΔR kann die Suszeptibilität χ von Oxiden Seltener-Erd-Verbindungen bestimmt werden.