V606

Messung der Suszeptibilität paramagnetischer Substanzen

Mirjam Prayer Jannis Vornholt

Durchführung: 11.05.2021 Abgabe: 18.05.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

Das Ziel dieses Versuchs ist es, die Suszeptibilität χ paramanetischer Substanzen zu bestimmen. Der Diamagnetismus hängt mit dem Atomaren Drehimpuls zusammen, dieser darf bei einem Paramagneten nicht verschwinden. Da Ionen seltener Erden Elektronen besitzen die einen großen Bahndrehimpuls haben und somit einen großen nicht verschwindenden Drehimpuls, nutzen wir in diesem Fall besagte Ionen seltener Erden.

Theoretische Bestimmung von χ Im Vakuum gilt für die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ und die magnetische Feldstärke $\vec{H}$ der Zusammenhang

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \tag{1}$$

mit der Induktionskonstanten μ_0. Für die Magnetisierung $\vec{M}$ gilt mit (1)

$$\vec{M} = \mu_0 \chi \vec{H}. \tag{2}$$

Dabei ist χ keine Konstante, sondern hängt von H und der Temperatur T ab. Um diese Temperaturabhängigkeit zu bestimmen, wird das mittlere magnetische Moment $\bar{\mu}$ in Gleichung (3), mit hilfe des Bohrschen Magneton μ_B, dem Landre-Faktor g_J (7), der Boltzmann-Konstante k und der Geamtdrehimpulsquantenzahl J, beschrieben,

$$\bar{\mu} = -\mu_B g_J \frac{\sum_{m=-J}^{J} m \exp\left(\frac{-\mu_B g_J m B}{kT}\right)}{\sum_{m=-J}^{J} \exp\left(\frac{-\mu_B g_J m B}{kT}\right)}, \tag{3}$$

woraus für M die Brillouin-Funktion (4) folgt.

$$M = \mu_0 N \bar{\mu}. \tag{4}$$

Der komplexe Zusammenhang in Gleichung (3) lässt sich für Zimmertemperaturen und Magnetfeldern der Größenordnung 1 Tesla näherungsweise vereinfachen, woraus sich für M

$$M = \frac{1}{3} \mu_0 \mu_B^2 g_J^2 N \frac{J(J+1)B}{kT}, \tag{5}$$

ergibt und mit Hilfe von Gleichung (1) und (2) die paramagnetische Suszibilität durch Gleichung (6) bestimmt werden kann.

$$\chi = \frac{\mu_0 \mu_B^2 g_J^2 N J(J+1)}{3kT}. \tag{6}$$

Der Landre-Faktor ist gegeben durch

$$g_J := \frac{3J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}, \tag{7}$$

mit S der Spinquantenzahl des Atoms und L dem Bahndrehimpuls des Atoms.

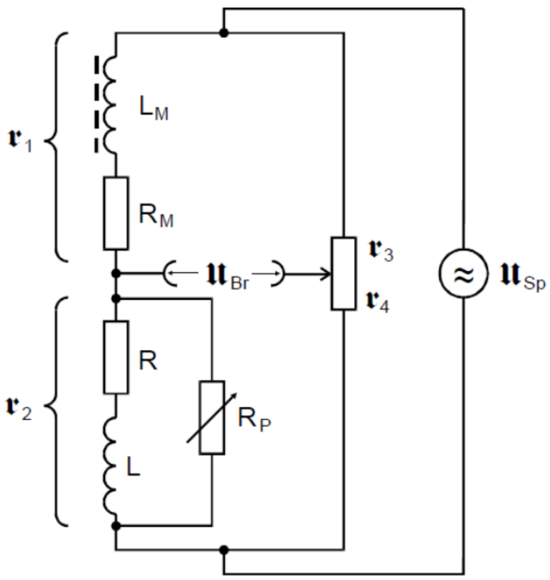

Abbildung 1: Schematische Brückenschaltung.

Praktische Bestimmung von χ Für die praktische Messung von χ werden zwei möglichst gleiche Spulen wie in Abbildung 1, als Brückenschaltung geschaltet. Dabei kann die Spule mit der Induktivität L_M, mit der Probe gefüllt werden. R und R_M stellen dabei die Verlustwiederstände der beiden Spulen dar. Für die erste Methode zur Bestimmung von χ, wird die Brückenspannung abgeglichen, das heißt die Brückenspannung U_{Br} wird durch Variation von R_3 möglichst gering gewählt. Anschließend wird die Probe in die Spule geschoben und die Brückenspannung gemessen. Die Suszibilität der Probe in der Spule, lässt sich nun für hohe Messfrequenzen berechnen.

$$\chi = 4\frac{F}{Q}\frac{U_{Br}}{U_{Sp}}. \tag{8}$$

Dabei sind U_{Sp} die Brückenspannung, F der Querschnitt der Spule und Q der Querschnitt der Probe.

Bei der zweiten Methode wird wieder erst die Brückenspannung abgeglichen und dann die Probe eingefügt. Danach wird jedoch nicht U_{Br} gemessen, sondern die Brückenspannung mit enthaltener Probe abgeglichen, als versuch diese möglichst gering zu halten. Aus der Variation des Widerstandes R_3 beim Abgleichen ohne und mit Probe ΔR lässt sich nun ebenfalls χ berechnen.

$$\chi = 2\frac{\Delta R}{R_3}\frac{F}{Q}. \tag{9}$$

Dabei ist R_3 der Widerstand R_3 nach Abgleich der Brückenspannung ohne Probe.

Selektivverstärker Da die gemessene Brückenspannung sehr klein ist und somit in der selben Größenordnung wie die Störspannung an den Ausgangsklemmen der Brückenschaltung ist, wird ein Selektivverstärker genutzt. Dieser Selektivverstärker lässt vorrangig eine bestimmte Frequenz bzw. einen gewissen Frequenzbereich pssieren. Da die Signalspannung monofrequent ist, Wird der Selektivverstärker so eingestellt, dass eben diese Signalfrequenz durchgelassen wird, wodurch ein großteil der Störspannung abgeschirmt wird. Zudem verstäkt er das Signal um das zehnfache, um genauere Messungen durchführen zu können. Als Maß der Wirksamkeit des Selektivverstärkers gilt die Breite der in Abbildung 2 dargestellten Filterkurve oder auch die güte G

$$O = \frac{v_0}{v_+ - v_-}. \tag{10}$$

v_0 ist die eigentlich gewünschte Durchlassfrequenz und sollte die Frequenz sein, bei der der Quotient der Ausgangsspannung U_A und der Eingangsspannung U_E eins ist bzw. sein Maximum erreicht. v_- und v_+ sind die Frequenzen, bei denen wie in Abbildung 2 dargestellt, der Quotient $\frac{U_A}{U_E}$ den Wert $\frac{1}{\sqrt{2}}$ besitzt.

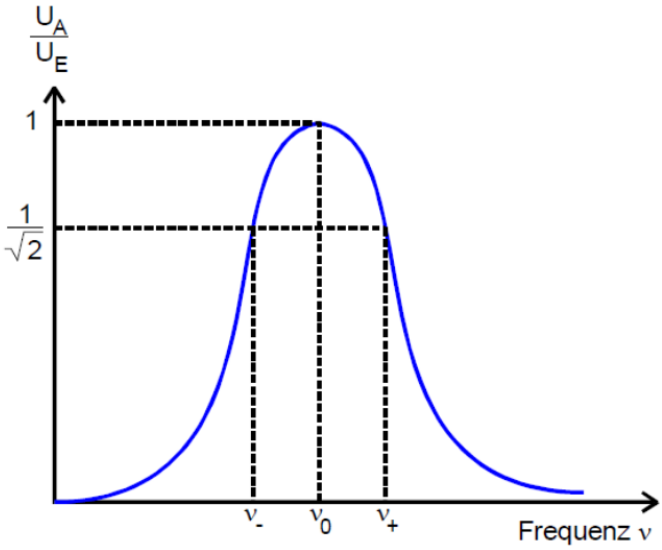

Abbildung 2: Filterkurve eines Selektivverstärkers.

2 Durchführung

Als erstes wird die Güte Q des Selektivverstärkers bestimmt. Dafür wird eine Sinusspannung durch des Selektivverstärker hindurch gemessen. Die Frequenz dieser Spannung wird Schritt für Schritt von 20kHz bis 40kHz erhöht, während der Selektivverstärker auf $v_0 =$ 3,5kHz und Q = 100 eingestellt bleibt. Anschließend wird die verwendete Sinussspannung durch ein Voltmeter bestimmt. Danach wird eine Schaltung wie in Abbildung 3, nur ohne den mittleren Verstärker aufgebaut. Die Brückenspannung wird abgeglichen, der variierte Widerstand abgelesen, so wie die eingehende Spannung notiert. Dann wird eine Probe in der Spule platziert, die nun eingehende Spannung notiert und die Brückenspannung wider abgeglchen. Auch der nun gewählte Widerstand wird notiert ebenso wie die nun eingehende Spannung. Diese Prozedur wird für zwei Proben je drei mal durchgeführt.

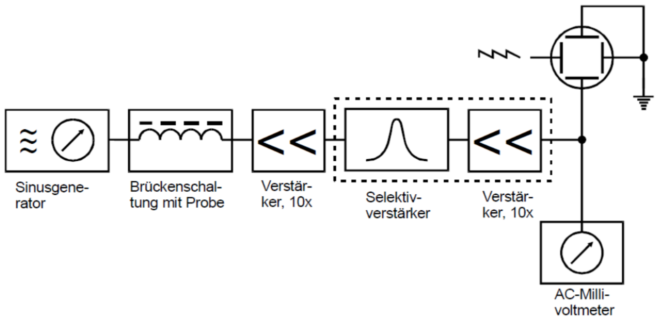

Abbildung 3: Schematische Messschaltung.

3 Auswertung

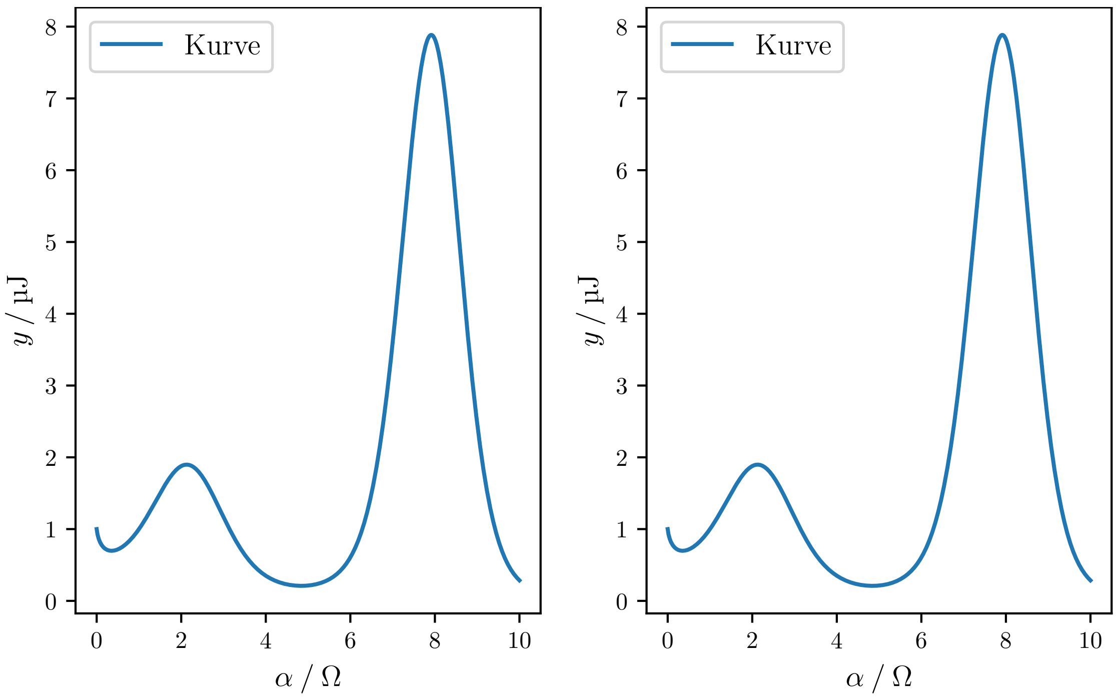

Abbildung 4: Plot.

Siehe Abbildung 4!

4 Diskussion