

V606

## **Messung der Suszeptibilität paramagnetischer Substanzen**

Amelie Hater

amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le

ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.04.2024

Abgabe: 23.04.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Auswertung</b>	<b>4</b>
3.1 Theoretische Berechnung . . . . .	4
<b>Anhang</b>	<b>6</b>
Originaldaten . . . . .	6

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird die Suszeptibilität stark paramagnetischer Materialien mithilfe einer Brückenschaltung untersucht.

## 2 Theorie

In Materie wird die magnetische Flussdichte  $\vec{B}$  durch die magnetische Feldstärke  $\vec{H}$ , die Induktionskonstante  $\mu_0$  und die Magnetisierung  $\vec{M}$  wie folgt beschrieben

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M}. \quad (1)$$

Dabei hängt  $\vec{M}$  mit  $\vec{H}$  durch

$$\vec{M} = \mu_0 \chi \vec{H} \quad (2)$$

zusammen. Hierbei beschreibt  $\chi$  die Suszeptibilität, welche keine Konstante ist, sondern von  $\vec{H}$  und der Temperatur  $T$  abhängt. Der Diamagnetismus tritt für alle Atome auf, weil durch ein von außen angelegtes Magnetfeld ein magnetischer Moment induziert wird. Dadurch entsteht ein induziertes Magnetfeld, was dem äußeren Magnetfeld entgegengerichtet ist. Daher gilt beim Diamagnetismus für die Suszeptibilität  $\chi < 0$ . Anders als beim Diamagnetismus, tritt der Paramagnetismus nur bei Atomen, Ionen oder Molekülen mit einem nicht verschwindenden Drehimpuls auf. Dieser entsteht durch die relativ zum äußeren Magnetfeld ausgerichteten magnetischen Momente, die mit dem Drehimpuls gekoppelt sind. Zusätzlich ist der Paramagnetismus im Vergleich zum Diamagnetismus temperaturabhängig, da die Ausrichtung der magnetischen Momente durch die thermische Bewegung gestört wird. Bei einem nicht zu starken äußeren Magnetfeld auf die Atome gilt für den Gesamtdrehimpuls  $\vec{J}$

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}. \quad (3)$$

Diese Gleichung wird ebenfalls als LS-Kopplung bezeichnet, wobei  $\vec{L} = \sum \vec{l}_i$  den Gesamtbahndrehimpuls und  $\vec{S} = \sum \vec{s}_i$  den Gesamtspin beschreibt. Die zugehörigen magnetischen Momente zu dem Drehimpuls  $\vec{L}$  und dem Spin  $\vec{S}$  lauten

$$\vec{\mu}_L = -\frac{\mu_B}{\hbar} \vec{L} \quad \text{und} \quad (4)$$

$$\vec{\mu}_S = -g_S \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{S}. \quad (5)$$

$\hbar$  ist das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum,  $g_S$  ist das gyromagnetische Verhältnis des freien Elektrons und

$$\mu_B = \frac{1}{2} \frac{e_0}{m_0} \hbar \quad (6)$$

ist das Bohrsche Magneton, wobei  $e_0$  die Ladung und  $m_0$  die Ruhemasse des Elektrons sind. In der Quantenmechanik wird  $g_S \approx 2$  genähert, wodurch mit dem Landé-Faktor

$$g_L = \frac{3J(J+1) + (S(S+1) - L(L+1))}{2J(J+1)} \quad (7)$$

für den Betrag des magnetischen Moments

$$|\vec{\mu}_J| \approx \mu_B g_J \sqrt{J(J+1)} \quad (8)$$

gilt.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Theoretische Berechnung

Zur Berechnung der Suszeptibilität der verschiedenen Materialien werden die Hund'schen Regeln (??) verwendet. Die sich ergebenden Werte für  $L$ ,  $S$  und  $J$  sind in Tabelle (1) zu sehen. Die Größe  $N$  wird mithilfe von

$$N = 2 \cdot \frac{\rho_w N_a}{M} \quad (9)$$

berechnet.  $N_a$  steht dabei für die Avogadrokonstante,  $M$  für die Molare Masse und  $\rho_w$  für die Dichte der Probe. Die probenspezifischen Werte sind in Tabelle (1) aufgelistet.

**Tabelle 1:** Theoriewerte für  $L$ ,  $S$ ,  $J$  und  $g_J$

Material	$L$	$S$	$J$	$g_J$	$\cdot 10^3 \rho_w \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	$\cdot 10^{-3} M \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$	$\cdot 10^{28} N \left[ \frac{1}{\text{m}^3} \right]$
Nd	6	1,5	4,5	0,7272	7,24	336,5	2,59
Gd	0	3,5	3,5	2,0000	7,40	362,5	2,46
Dy	5	2,5	7,5	1,3333	7,8	373,0	2,52

Die mithilfe von Formel (??) berechnete Suszeptibilität ist in Tabelle (2) aufgelistet.

**Tabelle 2:** Theoriewerte für  $\chi_{\text{theo}}$

Material	$\cdot 10^{-3} \chi_{\text{theo}}$
Nd	2,9877
Gd	13,6565
Dy	25,0409

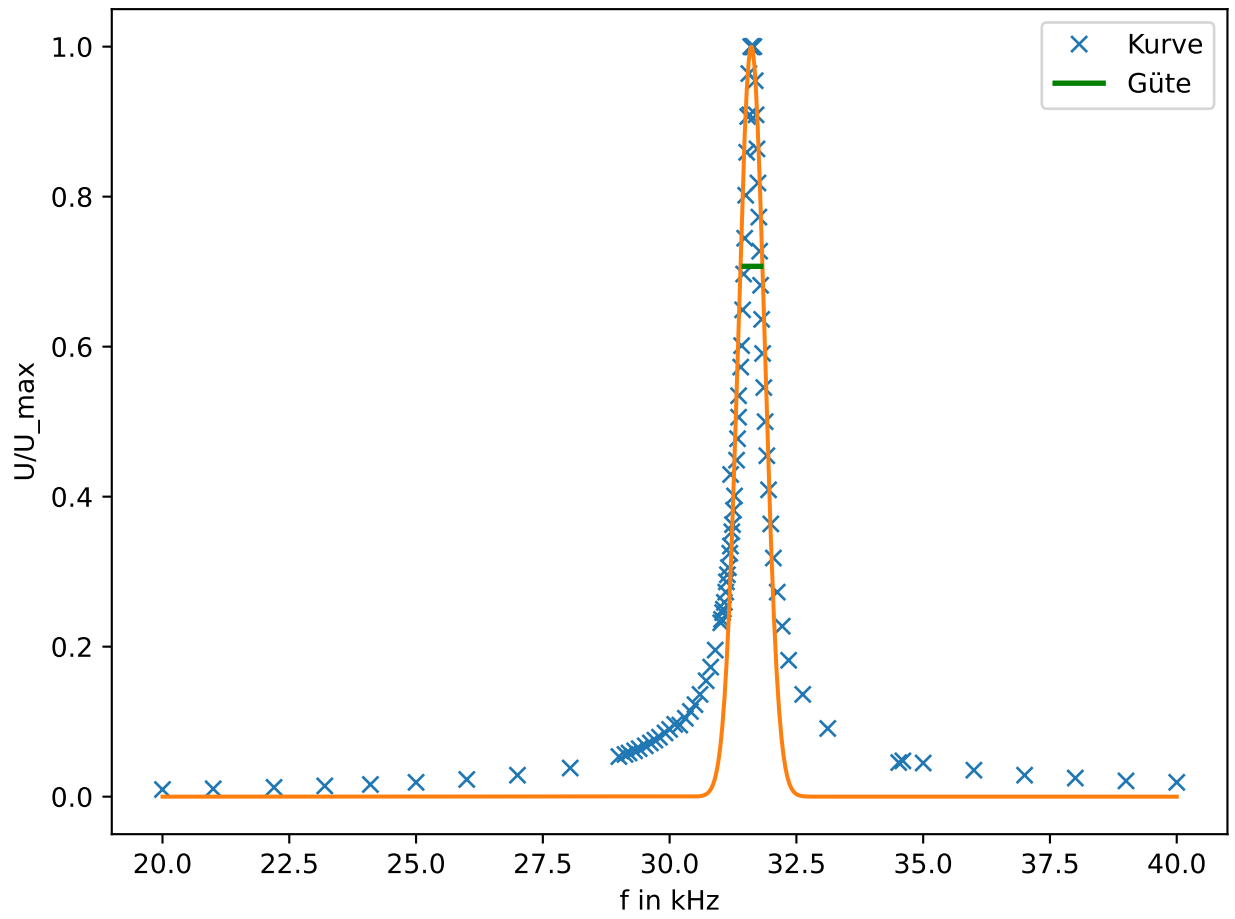


Abbildung 1: Plot.

## **Anhang**

### **Originaldaten**