

B3: Magnetisierung und Suszeptibilität eines paramagnetischen Salzes

1. Übersicht zum Thema und Zusammenfassung der Ziele

Magnetismus gehört zu den am längsten bekannten physikalischen Phänomenen. Dennoch ist die Beschreibung von realen Systemen in der Regel sehr kompliziert und ein Feld gegenwärtiger Forschung, wobei neue Konzepte zum Einsatz kommen (die Renormierungsgruppe, K.G.Wilson, Nobelpreis 1982) [1.]. In dem Versuch soll ein System studiert werden, daß man als Prototyp eines einfachen Paramagneten betrachten kann. Es ist das Salz $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8 H_2O$ (Gadoliniumsulfat).

2. Theoretische Grundlagen [2.] [3.]

Wenn Materie einem statischen Magnetfeld ausgesetzt wird, wird sie magnetisiert*. Es bildet sich ein magnetisches Moment aus, dessen Größe und Richtung sehr unterschiedlich sein kann und von den Materialeigenschaften abhängt. Dabei ist zwischen Diamagnetismus und Paramagnetismus mit keinen bzw. permanenten magnetischen Momenten zu unterscheiden und Ferromagnetismus der stellvertretend für Systeme mit Ordnungsphänomenen genannt wird.

Beim Paramagnetismus, dessen Eigenschaften in dem Versuch bestimmt werden, existieren permanente magnetische Momente*, die durch ungepaarte e^- verursacht werden.

Das einfache Modell betrachtet diese Momente als lokalisiert und wechselwirkungsfrei: Das kann in zwei Schritten beschrieben werden:

A) Unter Annahme der Russel-Saunders*-Kopplung und mit Hilfe der Hundschen Regeln* läßt sich der Gesamt-Bahndrehimpuls L und -Spin S sowie der daraus resultierende Gesamt-Drehimpuls J bestimmen. Zwischen Drehimpuls und magnetischem Moment vermittelt der Landé-g-Faktor*. Somit kann die Größe des atomaren Moments angegeben werden.

B) Im angelegten Magnetfeld spaltet der Zustand $|J, J_z\rangle$ auf (Zeeman-Effekt*), "das Moment richtet sich aus". Die Statistik liefert die Besetzungszahlen und damit die Lösung des Modells, die Brillouinfunktion*, die den Wert der Magnetisierung für alle Felder und Temperaturen angibt. Für kleine Felder ergibt sich die Definition der Suszeptibilität* für die das Curie-Gesetz* gilt.

3. Technik des verwendeten Gerätes

Das Kernstück zur Messung des magnetischen Moments der Probe ist ein (Foner- oder) Vibrationsmagnetometer.

Die Probe wird über einen Antrieb sinusförmig hin und her bewegt. Durch die supraleitende Spule wird ein statisches magnetisches Moment μ in der Probe ausgerichtet. Das bewegte magnetische Moment induziert eine Spannung in der 'pick up' Spule. Da eine Regelelektronik die Amplitude und die Schwingungsfrequenz konstant hält bzw. Schwan-

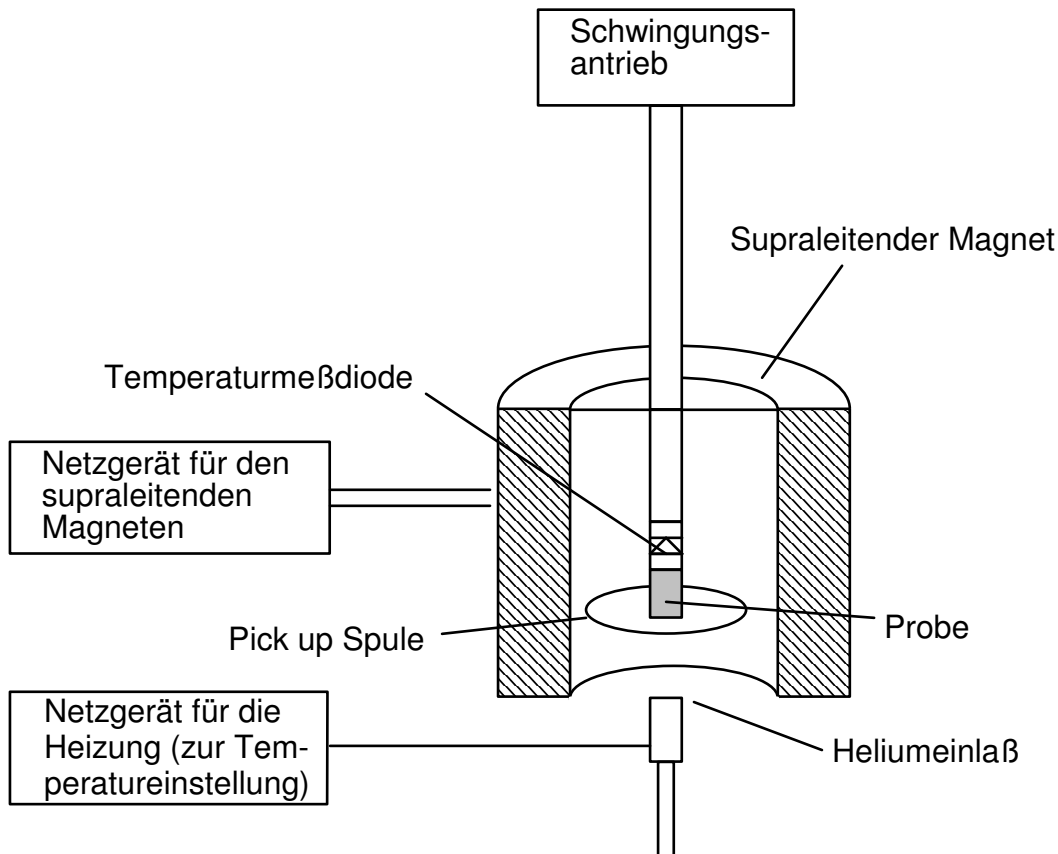
* soll vor Versuchsbeginn beherrscht werden

kungen kompensiert, kann die induzierte Spannung, die phasenempfindlich gleichgerichtet wird, als Maß von μ benutzt werden. Mit einer bekannten Probe kann das Magnetometer in absoluten Einheiten geeicht werden. Der Aufbau befindet sich in einem Dewargefäß und wird bei flüssigem He betrieben. Für weitere Details siehe [4.].

Die Anzeige des Magnetometers erfolgt in "emu" (elektro-magnetic-units):

$$1 \text{ emu} = 1 \text{ erg/G} = 1 \text{ G cm}^3$$

4. Versuchsaufbau



5. Hinweise zur Versuchsdurchführung

Die verschiedenen Probertemperaturen die zur Messung notwendig sind, können durch Abpumpen des Probenrohrs eingestellt werden, wenn sie unter 4.2K liegen. Für höhere Temperaturen kann das He, welches aus einer Öffnung strömt, über eine ohmsche Heizung temperiert werden. Die Temperaturanzeige erfolgt über einen Rechner, der die Diodespannung mittels einer Eichkurve in K angibt. Die Temperatureinstellungen werden vom Assistenten vorgenommen.

Bei der Messung $\sigma(T)$ wird ein Strom in die supraleitenden Spulen gegeben und die Spulen kurzgeschlossen. So kann ein sehr konstantes Feld über längere Zeit erzeugt werden. Die Masse der verwendeten Probe beträgt 199,95 mg. Bei einem Feld von 1kG zeigt der Probenhalter ein diamagnetisches Moment von $-15 \cdot 10^{-5}$ emu.

6. Fragen zum Verständnis des Versuchs

Weshalb ist Gadoliniumsulfat ein besonders 'einfaches' System?

Wie unterscheiden sich die klassisch und quantenmechanisch hergeleitete Magnetisierungskurve (Brillouinfunktion und Langevinfunktion)?

Warum ist es sinnvoll bei der Auswertung, erst den Drehimpuls zu bestimmen und dann den g-Faktor?

Wie ist die Elektronenkonfiguration von Gd^{3+} und der Gesamtspin?

7. Aufgaben

a) Messen Sie $\sigma(H)$, (σ = magnetisches Moment, H = Magnetfeld) von 0 bis 70 kG bei den Temperaturen $T = 1,5$ K; 4,2 K und 15 K. Nehmen Sie die Daten mit dem Computer und parallel mit dem XY-Schreiber auf. Bestimmen Sie die Sättigungsmagnetisierung σ_S . Messen Sie zusätzlich $\sigma(H)$ für kleine Feldwerte von 0 bis 1kG (nur mit dem Computer).

b) Messen Sie $\sigma(T)$ zwischen $T=3$ K und 150 K bei $H = 1$ kG (nur mit dem Computer).

c) Die drei Magnetisierungskurven $\sigma(H)$ für kleine Felder sind in einer Abbildung darzustellen; ebenso die drei Kurven für große Felder. Diese sind zudem zu einer Kurve $\sigma(H/T)$ zusammenzufassen, wie sie oft in Lehrbüchern zu finden ist. Plotten Sie χ , $1/\chi$ und χT über T . Was kann man aus den verschiedenen Arten der Auftragung lernen?

Bei allen Computerausdrucken ist die Skalierung an y- und x-Achse zu überprüfen und ggf. in die richtigen Einheiten umzueichen.

Die gesamte Datenauswertung und das Drucken der Diagramme geschieht während des Versuchs am Experiment. Eine separate Datenauswertung mit externen Computern (z.B. zu Hause) ist nicht notwendig / erwünscht.

d) Bestimmen Sie die Curie-Konstante C und σ_S (σ_S in Vielfachen von μ_B angeben).

e) Bestimmen Sie aus σ_S und C den Drehimpuls J des Gd^{3+} -Ions. Dieser Wert kann nur ganz- bzw. halbzahlig sein!

f) Mit dem richtigen Wert von J können Sie nun g bestimmen.

g) Prüfen Sie, ob $\sigma(H, T=const.)$ durch die entsprechende Brillouinfunktion beschrieben wird, indem Sie mit Hilfe der tabellierten Brillouinfunktion die Magnetisierung in Ihre aufgenommenen Kurven einzeichnen.

Hinweise zur Auswertung:

Die Anzeige des Magnetometers erfolgt in "emu" (elektro-magnetic-units):

$$1emu = 1 \frac{erg}{G} = 1G \cdot cm^3$$

Für die Überprüfung der Brillouinfunktion $B_J(x)$ mit $x = \mu H/kT$ einige numerische Werte für $J = 7/2$.

x	$B_J(x)$	x	$B_J(x)$
0.01	0.00428	1.5	0.54264
0.05	0.02142	1.75	0.60222
0.1	0.04282	2.0	0.65321
0.2	0.08541	2.6	0.74673
0.4	0.16905	3.5	0.83449
0.6	0.24931	5.0	0.90997
1.0	0.39484	7.5	0.96203
1.25	0.47365	10.0	0.98259

8. Literatur

- [1] K.G.Wilson, Spektrum der Wissenschaft 10(1979)
- [2] C.Kittel, Einführung in die Festkörperphysik, Kapitel über Para- und Diamagnetismus.
- [3] N.W.Ashcroft, N.D.Mermin, Solid State Physics, Chapter 31,(32).
- [4] Gebrauchsanleitung (teilweise) der Firma PAR zum Magnetometer Modell 150

Weiterführende Literatur

- U. Köbler, „Vibrationsmagnetometer, Faradaywaage, SQUID und Messbeispiele“ im 24. IFF-Ferienkurs „Magnetismus von Festkörpern und Grenzflächen“ (Forschungszentrum Jülich GmbH, 1993) Kapitel 3