

Übungsblatt 11

Ausgabe 29.06.2015, Abgabe: 06.07.2015, 10:15 Uhr (vor der Vorlesung), Hörsaal AP

Übungsgruppe:

Teilnehmer 1:

Gruppenleiter:

Teilnehmer 2:

Die Aufgaben dieses Übungsblattes sind optional, d.h. Ihre Lösungen werden nicht mehr für die Festlegung des Klausur-Bonus berücksichtigt. Das Übungsblatt enthält schnell zu beantwortende Fragen und soll vorrangig zur Vorbereitung der Klausur dienen. Die Aufgaben 24 (a,b,d-h), 25 (a-c,f), 26 und 27 haben einen Schwierigkeitsgrad wie er auch in der Klausur auftreten könnte. Die Antworten zu den relativ anspruchsvollen Fragen in Aufgabe 25 (d,e) werden Ihnen von den Dozenten der Übungsgruppen gegeben werden. Sie sind auch z. B. im Gross & Marx in Kapitel 12.3.6 zu finden. Nutzen Sie die letzte Übungsgruppe, um bei der Vorbereitung der Klausur aufgetretene Fragen zum kompletten Vorlesungsstoff zu klären!

Aufgabe 24: Magnetisierung eines Spin-1/2-Systems

Ein Atom habe nur ein Elektron in der äußersten S-Schale ($L=0$). Die Gesamtdrehimpulsquantenzahl des Elektronensystems ist also $J = 1/2$ und im Magnetfeld spalten die Niveaus um die Zeeman Energie auf ($g_s = 2$, $m_J = \pm 1/2$)

$$E_{\pm} = g_s \mu_B B \frac{s_z}{\hbar} \approx \pm \mu_B B$$

auf. Der thermodynamische Mittelwert des magnetischen Moments μ ergibt sich aus

$$\langle \mu \rangle = \frac{\mu_B}{Z} \left[\exp\left(+\frac{\mu_B B}{k_B T}\right) - \mu_B \exp\left(-\frac{\mu_B B}{k_B T}\right) \right]$$

mit der Zustandssumme

$$Z = \exp\left(+\frac{\mu_B B}{k_B T}\right) + \exp\left(-\frac{\mu_B B}{k_B T}\right).$$

- Wie lautet allgemein der Zusammenhang zwischen Magnetisierung, magnetischer Flussdichte und Magnetfeld? Geben Sie jeweils die SI-Einheiten der Größen an.
- Geben Sie die Magnetisierung eines Kristalls aus den Atomen im Magnetfeld an. Die Atome sollen kubisch flächenzentriert mit einer Gitterkonstanten von $a = 2 \text{ nm}$ angeordnet sein.
- Überprüfen Sie, ob das Ergebnis mit der Formel für beliebige J aus dem Skript vereinbar ist.
- Berechnen Sie die magnetische Suszeptibilität.
- Wie sieht die Magnetisierung im Grenzfall hoher Temperaturen und kleiner Magnetfelder aus?
- Wie sieht die magnetische Suszeptibilität im Grenzfall hoher Temperaturen und kleiner Magnetfelder aus? Ist das Ergebnis mit dem Curie-Gesetz vereinbar?
- Welches Magnetfeld wäre notwendig, um bei Raumtemperatur $R = 80 \%$ Spinpolarisation zu erreichen? Die Spinpolarisation R ist die normierte Differenz zwischen den in Magnetfeldrichtung und in entgegengesetzter Richtung orientierten Spinnmomenten:

$$R = \frac{N_- - N_+}{N_- + N_+}$$

- h) Auf welche Temperatur müssten Sie den Kristall abkühlen, wenn Sie für die Herstellung einer Spinpolarisation von 80 % einen Magneten mit einem Maximalfeld von 10 T im Labor zur Verfügung hätten?

Aufgabe 25: Hundsche Regeln und van Vleck Paramagnetismus

- (a) Welche Gesamtdrehimpulsquantenzahl J hat eine halb gefüllte Atomschale?
- (b) Welches J hat eine Schale, die mit gerade einem Elektron weniger gefüllt ist als in (a)?
- (c) In welchem Fall erwarten Sie van Vleck-Paramagnetismus?
- (d) Für welches Seltene Erd-Ion in der Tabelle auf Seite 206 des Skriptes würden Sie van Vleck Paramagnetismus erwarten? Lesen Sie aus der Tabelle den Wert für die experimentell bestimmten effektiven Bohrschen Magnetonen des entsprechenden Elements ab. Entspricht der Wert Ihrer Erwartung?
- (e) Spekulieren Sie über mögliche Gründe, warum experimentelle Werte nicht mit dem aus den Hundschen Regeln ermittelten Wert der effektiven Bohrschen Magnetonen übereinstimmen könnten.
- (f) Warum stimmen die Werte der aus den Hundschen Regeln bestimmten effektiven Bohrschen Magnetonen für die Übergangsmetalle in der Regel nicht mit den experimentellen Werten überein?

Aufgabe 26: Magnetische Phasenübergänge

- (a) Skizzieren Sie die Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität eines Ferromagneten im paramagnetischen Bereich.
- (b) Skizzieren Sie die Temperaturabhängigkeit der magnetischen Suszeptibilität eines Antiferromagneten.

Aufgabe 27: Hysterese

Eine charakteristische Eigenschaft ferromagnetischer Materialien ist die Hysterese der Magnetisierung.

- (a) Zeichnen Sie eine typische Hysteresekurve eines magnetischen Materials, wenn sie in der magnetisch leichten Richtung gemessen wird und markieren Sie die Sättigungsmagnetisierung, die Remanenz und die Koerzitivfeldstärke.
- (b) Wie ändert sich qualitativ die Magnetisierungskurve, wenn in der magnetischen schweren Richtung gemessen wird?