Lösung zur Übung 7.2-1

Illustration

Die Frage war. Kann man von den gegebenen Magnetisierungskurven die magnetischen Momente der **Fe**, **Ni** und **Co** Atome errechnen? In Einheiten eines Bohrschen Magnetons, natürlich.

Einfach - mit ein paar kleinen Tricks

Zuerst besorgen wir und die wesentlichen Daten:

- Gitter **Fe**: **bcc**; Gitterkonstante **a = 2.86 Å**; atomare Dichte **ρ_A(Fe) = 2/0.286^3 Atome/nm^3 = 85.5 Atome/nm^3**
- Gitter **Nifcc**; Gitterkonstante **a = 3.52 Å**; atomare Dichte **ρ_A(Ni) = 4/0.352^3 Atome/nm^3 = 91.7 Atome/nm^3**
- Gitter **Co**: **hex**; Gitterkonstanten **a = 2.51 Å, c = 4.0 7Å**; Atomare Dichte **ρ_A(Co) = 2/[½ · c · a^2 · 3^{½} Atome/nm^3 = 90.1 Atome/nm^3**

Dannn erkennen wir, dass die gezeigten Kurven die maximale Magnetisierung wiedergeben, d.h. alle magn. Momente sind perfekt in Feldrichtung ausgerichtet. Damit können wir die folgenden Zahlen für die Sättigungsmagnetisierung m_{Sat}generieren :

- **m_{Sat}(Fe) = 17 · 10^5 A/m**
- **m_{Sat}(Fe) = 5 · 10^5 A/m**
- **m_{Sat}(Fe) = 14 · 10^5 A/m**

Die Einheit ist jedoch **A/m**, nicht was wir brauchen. Offenbar müssen wir die Einheit umwandeln - aber in was?

Wenn wir ein Bohrsches Magneton, **m_{Bohr}**, betrachten, haben wir

$$\boxed{m_{Bohr} \;=\; 9.27 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{Am}^2}$$

Wir brauchen offenbar die Einheit **Am^2**. Das bekommt man, indem man die **A/m** mit **m^{-3}** multipliziert - damit wird dann klar, dass **m_{Sat}** pro**m^3** gegeben ist, wie es ja wohl für eine spezifische Größe auch sein sollte!

Die magnetischen Momente **m_A** pro Atom sind damit:

$$\boxed{m_A \;=\; \frac{m_{Sat}}{\rho_A}}$$

Was wir erhalten ist:

$$m_A(\mathrm{Fe}) \;=\; \frac{17 \cdot 10^5\ \mathrm{A/m}}{85.5\ \mathrm{Atome/nm}^3} \;=\; \frac{17 \cdot 10^5\ \mathrm{A}}{85.5}\,\frac{10^{-27}\ \mathrm{m}^3}{\mathrm{m}} \;=\; 1.98 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{A/m}^2 \;=\; 2.14\ m_B$$

$$m_A(\mathrm{Ni}) \;=\; 5.45 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{A/m}^2 \;=\; 0.588\ m_B$$

$$m_A(\mathrm{Co}) \;=\; 1.55 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{A/m}^2 \;=\; 1.67\ m_B$$

Das ist doch ein interessante Ergebnis! Es ist zunächst befriedigend, da wir gute Zahlen in der Nähe eines Bohrschen Magnetons erhalten. Es ist aber auch herausfordernd, denn die Zahlen sind nicht dicht an **1**, **2** oder auch **3**, wie man naiv erwarten könnte.

Wie kann **Ni** z. B. ein magnetisches Moment von **0.588 m_B** haben, und ein **Fe** Atom eines von **2.14 m_B**, wenn man bedenkt, dass ein Elektron immer nur exakt eins hat?

Zwei Möglichkeiten können wir dazubetrachten:

1. Unsere Rechnung ist etwas daneben
2. Es gibt noch so ein paar bisher nicht diskutierte Effekte, die das magnetische Moment eines Atoms *in einem Kristall* beeinflussen.

Die erste Möglichkeit schliessen wir aus, denn in Standardtextbüchern wie z. B. im "*Kittel*" finden wir die folgenden Zahlen für **m_A** :

- **m_A(Fe) = 2.22 m_B**

- $\mathbf{m_A(Ni) = 0.606\ m_B}$
- $\mathbf{m_A(Co) = 1.72\ m_B}$

Nicht identisch zu den unseren, aber doch dicht drauf. Nun gut, die Zahlen im Kittel sind für **T = 0 K**, während unsere aus **T = 300 K** Messungen stammen (und deshalb ein bißchen kleiner sein sollten)

Wir haben also offenbar noch ein paar bisher nicht diskutierter Effekte. Was kommt in Frage? Hier ist eine kurze Liste:

- Es könnte eine Wechselwirkung zwischen "Spin"-Moment und "Bahnmoment" geben.
- Die freien Elektronen im Metall "spüren" die geordnete Spinstruktur der noch am Atom gebundenen Elektronen und ordnen iher Spins bis zu einem gewissen Grad jetzt auch.

Das alles gibt's; es können damit sogar große Effekte entstehen. Dysprosium (**Dy**), zum Beispiel, ist ein Ferromagnet unterhalb seiner (technisch witzlosen) Curietemperatur von **88 K**. Seine Atome haben dann ein magnetisches Moment von gigantischen $\mathbf{m_A(Dy) = 10.2\ m_B}$; resultierend aus einer optimalen Kombination von Spin- und Bahnmomenten