

Zusammenfassung vom 07.12.2010

Magnetisierung in der paramagnetischen Phase

$$\vec{M} = \frac{1}{\mu_0} \chi_p \vec{B}_{\text{eff}} = \frac{1}{\mu_0} \frac{C}{T} (\vec{B}_0 + \lambda \mu_0 \vec{M})$$

$$\chi_p = \frac{C}{T} \quad \text{paramagnetische Suszeptibilität (Langevin)}$$

$$C = \mu_0 \frac{N}{V} \frac{p^2 \mu_B^2}{3k_B} \quad \mathbf{C} = \text{Curie-Konstante mit } p^2 = g_0^2 S(S+1) \text{ für Metalle}$$

$$\rightarrow \vec{M} \mu_0 (T - C\lambda) = C \vec{B}_0$$

$$\rightarrow \vec{M} = \frac{C}{\mu_0 (T - C\lambda)} \vec{B}_0 = \chi_{\text{CW}} \vec{B}_0$$

Curie-Weiss-Gesetz

$$\rightarrow \chi_{\text{CW}} = \frac{C}{T - T_C} \quad T_C = C\lambda$$

Curie-Temperatur

$$\rightarrow T_C = \frac{S(S+1)}{3k_B} J_0$$

Molekularfeld-Konstante

$$\lambda = \frac{T_C}{C} = \frac{3k_B T_C}{\mu_0 N g_0^2 S(S+1) \mu_B^2}$$

Bandmodell des Ferromagnetismus (Stoner-Wohlfarth-Modell)

- Annahme:**
- ➔ Elektronen werden im magnetischen Material durch **Einteilchen-Wellenfunktionen** beschrieben
 - ➔ **Austausch-Wechselwirkung** führt zu **k-unabhängiger Verschiebung der Bandstruktur**

Stoner-Parameter I beschreibt die **Austauschwechselwirkung** zwischen den **freien Elektronen**

N = Anzahl Elektronen

Spin-Asymmetrie

$$R = \frac{n_{\uparrow} - n_{\downarrow}}{N} \quad N = n_{\uparrow} + n_{\downarrow}$$

$n_{\uparrow, \downarrow}$ = Anzahl Elektronen mit **Magnetisierung \uparrow, \downarrow**

Energie-Verschiebung

$$E_{\uparrow, \downarrow}(\mathbf{k}) = \tilde{E}(\mathbf{k}) \mp \frac{IR}{2}$$

$E(\mathbf{k})$ = **Energie der freien Elektronen**

mit
$$\tilde{E}(\mathbf{k}) = E(\mathbf{k}) - I \frac{n_{\uparrow} + n_{\downarrow}}{2N} = E(\mathbf{k}) - \frac{I}{2}$$

Magnetisierung

$$M = \mu_B \frac{N}{V} R$$

Elektronendichte

$$n_{\uparrow, \downarrow} = \sum_{\mathbf{k}} f_{\uparrow, \downarrow}(\mathbf{k}) = \sum_{\mathbf{k}} \frac{1}{e^{\frac{\tilde{E}(\mathbf{k}) \mp \frac{IR}{2} - E_F}{kT}} + 1} \quad \text{mit} \quad f(\mathbf{k}) = \frac{1}{e^{\frac{\tilde{E}(\mathbf{k}) - E_F}{kT}} + 1}$$

Spin-Asymmetrie

$$R = \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{k}} \frac{1}{e^{\frac{\tilde{E}(\mathbf{k}) - \frac{IR}{2} - E_F}{kT}} + 1} - \frac{1}{e^{\frac{\tilde{E}(\mathbf{k}) + \frac{IR}{2} - E_F}{kT}} + 1}$$

für $R \ll 1$ und mit $f\left(x - \frac{\Delta x}{2}\right) - f\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right) \cong -f'(x)\Delta x - \frac{2}{3!}f'''(x)\left(\frac{\Delta x}{2}\right)^3$

$\rightarrow R = \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{k}} \frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} IR - \frac{1}{24} \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{k}} \frac{\partial^3 f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}^3(\mathbf{k})} (IR)^3$

es gilt: $\frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} < 0$ *und für $\tilde{E} \cong E_F$:* $\frac{\partial^3 f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}^3(\mathbf{k})} > 0$

Kriterium für Ferromagnetismus

$R > 0 \rightarrow 1 = -\frac{I}{N} \sum_{\mathbf{k}} \frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} - \mathcal{O}(R^2)$

damit die Gleichung erfüllt ist, muss der 1. Term auf der rechten Seite > 1 sein!

$\rightarrow 1 < -\frac{I}{N} \sum_{\mathbf{k}} \frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} = -\frac{I}{N} \int d^3k D(\mathbf{k}) \frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} = -\frac{I}{2N} \int d\tilde{E} D(\tilde{E}) \frac{\partial f}{\partial \tilde{E}}$
 $\cong \frac{I}{2N} \int d\tilde{E} D(\tilde{E}) \delta(\tilde{E} - E_F) = \frac{I}{2N} D(E_F)$ *mit* $\frac{\partial f(\mathbf{k})}{\partial \tilde{E}(\mathbf{k})} \cong -\delta(\tilde{E} - E_F)$

Stoner-Kriterium

$\rightarrow I \frac{1}{2N} D(E_F) > 1$

richtige Voraussage für Ferromagnetismus in den 3d-Metallen Fe, Co, Ni!