

Zusammenfassung vom 17.12.2010

transversale Spin-Korrelationsfunktion

$$S_{\perp}(\vec{r})S_{\perp}(\vec{r}') = S_x(\vec{r})S_x(\vec{r}') + S_y(\vec{r})S_y(\vec{r}') = \frac{1}{2}[S_+(\vec{r})S_-(\vec{r}') + S_-(\vec{r})S_+(\vec{r}')]]$$

$$\rightarrow \langle \vec{k} | S_{\perp}(\vec{r})S_{\perp}(\vec{r}') | \vec{k} \rangle = \frac{1}{2} \frac{2S}{N} [e^{i\vec{k}(\vec{r}-\vec{r}')} + e^{-i\vec{k}(\vec{r}-\vec{r}')}] = \frac{2S}{N} \cos[\vec{k}(\vec{r}-\vec{r}')], \quad \vec{r} \neq \vec{r}'$$

- zwischen den Positionen $|\vec{r}\rangle$ und $|\vec{r}'\rangle$ ist der mittlere Spin von $|\vec{k}\rangle$ in transversaler Richtung um den festen Winkel $\vec{k} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')$ verdreht
- Spin-Welle mit Wellenvektor \vec{k} und Energie $\Delta E_{\vec{k}}$

Magnon

quantisierte Spin-Welle mit

Wellenvektor \vec{k} und Energie: $\hbar\omega_{\vec{k}} = \Delta E_{\vec{k}} = 2S \sum_{\vec{r} \neq 0} J(\vec{r}) \sin^2\left(\frac{1}{2}\vec{k} \cdot \vec{r}\right)$

Magnon-Energie $\hbar\omega_{\vec{k}} = 2z J_0 S \sin^2\left(\frac{1}{2}\vec{k} \cdot \vec{r}\right) \cong \frac{1}{2} z J_0 S (k a)^2 \rightarrow k = \sqrt{\frac{2\hbar\omega_{\vec{k}}}{z J_0 S a^2}}$

für kubisches Gitter (Gitterkonstante a) mit Austauschkonstante J_0 zwischen den z nächsten Nachbarn

Energie-Quantisierung

$E_{n_{\vec{k}}} = \left(n_{\vec{k}} + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega_{\vec{k}}$ Energie für Besetzungszustand von $n_{\vec{k}}$ Magnonen mit Frequenz $\omega_{\vec{k}}$

thermische Anregung von Magnonen

→ *Magnonen folgen der Planck-Verteilung:* $\langle n_k \rangle = \langle n(\omega) \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega_k}{kT}} - 1}$

Gesamtzahl angeregter Magnonen bei Temperatur T

$$\sum_{\vec{k}} n_k = \int d\omega D(\omega) \langle n(\omega) \rangle = 0.0587 V \left(\frac{2k_B}{zJ_0 S a^2} \right)^{\frac{3}{2}} T^{\frac{3}{2}}$$

mit $D(\omega) = D(k) \frac{dk}{d\omega} = \frac{V}{4\pi^2} \left(\frac{2\hbar}{zJ_0 S a^2} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\omega}$

analog zum freien Elektronengas

und $D(k) = \frac{dN}{dk} = \frac{V}{2\pi^2} k^2$ $N(k) = \frac{V}{(2\pi)^3} \frac{4\pi}{3} k^3$

Magnetisierungsänderung durch Magnonen-Anregung

$$\Delta M = \frac{\mu_B}{V} \Delta S \sum_k n_k \quad \Delta S = -1 \text{ für jedes Magnon}$$

mit $M_{\text{sat}} = \frac{N}{V} \mu_B S$ *Sättigungsmagnetisierung*

Bloch $T^{3/2}$ -Gesetz

→ $\frac{\Delta M}{M_{\text{sat}}} = 0.0587 \frac{V}{N a^3 S} \left(\frac{2k_B}{zJ_0 S} \right)^{\frac{3}{2}} T^{\frac{3}{2}}$

N = Anzahl Ionen, bzw. Spins

z = Anzahl nächste Nachbarn

J₀ = Austausch-Konstante

magnetische Domäne *Bereich einheitlicher ferromagnetischer Ordnung*
(=Weiss'sche Bezirke)

**Ursachen für Zerfall
in Domänen**

- *Aufbau eines großen externen Streufelds für parallele Ausrichtung (Entmagnetisierungsfeld)*
- *Dipol-Wechselwirkung favorisiert antiparallele Ausrichtung der magnetischen Momente*
- *Reduktion der Streufeld-Energie durch Aufteilung in homogen magnetisierte makroskopische Domänen*
- *hierbei entstehen Domänenwände*
- *Erhöhung der Austauschenergie!*
- *Minimierung der magnetischen potentiellen Energie, die der Summe aus Streufeld-, Austausch- und Anisotropie-Energie entspricht*

Domänenwand

Übergangsbereich zwischen den Domänen, wo die Magnetisierungsrichtung kontinuierlich in die andere Richtung gedreht wird

- *energetisch ungünstig, da das Aufbrechen der Austausch-Kopplung Energie kostet*
- *in einer Domänenwand ist potentielle Energie gespeichert*

Energiedichte der Domänenwand

$$\sigma_{\text{wand}} = \sigma_{\text{exch}} + \sigma_{\text{aniso}}$$
$$\rightarrow \Delta E_{\text{wand}} = \sigma_{\text{wand}} A_{\text{wand}}$$

σ = *Flächenenergiedichte*

A = *Wandfläche*

Bloch-Wand

Drehung der Magnetisierungsrichtung erfolgt in einer Ebene parallel zur Domänenwand

Néel-Wand

Drehung erfolgt in einer Ebene senkrecht zur Domänenwand

180°-Wand

Drehung der Magnetisierungsrichtung um 180°

90°-Wand

Drehung um 90°

360°-Wand

Drehung um 360° (entsteht, wenn zwei 180°-Wände z.B. beim Ummagnetisieren zusammen treffen und sich nicht annihilieren)

cross-tie-Wand

entsteht aus einer 180°-Néel-Wand mit komplexer Verteilung der Magnetisierungsrichtung mit großen Anteilen von 90°-Wänden, da 90°-Néel-Wand energetisch günstiger ist

Zickzack-Wand

entsteht, wenn zwei Domänen Kopf an Kopf stehen und somit eine große magnetische Oberflächenladung erzeugen; die Zickzack-Wand reduziert die Oberflächenladungen auf Kosten der Wandenergie

Bloch-Linie

entsteht, wenn in einer Domänenwand zwei Bereiche mit unterschiedlichem Drehsinn zusammenkommen

Bloch-Punkt

entsteht in einer Blocklinie bei unterschiedlichem Drehsinn

**magnetische
Anisotropie-
Energie**

ferromagnetisch ordnende kristalline Materialien zeigen eine ganz bestimmte Vorzugsrichtung für die spontane Magnetisierung

- *Spin-Bahn-Kopplung verknüpft die Richtung der Magnetisierung mit der Lage der Orbitale*
- *Orbital verzerren sich zu einer asphärische Form*
- *Orbitale nehmen die energetisch günstigste Lage ein, so dass auch die spontane Magnetisierung nur noch in bestimmte Richtungen zeigt*
- *wegen der Spin-Bahn-Kopplung müssen die Orbitale einer Drehung der Magnetisierungsrichtung folgen, was die potentielle Energie erhöht, wenn die Magnetisierung nicht mehr entlang der leichten Richtung liegt*
- *diese potentielle Energie wird magnetisch „Anisotropie-Energie“ genannt*

**leichte Richtung der
Magnetisierung**

Richtung entlang der kleinsten magnetischen Anisotropie-Energie; sie wird von der Magnetisierung spontan , d.h. ohne äußere Magnetfelder eingenommen.