Intercambio (b)

Antiferromagnetismo

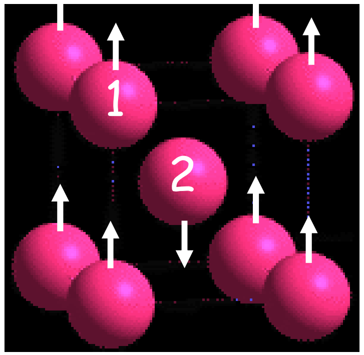
Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

$$E = -\sum_{i,j}^{N,p} J_{ij}\vec{s}_i \cdot \vec{s}_j - \sum_{i}^{N} \mu_0 g \mu_B \vec{s}_i \cdot \vec{H}$$

acoplamiento con primeros y segundos vecinos

Ejemplo, Red bcc: sólo dos subredes 1 y 2, p primeros vecinos (1) y p' segundos vecinos (2)

bcc-Cr



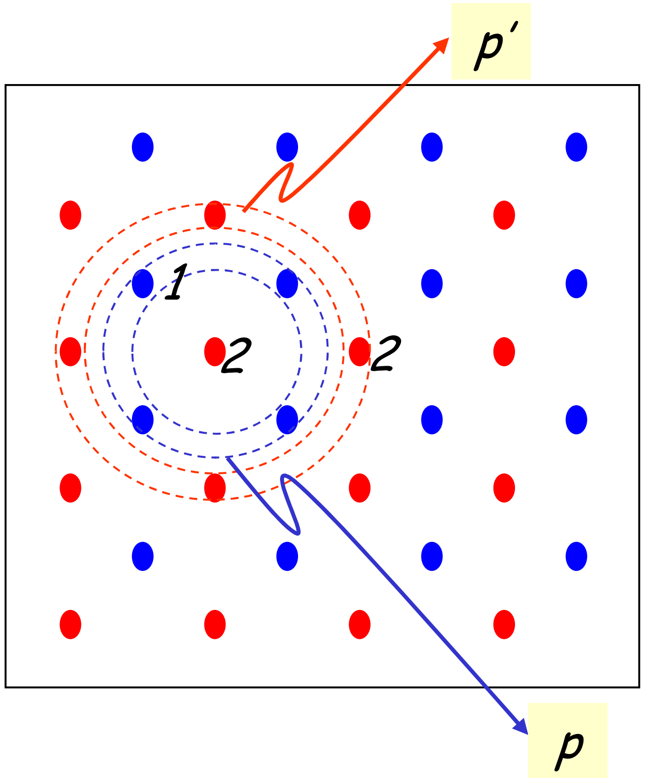
Subredes 1 y 2

Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

Para fijar ideas nos ubicamos en un punto de la subred 2

(a) intercambio $J < 0$ entre primeros vecinos

(b) J', acoplamiento entre segundos vecinos (de la misma subred-2), $|J| \gg |J'|$



Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

$$\vec{H}_w^i = \frac{2pJ\langle s_z \rangle}{\mu_0 g \mu_B}\vec{u}_z$$

Campo molecular de Weiss (ferromagneto)

Antiferromagneto

$$H_{ef\,2} = H + \frac{2}{\mu_0 g \mu_B}\left(pJ < s_1 > + p'J' < s_2 >\right)$$

Campo efectivo sobre momentos de la subred 2

$$\boxed{notación: \quad < s > = < s_Z >}$$

$$H_{ef\,1} = H + \frac{2}{\mu_0 g \mu_B}\left(pJ < s_2 > + p'J' < s_1 >\right)$$

Campo efectivo sobre momentos de la subred 1

Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

Ecuaciones trascendentes para $\langle s_1 \rangle$ y $\langle s_2 \rangle$:

$$\langle s_2 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[\mu_0 g \mu_B H + 2pJ\langle s_1 \rangle + 2p'J'\langle s_2 \rangle \right] \right)$$

$$\langle s_1 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[\mu_0 g \mu_B H + \underbrace{2pJ\langle s_2 \rangle + 2p'J'\langle s_1 \rangle}_{\text{viene del campo de Weiss}} \right] \right)$$

x paramagneto

desaparece para

$H = 0$

Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

Ordenamiento espontáneo (H = 0)

$$\langle s_2 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[2pJ\langle s_1 \rangle + 2p'J'\langle s_2 \rangle\right]\right)$$

$$\langle s_1 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[2pJ\langle s_2 \rangle + 2p'J'\langle s_1 \rangle\right]\right)$$

ferro $\langle s \rangle = \langle s_2 \rangle = \langle s_1 \rangle$:

antiferro $\langle s \rangle = \langle s_2 \rangle = -\langle s_1 \rangle$:

$$\langle s \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[-2pJ\langle s \rangle + 2p'J'\langle s \rangle\right]\right) = sB_s\left(\frac{2s}{kT}\left[-pJ + p'J'\right]\langle s \rangle\right) = B_s\left(\frac{2s}{kT}(pJ)_{ef}\langle s \rangle\right)$$

$$(pJ)_{ef} = -pJ + p'J'$$

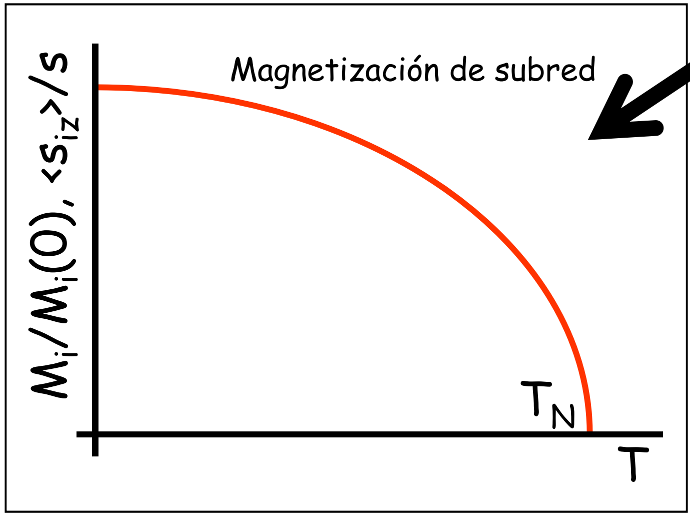
ecuación formalmente idéntica a la del caso ferromagnético

Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

Magnetización de subred

$$\langle s\rangle = sB_s\left(\frac{2s}{kT}\left[-pJ + p'J'\right]\langle s\rangle\right)$$

$$\frac{\langle s\rangle}{s} = \frac{M}{M_0} = B_s$$



Solución ec. trascendente

$$M_i \neq 0; \langle s_i\rangle \neq 0$$

$$M_1 + M_2 = \langle s_1\rangle + \langle s_2\rangle = 0 \Leftarrow \left(\langle s\rangle = \langle s_2\rangle = -\langle s_1\rangle\right)$$

Como en el FM, para elAFM definimos la Temperatura de Orden (Néel)

$$\boxed{T_N = \frac{2(pJ)_{ef}\, s(s+1)}{3k} = \frac{2(-pJ + p'J')s(s+1)}{3k}}$$

$$J < 0, \quad |J| >> |J'| \Rightarrow T_N > 0$$

Análisis simple del Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular para electrones localizados en un sólido elemental.

antiferro <s> = <s$_2$> = -<s$_1$>:

$$\boxed{T_N = \frac{2(pJ)_{ef}\, s(s+1)}{3k} = \frac{2(-pJ + p'J')s(s+1)}{3k}}$$

$$J < 0, \quad |J| >> |J'| \Rightarrow T_N > 0$$

ferro <s> = <s$_2$> = <s$_1$>:

$$\boxed{T_N = \frac{2(pJ)_{ef}\, s(s+1)}{3k} = \frac{2(-pJ + p'J')s(s+1)}{3k}}$$

$$J > 0, \quad J >> |J'| \Rightarrow T_C > 0$$

Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

Temperaturas características θ

$$\langle s_2 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[\mu_0 g\mu_B H + 2pJ\langle s_1 \rangle + 2p'J'\langle s_2 \rangle\right]\right)$$

$$\langle s_1 \rangle = sB_s\left(\frac{s}{kT}\left[\mu_0 g\mu_B H + 2pJ\langle s_2 \rangle + 2p'J'\langle s_1 \rangle\right]\right)$$

Cuando el argumento de B_S es << 1

(para $T \geq T_C$, T_N)

$$B_s(x) \approx \frac{s+1}{3s}x$$ Aproximación lineal

Temperaturas características θ

$$B_s(x) \approx \frac{s+1}{3s}x$$ Aproximación lineal

(a) $$\langle s_2 \rangle = \frac{s(s+1)}{3kT}\left[\mu_0 g \mu_B H + 2pJ\langle s_1 \rangle + 2p'J'\langle s_2 \rangle\right]$$

(b) $$\langle s_1 \rangle = \frac{s(s+1)}{3kT}\left[\mu_0 g \mu_B H + 2pJ\langle s_2 \rangle + 2p'J'\langle s_1 \rangle\right]$$

Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

Temperaturas características θ

(a) $$\langle s_2\rangle = \frac{s(s+1)}{3kT}\left[\mu_0 g\mu_B H + 2pJ\langle s_1\rangle + 2p'J'\langle s_2\rangle\right]$$

(b) $$\langle s_1\rangle = \frac{s(s+1)}{3kT}\left[\mu_0 g\mu_B H + 2pJ\langle s_2\rangle + 2p'J'\langle s_1\rangle\right]$$

Sumando (a)+(b):

$$\langle s_T\rangle = \langle s_1\rangle + \langle s_2\rangle = \frac{CH}{g\mu_B T} + \frac{\Theta}{T}\langle s_T\rangle$$

$$C = \frac{2s(s+1)\mu_0 g^2 \mu_B^2}{3k}$$

$$\Theta = -\frac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k}$$

$$\langle s_T\rangle\left(1+\frac{\Theta}{T}\right) = \frac{CH}{g\mu_B T} \Longrightarrow M_z = g\mu_B\langle s_T\rangle = \frac{CH}{T+\Theta} \Longrightarrow \chi_{inic} = \frac{C}{T+\Theta}$$

Ley de Curie-Weiss

$$T \geq T_C, T_N$$

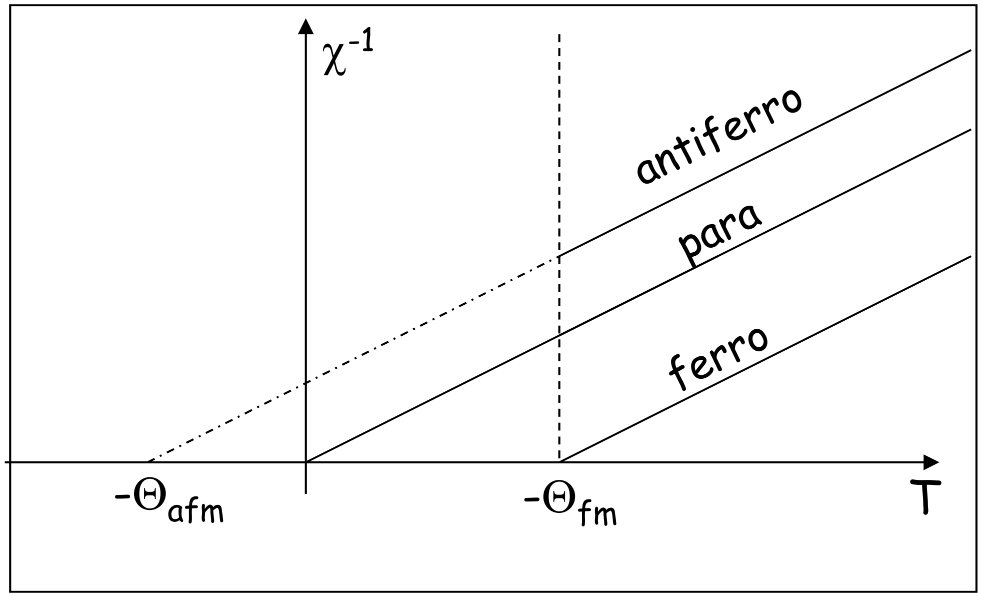
Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

Temperaturas características θ

antiferro $\begin{cases} J < 0 \\ |J| \gg |J'| \end{cases}$ ferro $\begin{cases} J > 0 \\ J \gg |J'| \end{cases}$

$$\Theta_{afm} = -\frac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k} > 0 \qquad \Theta_{fm} = -\frac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k} < 0 \qquad \Theta_{pm} = 0$$

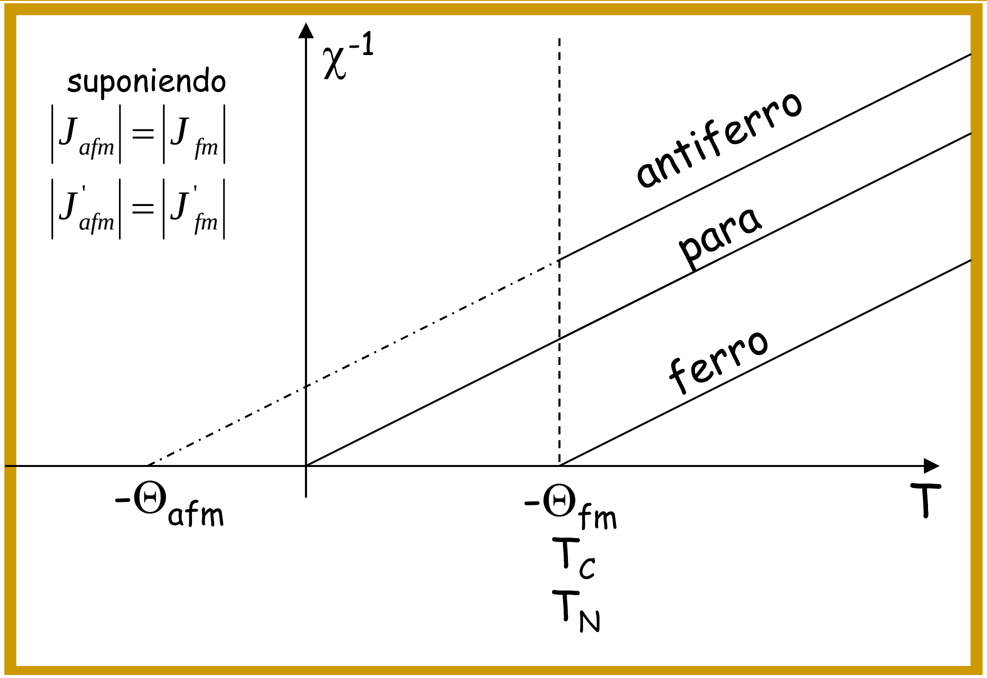
$$\chi_{inic}^{-1} = \frac{T + \Theta}{C}$$



Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

Resumen. Temperaturas características

antiferro	ferro	para
$J \le 0; \lvert J \rvert >> \lvert J' \rvert$	$J \ge 0;\ J >> \lvert J' \rvert$	$J = J' = 0$
$\Theta_{afm} = -\dfrac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k} > 0$	$\Theta_{fm} = -\dfrac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k} < 0$	$\Theta_{pm} = 0$
$T_N = \dfrac{2s(s+1)(p'J' - pJ)}{3k} > 0$	$T_C = \dfrac{2s(s+1)(p'J' + pJ)}{3k} > 0$	$T_{Cr}^{pm} = 0$
$T_N \ne \Theta_{afm}$	$T_C = -\Theta_{fm}$	



Ley de Curie-Weiss

$$\chi_{inic} = \frac{C}{T + \Theta}$$

Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

Resumen. Temperaturas características

Obtención de J y J' a partir de las temperaturas características

antiferromagneto

$$T_N = +\frac{2s(s+1)(p'J' - pJ)}{3k}$$

$$\Theta_{afm} = -\frac{2s(s+1)(pJ + p'J')}{3k}$$

$$J = -\frac{3k(T_N + \Theta_{afm})}{2s(s+1)p} < 0$$

$$J' = \frac{3k(T_N - \Theta_{afm})}{2s(s+1)p'}$$

ferromagneto

$$T_C = \frac{2s(s+1)(p'J' + pJ)}{3k}$$

$$J >> |J'|$$

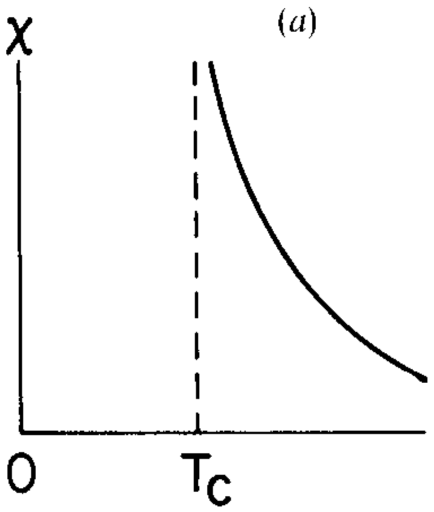
$$pJ + p'J' = \frac{3kT_C}{2s(s+1)} > 0$$

$$\Downarrow$$

$$J \approx \frac{3kT_C}{2s(s+1)p} > 0$$

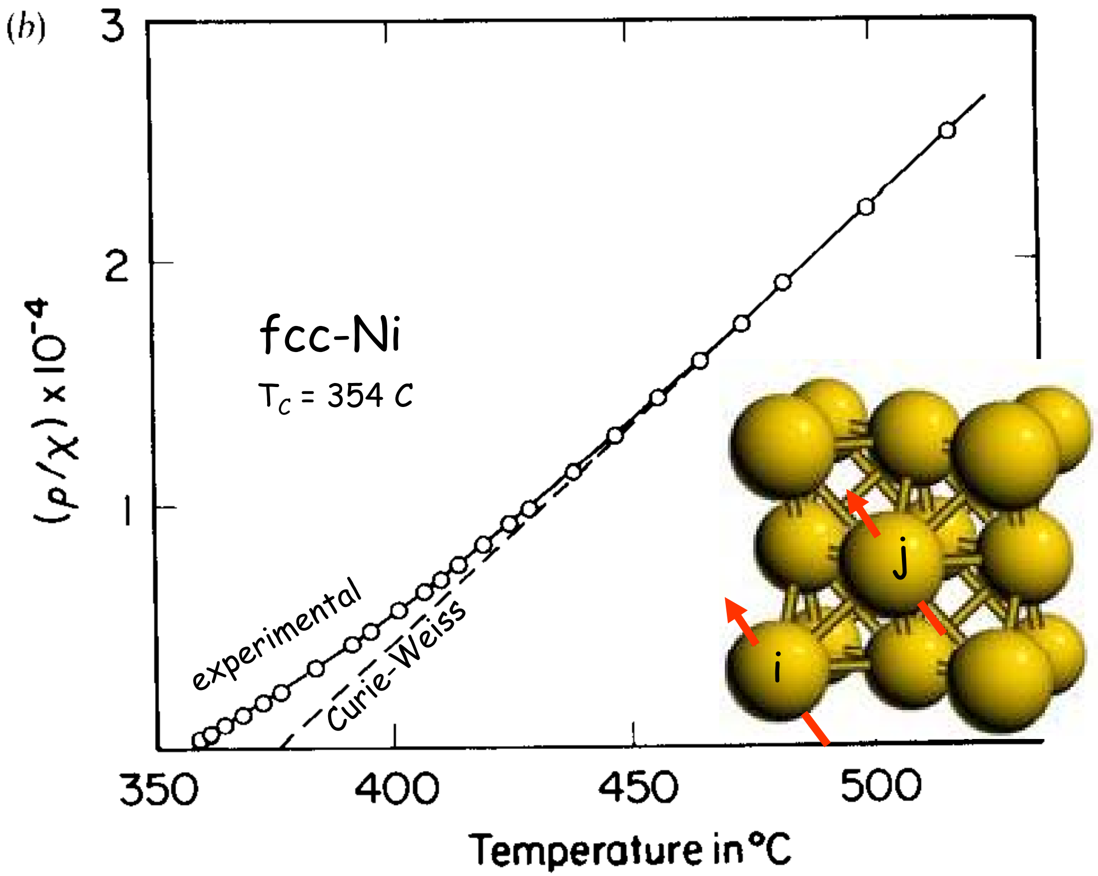
Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular

ferromagneto



$$\chi = \frac{C}{T - T_C}$$

Curie-Weiss Law
$(T > T_C)$



Ferro y Antiferromagnetismo. Teoría del campo molecular