

ОПРЕДЕЛЕНИЕ «ЗНАКА» ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЗЯЛОШИНСКОГО (ВД) В ЛЕГКООСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ (АФМ)

инж. Хоруженко О.А., д.ф.-м.н. Чепурных Г.К.

Общей проблемой для АФМ с взаимодействием ВД является экспериментальное определение «знака» ВД, что представляется принципиально интересным с точки зрения микроскопической теории ВД. Ответ на этот вопрос можно дать, определив в эксперименте направление поворота вектора антиферромагнетизма \vec{l} вокруг поля \vec{H} в геометрии $\vec{H} \perp EMA \parallel d$ (EMA – easy magnetization – axis, \vec{d} – постоянный вектор, величина, компонент которого характеризует величину ВД). Однако мессбауэровский эксперимент на легкоосном гематите не дал однозначного результата. Поэтому представляет интерес поиск других экспериментальных возможностей решения указанного вопроса.

Термодинамический потенциал используется в форме

$$F = (2M_0) \left[\frac{E}{2} \bar{m}^2 + \frac{a}{2} m_z^2 + \frac{b}{2} l_z^2 - d(l_x m_y + l_y m_x) + f l_x^2 l_y^2 - \bar{m} \vec{H} \right]$$

$$\vec{l} = (\vec{M}_1 - \vec{M}_2) / 2M_0, \quad \vec{m} = (\vec{M}_1 + \vec{M}_2) / 2M_0, \quad \vec{m} \perp \vec{l}$$

$$b < 0, \quad f > 0, \quad d > 0, \quad E \gg |b| \gg f, \quad EMA \parallel OZ, \quad (1)$$

Используются необходимые и достаточные условия существования минимума (1) находим, что в полях выше поля перехода из антиферромагнитной фазы ($\vec{l} \parallel EMA$),

угловая фаза реализуется при $2d^2 > fE$, а фаза $\vec{l} \perp EMA$ реализуется при $2d^2 < fE$.

Используя достаточные условия, находим, что наибольшее значение магнитного поля, при котором имеет место антиферромагнитная фаза, дается выражением

$$H_{Cr} = H_{EA} \left(1 - \frac{b}{2E}\right) + d, \quad (H_{EA} = \sqrt{|b|E}). \quad (2)$$

Определяя затем поле H_p равновесного перехода между угловой и антиферромагнитной фазами, находим, что при $\theta \ll 1$ разность полей

$$H_{Cr} - H_p = \frac{1}{2} \left(d - |b| \frac{a+b}{\sqrt{|b|E}} - \sqrt{fE} \frac{\sqrt{f}}{2\sqrt{|b|}} \right) \theta^2. \quad (3)$$

Если $a+b < 0$ (т.е. обычный спин-фlop переход происходит в виде перехода первого рода, то $H_{Cr} - H_p > 0$ и, следовательно, переход между антиферромагнитной и угловой фазами является переходом первого рода. Более того, если даже $a+b > 0$ (т.е. обычный спин-фlop переход происходит в виде двух переходов второго рода, то поскольку $d > \sqrt{fE}/2$ и обычно $|b| \sim \sqrt{fE}$, то и в этом случае $H_{Cr} - H_p > 0$.

Тем не менее заметим, что в принципе, если выполняется жесткое условие $[(a+b)/E] \sqrt{2|b|/f} > 1$, то при $d < d_{cr} = |b|(a+b)/H_{EA}$ имеет место переход второго рода.

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Вектор \vec{m} является осью вращения вектора \vec{l} (то же самое место имеет и случае с гематитом и если смотреть против направления \vec{m} , то в нашем случае вектор \vec{l} повернут от

оси Z по часовой стрелке. Если вращать вектор \vec{l} против часовой стрелки, то в формуле (3) перед константой Дзялошинского d появится знак минус и поэтому разность $H_{Cr} - H_p < 0$ и, следовательно, переход между антиферромагнитной и угловой фазами будет переходом второго рода.

Таким образом, мы видим, что, определив в эксперименте характер между антиферромагнитной и угловой фазами, мы тем самым определим направление вращения вектора антиферромагнетизма \vec{l} . Сказанное справедливо и для случая, если в потенциале (1) вместо инварианта $(a/2)m_z^2$ используется инвариант $(-a_2/4)l_z^4$.

Анагичный вывод можно сделать и для фторида кобальта, для которого не выполняется условие $\vec{m} \perp \vec{l}$. В этом случае, соотношение аналогичное (3) имеет вид

$$H_c - H_{tr} = \frac{1}{4} \left[\frac{\sqrt{E/G}(E + Gl^2)l^2(F^2/2G + A_2)}{\sqrt{A_1E + A_1Gl^2 - D^2 + DFl^2 + F^2El^2/4G}} + 2Dl^2 + \frac{FEI}{G} \right] \theta^2. \quad (3a)$$

Фазовый переход первого рода происходит, если $H_c - H_{tr} > 0$, а переход второго рода, если $H_c - H_{tr} \leq 0$. Знак разности $H_c - H_{tr}$ определяется знаком выражения в скобках перед θ^2 . Необходимо учесть, что потенциал для CoF_2 (1) записан так, что все константы в нем имеют положительное значение. Кроме того, поскольку критическое поле H_c может быть только действительным, то выражение под корнем в (3a) может быть только положительным. Из этого следует, что $H_c - H_{tr} > 0$ и, следовательно, переход между антиферромагнитной и угловой фазами является переходом первого рода.