

СПИНОВАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ В 180° -НЫХ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦАХ СПИН-ФЛОП ФАЗЫ ЛЕГКООСНЫХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКОВ

А. Н. Богданов, В. А. Галушко, В. Т. Телена, Д. А. Яблонский

Показано, что в легкоосных антиферромагнетиках (АФМ) в магнитном поле, превышающем поле спин-флоп перехода, должен существовать фазовый переход, связанный с перестройкой структуры доменных границ, разделяющих антиферромагнитные домены с различным направлением вектора антиферромагнетизма. Указанный эффект экспериментально обнаружен в ромбическом АФМ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

При переходе АФМ из парамагнитной фазы в упорядоченное состояние образуются области с антипараллельными направлениями вектора антиферромагнетизма $\mathbf{I} = (\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2)/2M_0$ (\mathbf{M}_i — намагниченность, i -й подрешетки, а $M_0 = |\mathbf{M}_i|$) разделенные 180° -ными доменными границами (ДГ) ¹.

Рассмотрим для определенности ромбический АФМ без взаимодействия Дзялошинского (структуры $t(-)$, $\bar{1}(-)$ по классификации Турова ²) в магнитном поле, параллельном оси легкого намагничивания (в работе — ось OZ). Как показано в ³ при переходе через промежуточное состояние, связанное с опрокидыванием магнитных моментов подрешеток в спин-флоп (СФ) фазе ($\mathbf{I} \parallel OX$) образуются 180° -ные ДГ с разворотом \mathbf{I} в плоскости, проходящей через легкую и среднюю (OX) оси — ДГ I. В отличие от антиферромагнитной фазы, где такая структура ДГ является единственной возможной, в СФ фазе возможно существование 180° -ных доменных стенок, в которых вектор вращается в плоскости, перпендикулярной легкой оси (в плоскости XOY) ДГ II. Если в ДГ I вместе с разворотом \mathbf{I} происходит существенное изменение вектора суммарной намагниченности $\mathbf{m} = (\mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2)/2M_0$ (в центре ДГ I $\mathbf{m} = 0$), то в ДГ II вращается только \mathbf{I} , а \mathbf{m} сохраняет свое направление и практически не меняется по модулю.

Выясним как влияет внешнее магнитное поле на энергию вышеописанных типов ДГ. Как известно, плотность энергии, связанной с образованием доменных стенок ($E_{\text{дг}}$) определяется энергией неоднородного обменного взаимодействия $E_{\text{об}} = \alpha M_0^2$ (α — постоянная неоднородного обменного взаимодействия) и величиной потенциального барьера ΔE , разделяющего устойчивые состояния системы, которые реализуются в соседних доменах, причем $E_{\text{дг}} \sim \sqrt{E_{\text{об}} \Delta E}$.

При развороте \mathbf{I} в плоскости XOZ (ДГ I) ΔE равна разности энергий антиферромагнитной ($\mathbf{I} \parallel OZ$) и СФ ($\mathbf{I} \parallel OX$) фаз.

$$\Delta E = \frac{1}{2} \chi_{\perp} (H^2 - H_{\text{п}}^2), \quad (1)$$

где $\chi_{\perp} = 2M_0/H_e$ — поперечная восприимчивость антиферромагнетика, $H_e = 2\lambda M_0$ — обменное поле, λ — величина межподрешеточного обменного взаимодействия, $H_{\text{п}} = \sqrt{H_A^{XOZ} H_e}$ — поле спин-флоп перехода, $H_A^{XOZ} = \beta M_0$ — поле анизотропии в плоскости XOZ , ².

Если I вращается в плоскости XOY (ДГ II), то ΔE определяется величиной поля анизотропии в этой плоскости H_A^{XOY} :

$$\Delta E^{II} = H_A^{XOY} M_0 l = M_0 H_A^{XOY} \left[1 - \left(\frac{H}{H_e} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

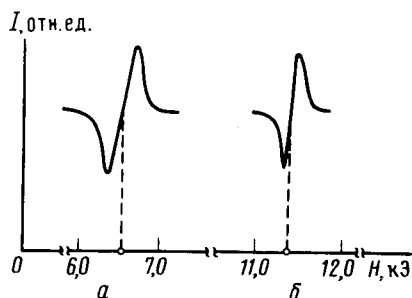
Как следует из соотношений (1) и (2), ΔE^I монотонно возрастает с ростом поля, а ΔE^{II} при этом уменьшается, обращаясь в ноль при $H = H_e$. Поэтому в некотором поле 180° -ные ДГ типа I, образовавшиеся при СФ переходе, должны перейти в ДГ типа II. Большинство легкоосных АФМ являются системами со слабой анизотропией ($H_A^{XOY}, H_A^{XOZ} \ll \ll H_e$). В этом случае ДГ II становятся энергетически выгодными уже в полях намного меньше обменных. Из равенства $\Delta E^I = \Delta E^{II}$ получаем для поля перехода H^* такое выражение

$$H^* = \sqrt{H_{II}^2 + H_e H_A^{XOY}} = \sqrt{H_e (H_A^{XOZ} + H_A^{XOY})}. \quad (3)$$

Отметим, что к такому же выражению для H^* приводит точный расчет, основанный на сравнении энергии ДГ II

$$E_{ДГ}^{II} = \sqrt{\alpha H_A^{XOY} M_0^3} \left[1 - \left(\frac{H}{H_e} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

с энергией доменных стенок типа I, полученной в ³.



Обратим внимание на одну важную закономерность. Поле пересечения ветвей антиферромагнитного резонанса (АФМР) в СФ фазе ромбических АФМ (H'), рассчитанное в ^{2, 4}, в случае слабой анизотропии ($H_A^{XOZ} \ll H_e$) совпадает с полем H^* , определяемым формулой (3). Таким образом, спиновую переориентацию в ДГ СФ фазы следует ожидать в области полей, где имеет место пересечение линий АФМР.

Согласно ⁴, в ромбическом АФМ $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при $T = 1,52\text{K}$ $H' = 11,2\text{кЭ}$, причем резонансные частоты равны $28,2\text{ ГГц}$.

В данной работе при исследовании монокристалла $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в области поля пересечения частот АФМР обнаружено аномальное поглощение радиочастотного поля. Сигнал по форме сходен с наблюдаемым при СФ переходе, а по интенсивности на два порядка меньше. При $T = 1,52\text{ К}$ сигнал регистрировался в поле $H^* = 11,662\text{ кЭ}$ ($H_{II} = 6,683\text{ кЭ}$) и имел ширину в 80 Э . На рис. 1 изображены линии поглощения в поле H^* (б) и в поле H_{II} (а) (уменьшена в $2 \cdot 10^2$ раз). В исследованном диапазоне частот ($4,5 \div 25\text{ ГГц}$) имеет место монотонный рост интенсивности поглощения с частотой при ориентации радиочастотного поля вдоль трудной оси кристалла.

Обнаруженное нерезонансное поглощение естественно связать с неустойчивостью структуры ДГ при $H \sim H^*$. Существенно меньшее поглощение по сравнению с поглощением

при $S\Phi$ переходе также свидетельствует в пользу данного предположения, поскольку связано с перестройкой структуры незначительной части кристалла, занятой ДГ.

Авторы выражают искреннюю благодарность В.Г.Барьяхтару за обсуждение работы.

Литература

1. Неев Л. Кн.: Антиферромагнетизм. М: ИИЛ, 1956.
2. Горюв Е.А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, М.: Изд. АН СССР, 1963, с. 223.
3. Барьяхтар В.Г., Богданов А.Н., Телена В.Т., Яблонский Д.А. ФТТ, 1984, 26, 389.
4. Глазкин А.А., Ветчинов А.В., Даньшин Н.К., Попов В.А. ФНТ, 1977, 3, 185.

Донецкий физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
24 сентября 1984 г.