

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ФОНОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ FeVO_3

Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова,

В легкоплоскостном антиферромагнетике FeVO_3 СВЧ-накачкой параметрически возбуждены фононы с частотой 17,7 ГГц. Частота релаксации фононов, вычисленная по порогу возбуждения, растет с увеличением статического поля.

Характерной особенностью антиферромагнетиков является обменное усиление магнитоупругого взаимодействия, что приводит к искажению спектров магнонов $v_m(\mathbf{k})$ и фононов $v_{ph}(\mathbf{k})$. Особенно ярко это проявляется для антиферромагнетиков с анизотропией типа легкая плоскость, у которых имеется низкоактивационная ветвь в спектре спиновых волн. В этом случае в малых полях существует точка пересечения спектров, вблизи которой это искажение особенно велико^{1, 2}.

Магнито-упругое взаимодействие должно также приводить к появлению особенностей в затухании магнонов и фононов³. Благодаря этому же взаимодействию возможно параметрическое возбуждение фононов электромагнитной волной СВЧ-диапазона методами параллельной и перпендикулярной накачки^{4, 5, 6, 7}.

Целью настоящей работы являлось исследование частоты релаксации фононов, определяемой по порогу параметрического возбуждения в легкоплоскостном антиферромагнетике FeVO_3 .

FeVO_3 (пространственная группа симметрии D_{3d}^6) был выбран объектом нашего исследования из-за сравнительно большого магнито-упругого взаимодействия⁸ и высокой температуры Нееля ($T_N = 348\text{K}$).

Исследования проводились с помощью СВЧ спектрометра прямого усиления на частоте накачки $v_p = 35,4$ ГГц. Монокристаллический образец размером $\sim 2 \times 2 \times 0,5$ мм³ помещался в высокодобротный цилиндрический резонатор в пучность магнитного поля СВЧ \mathbf{h} . При этом выполнялись условия "перпендикулярной накачки": поля \mathbf{h} и \mathbf{H} лежали в базисной плоскости кристалла и были перпендикулярны друг другу. Измерения проводились в интервале температур $1,2 \div 150\text{K}$. Образец охлаждался парами гелия, температура его измерялась полупроводниковым термометром сопротивления.

Параметрическое возбуждение при $\mathbf{h} \perp \mathbf{H}$ происходит следующим образом. СВЧ поле накачки \mathbf{h} возбуждает однородные колебания магнитных моментов, соответствующих низкочастотной ветви спектра спиновых волн, на частоте v_p . При достижении некоторой критической амплитуды этих колебаний оказывается возможной раскачка пары неоднородных колебаний с волновыми векторами \mathbf{k}_i как магнитной (m), так и упругой (ph) подсистем на частоте $v_\sigma(\mathbf{k}_i) \mid \sigma = m, ph; i = 1, 2$. Наименьшим порогом обладает процесс "суловской неустойчивости первого порядка", для которого выполняются следующие соотношения

$$v_\sigma(\mathbf{k}_1) + v_\sigma(\mathbf{k}_2) = v_p, \quad \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 = \mathbf{k}_p \approx 0. \quad (1)$$

Параметрическое возбуждение колебаний регистрировалось по появлению характерного искажения СВЧ импульса, прошедшего через резонатор с образцом. Амплитуда СВЧ поля на образце вычислялась по формулам распределения полей в резонаторе, исходя из величин подаваемой на резонатор мощности, добротности и коэффициента связи, резонатора с полноводами.

На рис. 1 приведена зависимость порогового поля параметрической неустойчивости h_c от статического поля H при $T = 90\text{K}$. Величина h_c падает при приближении H к H_R (H_R — поле, соответствующее антиферромагнитному резонансу на частоте v_p и минимальна при ориентации $\mathbf{h} \perp \mathbf{H}$ это означает, что мы наблюдаем процесс суловской неустойчивости. А из того факта, что процесс параметрического возбуждения наблюдается как при $H < H_R$, так и при $H > H_R$ следует, по-видимому, что возбуждаемыми частицами являются фононы. Это согласуется с результатами работы⁷, в которой в FeVO_3 при комнатной температуре и перпендикулярной накачке на частоте $v_p = 9$ ГГц наблюдалось параметрическое возбуждение поперечных фононов, распространяющихся вдоль C_3 .

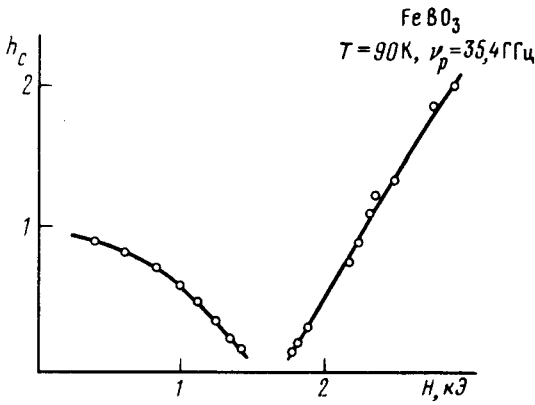


Рис.1

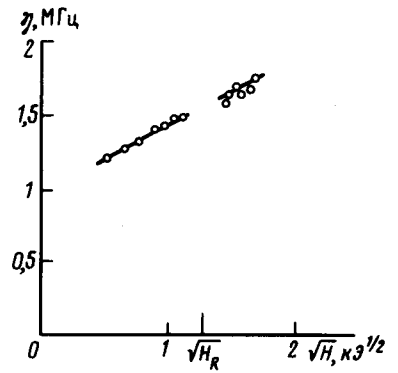


Рис.2

Рис. 1. Зависимость порогового поля h_c от статического поля H .

Рис. 2. Зависимость частоты релаксации фононов η от статического поля H .

Пороговое поле параметрического возбуждения фононов при перпендикулярной накачке для легкоплоскостных антиферромагнетиков было рассчитано Лутовиновым и Савченко^{9, 1)}

$$h_c = \xi \left(\frac{h}{\gamma} \right)^2 \frac{v_0^2 + \left(\frac{v_p}{2} \right)^2 \left[\left(\frac{s}{V} \right)^2 - 1 \right]}{\theta^2} \frac{v_0}{H + H_D} \frac{MV^2}{I_0} \frac{(v_p^2 - v_0^2)^2 + \Delta v_0^2 [(v_p - v_0)^2 + (v_p + v_0)^2]}{2v_p \sqrt{v_0^2 (v_p^2 - v_0^2)^2 + \Delta v_0^2 (v_p^2 + v_0^2)^2}} (\eta_1 \eta_2)^{1/2}, \quad (2)$$

где $\xi \sim 1$ – параметр, обусловленный анизотропиями магнитоупругого взаимодействия и релаксации фононов; $v_0^2 = \gamma^2 [H(H + H_D) + H_\Delta^2]$ – частота АФМР; $\theta = \beta$, $v_0 \approx 1,9 \cdot 10^{-15}$ эрг⁶ – магнитоупругая энергия; v_0 и $M = \rho v_0$ – соответственно объем и масса элементарной ячейки; s и V – соответственно предельные скорости магнонов и фононов, I_0 – обменный интеграл, Δv_0 – ширина линии АФМР, η_1 и η_2 – частоты релаксации возбуждаемых фононов. Значения параметров для FeBO₃ приведены в работе¹⁰.

Полагая, что в нашем эксперименте возбуждаются пары фононов одного типа с волновыми векторами \mathbf{k} и $-\mathbf{k}$, будем считать $\eta_1 = \eta_2$ и $v_{ph}(\mathbf{k}) = v_p/2$. Воспользовавшись формулой (2) по экспериментальным значениям h_c , мы вычислили релаксацию фононов. Оценка для $H = 0$ и $T = 90\text{K}$ дает значение $\eta \approx 1$ МГц, что соответствует акустической добротности $Q =$

$= \frac{v_p h}{\eta} \approx 2 \cdot 10^4$. Зависимость $\eta(H)$ приведена на рис. 2. Данные, соответствующие интервалу полей $|H - H_R| < \frac{\Delta H_0}{2} = 60\text{Э}$, где ΔH_0 – полуширина линии АФМР, мы отбросили, поскольку для их использования надо знать точную форму линии АФМР.

Из рис. 2 видно, что наблюдается значительное изменение релаксации фононов от величины магнитного поля, что указывает на существенный вклад в релаксацию процессов, связанных с магнонами. Наблюдаемый рост частоты релаксации с магнитным полем представляется нам нетривиальным фактом. В нашем случае $s > V$. Это означает, что пересечение невозмущенных спектров магнонов и фононов происходит при $H = 0$ и $k = 0$. С увеличением поля происходит раздвижка спектров, что должно, казалось бы, приводить к ослаблению влияния магнитной и упругой систем друг на друга.

Авторы глубоко признательны В.С.Лутовинову за полезные дискуссии.

¹⁾ Авторы благодарны В.С.Лутовинову за сообщение уточненной формулы (2).

Литература

1. *Боровик-Романов А.С., Рудашевский Е.Г.* ЖЭТФ, 1964, 47, 2095.
2. *Tasaki A., Iida S.* J. Phys. Soc. Japan, 1963, 18, 1148.
3. *Лутовинов В.С., Преображенский В.Л., Семин С.П.* ЖЭТФ, 1978, 74, 1159.
4. *Ожогин В.И., Якубовский А.Ю.* ЖЭТФ, 1974, 67, 287.
5. *Жотиков В.Г., Крейнес Н.М.* Письма в ЖЭТФ, 1977, 26, 496.
6. *Жотиков В.Г., Крейнес Н.М.* ЖЭТФ, 1979, 77, 2486.
7. *Wettling W., Jantz W.* Applied Phys. 1979, 19, 175.
8. *Seavey M.H.* Solid St. Comm., 1972, 10, 219.
9. *Лутовинов В.С., Савченко М.А.* Всесоюзная конференция по физике магнитных явлений. Тезисы докладов. Харьков, 1979, стр. 85.
10. *Котюжанский Б.Я., Прозорова Л.А.* ЖЭТФ, 1981, 81, 1913.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 февраля 1982 г.