

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В БОРАТЕ ЖЕЛЕЗА ( $\text{FeVO}_3$ )

Л. В. Великов, А. С. Прохоров, Е. Г. Рудашевский

В. Н. Селезнев

В антиферромагнетиках со слабым ферромагнетизмом с анизотропией типа "легкая плоскость" (пространственная группа  $D_{3d}^b$ ) спектр антиферромагнитного резонанса (АФМР) имеет низкочастотную и высокочастотные ветви [1 - 4]:

$$(\omega_1/\gamma)^2 = H(H + H_D) + H_{\Delta 1}^2, \quad (1)$$

$$(\omega_2/\gamma)^2 = 2H_A H_E + H_D^2 + H H_D + H_{\Delta 2}^2, \quad (2)$$

где  $\gamma = ge/2mc = \mu/\hbar$  - гиромагнитное отношение,  $H_D$  - поле Дзялошинского,  $H$  - внешнее магнитное поле, перпендикулярное оси  $C_3$ ,  $H_A$  и  $H_E$  соответственно эффективные поля анизотропии и обмена,  $H_{\Delta 1}^2$  и  $H_{\Delta 2}^2$  - изотропные энергетические щели, возникающие либо вследствие сверхтонкого взаимодействия [3], либо из-за магнитострикции [4].

Низкочастотная ветвь АФМР (1) была подробно изучена для многих известных антиферромагнетиков, принадлежащих к пространственной группе  $D_{3d}^6$ , с анизотропией "легкая плоскость".

АФМР в  $\text{FeVO}_3$  наблюдали в работе [5], где была изучена его температурная зависимость на одной частоте. В работе [6] был подробно изучен АФМР, соответствующий низкочастотной ветви, в широком интервале частот и было показано, что формула (1) выполняется при температурах ниже  $\sim 310^\circ\text{K}$ .

Высокочастотная ветвь в  $\text{FeVO}_3$  до настоящего времени не наблюдалась, и данная работа является первым сообщением о ее экспериментальном обнаружении и изучении.

В отличие от случая легкоосных антиферромагнетиков, где энергетическая щель при  $T = 0^\circ\text{K}$  в ряде случаев может быть определена по полю опрокидывания подрешеток, в антиферромагнетиках типа "легкая плоскость" величина энергетической щели заранее неизвестна, поэтому наблюдение соответствующего АФМР связано со значительными экспериментальными трудностями.

Поиск и изучение высокочастотного АФМР в  $\text{FeVO}_3$  производились в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,3 + 1,7 \text{ мж}^1$ ) в постоянных магнитных полях до 100 кэ при температурах  $T = 4,2 + 350^\circ\text{K}$ .

<sup>1)</sup> Авторы выражают искреннюю признательность Н.А.Ирисовой, Т.С.Мандельштам, Е.А.Виноградову за консультации и помощь при работе с техникой субмиллиметрового диапазона.

При установке образца так, чтобы внешнее магнитное поле лежало в базисной плоскости, наблюдались линии поглощения, соответствующие как высокочастотной, так и низкочастотной ветвям АФМР (рис. 1).

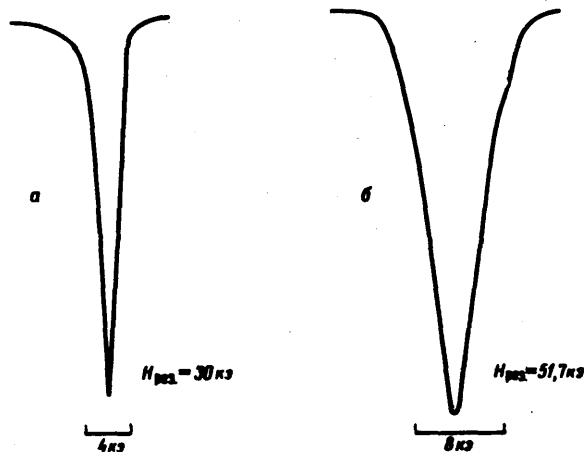


Рис. 1. *a* — Линия поглощения, соответствующая низкочастотной ветви АФМР при комнатной температуре,  $H_{рез} = 30$  кэ,  $\lambda = 1,98$  мм; *b* — линия поглощения, соответствующая высокочастотной ветви АФМР,  $T = 4,2^\circ\text{K}$ ,  $H_{рез} = 51,7$  кэ,  $\lambda = 0,598$  мм

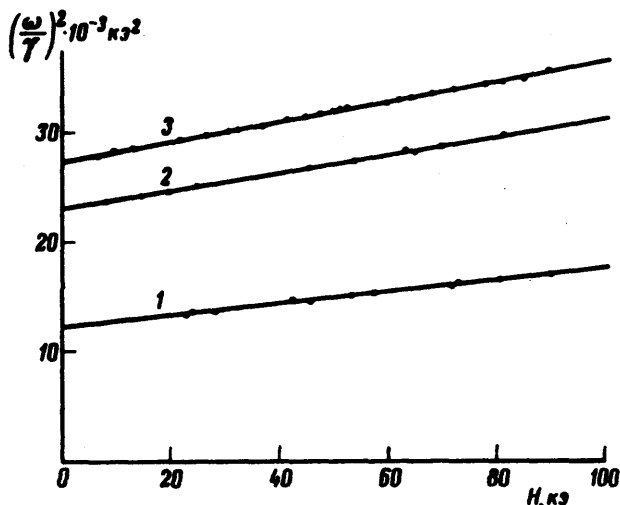


Рис. 2. Зависимости квадрата частоты АФМР от внешнего магнитного поля. Линия 1:  $T = 300^\circ\text{K}$  ( $H_D = 57,4$  кэ). Линия 2:  $T = 198^\circ\text{K}$  ( $H_D = 85,1$  кэ). Линия 3:  $T = 4,2^\circ\text{K}$  ( $H_D = 92,7$  кэ)

В интервале температур от  $4,2$  до  $350^\circ\text{K}$  ( $T_N = 348^\circ\text{K}$ ) была изучена зависимость частоты АФМР, соответствующего высокочастотной ветви, от внешнего магнитного поля. На рис. 2 в качестве примера при-

ведены зависимости  $(\omega/\gamma)^2$  от  $H$  для трех температур. Сплошные линии получены обработкой экспериментальных данных (черные точки) по формуле (2) по методу наименьших квадратов. Подобная обработка, приведенная для всех температур, при которых производились измерения, позволила найти температурные зависимости  $H_D$  и  $\tilde{H}_C = \sqrt{2H_A H_E + H_D^2 + H_{\Lambda 2}^2}$  (рис. 3). Следует отметить, что величина энергетической щели в спектре спиновых волн в борате железа существенно больше, чем в исследованных к настоящему времени карбонате марганца  $MnCO_3$  и гематите  $\alpha-Fe_2O_3$ .

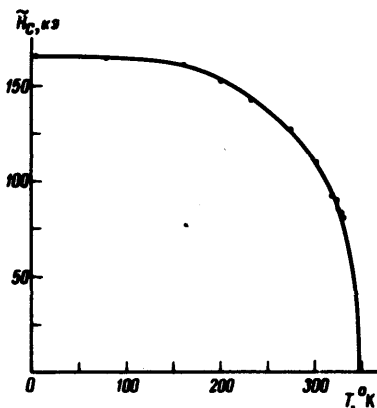


Рис. 3. Зависимость величины энергетической щели  $\tilde{H}_C$  в высокочастотной ветви спектра спиновых волн в  $FeBO_3$  от температуры

Высокочастотный резонанс в отсутствии внешнего магнитного поля при  $T = 0^\circ K$  соответствует длине волны  $\lambda = 0,61$  мкм для  $FeBO_3$  и  $\lambda = 2,4$  мкм для  $MnCO_3$  [7]. В  $\alpha-Fe_2O_3$  высокочастотный АФМР наблюдался на длине волны  $\lambda = 1,5$  мкм [8].

Авторы глубоко признательны А.М.Прохорову за постоянное внимание и дискуссии, благодарны К.Н.Кочаряну за помощь в работе.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
15 мая 1972 г.

### Литература

- [ 1 ] А.С.Боровик-Романов. ЖЭТФ, 36, 766, 1959.
- [ 2 ] Е.А.Туров. ЖЭТФ, 36, 1254, 1959.
- [ 3 ] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 45, 64, 1963.
- [ 4 ] А.С.Боровик-Романов, Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 47, 2095, 1964.
- [ 5 ] R.C.Le Crow, R.Wolfe. J.W.Nielsen. Appl. Phys. Lett., 14, 352, 1969.
- [ 6 ] Л.В.Великов, Е.Г.Рудашевский, В.Н.Селезнев. "Тезисы Всесоюзной конференции по магнетизму". Красноярск, июнь 1971 г.
- [ 7 ] P.L.Richards. J. Appl. Phys. 35, 850, 1964.
- [ 8 ] Л.В.Великов, Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 56, 1557, 1969.