

ПОГЛОЩЕНИЕ СВЧ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОВЫМИ МАГНОНАМИ В СЛОИСТОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ BaMnF_4

Л.А.Прозорова, А.И.Смирнов

Наблюдался линейный по мощности эффект поглощения на частотах 75 – 80 Гц в области магнитных полей, где существуют магныны с частотой, равной половине частоты накачки, увеличивающийся при нагревании образца и приближении частоты накачки к антиферромагнитному резонансу высокочастотной ветви.

Как следует из статических [1, 2] и высокочастотных исследований ромбический кристалл BaMnF_4 при температурах $T < T_N = 25\text{K}$ является двумерным антиферромагнетиком: обменное взаимодействие между ионами, лежащими в одном слое, существенно больше, чем между ионами из разных слоев, при этом в слое устанавливается антиферромагнитное упорядочение. Антиферромагнитный резонанс (АФМР) исследовался в работе [3]. Были исследованы обе ветви АФМР, показано, что зависимость резонансной частоты от поля следует теоретическим формулам для ромбических антиферромагнетиков, и определена температурная зависимость щелей в спектре АФМР.

В данной работе обнаружено нерезонансное поглощение СВЧ мощности, возникающее в BaMnF_4 при параллельной ориентации высокочастотного h и статического H магнитных полей ($h \parallel H$). Этот эффект линейен по мощности СВЧ и при частотах накачки ν_p , близких к частоте резонанса II ветви (АФМР-II) имеет значительную величину: $\chi'' \approx 0,1 \text{ ГСМ/см}^3$, т. е. сравнимую с поглощением при АФМР.

Исследования проводились на спектрометре прямого усиления [4], поглощающей ячейкой служил закороченный конец волновода. Величина

отраженной мощности в зависимости от статического магнитного поля фиксировалась на двухкоординатном самописце.

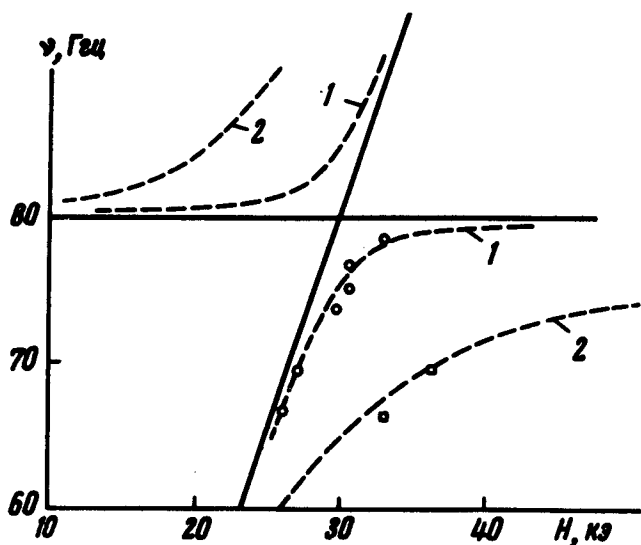


Рис. 1. Спектр АФМР для образца из двух блоков

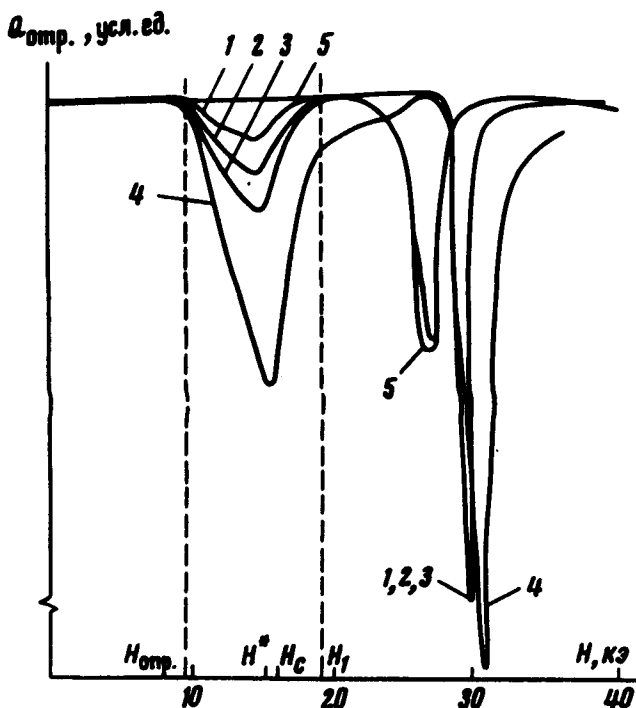


Рис. 2. Запись линий поглощения: 1 - $T = 2,04\text{K}$; 2 - $T = 3,47\text{K}$; 3 - $T = 4,2\text{K}$; 4 - $T = 7,1\text{K}$; 5 - $T = 20\text{K}$

Имевшийся образец BaMnF_4 состоял из двух примерно одинаковых по объему монокристаллических блоков. Блоки были расположены так, что их легкие оси антиферромагнетизма (оси b) были наклонены под углами ~ 5 и 20° к постоянному магнитному полю. На рис. 1 представлены спектры АФМР при $T = 4,2\text{K}$ для первого и второго блоков, экспериментальные точки совпадают с теоретическими зависимостями, рассчитанными по результатам работы [3]. На рис. 2 приведены записи кривых поглощения для $\nu_p = 73,7 \text{ Гц}$, $h \parallel H$ при различных температу-

рах. Кроме линии АФМР I-ветви (узкий пик) отчетливо наблюдается поглощение СВЧ мощности в области полей $H_{\text{опр}} < H < H_1$, где $H_{\text{опр}}$ – поле опрокидывания подрешеток.

При повышении температуры происходит увеличение эффекта, также, как и при приближении ν_p к частоте АФМР-II. При температурах выше 6К оба фактора действуют одновременно, так как частота АФМР-II начинает понижаться при нагревании, приближаясь к ν_p [3]. Линии 1, 2, 3, 4 получены при температурах, когда ν_p меньше частоты АФМР-II, а линия 5, когда ν_p превышает ее.

В связи с тем, что обнаруженный эффект наблюдается только при $h \parallel H$ и растет с температурой, мы предполагаем, что он вызван поглощением СВЧ мощности тепловыми спиновыми волнами, связанными с полем накачки, таким же образом, как и при параметрическом возбуждении спиновых волн методом параллельной накачки. Однако, порог параметрического возбуждения в наших экспериментах не достигался, иначе эффект не был бы линеен по мощности. Допороговое поглощение (ДПП) не приводит к экспоненциальному росту числа спиновых волн, так как приток энергии от накачки не превышает диссипации в системе спиновых волн, и СВЧ мощность через резервуар тепловых магнов отводится в решетку. Такое поглощение должно исчезать в магнитных полях, где невозможно выполнение условия параметрического резонанса $\nu_k = \nu_p/2$ (ν_k – частота магнов с волновым вектором k). Граница области магнитных полей H_c , где это условие выполняется, рассчитывается обычно по зависимости от поля частоты однородного резонанса: $\nu_0(H_c) = \nu_p/2$. Однако, как показано в работе [5] дипольное взаимодействие приводит к несовпадению частот неоднородного резонанса при $k \rightarrow 0$ и чисто однородного резонанса на величину $\sim \nu_0 4\pi\chi_0$. Точный расчет выполнен для типов симметрий кристаллов, к которым не относится Ba MnF_4 .

Используя результат расчета [5] для кристалла с магнитной анизотропией типа "легкая ось" можно ожидать, что в условиях нашего эксперимента H_c меньше H_1 на величину ~ 1 кэ, если основной вклад в ДПП дают спиновые волны с $k \parallel H$. Экспериментальная величина $H_1 - H_c = 2,5$ кэ. Величины H_c для двух блоков различаются на 0,5 кэ, на рис. 2 обозначена их средняя величина.

На рис. 3 изображена зависимость поглощаемой в обнаруженном эффекте мощности Q от температуры. Кривая 1 проведена по экспериментальным точкам. Использовались только те линии, где поглощаемая мощность за счет АФМР существенно меньше ДПП. Кривая 2 представляет собой величину, пропорциональную числу тепловых магнов с частотой $\nu_k = \nu_p/2 = 37$ ГГц, рассчитанную с помощью распределения Бозе $n_B(T)$, кривая 3 – амплитуду колебаний АФМР-II A_2 (полуширина АФМР-II известна из [3]).

Совпадение зависимостей $Q(T)$ и $n_B(T)$ при $T < 6$ К, подтверждает наше предположение, что это поглощение действительно вызвано тепловыми магнонами с частотой $\nu_p/2$.

Увеличение эффекта при приближении частоты к АФМР-II говорит о том, что связь тепловых коротковолновых магнов с практически

однородным полем накачки происходит через однородные колебания АФМР-II, как предсказывается теорией параллельной накачки в антиферромагнетиках [6]. Это наблюдение является непосредственным доказательством такого механизма параметрической связи.

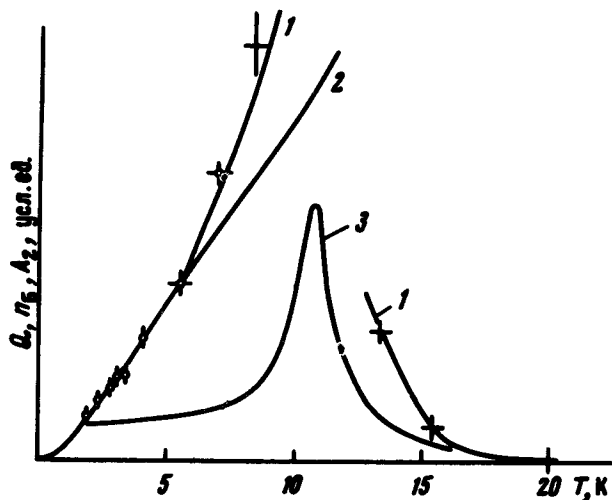


Рис. 3. Зависимость амплитуды допорогового поглощения от температуры

Каганов и Цукерник [7] теоретически исследовали явление ДПП в ферромагнетике. Величина предсказываемого ими эффекта на 4 – 5 порядков меньше наблюдаемого в данной работе.

В работах [8, 9] наблюдалось аналогичное поглощение, но значительно меньшей величины. В трехмерном ферромагнетике [8] величина эффекта крайне мала ($\chi'' \sim 10^{-4}$). В работе [9] наблюдался более значительный эффект ДПП в двумерном ферромагнетике K_2CuF_4 . Примечательна значительная величина обнаруженного ДПП в BaMnF_4 ($\chi'' \approx 0,1 \text{ СГСМ/см}^3$). К гигантской по сравнению с предсказанной в работе [7] величиной эффекта, по-видимому, приводят два обстоятельства.

1. Для антиферромагнетиков характерно, что параметрическая связь между СВЧ полем и магнонами происходит через колебания высокочастотной ветви спектра [6]. Наши эксперименты проводились при частотах, близких к частоте АФМР II-ветви, поэтому эта связь была особенно велика.

2. Магнитная двумерность BaMnF_4 приводит к тому, что для магнонов, распространяющихся поперек антиферромагнитных слоев (в условиях нашего эксперимента это магноны с $k \parallel b \parallel H$) энергия очень слабо зависит от волнового вектора (квазиимпульса) и поэтому плотность состояний спиновых волн СВЧ диапазона существенно больше, чем в трехмерном случае.

Относительно малая величина ДПП при $T > 10\text{K}$ объясняется, по-видимому, неприменимостью спин-волнового рассмотрения при высоких температурах (температура Нееля для $\text{BaMnF}_4 \sim 25\text{K}$).

Авторы благодарны П.Л.Капице за интерес к работе, А.С.Боровику-Романову за полезные обсуждения, С.В.Петрову – за предоставление выращенного им образца BaMnF_4 .

Институт
физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 января 1976 г.

Литература

- [1] L.Holms, M.Eibschütz, H.J.Guggenheim. S.S.Comm., 7, 973, 1969.
 - [2] M.E.Lines. J. Phys. Chem. Sol., 31, 101, 1970.
 - [3] С.В.Петров, М.А.Попов, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 62, 1884, 1972.
 - [4] Г.Д.Богомолов, Ю.Ф. Игонин, Л.А.Прозорова, Ф.С.Русин. ЖЭТФ, 54, 1069, 1970.
 - [5] В.Г.Барьяхтар, М.А.Савченко, В.В.Тарасенко. ЖЭТФ, 49, 1631, 1965.
 - [6] В.И.Ожогин. ЖЭТФ, 58, 2079, 1970.
 - [7] М.И.Каганов, В.М.Цукерник. ЖЭТФ, 37, 823, 1959.
 - [8] С.Р.Hartwig, J.J.Green, R.J.Joseph, E.Schlömann. J. Appl. Phys., 36, 1265, 1965.
 - [9] H.Yamazaki. Journal of the Phys. Soc. of Japan, 37, 667, 1974.
-