

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПОРОВОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ $MnCO_3$ И $CsMnF_3$ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ СПИНОВЫХ ВОЛН

В.В.Кведер, Л.А.Прозорова

Обнаружено, что действительная и мнимая части запороговой восприимчивости в антиферромагнитных  $MnCO_3$  и  $CsMnF_3$  не зависят от температуры и совпадают по порядку величины со статической восприимчивостью. Зависимости от статического поля и СВЧ-мощности согласуются с формулами работы [7]

В последнее время появился ряд экспериментальных работ по параметрическому возбуждению спиновых волн в антиферромагнетиках. Все они посвящены либо измерениям критического (порогового) поля  $h_c$ , при котором возникает параметрическое возбуждение [2 — 5], и вычислению соответствующего этому полю затухания спиновых волн, либо изучению кинетики возбуждения вблизи порога [6, 7].

Поведение спиновой системы за порогом возбуждения в настоящий момент не является вполне ясным. Одной из возможностей исследования этого вопроса является измерение нелинейной динамической восприимчивости  $\chi$ , появляющейся в образце при  $h > h_c$ , которую мы будем называть "запороговой" восприимчивостью. Величина  $\chi$  может быть определена как коэффициент пропорциональности между переменной (на частоте накачки  $\omega_p$ ) плотностью ферромагнитного момента  $m$  и амплитудой поля накачки  $h$ , при  $H \parallel h \parallel 0x$

$$m_x(\omega_p) = \chi h(\omega_p), \quad (1)$$

$$\chi = \chi' + i \chi''.$$

Целью нашей работы являлось исследование запороговой восприимчивости антиферромагнетиков с анизотропией легкая плоскость коллинеарного антиферромагнетика  $CsMnF_3$  и слабого ферромагнетика  $MnCO_3$ , в котором поле Дзялошинского  $H_D = 4,4 \text{ кэ}^1$ .

В работе использовалась установка, подробно описанная в [4]. Исследуемый образец размером  $2 \times 2 \times 0,3 \text{ мм}^3$  приклеивался клеем БФ-4 на дно цилиндрического резонатора с добротностью  $\approx 10000$  в пучность магнитного поля моды  $H_{012}$ . Статическое магнитное поле прикладывалось параллельно высокочастотному в плоскости образца, совпадающей с базисной плоскостью кристалла.

Величина запороговой восприимчивости  $\chi = \chi' + i \chi''$  измерялась по изменению резонансной характеристики резонатора, которое проис-

<sup>1</sup> Авторы признательны С.В.Петрову, И.Ю.Икорниковой и В.Р.Гакелю за предоставление, выращенных ими, монокристаллов.

ходит при параметрическом возбуждении спиновых волн в образце. Изменение собственной частоты резонатора дает сведения о величине  $\chi'$ , а изменение добротности (или прошедшей через резонатор мощности) — о величине  $\chi''$ :

$$\chi' - \chi_0 = \frac{2\pi}{\sigma} \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}, \quad (2)$$

$$\chi'' = \frac{2\pi}{\sigma} \left( \frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0} \right) = \frac{1}{4\pi\sigma Q_0} \sqrt{\frac{P_0}{P} - 1},$$

где  $\sigma = \int_{V_0} h^2 dv / \int_{V_p} h^2 dv$  — фактор заполнения по порядку величины,

равный отношению объема образца  $V_0$  к объему резонатора  $V_p$ ,  $\chi_0$  — восприимчивость при отсутствии параметрического возбуждения;  $\omega_0$ ,  $Q_0$ ,  $P_0$  — собственная частота, добротность резонатора и прошедшая через резонатор мощность при  $h < h_c$ ;  $\omega$ ,  $Q$ ,  $P$  — те же величины при наличии параметрического возбуждения в образце.

Источником СВЧ мощности ( $\omega_p / 2\pi = 36$  ГГц) служил клистрон, работающий в режиме медленного свипирования частоты.

Скорость свипирования частоты клистрона выбиралась такой, чтобы время прохождения резонансной кривой  $\tau$  составляло 2–5 мсек. При таких и меньших скоростях свипирования результаты измерений не зависели от  $\tau$ . При больших скоростях свипирования  $\chi''$  начинала уменьшаться с уменьшением  $\tau$ . Кроме того, величина  $\chi'$  начинала зависеть от направления свипирования.

Резонатор был заполнен сверхтекучим гелием, что позволяло избежать перегрева образца. СВЧ сигнал, прошедший через резонатор, детектировался кристаллическим детектором и подавался на двухлучевой осциллограф. Величина СВЧ поля на образце и мощность прошедшая через резонатор, измерялась методом, описанном в [4]. Для того, чтобы измерять смещение резонансной кривой резонатора по частоте, и ее полуширину с большой точностью, установка была дополнена калибратором частоты на базе частотомера Ч-4-8.

В работе [5] было обнаружено наличие двух пороговых полей  $h_{c1}$  и  $h_{c2}$ . Значения  $\chi''$  в интервале СВЧ полей от  $h_{c1}$  до  $h_{c2}$  получались путем обработки осциллограмм, типа изображенной на рис. 2, б, в [5].

Ошибки в определении абсолютных значений величин  $\chi'$  и  $\chi''$  составляли  $\approx 30\%$ , тогда как относительные ошибки в одной серии измерений 10–15%.

Эксперименты проводились при частоте накачки  $\omega_p / 2\pi = 36$  ГГц во всей области статических полей, допускающих параметрическое возбуждение спиновых волн на частоте  $\omega_k = \omega_p / 2$  в  $\text{MnCO}_3$  и  $\text{CsMnF}_3$ . Температура изменялась от 1,2 до 2,17°К. Для исследуемых величин  $\Delta\chi' = \chi' - \chi_0$  и  $\chi''$  были получены следующие результаты (рис. 1 и 2).

1) Величины  $\Delta\chi'$  и  $\chi''$  не зависят от температуры в интервале — = 1,2 + 2,17°К.

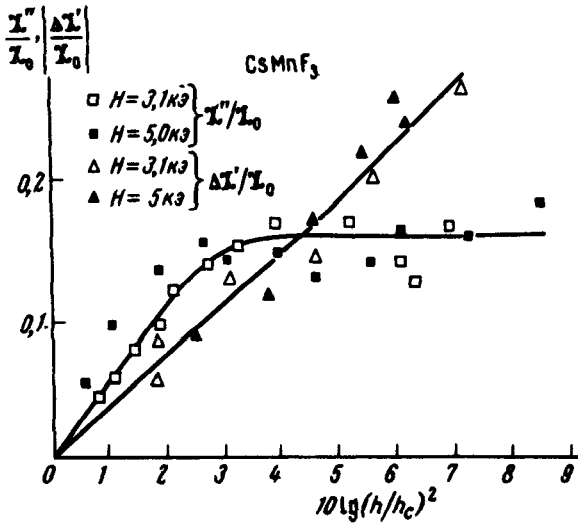


Рис. 1. Зависимость запороговой восприимчивости от уровня СВЧ мощности в  $\text{CsMnF}_3$  ( $\chi_0 = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ CGSE/cm}^3$ )

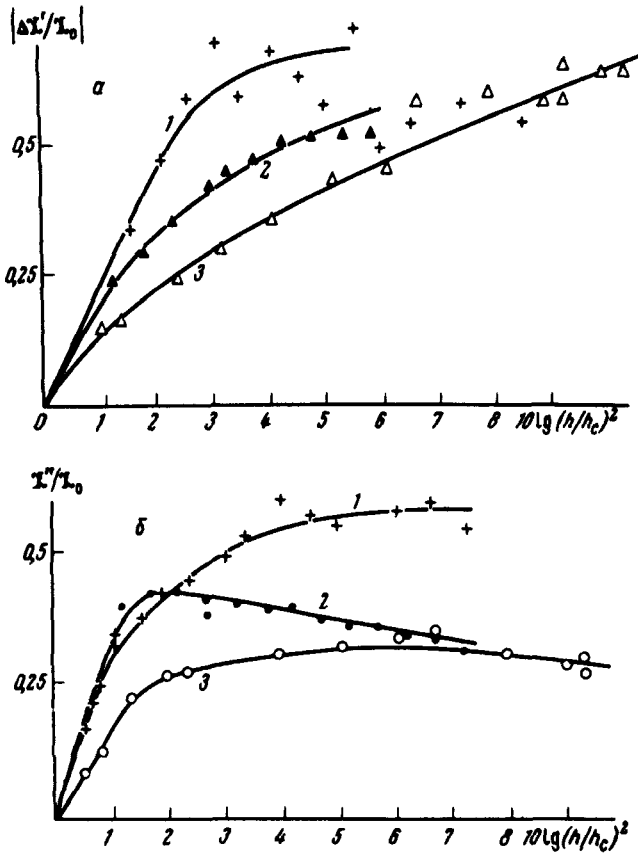


Рис. 2. Зависимость действительной (а). 1 -  $H = 1,94 \text{ кэ}$ , 2 -  $3,46 \text{ кэ}$ , 3 -  $4,1 \text{ кэ}$  и мнимой (б): 1 -  $H = 1,94 \text{ кэ}$ , 2 -  $H = 3,46 \text{ кэ}$ , 3 -  $H = 4,1 \text{ кэ}$  частей запороговой восприимчивости от уровня СВЧ мощности в  $\text{MnCO}$  при различных величинах статического магнитного поля.  $\chi_0 = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ CGSE/cm}^3$

2) Изменение величины вещественной части восприимчивости  $\Delta\chi'$  имеет отрицательный знак, абсолютная величина его монотонно увеличивается с увеличением амплитуды СВЧ поля  $h$ .

3) Мнимая часть запороговой восприимчивости  $\chi''$  растет с увеличением  $h$ , при  $(h/h_c)^2 \approx 3$  дб достигает максимального значения  $\chi''_{max}$  и затем медленно уменьшается.

4) Величины  $|\Delta\chi'(h \rightarrow \infty)|$  и  $\chi''_{max}$  близки к линейным значениям восприимчивости высокочастотной ветви  $\chi_0$ .

5) Абсолютные величины  $\Delta\chi'$  и  $\chi''$  в  $MnCO_3$  увеличиваются при уменьшении величины статического поля  $H$ . В  $CsMnF_3$  величины  $\Delta\chi'$  и  $\chi''$  не зависят от  $H$ .

Величина запороговой восприимчивости для АФМ с анизотропией типа легкая плоскость была вычислена Колгановым, Львовым, Широковым [7] на основе нелинейной стационарной теории [8]. Полученные нами зависимости  $\chi$  от величин высокочастотного и статического магнитных полей качественно согласуются с формулами работы [7]. Однако значения  $\chi$ , полученные на эксперименте, приблизительно в два раза меньше, предсказываемых теорией.

Авторы благодарны П.Л.Капице и А.С.Боровику-Романову за постоянное внимание к работе. Благодарим также В.С.Львова и В.А.Колганова за полезные дискуссии.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
21 марта 1974 г.

## Литература

- [1] M. H. Seavey. Phys. Rev. Lett., 23, 132, 1969.
- [2] Л.А.Прозорова, А.С.Боровик-Романов. Письма в ЖЭТФ, 10, 316, 1969.
- [3] H. Jamazaky. J. Phys. Soc., Japan, 29, 1383, 1972.
- [4] Б.Я.Котюжанский, Л.А.Прозорова. ЖЭТФ, 62, 2199, 1972.
- [5] В.В.Кведер, Б.Я.Котюжанский, Л.П.Прозорова. ЖЭТФ, 63, 2205, 1972.
- [6] В.И.Ожогин, А.Ю.Якубовский. ЖЭТФ, 63, 2155, 1972.
- [7] В.А.Колганов, В.С.Львов, М.И.Широков. Письма в ЖЭТФ, 19, 680, 1974.
- [8] В.Е.Захаров, В.С.Львов, С.С.Старобинец. ЖЭТФ, 59, 1200, 1970.