

РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА СПИНОВЫХ ВОЛНАХ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ CoCO_3

А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес,
А.А.Панков

В работе исследуется мандельштам-бриллюэновское рассеяние света ($\lambda = 0,63$ мкм) под 90° в антиферромагнитном CoCO_3 ($T_N = 18$, К) при $T \sim 2$ К. Наблюдается рассеяние на тепловых спиновых волнах и на спиновых волнах, возникающих в образце при возбуждении в нем низкочастотной ветви АФМР. Изучение спектрального состава и интенсивности света, рассеянного на возбужденных спиновых волнах показало, что доминирующим процессом релаксации является упругое двухмагннное рассеяние.

Нами была предпринята попытка исследовать мандельштам-бриллюэновское рассеяние света на спиновых волнах в кристалле CoCO_3 при $T \sim 2$ К.

CoCO_3 ниже $T_N = 18$, К переходит в антиферромагнитное состояние со слабым ферромагнетизмом с анизотропией типа легкая плоскость [1]. Спектр спиновых волн такой магнитной структуры состоит из двух ветвей [2, 3]. Низкочастотная ветвь, о которой в дальнейшем будет идти речь, имеет вид

$$\left(\frac{\nu}{\gamma}\right)^2 = H(H + H_D) + a_z^2 k_z^2 + a_\perp^2 k_\perp^2, \quad (1)$$

где H – внешнее магнитное поле, H_D – поле Дзялошинского, γ – гиромагнитное отношение, a_z и a_\perp – обменные константы. γ и H_D , определенные из экспериментов по АФМР в CoCO_3 , имеют следующие значения: $\gamma = 5,6$; $H_D = 27$ кэ из [5], $\gamma = 4,6$, $H_D = 51,5$ кэ из [6]. Отсутствие щели в этой ветви спектра позволяет исследовать низкочастотный спектр такой структуры с помощью мандельштам-бриллюэновского рассеяния света на спиновых волнах с $\mathbf{k} \neq 0$ [4].

Исследование оптических свойств CoCO_3 [7] показало, что этот кристалл в антиферромагнитном состоянии становится оптически двуосным, и возникающее при этом анизотропное магнитное двупреломление $n_x - n_y = 27 \cdot 10^{-5}$ (или ~ 1500 град/см) при $\lambda = 0,63$ мкм. Разность показателей преломления $n_z - n_x = 16 \cdot 10^{-5}$. Заметного фарадеевского вращения (меньше 100 град/см) в этом соединении нами обнаружено не было.

Для исследования рассеяния света нами использовалась та же установка, что и в работе [8] с той лишь разницей, что в интерферометр Фабри – Перо направлялся свет рассеянный образцом под 90° к падающему лучу.

Образец CoCO_3 приготавливался в виде прямоугольного параллелепипеда с основанием $\sim 1 \times 1$ мм² и высотой $\sim 1,5$ мм. Ось z (C_3) была направлена вдоль диагонали основания параллелепипеда. Геомет-

рия эксперимента по рассеянию изображена на вставке к рис. 1. При такой геометрии наблюдалось рассеяние на спиновых волнах с $k_z = 2,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$.

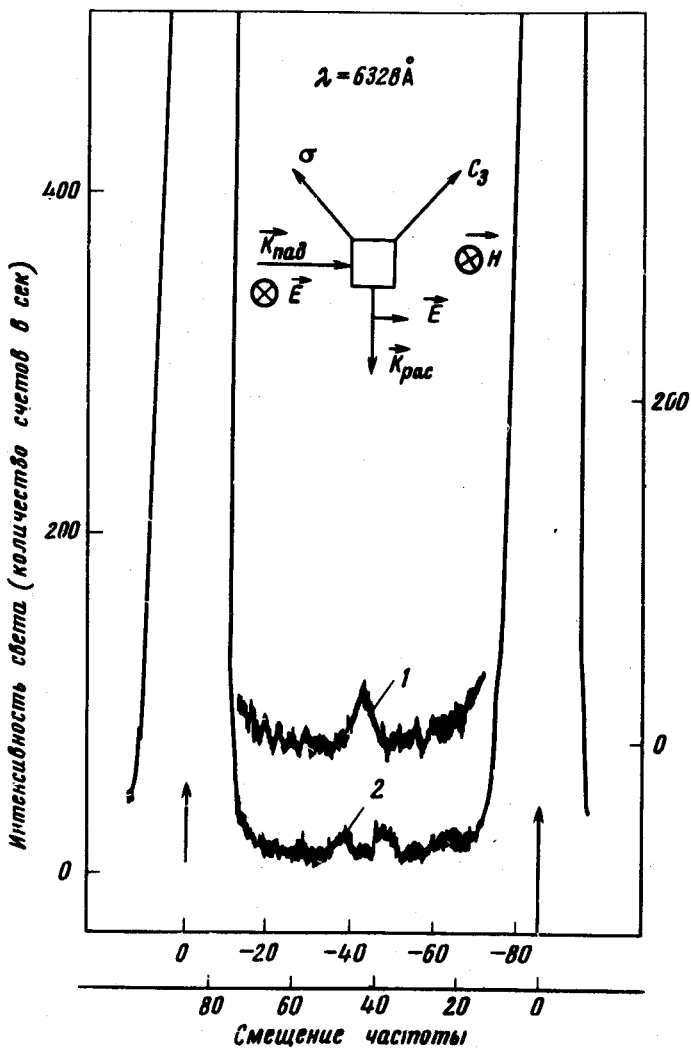


Рис. 1. Спектр рассеяния под 90° на тепловых магнонах для $H = 1408 \text{ э}$ (1) и $H = 1014 \text{ э}$ (2) в CoCO_3 ($T \sim 2 \text{ К}$)

Все эксперименты проводились при температурах $1,5 - 2 \text{ К}$ в магнитных полях до 2 кэ . Мощность используемого источника света – лазера ЛГ-36А – составляла $\sim 50 \text{ мвт}$.

Экспериментально исследовалось рассеяние света на тепловых спиновых волнах в отсутствие СВЧ мощности и на спиновых волнах, возбуждаемых при подаче на образец СВЧ мощности в условиях АФМР.

а) Тепловые спиновые волны. Пример записи спектра света, рассеянного на тепловых спиновых волнах, приведен на рис. 1. Видно, что зарегистрированный спектр содержит кроме несмещенной компоненты, соответствующей частоте падающего света, смещенную на $\pm \Omega$,

вызванную рассеянием на тепловых магнонах. Частота смещенной компоненты зависит от величины приложенного магнитного поля¹⁾. Кривая 1 соответствует $H = 1408$ э, кривая 2 — $H = 1014$ э.

Приведенный на рис. 1 спектр был снят при выполнении следующих поляризационных условий: на кристалл падал свет, поляризованный вдоль внешнего магнитного поля, принималась на интерферометр компонента рассеянного света, поляризованная под 90° к магнитному полю. В том случае, когда падающий и рассеянный свет были поляризованы вдоль магнитного поля, сигнал на смещенных частотах в регистрируемом спектре полностью отсутствовал. Полученные результаты для спектров рассеяния на тепловых магнонах позволяют утверждать, что с точностью до $\sim 30\%$ интенсивности стоксовой и антистоксовой компонент одинаковы.

На рис. 2 приведена зависимость квадрата частоты магнонов от внешнего магнитного поля в интервале $0 - 2$ кэ, полученная из снятых нами спектров. Как видно из рисунка, эта зависимость достаточно хорошо аппроксимируется прямой линией. Согласно формуле (1) наклон этой прямой дает величину $\gamma^2 H_D$ (при условии $H \ll H_D$), равную $1050 \text{ Гц}^2/\text{кэ}$. Это значение на 5% меньше, полученного из данных [6], и на 20% превышает, полученное из данных [5]. Экстраполируя эту прямую к $H = 0$, получим значение $\nu^2 = a_z^2 k_z^2$, откуда определяем $a_z = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ кэ} \cdot \text{см}$ (или $6,9 \cdot 10^{-5} \text{ Гц} \cdot \text{см}$). Определенная из измерений теплоемкости CoCO_3 [10] $a_{\text{ср}}$ составляет $0,68 \cdot 10^{-5} \text{ кэ} \cdot \text{см}$.

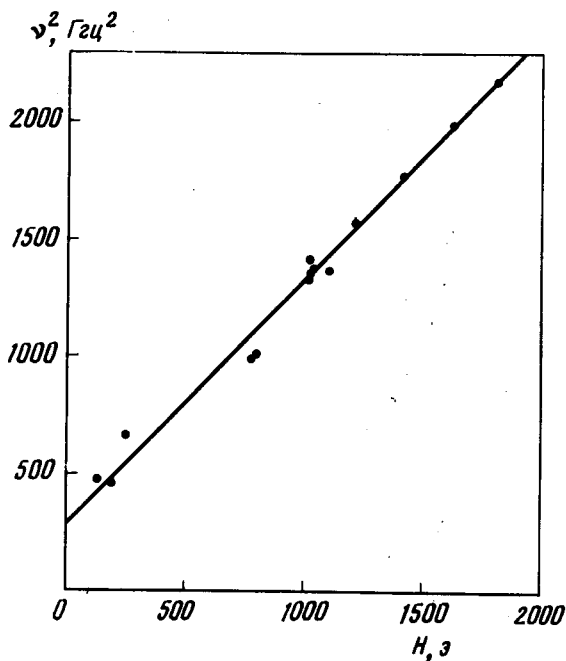


Рис. 2. Зависимость квадрата частоты от магнитного поля для тепловых магнонов в CoCO_3 ($T \sim 2\text{K}$)

б) Возбужденные спиновые волны. В работах [8, 9] нами было экспериментально показано, что при возбуждении в образце CoCO_3 антиферромагнитного резонанса в нем возникают как спиновые волны с $k = 0$,

¹⁾ Все приводимые в статье магнитные поля даны с учетом размагничивающего фактора образца.

так и с $k \neq 0$. Причем последних в $\sim 10^4$ раз больше, чем первых. Для того, чтобы выяснить вопрос, на какие именно спиновые волны с $k \neq 0$ распадается однородная прецессия при АФМР, мы провели исследования спектрального состава света, рассеянного под 90° (т. е. $k_z = 2,5 \cdot 10^5$) при возбуждении в нем низкочастотной ветви АФМР. В этом эксперименте выполнялись те же поляризационные условия, что и при исследовании тепловых магновов. На рис. 3 приведен пример записи спектра рассеянного света при подаче на образец СВЧ мощности (~ 5 мвт) в поле $H = 1014$ э. Из сравнения рис. 1 и рис. 3 видно, что при возбуждении АФМР число спиновых волн с данным k возрастает по крайней мере в 20 раз. Такое усиление магновных пиков наблюдается только в узком интервале магнитных полей $H = 1014 \pm 25$ э, хотя поглощение СВЧ мощности в исследовавшемся в этом эксперименте образце наблюдалось в области полей от $H = 620$ до 1200 э. Большая ширина резонансной линии связана с возбуждением различных магнитостатических мод в образце и находится в качественном согласии с расчетами Барьяхтара и др. для легкоплоскостных антиферромагнетиков [11].

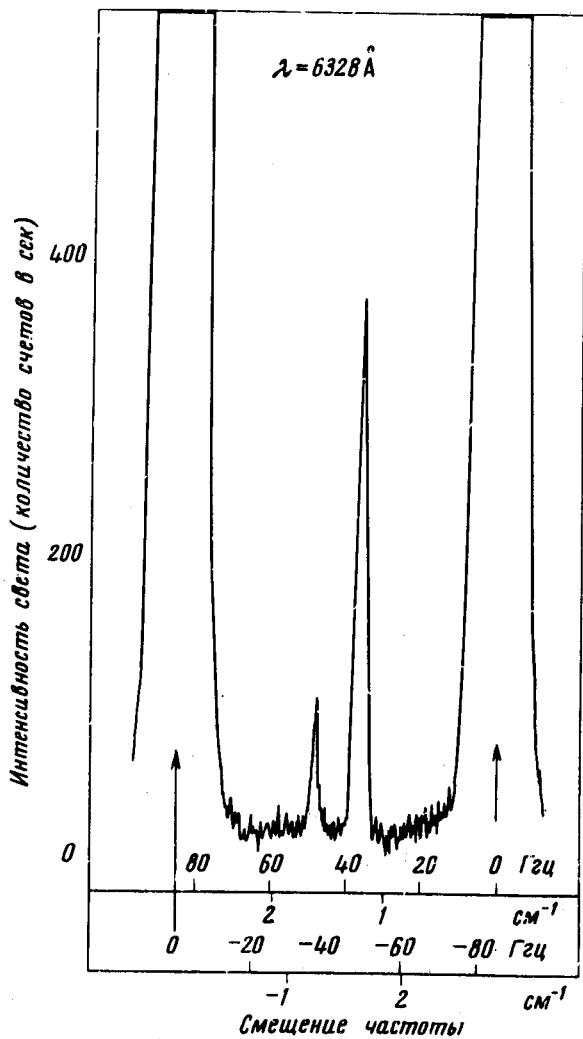


Рис. 3. Спектр рассеяния под 90° на магнонах, возбужденных при АФМР, в CoCO_3 ($T \sim 2\text{K}$)

Частота усиленных при АФМР магновов всегда равнялась частоте СВЧ $\nu = 36$ Гц. Этот результат указывает на то, что доминирующим процессом релаксации однородной прецессии является двухмагنونный процесс, при котором энергия спиновой волны строго сохраняется, но не сохраняется волновой вектор (см., например, [12]). На рис. 3 обращает на себя внимание резкая разница в интенсивностях стоксовой и антистоксовой компонент рассеянного на магнонах света. Причем интенсивность антистоксовой компоненты всегда получалась больше стоксовой, хотя отношение их величин менялось при переюстировке образца. Этот факт можно интерпретировать как существование направленного потока магновов с $k_z = 2,5 \cdot 10^5$ через область, из которой наблюдалось рассеяние.

Авторы сердечно благодарят П.Л.Капицу за интерес к работе, а также Н.Ю.Икорникову и В.М.Егорова за предоставление кристаллов CoCO_3 .

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 июля 1976 г.

Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, В.И.Ожогин. ЖЭТФ, 39, 27, 1960.
- [2] А.С.Боровик-Романов. ЖЭТФ, 36, 75, 1959.
- [3] Е.А.Туров. ЖЭТФ, 36, 1254, 1959.
- [4] W.Jantz, J.R.Sandercock, W.Wettling. Determination of Magnetic and Elastic Properties of FeVO_3 by Light Scattering. Preprint, 1976.
- [5] Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 46, 134, 1964.
- [6] Г.Д.Богомоллов, Ю.Ф.Игонин, Л.А.Прозорова, Ф.С.Русин. ЖЭТФ, 54, 1069, 1968.
- [7] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, А.А.Панков, М.А.Талалаев. ЖЭТФ, 66, 782, 1974.
- [8] А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес, А.А.Панков. Письма в ЖЭТФ, 23, 705, 1976.
- [9] А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес, А.А.Панков. ЖЭТФ, 70, 1924, 1976.
- [10] Н.Н.Калинкина. ЖЭТФ, 43, 2028, 1962.
- [11] В.Г.Барьяхтар, М.А.Савченко, В.В.Тарасенко. ЖЭТФ, 49, 1631, 1965.
- [12] C.W.Naas, H.V.Callen in: "Magnetism" ed by G.T.Rado and H.Suhl, vol I, p. 450, Academic Press 1963.