

РАССЕЯНИЕ СВЕТА В СЛАБОФЕРРОМАГНИТНОМ CoCO_3 ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СПИНОВОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ СВЧ МОЩНОСТЬЮ

В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес

В спектре рассеяния света в слабоферромагнитном CoCO_3 обнаружены интенсивные пики, соответствующие магнонам и фононам, параметрически возбуждаемым при СВЧ накачке. Частота этих пиков равна половине частоты накачки.

В настоящей работе исследовался спектральный состав света, рассеянного под 90° к падающему лучу, в кристалле CoCO_3 при $T \lesssim 2\text{K}$ в магнитном поле при подаче на образец сравнительно большой СВЧ мощности.

В качестве спектрального прибора использовался высококонтрастный ($\sim 10^7 - 10^8$) трехпроходный сканируемый интерферометр Фабри – Перо американской фирмы "Burleigh". Все исследования проводились на установке, отличающейся от описанной в [1], тем, что а) в интерферометр попадал свет, рассеянный образцом под 90° к падающему лучу; б) в качестве регистрирующего прибора (после счетчика фотонов) использовался многоканальный накопитель DAS-I, разработанный той же фирмой "Burleigh". Этот прибор осуществлял также автоматическую юстировку интерферометра; в) источник СВЧ излучения имел частоту $\nu = 35,4 \text{ Гц}$ и выходную мощность $\sim 2 \text{ вт}$; г) мощность источника света ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) – лазера ЛГ-36А – составляла $\sim 50 \text{ мвт}$. Эксперименты проводились на том же образце CoCO_3^1 , что и в работе [2]. Используемая геометрия эксперимента позволяла изучать рассеяние света на элементарных возбуждениях (спиновых волнах или фононах) с волновым вектором $\mathbf{k} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$.

Кристалл CoCO_3 ниже $T_N = 18,1\text{K}$ является антиферромагнетиком со слабым ферромагнетизмом. Его магнитные, резонансные и оптические свойства к настоящему времени хорошо изучены [3 – 6].

В предыдущей работе [2] нами исследовалось рассеяние света в этом кристалле на спиновых волнах как тепловых, так и возбужденных АФМР при малых мощностях СВЧ ($\sim 5 \text{ мвт}$). Увеличение СВЧ мощности привело к обнаружению ряда новых экспериментальных фактов, о которых сообщается в настоящей статье. Изучалось рассеяние на элементарных возбуждениях, распространяющихся либо вдоль оси C_2 (ось z) кристалла ($\mathbf{k} = \mathbf{k}_z$), либо в базисной плоскости вдоль оси $x^2)^3$ ($\mathbf{k} = \mathbf{k}_x$).

Сначала остановимся на результатах, получающихся для $\mathbf{k} = \mathbf{k}_z$.

1. При определенном уровне подаваемой СВЧ мощности (накачки) $P_0 \approx 50 \text{ мвт}$ в условиях возбуждения низкочастотной ветви АФМР ($\nu = 35,4 \text{ Гц}$,

¹) Авторы благодарны Н.Ю.Икорниковой и В.М.Егорову за предоставленные кристаллы CoCO_3 .

²) За ось x в базисной плоскости выбирается направление, параллельное внешнему магнитному полю.

$H = 1280$ э) в спектре рассеянного света, кроме пиков, соответствующих усиленным (по сравнению с тепловыми для $H = 1280$ э, [2]) магнонам на частоте накачки (рис. 1, а), появляются дополнительные сателлиты, меньшей интенсивности, с частотой равной половине частоты на-

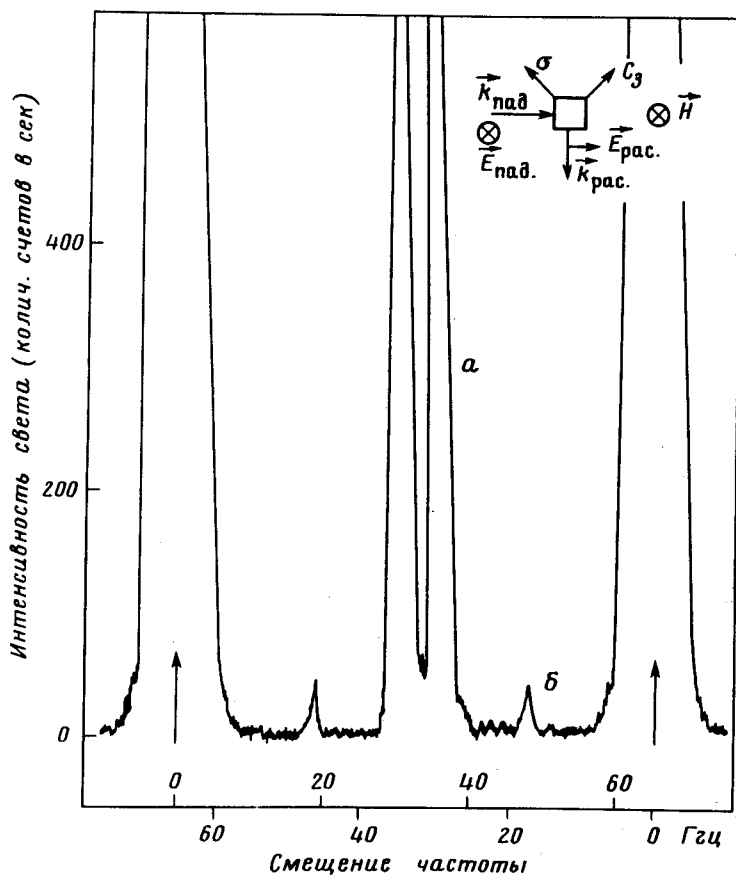


Рис. 1. Спектр рассеяния света под 90° в CoCo_3 ($T \lesssim 2\text{К}$) на возбуждениях, распространяющихся по z , при подаче СВЧ мощности ($P \sim 400$ мвт) в условиях АФМР ($H = 1280$ э, $\nu = 35,4$ Гц): а – усиленные магноны, б – возбуждения на половинной частоте

качки (рис. 1, б). Эти сателлиты существуют в узком интервале магнитных полей ~ 40 э, совпадающем по ширине с областью существования усиления магنونных пиков на основной частоте. Однако, максимум интенсивности этих линий сдвинут в большие поля на ~ 20 э по сравнению с максимумом интенсивности усиленных магнонов. Величина мощности накачки P_0 соответствует началу отклонения от линейного закона в зависимости интенсивности усиленных магنونных пиков от СВЧ мощности. В этих экспериментах выполнялись те же поляризационные условия, что и при наблюдении тепловых магнонов, т. е. $\vec{E}_{\text{рас}} \perp \vec{E}_{\text{пад}}$.

II. Исследование спектра рассеяния света в малых магнитных полях ($H = 230$ э, геометрия эксперимента совпадала с пунктом I) при СВЧ накачке на частоте $35,4$ Гц позволило обнаружить усиление тепловых магнонов на частоте $17,8 \pm 0,4$ Гц (рис. 2). Это усиление существует

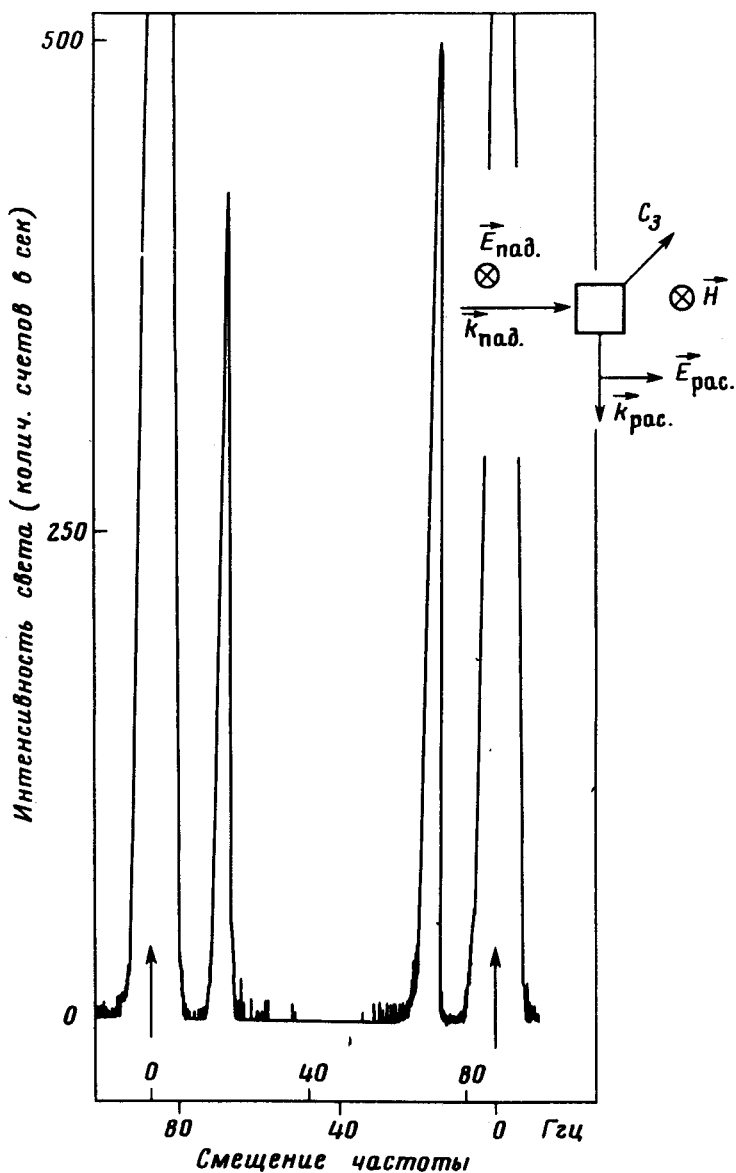


Рис.2. Спектр рассеяния света в CoCO_3 на магнонах, распространяющихся по z , при подаче СВЧ мощности ($P \sim 500$ мвт) с $\nu = 35,4$ Гц и в магнитном поле $H = 230$ э

также в очень узком интервале магнитных полей ± 10 э. Зависимость его от СВЧ мощности, по-видимому, не носит порогового характера. При мощностях ~ 300 мвт. происходит насыщение эффекта усиления. При этом интенсивность усиленного пика в ~ 20 раз больше, чем теплового при мощности СВЧ накачки ~ 500 мвт. В этих экспериментах также выполняется условие: $E_{\text{рас}} \perp E_{\text{пад}}$

III. Теперь обратимся к результатам, получающимся при $k = k_x$. Геометрия эксперимента для данного случая изображена на рис. 3.

В этой конфигурации в малых магнитных полях при подаче СВЧ мощности с $\nu = 35,4$ Гц в спектре рассеянного света также появляется спутник на половинной частоте. Однако, в отличие от предыдущих случаев, он существует в широком интервале магнитных полей ~ 500 э. В этом же интервале полей наблюдается дополнительное поглощение СВЧ мощности (рис. 3, кривая 2). Частота спутника не зависит от магнитного поля (точки на рис. 3). Отличаются от предыдущего и поляризационные условия наблюдения, а именно: рассеянный свет содержит как $E_{||}$, так и E_{\perp} (по отношению к падающему) компоненты.

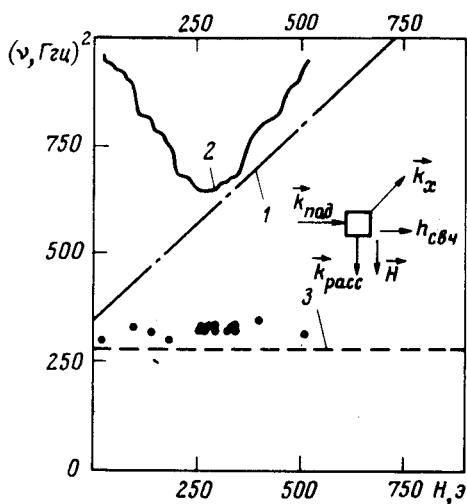


Рис.3. Зависимость квадрата частоты от магнитного поля для тепловых и накачанных элементарных возбуждений, распространяющихся по x , для CoSO_3 при $T \lesssim 2\text{K}$. Точки соответствуют накачанным возбуждениям, кривые: 1 — спектр тепловых магнонов с $k = k_x$, 2 — линия поглощения СВЧ мощности, 3 — частота поперечных фононов в базисной плоскости при $T \sim 100\text{K}$

В настоящее время мы можем качественно объяснить природу эффектов, описанных в пунктах II и III. Что касается эффекта, описанного в п. I, то снятые нами спектры тепловых магнонов и фононов для CoSO_3 не позволяют объяснить его простыми процессами распада магнона с $\nu = 35,4$ Гц на магноны или фононы половинной частоты. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

Результаты, описанные в п. II, можно объяснить параметрическим возбуждением магнонов половинной частоты при перпендикулярной накачке ($H \perp h_{\text{СВЧ}}$) в магнитном поле, величина которого определяется спектром низкочастотных магнонов. При этом СВЧ фотон с энергией $\hbar\nu$ рождает два магнона с энергиями $\hbar\nu/2$ и волновыми векторами k и $-k$. Подчеркнем, что в данном эксперименте фиксированы и величина и направление наблюдаемых магнонов. Поглощения СВЧ мощности, сравнимого с наблюдаемым в резонансе, в этом поле нами обнаружено не было.

В третьем случае из эксперимента следует, что во-первых (рис. 3) частота спутника не зависит от величины магнитного поля, и, во-вторых, поляризационные условия соответствуют условиям наблюдения поперечных фононов в базисной плоскости. Кроме того, частоты этих фононов при данном k (определенные при $T \sim 100\text{K}$) близки к частоте са-

¹⁾ Эти спектры будут опубликованы нами в подробной статье.

теллита. Естественно считать, что в данном эксперименте мы видим рассеяние света на возбужденных при СВЧ накачке фонах или на смешанных магнитоупругих возбуждениях. В отсутствие СВЧ накачки число фононов при $T \gtrsim 2K$ мало и не обнаруживается на эксперименте.

Авторы благодарны П.Л. Капице за интерес к работе.

Выражаем также сердечную благодарность А.С.Боровику-Романову за плодотворные дискуссии и интерес к работе, А.А.Панкову — за обсуждение результатов, С.М.Елагину — за помощь при эксперименте.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
25 августа 1977 г.

Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес, А.А.Панков. Письма в ЖЭТФ, 23, 705, 1976.
 - [2] А.С.Боровик-Романов, В.Г.Жотиков, Н.М.Крейнес, А.А.Панков. Письма в ЖЭТФ, 24, 233, 1976.
 - [3] А.С.Боровик-Романов, В.И.Ожогин. ЖЭТФ, 39, 27, 1960.
 - [4] Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 46, 134, 1964.
 - [5] Г.Д.Взгомолов, Ю.Ф.Игонин, Л.А.Прозорова, Ф.С.Русин. ЖЭТФ, 54, 1069, 1968.
 - [6] А.С.Боровик-Романов, Н.М.Крейнес, А.А.Панков, М.А.Талалаев. ЖЭТФ, 66, 782, 1974.
-