

ДЛИННОВОЛНОВЫЙ ИК СПЕКТР CoCO_3 : ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МОДА АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА (АФМР) И ДВУХМАГНОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

В.М. Науменко, В.В. Еременко, А.И. Масленников
А.В. Коваленко

Впервые в CoCO_3 наблюдаются высокочастотная мода АФМР и двухмагнонное поглощение и впервые в слабом ферромагнетике измерен сдвиг линии двухмагнонного поглощения в магнитном поле H . Для удолетворительного описания АФМР необходимо вычисление частот с точностью до членов второго порядка по H .

Карбонат кобальта CoCO_3 (группа симметрии D_{3d}^6) ниже $T_N = 18,1\text{K}$ становится слабым ферромагнетиком с суммарным магнитным моментом, лежащим в базисной плоскости [1]. По результатам статических магнитных измерений было определено поле Дзялошинского ($H_D = 27 \pm 1,5 \text{ кэ}$) и угол отклонения магнитных моментов подрешеток от оси антиферромагнетизма ($\delta \approx 7^\circ$) [1]. Резонансные исследования ранее были проведены только для низкочастотной (НЧ) моды АФМР [2]. По результатам этих исследований были оценены g -фактор ($g_{\perp} = 3,3 \pm 0,2$) и поле Дзялошинского ($H_D = 51,5 \pm 8 \text{ кэ}$), значение которого существенно отличалось от величины, определенной из статических измерений [1]. Представляло интерес обнаружение высокочастотной (ВЧ) ветви АФМР и определение параметров теории из полученных данных. С целью исследования ВЧ моды АФМР и двухмагнонного поглощения нами исследовался спектр поглощения CoCO_3 в диапазоне частот $12,5-150 \text{ см}^{-1}$ с помощью дифракционного спектрометра.

Исследования проводились на монокристаллах карбоната кобальта, содержащих в виде примесей железо (несколько десятых долей процента по весу), марганец и никель (несколько сотых процента)¹⁾. Кристаллы выращивались методом гидротермального синтеза и давали хорошие коноскопические фигуры, что свидетельствовало об отсутствии блочности. На частотах $34,6$ и $54,7 \text{ см}^{-1}$ (частоты приведено для $T \rightarrow 0$) наблюдались линии поглощения, связанные с магнитным упорядочением кристалла (рис. 1). При увеличении температуры линии уширялись и уменьшались по интенсивности, а при $T \approx 14\text{K}$ они сливались с фоном, претерпевая небольшой сдвиг (рис. 2). Из рис. 1 видно, что магнитодипольная линия $34,6 \text{ см}^{-1}$ имеет примерно лоренцеву форму, и электродипольная линия $54,7 \text{ см}^{-1}$ является асимметричной. Параметры линий приведены в таблице.

¹⁾ Благодарим Л.Е. Усенко за проведение спектрального анализа состава образцов.

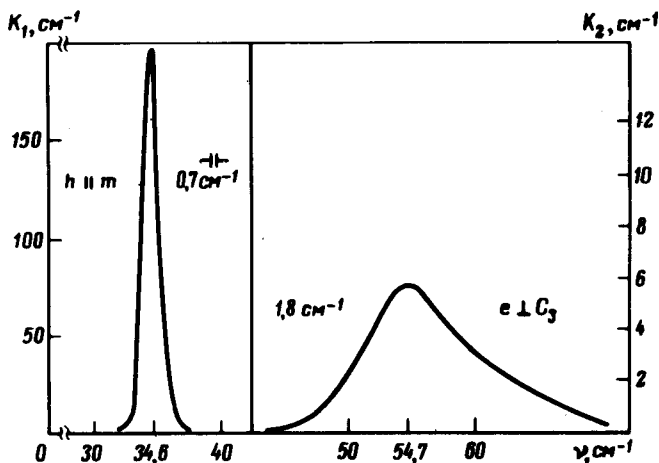


Рис. 1. Спектр поглощения CoCO_3 (наблюдаемые контуры), $T = 5\text{ K}$: e , h – электрический и магнитный вектора ВЧ поля; m – слабый ферромагнитный момент

Частота максимума, см^{-1}	Поляризация	Интенсивность в максимуме см^{-1}	Ширина на уровне $1/2K_{\text{max}}$ см^{-1}	Интегральная интенсивность см^{-2}
$34,6 \pm 0,3$	$h \parallel m$	207	1,3	520
$54,7 \pm 1$	$e \perp C_3$	6,7	10,6	104

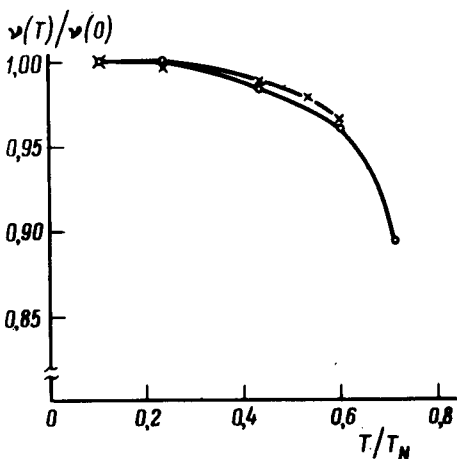


Рис. 2. Температурная зависимость частот двухмагнного поглощения (x) и ВЧ моды АФМР (o)

Из расчетов в рамках теории кристаллического поля [3], следует, что первый возбужденный дублет в карбонате кобальта отделен от основного состояния на 163 см^{-1} . Следовательно, обнаруженные линии не могут быть связаны с электронными переходами. Линии $34,6$ и $54,7 \text{ см}^{-1}$ мы интерпретируем как ВЧ моду АФМР и двухмагнное поглощение. Поведение линии $54,7 \text{ см}^{-1}$ в магнитном поле (рис. 3) подтверждает такую интерпретацию. Если бы двухмагнная линия была результатом процесса "собственный магнон + примесный", то наблюдали-

ся бы также сдвиг и при $H \parallel C_3$ из-за разности g -факторов примесного и матричного ионов. Сдвиг линии двухмагнитного поглощения в слабом ферромагнетике наблюдается впервые, хотя давно предсказан теоретически [4]; его наблюдение стало возможным благодаря довольно большому углу отклонения магнитных моментов подрешеток от оси антиферромагнетизма в CoCO_3 .

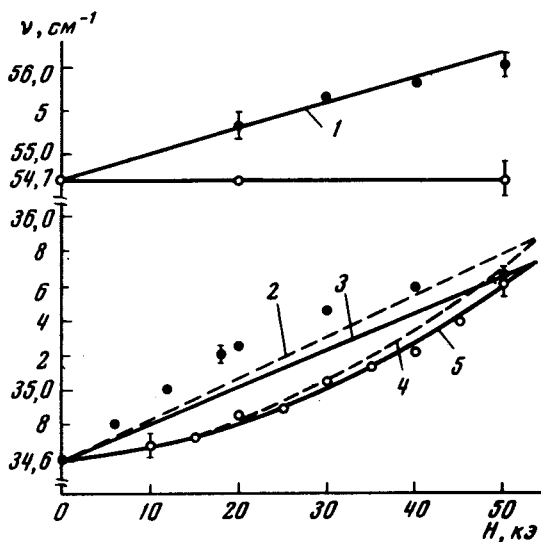


Рис.3. Зависимость частот линий поглощения от внешнего магнитного поля, $T = 2\text{K}$: \bullet , \circ — экспериментальные точки для $H \perp C_3$ и $H \parallel C_3$ соответственно; 1 — расчет по формуле [4] $\Delta\nu = 2g\mu H \sin\delta$; 2, 4 — расчет по формулам (1) и (2) соответственно, для $g_z = 3,5$; $H_D = 100 \text{ кэ}$ 4, 5 — то же, что и 2 и 3, но для $g_z = 3,3$; $H_D = 90 \text{ кэ}$

Качественный ход зависимости частоты ВЧ моды от H (рис. 3) совпадает с теоретическим. Что же касается количественного согласия, то оно плохое, и это можно объяснить следующим образом. Как известно [5], резонансная частота ВЧ моды слабого ферромагнетика выражается формулами

$$\omega_2 = \gamma_{\perp} [(2H_E H_A + H_D^2) + H H_D]^{1/2} \quad H \perp C_3, \quad (1)$$

$$\omega_2 = \gamma_{\perp} [(2H_E H_A + H_D^2) + (g_z/g_{\perp})^2 H^2]^{1/2} \quad H \parallel C_3, \quad (2)$$

где γ — магнитомеханическое отношение; H_E , H_A — эффективные поля обмена и анизотропии. Полученные экспериментальные данные позволяют по формулам (1) и (2) вычислить H_D и g_z . Однако из рис. 3 видно, что эксперимент удается согласовать с теорией только для $H \parallel C_3$ и то со значением $g_z \gg g_{\perp}$. Из статических же данных [1] $(g_z/g_{\perp}) \approx (\chi_z/\chi_{\perp})^{1/2} = 0,8$ и данных по ЭПР [6], следует, что $g_z < g_{\perp}$.

Экспериментальные данные для $H \perp C_3$ не могут быть описаны формулой (1) ни при каких значениях входящих в нее параметров, что хорошо видно из рис. 3. Для удовлетворительного описания необходимо наличие члена с H^2 . Специально проведенный анализ (для упрощения расчетов g -фактор предполагался изотропным, что не влияет на характер полученного результата) показал, что такой член со знаком минус действительно появляется в выражении (1), если не ограничивать разложение членами, линейными по H . Это член вида $H_A/2H_E \cdot H^2$. Кроме того, в членах, линейных по H , появляются слагаемые с коэффици-

ентами типа $H_A/2H_E$, $H_D/2H_E$, $(H_D/2H_E)^2$. В исследованных ранее кристаллах ими можно было пренебречь. В CoCO_3 отношение $H_A/2H_E \approx 0,5 - 0,7$ (эта грубая оценка следует из выражения для частоты в нулевом поле $\omega_2 = \gamma_{\perp} (2H_E H_A + H_D^2)^{1/2}$, $H_D/2H_E \approx 0,15 - 0,2$, поэтому необходимо пользоваться более точными формулами. Это приводит к перенормировке параметров, найденных из статических и динамических экспериментов и, следовательно, появляется возможность их согласования.

Обнаружение двухмагнетонного поглощения позволяет оценить величину энергии на границе зоны Бриллюэна: $27 - 37 \text{ см}^{-1}$. Это означает, что ВЧ ветвь не диспергирует, либо имеет даже отрицательную дисперсию, что может быть связано со значительной величиной поля анизотропии. Сильная анизотропия приводит также и к слабой зависимости резонансных частот от температуры (рис. 2). Обращает на себя внимание необычность формы линии двухмагнетонного поглощения. В отличие от наблюдаемой ранее [4], здесь более пологий ВЧ фронт, что может свидетельствовать о необычном законе дисперсии спиновых волн и своеобразном взаимодействии магнетонов.

В заключение отметим, что параллельно и независимо ВЧ мода АФМР и двухмагнетонный процесс наблюдались по рассеянию света [3].

Благодарим А.С.Боровика-Романова и Н.М.Крейнес за интерес к работе и предоставление образцов для настоящего исследования, Н.Ю.Икорникову — за выращивание монокристаллов CoCO_3 , Б.Г.Кухаренко — за полезное обсуждение.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР.

Поступила в редакцию
15 ноября 1977 г.

Литература

- [1] А.С.Боровик-Романов, В.И.Ожогин. ЖЭТФ, **39**, 27, 1960.
- [2] Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, **46**, 134, 1964; А.С.Боровик-Романов, В.Ф.Мещеряков. ЖЭТФ, **53**, 858, 1967; Г.Д.Богомолов, Ю.Ф.Игонин, Л.А.Прозорова, Ф.С.Русин. ЖЭТФ, **54**, 1069, 1968; Б.С.Думеш, В.М.Егоров, В.Ф.Мещеряков. ЖЭТФ, **61**, 320, 1971.
- [3] В.В.Еременко, А.П.Мохир, Ю.А.Попков, Н.А.Сергиенко, В.И.Фомин. ЖЭТФ, **73**, №12, 1977.
- [4] P.L.Richards. J. Appl. Phys., **38**, 1500, 1967.
- [5] Е.А.Туров: Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов. М., изд. АН СССР, 1963.
- [6] А.С.Боровик-Романов, Н.Ю.Икорникова, В.Ф.Мещеряков, Е.Г.Рудашевский. Кристаллография, **12**, 438, 1967.