

РАСЩЕПЛЕНИЕ СПЕКТРА АНТИФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В CoCO_3

А.С.Боровик-Романов, В.Ф.Мещеряков

При исследовании низкочастотной ветви спектра антиферромагнитного резонанса (АФМР) в CoCO_3 в диапазоне частот от 17 до 55 Гц нами было обнаружено сильное расщепление спектра АФМР. Карбонат кобальта ниже $T_N = 18,1^\circ\text{K}$ является ромбоэдрическим антиферромагнетиком со слабым ферромагнетизмом, который возникает в результате скашивания лежащих в базисной плоскости спинов магнитных ионов Co^{++} .

Монокристаллы карбоната кобальта¹⁾ были изготовлены в виде дисков и шариков диаметром 0,3 – 0,8 мм. Плоскость диска всегда совпадала с базисной плоскостью кристалла.

В работе [1] при исследовании низкочастотной ветви АФМР в CoCO_3 в области частот от 50 до 185 Гц и $T = 4,2^\circ\text{K}$ было обнаружено, что частотная зависимость определяется выражением:

$$f^2 = 1120 \text{ Гц}^2/\text{кэ H} + 21,7 \text{ Гц}^2/\text{кэ}^2 \text{H}^2$$

На рис. 1 построена кривая 1, соответствующая этой формуле.

Наши результаты для $T = 4,2^\circ\text{K}$ на образце 1 обозначены кружками.

Эти результаты были получены в двух сериях экспериментов. В первой серии (открытые кружки) образец помещался в торец закороченного волновода восьмимиллиметрового диапазона и на двухкоординатном самописце записывался усиленный сигнал изменения интенсивности отраженной СВЧ мощности. В этих измерениях высокочастотная компонента магнитного поля была параллельна базисной плоскости. Во второй серии (черные кружки) образец помещался в центре перестраиваемого резонатора и СВЧ компонента магнитного поля была параллельна оси C_2 . Из рис. 1 видно, что результаты обоих экспериментов хорошо совпадают. На частотах выше 46 Гц наблюдалась немонотонная зависимость резонансного поля от частоты. Из этого же рисунка видно, что вдали от частоты 46 Гц наши точки приближаются к кривой 1. Однако, в области 46 Гц наблюдается расщепление спектра АФМР.

¹⁾ Авторы выражают сердечную благодарность Н.Ю.Икорниковой, любезно предоставившей монокристаллы CoCO_3 .

Образец 1 имел форму цилиндра и обладал минимальной шириной линии из всех исследованных нами образцов ($H \approx 30 \text{ э}$). Были проведены контрольные измерения на двух других образцах, имеющих форму

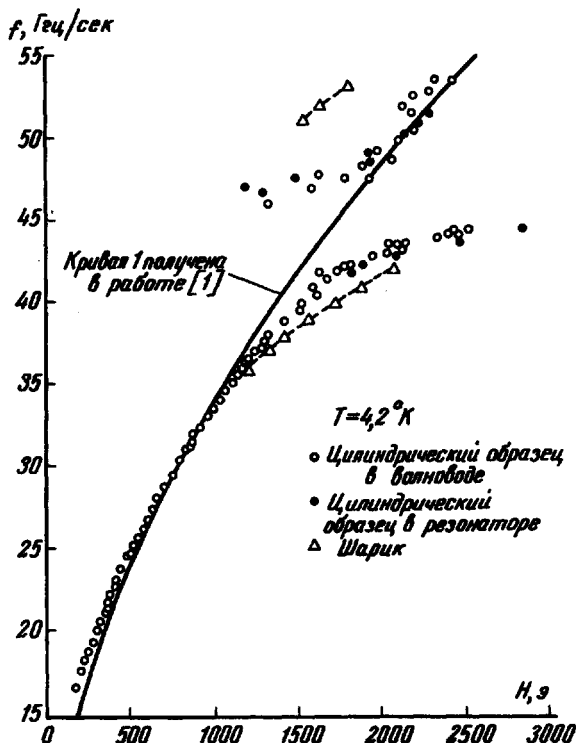


Рис. 1

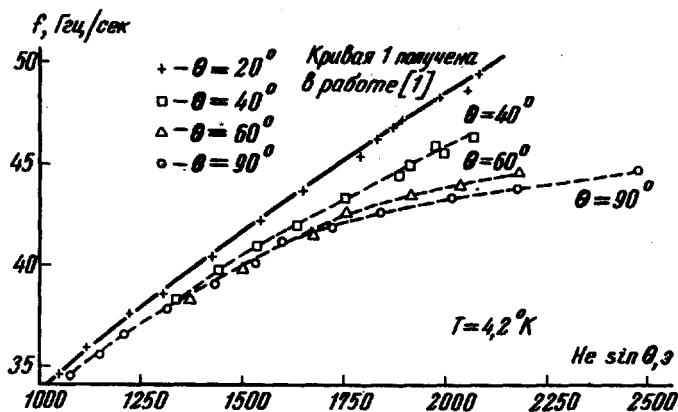


Рис. 2

диска и шарика, минимальная ширина линии которых составляла 100 и 65 э соответственно. Для них также наблюдался тот же характер расщепления вблизи $f = 46 \text{ Гц}$, однако величина расщепления была в 1,5 – 2 раза больше по сравнению с первым образцом. Данные для шарика показаны на рис. 1 треугольниками.

Была изучена угловая зависимость резонансного поля. При этом образец помещался на узкой стенке волновода на расстоянии 1,5 мм от закороченного конца. Было обнаружено, что вдали от частоты, на которой происходит расщепление, выполняется зависимость $H_{\theta} = H_0 / \sin\theta$ в согласии с [2], где θ — угол между направлением внешнего магнитного поля и осью C_3 , а H_0 — резонансное поле при $\theta = 90^\circ$, взятое с кривой 1.

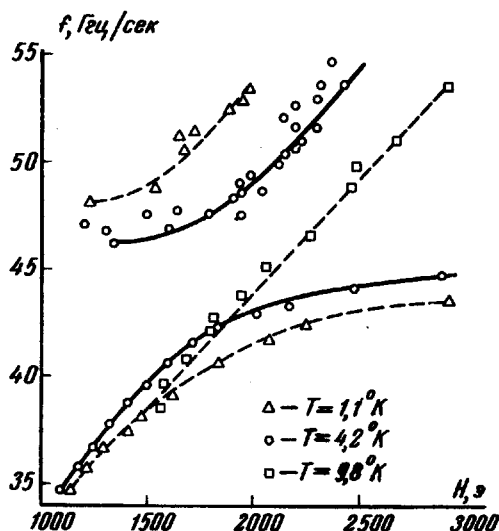


Рис. 3

Вблизи частоты расщепления угловая зависимость оказалась более сложной. Полученные результаты показаны на рис. 2, где по оси абсцисс отложена величина проекции поля на базисную плоскость ($H_0 \sin\theta$). По-видимому, частота, на которой происходит расщепление, растет с уменьшением θ , т.е. с увеличением H_0 . В настоящее время мы еще не имеем данных на более высоких частотах, чтобы количественно описать эту зависимость.

Было обнаружено, что величина расщепления существенно зависит от температуры. При понижении температуры до $1,1^\circ\text{K}$ (рис. 3) расщепление увеличивается, а при $T = 10^\circ\text{K}$ исчезает. На рис. 4 показана температурная зависимость относительного резонансного поля H/H_0 . Видно, что между $5,5^\circ\text{K}$ и $7,0^\circ\text{K}$ величина расщепления резко падает. Выше $8,5^\circ\text{K}$ происходит одинаковое для всех частот увеличение резонансного поля, связанное с уменьшением величины H_D .

В области частот от 24 до 52 Гц была исследована зависимость АФМР для $MnCO_3$, имеющего такую же, как и $CoCO_3$, кристаллографическую и магнитную структуры. При этом никакого расщепления обнаружено не было.

Из полученных результатов видно, что в спектре элементарных возбуждений исследованных нами кристаллов $CoCO_3$ существует дополнительная ветвь, (имеющая при малых значениях волнового вектора k частоту $f = 46$ Гц) которая сильно взаимодействует с колебаниями спиновой системы. В настоящее время мы не можем предложить удовлетворительного объяснения наблюдаемым эффектам.

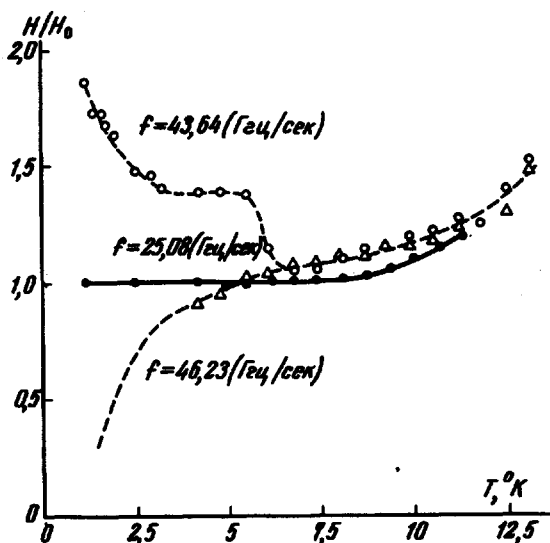


Рис. 4

Заметим, что ветвь не может быть высокочастотной ветвью АФМР, которая по данным измерения теплоемкости лежит гораздо выше [3]. Можно было бы предположить, что частота 46 Гц соответствует частоте колебаний магнитных моментов каких-либо примесей (например, Mn^{++}) в эффективном поле, создаваемом антиферромагнитными подрешетками. Однако, наши результаты по температурной зависимости не вполне согласуются с таким предположением. Колебания спинов могли бы перерождаться в акустические фононы определенной частоты (~ 46 Гц), если бы в кристалле существовали области сильного искажения антиферромагнитной структуры с характерным размером $\sim 1000 \text{ \AA}$. Однако, такое предположение не имеет в настоящее время ни теоретического, ни экспериментального подтверждения.

В заключение мы выражаем глубокую благодарность П.Л.Капице за постоянный интерес к работе, В.А.Тулину – за полезные дискуссии, а также М.Е.Мысину – за помощь при подготовке экспериментов.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
17 июля 1968 г.

Литература

- [1] Г.Д.Богомолов, Ю.Ф.Игонин, Л.А.Прозорова, Ф.С.Русин. ЖЭТФ, 54, 1069, 1968.
- [2] Е.А.Туров, Н.Г.Гусейнов. ЖЭТФ, 38, 1326, 1960.
- [3] И.Н.Калинкина. ЖЭТФ, 43, 2028, 1962.