

ДЛИННОВОЛНОВОЕ ИНФРАКРАСНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ CoWO_4

В.В.Еременко, В.М.Науменко

Вольфрамат кобальта CoWO_4 обладает ромбической структурой. Ниже $T_N = 55^\circ\text{K}$ он переходит в антиферромагнитное состояние [1]. Поскольку величина обменной энергии ($\gamma H_E \sim k T_N$) велика и, по-видимому, значительна энергия магнитной анизотропии (это обычно для антиферромагнитных соединений, содержащих ион Co^{2+}), то можно ожидать, что в дальней инфракрасной области расположены как антиферромагнитный резонанс, так и двухмагнитное поглощение [2-4,7,8]. Если это так, то представляется возможность в одном эксперименте определить экстремальные частоты спин-волнового спектра: как частоту в центре зоны Бриллюэна ($|k| = 0$), так и на ее границе ($|k| = \pi/a$).

В настоящей работе сообщается о результатах исследования спектра поглощения CoWO_4 в области частот $20\text{-}200\text{ см}^{-1}$ и в температурном диапазоне от 10 до 100°K . Эксперимент ставился на установке, описанной ранее [5], позволяющей производить низкотемпературные исследования в поляризованном излучении в стационарных магнитных полях до 25 кэ.

На рис.1 приведены полосы поглощения, наблюдающиеся лишь для магнитоупорядоченного CoWO_4 .

Использование поляризованного света и монокристаллических образцов различной ориентации позволило установить, что полосы ν'_0 и ν''_0 имеют магнитодипольный характер, а полоса ν_0 — электрически дипольный характер. Ориентации магнитного или электрического вектора световой волны, при которых соответствующие полосы имеют наибольшую интенсивность, указаны на рис.1. Там же указаны ориентировочно интегральные интенсивности в см^{-2} . Спектры приведены с учетом спектрального распределения интенсивности спектрометра, а также решеточного поглощения кристалла.

Помимо изучения дихроизма обнаруженных полос, исследовалось влияние на них внешнего магнитного поля и температуры. Результаты этих исследований будут опубликованы подробно в дальнейшем. Здесь же отметим, что во внешнем поле полосы ν'_0 и ν''_0 смещаются так, что в поле $H = 20$ кэ интервал между ними увеличивается на $4,2$ см $^{-1}$, полоса ν_e на поле $H \leq 20$ кэ не реагирует. Все три полосы при нагреве выше $30-35^\circ\text{K}$ смещаются в длинноволновую сторону и резко уширяются, так что при 45°K они уже почти неотделимы от фона.

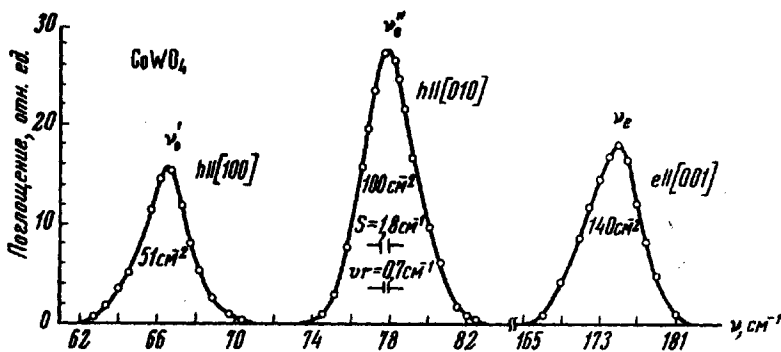


Рис.1. Спектр поглощения антиферромагнитного CoWO_4 в дальней инфракрасной области. $T = 22 \pm 3^\circ\text{K}$, $T_N = 55^\circ\text{K}$. В значение частот пиков поглощения введена поправка на ν_r

Полученные экспериментальные результаты позволяют идентифицировать полосы ν'_0 и ν''_0 с возбуждением антиферромагнитного резонанса, а полосу ν_e — с двухмагнным поглощением.

Такая идентификация основана на следующих соображениях. CoWO_4 обладает орторомбической симметрией кристаллографической структуры (D_{2h}). В элементарной ячейке содержатся два магнитных иона Co^{2+} . Поэтому CoWO_4 можно рассматривать как двуосный орторомбический антиферромагнетик с двумя магнитными подрешетками. Поведение частот антиферромагнитного резонанса такого антиферромагнетика во внешнем магнитном поле (без учета взаимодействия Дзялошинского) провели Зароченцев и Попов [6]. Учет взаимодействия Дзялошинского, как показал проведенный нами расчет, качественно картины не меняет. В нулевом магнитном поле резонанс должен наблюдаться на двух частотах; с ростом напряженности внешнего поля, ориентированного вдоль оси упорядочения, высокочастотная и низкочастотная компоненты АФМР должны смещаться в противоположные стороны, так чтобы интервал между ними возрастал. Характер поляризации полос АФМР должен быть магнитодипольным, а отношение интегральных интенсивностей (включая обе полосы) при поляризации магнитного вектора h волны вдоль a , b и c — осей ромбического CoWO_4 должно быть пропорциональным отношению статических восприимчивостей, измеренных вдоль этих направлений, т.е. $S_a : S_b : S_c = \chi_a : \chi_b : \chi_c$. Это легко получается из соотношения Крамерса-Кронига (см. например, [2]). Для

CoWO₄ наблюдается хорошее согласие, если использовать данные [1] по магнитной восприимчивости. Поведение частот во внешнем магнитном поле согласуется с результатами расчета [6]. Не противоречат предположению, что полосы ν'_0 и ν''_0 обусловлены возбуждением АФМР, и температурные зависимости частот этих полос. Вблизи T_N обе полосы исчезают.

Перейдя к интерпретации полосы ν_e , следует напомнить, что полосы двухмагнного поглощения, обусловленные одновременным возбуждением двух спиновых волн с противоположно направленными волновыми векторами \mathbf{K}_s , имеют электрически дипольный характер и не реагируют на внешнее магнитное поле [3,4]. Именно такими особенностями обладает полоса ν_e . Ее поведение при повышении температуры и спектральное положение также согласуются с предлагаемой идентификацией.

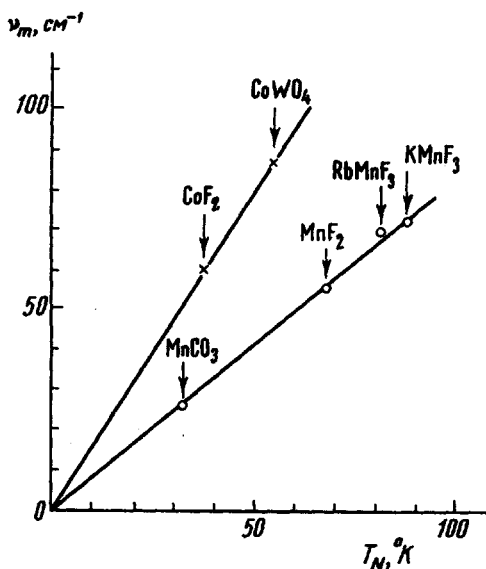


Рис.2. Зависимость максимальных частот в спектре спиновых волн от температуры Нееля T_N .

На рис.2 приведены вдвое уменьшенные значения частот двухмагнного поглощения CoF₂ [3], MnF₂ [7], MnCO₃ [8] и значения частот спиновых волн с максимальным импульсом $|\mathbf{K}| = \pi/a$, определенным в RbMnF₃ и KMnF₃ [9] с помощью рассеяния нейтронов. На этом же рисунке приведено вдвое уменьшенное значение частоты ν_e обсуждаемой полосы поглощения. Оно хорошо согласуется со значением, которое следовало ожидать, предполагая, что ν_e обусловлено двухмагнным поглощением и равно $2\nu_m$. То обстоятельство, что график зависимости максимальной частоты магнонов ν_m от температуры магнитного упорядочения T_N для антиферромагнитных соединений кобальта круче, чем для соединений марганца, по-видимому, обусловлено существенным вкладом энергии магнитной анизотропии в ν_m для первого случая (т.е. Co²⁺)*.

* Так, например, в случае фторидов со структурой рутила, $\nu_m = \gamma(H_E + H_A)$ [3,4], где H_E и H_A — эффективные поля обменного взаимодействия и магнитной анизотропии соответственно.

Таким образом вся совокупность экспериментальных фактов подтверждает предлагаемую идентификацию обнаруженных полос поглощения в CoWO_4 : ν'_0 и ν''_0 — полосы АФМР, ν_e — полоса двухмагнитного поглощения. Отметим, что в исследованном нами ZnWO_4 , который близок по структуре CoWO_4 , но не содержит магнитных ионов, аналогичных полос не обнаружено.

Приняв такую идентификацию, сразу же определяем экстремальные частоты спин-волнового спектра CoWO_4 : вблизи $K = 0$, спектр расщепляется на две ветви с частотами $\nu'_{k=0} = \nu'_0 = 66,4 \text{ см}^{-1}$ и $\nu''_{k=0} = \nu''_0 = 77,7 \text{ см}^{-1}$, частота на краю зоны Бриллюэна $\nu_m = \nu_e / 2 = 87,5 \text{ см}^{-1}$. Точность определения частот $\pm 0,2 \text{ см}^{-1}$

В заключение пользуемся случаем выразить благодарность Б.И.Веркину за постоянный интерес к работе.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
8 апреля 1968 г.

Литература

- [1] L.G. Van Uitert, R.C. Sherwood, H.J. Williams, J.J. Rubin, W.A. Bouner. J. Phys. Chem. Sol., 25, 1447, 1964.
- [2] P.L. Richards. J. Appl. Phys., 35, 850, 1964; Phys. Rev., 138, 1769, 1965.
- [3] J.W. Halley, J. Silvera. Phys. Rev. Lett., 15, 654, 1965; Phys. Rev., 149, 415, 1966.
- [4] T. Moriya. J. Phys. Soc. Japan, 21, 926, 1966.
- [5] В.М. Науменко, В.И. Фомин, В.В. Еременко. ПТЭ, № 5, 223, 1967.
- [6] Е.В. Зароченцев, В.А. Попов. ФТТ, 6, 2489, 1964; Укр. физ. журн., 10, 368, 1965.
- [7] S.J. Allen, R. Loudon, P.L. Richards. Phys. Rev. Lett., 16, 463, 1966.
- [8] P.L. Richards. J. Appl. Phys., 38, 1500, 1967.
- [9] S.J. Pickart, M.F. Collins, C.G. Windsor. J. Appl. Phys., 37, 1054, 1966; C.G. Windsor, R.W.H. Stevenson. Proc. Phys. Soc., 87, 501, 1966.

"ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ" ИСЧЕЗНОВЕНИЕ РЕЗОНАНСА В ЛЕГКООСНОЙ ФАЗЕ ГЕМАТИТА

О.В. Миронов, В.И. Ожогин, Е.Г. Рудашевский, В.Г. Шапиро

Увеличение интереса к свойствам антиферромагнитного $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит) за последние три-четыре года вызвано обнаружением в нем при $T < T_M = 260^\circ\text{K}$ магнитного фазового перехода, индуцируемого