

## АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС И ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ВО ФТОРИДЕ КОБАЛЬТА В ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

К. Н. Кочарян, Е. Г. Рудашевский

Как показано в работе [1], симметрия антиферромагнитного фторида кобальта (пространственная группа  $D_{4h}^{14}$ ,  $T_N = 37,7^\circ\text{K}$ ) допускает следующее разложение свободной энергии:

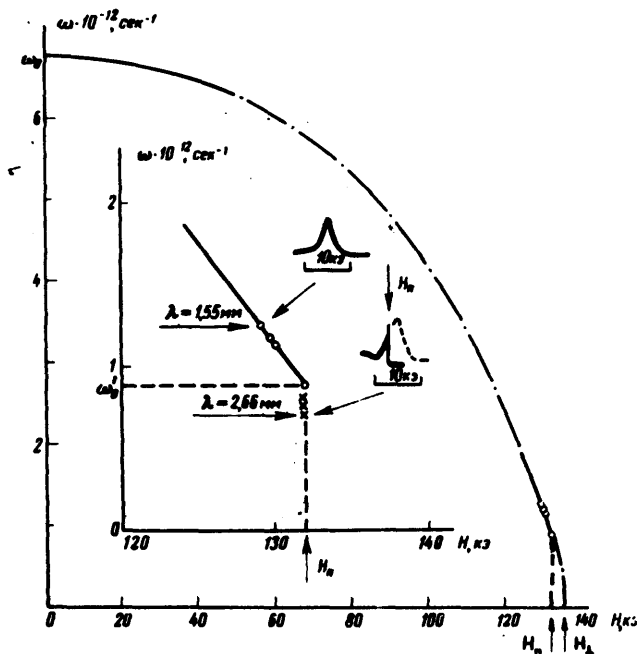
$$\Phi = \frac{B}{2} m^2 + \frac{\sigma}{2} (\ell_x^2 + \ell_y^2) + \epsilon (m_x \ell_y + m_y \ell_x) - mH,$$

где  $\ell = M_1 - M_2$ ,  $m = M_1 + M_2$ ;  $M_1$  и  $M_2$  — намагниченности подрешеток.

Наличие в гамильтониане члена  $\epsilon (m_x \ell_y + m_y \ell_x)$  приводит к тому, что при отклонении вектора антиферромагнетизма  $\ell$  от оси  $z$  появляется спонтанный магнитный момент, направленный перпендикулярно оси  $z$ , а антиферромагнетики, в которых указанная ситуация осуществляется без внешнего магнитного поля, называются антиферромагнетиками со слабым ферромагнетизмом [2]. В связи с тем, что без внешнего магнитного поля в  $\text{CoF}_2$  магнитные моменты направлены вдоль оси  $z$ , в нем отсутствует слабый ферромагнитный момент. При наложе-

нии поля  $H \parallel [100]$  вектор  $\mathcal{L}$  отклоняется от оси  $z$  и образует индуцированное поле состояние со слабым ферромагнетизмом [3, 4]. Как было теоретически показано в [5, 6] и обнаружено экспериментально в гематите ( $\alpha = \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [6], отклонение вектора  $\mathcal{L}$  сопровождается уменьшением энергетической щели в одной из ветвей антиферромагнитного резонанса (АФМР).

Ввиду того, что внутренние поля обмена и анизотропии велики, АФМР в  $\text{CoF}_2$  в отсутствие магнитного поля лежит в далекой инфракрасной области. Исследование АФМР в указанном диапазоне было проведено Ричардсом в сравнительно слабых магнитных полях [7].



Антиферромагнитный резонанс в  $\text{CoF}_2$ . сплошная кривая в малых полях — данные работы [7] при  $H \parallel [110]$ ,  $\circ, \times$  — результаты настоящей работы

В настоящей работе исследован АФМР в  $\text{CoF}_2$  при  $H \parallel [100]$ . Измерения проводились в импульсных магнитных полях с длительностью импульса 8 мсек. Использовался спектрометр прямого усиления, работавший в диапазоне длин волн от 4 до 1,5 мкм. С целью предотвращения токов Фуко в области импульсного магнитного поля применялись диэлектрические волноводы. Для регистрации сигнала поглощения применялся осциллограф, имевший линейность разверток не хуже 1% по всему экрану ( $9 \times 9 \text{ см}^2$ ). Сигнал поглощения подавался на вертикальные пластины осциллографа. На горизонтальные пластины подавалось прямо пропорциональное величине магнитного поля напряжение, получавшееся интегрированием сигнала с пробной катушки, расположенной в месте размещения образца. Точность интегрирования была не хуже 0,2%. Калибровка развертки осуществлялась по ЭПР в дифенилпикрилгидразиле (ДФПГ). Метки ЭПР в ДФПГ, наблюдавшиеся на экране ос-

циллографа при возрастании и убывании поля, совпадали, Абсолютная привязка по полю была не хуже 3%, а относительное положение и смещение линий поглощения измерялось с точностью до 1%. Указанная точность обеспечивалась необходимыми амплитудными, частотными и фазовыми характеристиками усилителей. Образец  $\text{CoF}_2$  имел форму пластинки с размерами  $2 \times 3 \times 0,8 \text{ мм}^3$ <sup>1)</sup>. Точность ориентировки образца была не хуже  $\pm 3^\circ$ . Длина волны излучения измерялась интерферометром Фабри – Перо с точностью 0,5%.

На длинах волн от 1,5 до 2,2 мкм наблюдались линии поглощения шириной 2,5 кэ (на рисунке приведена линия резонансного поглощения на длине волны  $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ ; ширина контура линии соответствует толщине луча на экране осциллографа). В указанном диапазоне наблюдалось монотонное возрастание резонансного поля с уменьшением частоты. Однако при достижении некоторого критического поля  $H_{II}$  наблюдалась резкая отсечка линии резонансного поглощения со стороны больших полей (см. рисунок); причем значение поля, при котором имело место указанное явление, не зависело от длины волны при  $\lambda \geq 2,2 \text{ мкм}$  и равнялось  $132 \pm 4 \text{ кэ}$ .

Наблюдавшаяся отсечка линии АФМР, по-видимому, аналогична обнаруженному ранее в  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  "преждевременному" исчезновению линии резонансного поглощения [8, 9], связанному со скачком вектора  $\mathbf{L}$  в плоскость (001).

Экспериментально полученное значение щели в точке фазового перехода  $\omega'_0 = 0,88 \cdot 10^{12} \text{ сек}^{-2}$ . Экстраполяция наших результатов к  $\omega = 0$  дает  $H_L = 134 \pm 4 \text{ кэ}$ . Используя данное значение  $H_L$  и величины  $H_E = 2M_0 B = 770 \text{ кэ}$  и  $H_D = 2M_0 e = 241 \text{ кэ}$  ( $M_0$  – магнитный момент  $1 \text{ см}^3$  подрешетки), взятые с графиков работы [4], может быть вычислено поле анизотропии  $H_A = 2M_0 \sigma = 123 \text{ кэ}$ , что хорошо согласуется с величиной, полученной с использованием зависимости  $m(H)|_{H \rightarrow 0}$ , приведенной в цитируемой работе. Зная  $H_E$ ,  $H_A$  и  $H_D$ , можно вычислить  $\omega_0$ . Согласие со значением  $\omega_0$  работы [7] имеет место, если  $g$ -фактор для данной ветви АФМР выбрать равным 4. Такое же значение  $g = 4$  было найдено при изучении АФМР в  $\text{CoCO}_3$  [10].

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А.М.Прохорову за постоянное внимание и дискуссии, искреннюю признательность А.С.Боровику-Романову и Н.М.Крейнес за интерес к работе и плодотворные обсуждения. Авторы также благодарны Н.П.Лопухову и А.Г.Харьковцеву за техническую помощь.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
10 мая 1971 г.

<sup>1)</sup> Авторы выражают благодарность С.В.Петрову (ИФП АН СССР) выращившему монокристаллы  $\text{CoF}_2$

## Литература

- [ 1 ] И.Е.Дзялошинский. Канд. Диссертация М., ИФП АН СССР, 1957.
  - [ 2 ] А.С.Боровик-Романов. Сб. Итоги науки. Физ-мат. наук, т. 4 ; Антиферромагнетизм. Изд. АН СССР, 1962.
  - [ 3 ] Н.М.Крейнес. ЖЭТФ, 40, 762, 1961.
  - [ 4 ] В.И.Ожогин. Канд. диссертация, М., ИФП АН СССР, 1965.
  - [ 5 ] G.Cinader. Phys. Rev., 155, 453, 1967.
  - [ 6 ] В.И.Ожогин, В.Г.Шапиро. Письма в ЖЭТФ, 6, 467, 1967.
  - [ 7 ] P.L.Richards. J.Appl. Phys., 35, 850, 1964.
  - [ 8 ] С.В.Миронов. Дипломная работа, МГУ, 1967.
  - [ 9 ] С.В.Миронов, В.И.Ожогин, Е.Г.Рудашевский, В.Г.Шапиро. Письма в ЖЭТФ, 7, 419, 1968.
  - [ 10 ] Е.Г.Рудашевский. ЖЭТФ, 46, 134, 1964.
-