

## КВАДРАТИЧНЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ФЕРРО- И АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

*Р.В.Писарев, И.Г.Синий, Г.А.Смоленский*

Для описания магнитооптических эффектов в магнитоупорядоченных кристаллах удобно ввести в рассмотрение тензор поляризуемости  $a_{jk}(\sigma)$ <sup>1)</sup>, зависящий от спина  $S(\sigma)$  парамагнитного иона  $\sigma$  [1, 2]:

$$a_{jk}(\sigma) = a_{jkl}(\sigma) S_l(\sigma) + a_{ijklm}(\sigma) S_l(\sigma) S_m(\sigma) + \dots \quad (1)$$

Однако, как было нами показано [2] такая форма записи не является достаточной, и для описания симметричных эффектов необходимо учесть обменное взаимодействие между парамагнитными ионами  $\sigma$  и  $b$ :

$$a_{jk}(\sigma, b) = c_{jk}(\sigma, b) S(\sigma) S(b). \quad (2)$$

Форма тензоров в (1) и (2) определяется магнитной симметрией кристалла.

Учет обмена приводит к тому, что величина квадратичных магнитооптических эффектов будет определяться не спин-орбитальным взаимодействием, дающим вклад в симметричные эффекты во втором порядке теории возмущений, а обменным взаимодействием, дающим вклад в первом порядке. Сравнительная величина линейных и квадратичных эффектов при таком рассмотрении зависит, в основном, от соотношения параметра спин-орбитального взаимодействия  $\lambda$  и обменного взаимодействия  $J$ .

В настоящем сообщении мы приводим результаты экспериментального исследования квадратичного эффекта Коттона – Мутона (ЭКМ) в ряде кристаллов с различными магнитными структурами. Полученные результаты подтверждают правильность предложенного механизма симметричных магнитооптических эффектов и говорят о перспективности применения ЭКМ при исследовании магнитных кристаллов.

<sup>1)</sup> Для простоты рассмотрения, мы учитываем при записи поляризуемости только вклад электрических дипольных переходов, и не рассматриваем вклад магнитных дипольных переходов.

ЭКМ или магнитное двулучепреломление определяется как разность фаз двух волн света, распространяющихся в кристалле перпендикулярно намагниченности  $M$  (или внешнему полю  $H$ ), и поляризованных  $\mathcal{E} \perp M$  и  $\mathcal{E} \parallel M$ , где  $\mathcal{E}$  – электрический вектор световой волны. В эксперименте определялась разность фаз  $\beta_{\text{с-м}}$  двух волн, связанная с разностью показателей преломления  $\Delta n_{\text{с-м}}$  [2].

Исследовался кубический ферримагнетик  $Y_3Fe_5O_{12}$ , гексагональный одноосный ферримагнетик типа легкая плоскость  $RbNiF_3$  [3], ромбоэдрический кристалл  $\alpha - Fe_2O_3$ , являющийся при  $295^\circ K$  слабым ферромагнетиком типа легкая плоскость [4] и орторомбический при  $77^\circ K$  кристалл  $RbFeF_3$ , являющийся, по-видимому, слабым ферромагнетиком [5]. Для исключения эффекта линейного дихроизма, вызываемого поглощением света, измерения проводились в области прозрачности кристаллов.

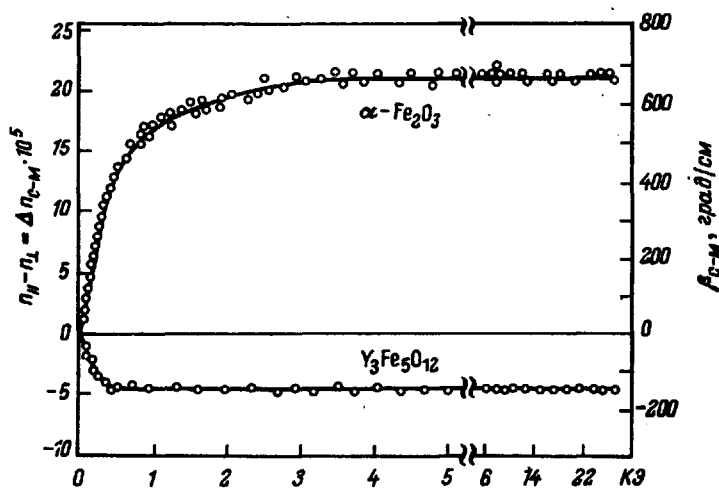


Рис. 1. Зависимость ЭКМ от внешнего магнитного поля в  $Y_3Fe_5O_{12}$  и в  $\alpha - Fe_2O_3$  для  $\lambda = 1,15 \text{ мк}$

Результаты исследования ЭКМ приведены в таблице, где для сравнения указана также величина линейного эффекта Фарадея (ЭФ). Обращает на себя внимание чрезвычайно большая величина ЭКМ во всех кристаллах, иногда даже превосходящая ЭФ. Зависимости ЭКМ от внешнего магнитного поля для  $Y_3Fe_5O_{12}$  (поле направлено вдоль одной из кристаллографических осей) и в  $\alpha - Fe_2O_3$  (поле лежит в базисной плоскости) представлены на рис. 1. При отсутствии поля и в малых полях свет на выходе кристалла был сильно располяризован и ЭКМ не поддавался измерению. Располяризация, очевидно, вызвана спонтанным двулучепреломлением и рассеянием света на доменах.

Квадратичный ЭКМ (в поле  $H = 20$  кэ)  
и линейный ЭФ в ферро- и антиферромагнетиках

Кристалл	$T_{С-М}, ^\circ\text{К}$	$T_{\text{опыта}}$	$\lambda, \mu\text{м}$	$\Delta n_{С-М}$	$\beta_{С-М}, \text{град/см}$	$\Delta n_F$	$\alpha_F, \text{град/см}$
$Y_3Fe_5O_{12}$	550	295	1,15	$4,5 \cdot 10^{-5}$	141	$1,6 \cdot 10^{-4}$	260 [8]
$\alpha - Fe_2O_3$	950	295	1,15	$2,1 \cdot 10^{-4}$	657	—	—
$RbNiF_3$	139	77	0,555	$2,2 \cdot 10^{-5}$	142	$3 \cdot 10^{-5}$	95
$RbFeF_3$	102	77	0,556	$2,5 \cdot 10^{-4}$	1600	$2,2 \cdot 10^{-4}$	680 [6]

Важно отметить, что ЭКМ в  $Y_3Fe_5O_{12}$  и  $\alpha - Fe_2O_3$  имеет различный знак. Это вызвано тем, что в ферритмагнетике  $Y_3Fe_5O_{12}$  магнитные моменты двух железных подрешеток расположены параллельно полю, а в  $\alpha - Fe_2O_3$  по полю направлен спонтанный момент, а магнитные моменты подрешеток, определяющие эффект, ориентированы перпендикулярно полю.

Недавно было обнаружено уменьшение ЭФ в ферритах-гранатах [7, 8] при увеличении внешнего магнитного поля. Мы не наблюдали подобного уменьшения для ЭКМ, что также говорит о различной микроскопической природе линейных и квадратичных эффектов.

Температурное исследование ЭФ и ЭКМ было проведено для ферромагнетика  $RbNiF_3$  (рис. 2). Для ЭФ наблюдается линейное по намагниченности уменьшение эффекта. С переходом в парамагнитную область обменно-дипольная часть поляризуемости (2) исчезает и ЭКМ быстро уменьшается.

Из соображений симметрии можно предсказать ряд новых оптических явлений в магнитных кристаллах, вызванных ЭКМ, например, существование ЭКМ в одноосных ферро- и антиферромагнетиках без приложения внешнего магнитного поля, наличие квадратичных эффектов в точке компенсации магнитных моментов (возможно, со сменой знака) и др.

Обнаруженная большая величина ЭКМ (например,  $\Delta n_{С-М} = 2,1 \cdot 10^{-4}$  для  $\alpha - Fe_2O_3$  при  $295^\circ\text{К}$ ) говорит о возможности использования квадратичных эффектов как дополнительного метода исследования магнитных структур и намагниченности подрешеток. Особенно эффективным может оказаться совместное исследование линейных и квадратичных эффектов. Интересно отметить слабую чувствительность ЭКМ к ферромагнитным

примесям в антиферромагнетиках. ЭКМ может быть использован для изучения доменной структуры при ориентации доменов перпендикулярно распространению света. Большая величина эффекта (так, ЭКМ в  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

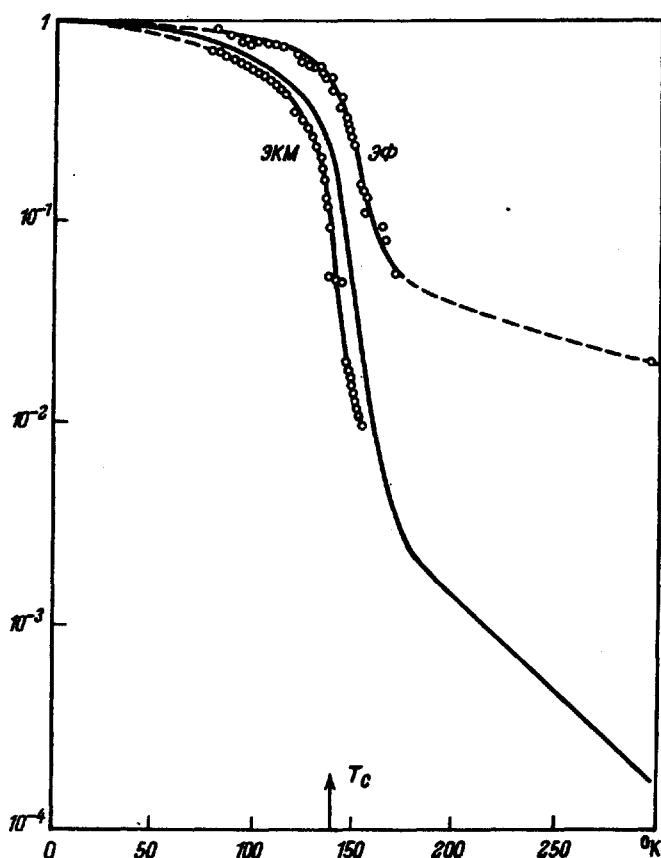


Рис. 2. Температурная зависимость ЭФ ( $H = 18 \text{ кэ}$ ,  $\lambda = 1,15 \text{ мк}$ ) и ЭКМ ( $H = 10 \text{ кэ}$ ,  $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ ) в  $\text{RbNiF}_3$ . Средняя кривая получена для квадратичных эффектов из данных по ЭФ. Величина ЭФ и ЭКМ приведена в относительных единицах

значительно превосходит ЭФ в  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  при  $295^\circ\text{K}$ ) говорит о перспективности практического использования квадратичных эффектов в ферро- и антиферромагнетиках для создания оптических модуляторов, затворов и других устройств, управляемых магнитным полем.

Авторы выражают признательность А.Г.Аронову и В.В.Дружинину за полезные дискуссии, С.Э.Абу за помощь в постановке эксперимента и П.П.Сырникову, вырастившему кристаллы фторидов.

Институт полупроводников  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
2 декабря 1968 г.

## Литература

- [1] T. Moriya. J. Appl. Phys., **39**, 1042, 1968.
- [2] R. V. Pisarev, I. G. Siny, G. A. Smolensky. Solid. State Comm., **6**, вып. 12, 1968.
- [3] G. A. Smolensky, R. V. Pisarev, M. P. Petrov, V. V. Moskalev, I. G. Siny, V. M. Judin. J. Appl. Phys., **39**, 568, 1968.
- [4] А.С.Боровик-Романов. Итоги науки. Физ.-мат.науки, **4**. Изд. АН СССР, М., 1962.
- [5] И.Г.Синий, Р.В.Писарев, П.П.Сырников, Г.А.Смоленский, П.П.Капустин. ФТТ, **10**, 2252, 1968.
- [6] F. S. Chen, H. J. Guggenheim, H. I. Levinstein, S. Singh. Phys. Rev. Lett., **19**, 948, 1967.
- [7] Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, Л.И.Белый. ЖЭТФ, **53**, 1505, 1967.
- [8] Г.С.Кринчик, С.А.Гушина. ЖЭТФ, **55**, 490, 1968.