

18, 36

ОПРОКИДЫВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОДРЕШЕТОК И АНОМАЛИИ ЭФФЕКТА КОТТОНА – МУТОНА В ФЕРРИТЕ-ГРАНАТЕ ТЕРБИЯ И В ГЕМАТИТЕ

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

Недавно мы предложили новый обменно-дипольный механизм квадратных магнито-оптических эффектов в ферро- и антиферромагнетиках [1], приводящий к необычно высоким значениям эффекта Коттона – Мутона (ЭКМ) в кристаллах ниже $T_{C, N}$ [2]. Большая величина ЭКМ, наличие мощных источников света различных длин волн и сравнительно простота наблюдения ЭКМ открывают интересные возможности исследования новым магнитооптическим методом обменных взаимодействий в кристаллах, температурных зависимостей намагниченностей подрешеток, ориентаций магнитных моментов и других явлений.

В этой работе мы приводим результаты исследования температурной зависимости ЭКМ в тербиевом феррите-гранате $Tb_3Fe_5O_{12}$ и в антиферромагнетике $\alpha-Fe_2O_3$ (гематите) и наблюдения аномалий ЭКМ, связанных с переориентацией магнитных подрешеток.

Исследование ЭКМ было проведено на длине волны $\lambda = 1,15 \text{ мк}$, при которой $Tb_3Fe_5O_{12}$ и гематит обладают прозрачностью в несколько см^{-1} . ЭКМ в $Tb_3Fe_5O_{12}$ изучался на пластинке, вырезанной параллельно плоскости (110), магнитное поле было направлено по оси [100]. ЭКМ в гематите исследовался на пластине, перпендикулярной оптической оси, магнитное поле лежало в плоскости пластинки.

Температурная зависимость ЭКМ в $Tb_3Fe_5O_{12}$ приведена на рис.1. Знак эффекта противоположен знаку ЭКМ в иттриевом феррите-гранате $Y_3Fe_5O_{12}$ [2]. Различный знак ЭКМ в $Tb_3Fe_5O_{12}$ и в $Y_3Fe_5O_{12}$ говорит о том, что подрешетка тербия и суммарная железная подрешетка дают противоположный знак эффекта и что ЭКМ от ионов тербия превосходит ЭКМ от ионов железа при комнатной температуре. Приближенно можно считать, что вклады в эффект от редкоземельной и железной подрешеток независимы:

$$\Delta n_{\text{ЭКМ}}(Tb_3Fe_5O_{12}) = \Delta n(M_{Tb}^2) - \Delta n(M_{Fe}^2), \quad (1)$$

где M – намагниченности подрешеток.

Зная Δn_{KM} при комнатной температуре для $Y_3Fe_5O_{12}$ и $Tb_3Fe_5O_{12}$ и температурный ход намагниченности под эшток [3], можно рассчитать температурный ход ЭКМ для $Tb_3Fe_5O_{12}$. Такая расчетная кривая приведена на рис.1 пунктиром. Экспериментальная кривая ЭКМ возрастает медленнее, тем не менее при $77^\circ K$ эффект достигает больших значений: $\Delta n_{KM} = 0,73 \cdot 10^{-3}$, что соответствует разности фаз двух волн 2300 рад/см . Расхождение экспериментальной и расчетной кривых

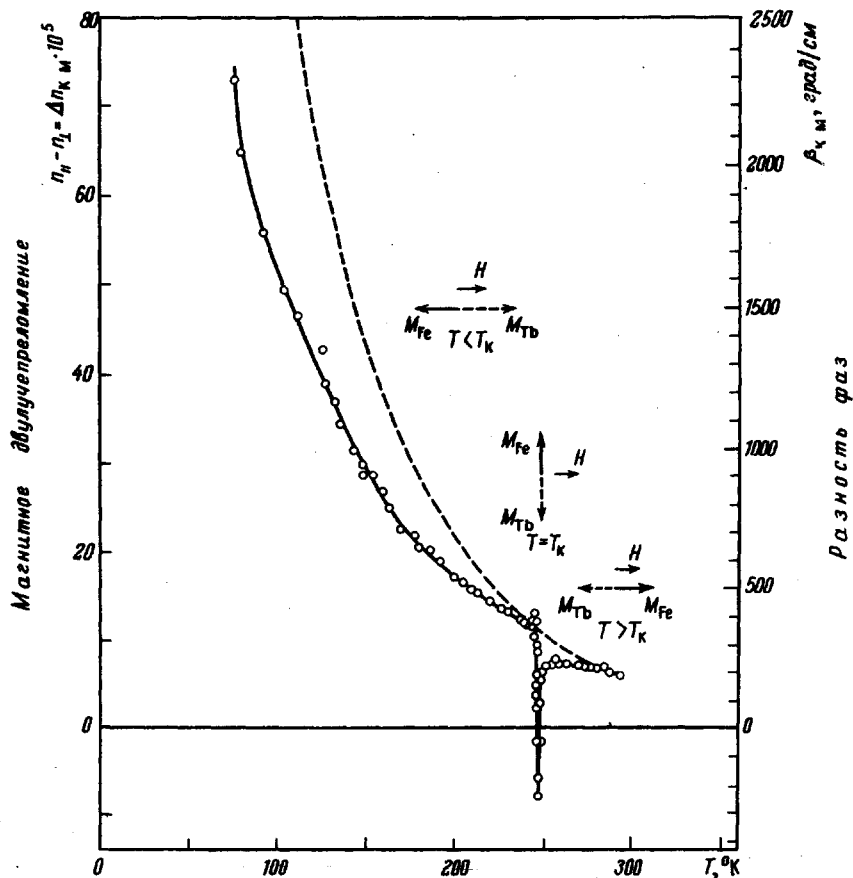


Рис. 1. Температурная зависимость эффекта Коттона – Мутона в феррите-гранате тербия в магнитном поле $H = 22 \text{ кэ}$. Точки – экспериментальные данные; пунктирная линия – расчетная температурная зависимость. Ориентации магнитных моментов во внешнем поле схематично показаны для $T > T_k$, $T = T_k$ и $T < T_k$

ЭКМ может быть связано с рядом причин: 1) недостаточно высокие внешние магнитные поля, 2) пренебрежение взаимодействием между подрешетками, 3) смещением с температурой электронных состояний Tb^{3+} и Fe^{3+} , определяющих поляризуемость и др.

Аномалии ЭКМ в точке компенсации T_K (рис. 2) вызваны, очевидно, переориентацией магнитных моментов подрешеток Tb^{3+} и Fe^{3+} по отношению ко внешнему магнитному полю H . Ниже и выше T_K подрешетки ориентированы параллельно или антипараллельно H ; в силу квадратичной зависимости ЭКМ от намагниченности эффект от каждой

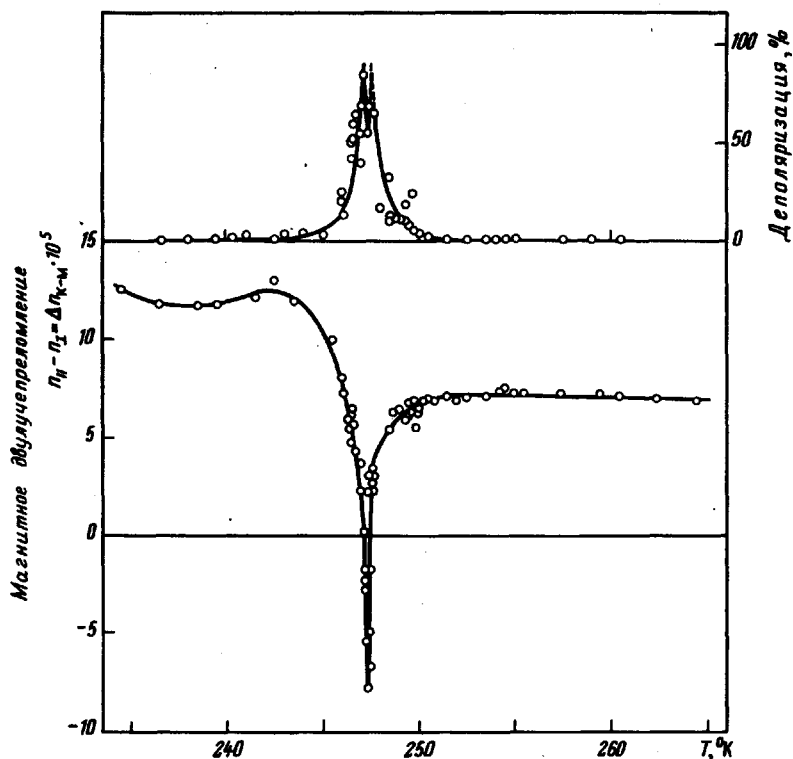


Рис. 2. Аномалия эффекта Коттона – Мутона вблизи точки магнитной компенсации в $Tb_3Fe_5O_{12}$ в поле $H = 22$ кэ (нижняя кривая). Верхняя кривая – деполаризация света, прошедшего через кристалл

подрешетки сохраняет свой знак (и примерно величину). Однако в непосредственной близости и в самой точке T_K подрешетки граната "опрокинуты", т.е. располагаются перпендикулярно H . Ориентация подрешеток в T_K в плоскости, перпендикулярной H , зависит от анизотропии в этой плоскости. В случае ЭКМ важны следующие две ориентации подрешеток в T_K : 1. Подрешетки перпендикулярны H и направлены вдоль света, т.е. случай геометрии эффекта Фарадея [4]. При такой ориентации ЭКМ должен обратиться в T_K в ноль. 2. Подрешетки перпендикулярны H и направлению распространения света. В этом случае величина эффекта должна быть примерно такой же но иметь противоположный

знак. Наблюдаемая смена знака без больших изменений величины говорит о том, что переворот подрешеток происходит в плоскости, перпендикулярной распространению света и параллельной внешнему магнитному полю. Судить о динамике переворота, кроме характера ЭКМ вблизи T_K , можно также по деполяризации света прошедшего через кристалл (верхняя кривая рис. 2).

При переходе через T_K наблюдается скачок ЭКМ $\sim 20\%$. Скачок можно объяснить тем, что ниже T_K восприимчивость редкоземельной и железной подрешеток во внешнем поле увеличивает, а выше T_K — умень-

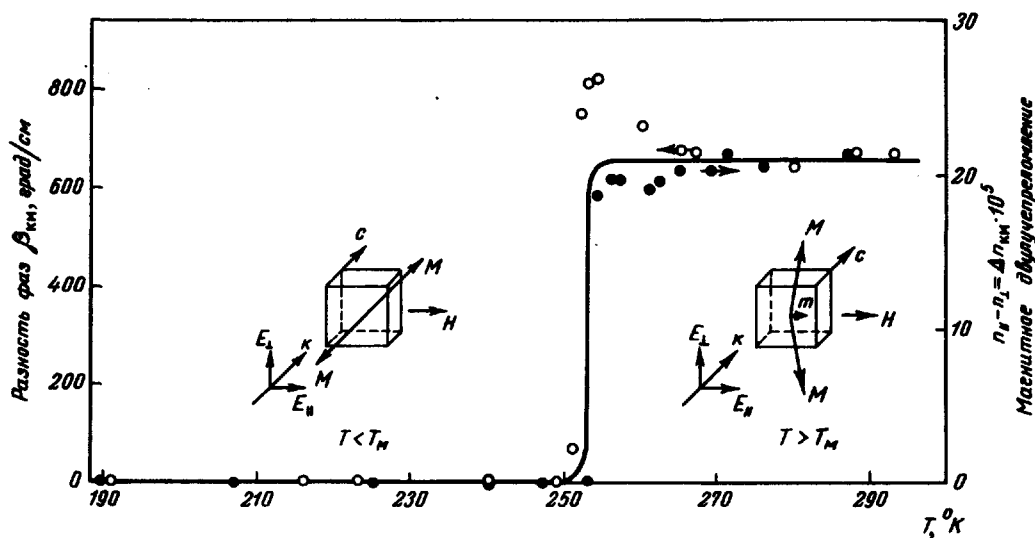


Рис. 3. Температурная зависимость эффекта Коттона – Мутона в гематите $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ в поле $H = 6,7 \text{ кэ}$

шает ЭКМ. Величина скачка должна быть пропорциональна $\sim \chi H$, где χ — суммарная восприимчивость подрешеток. С уменьшением H действительно наблюдалось уменьшение скачка. Эти же соображения позволяют объяснить наблюдавшееся уменьшение ЭКМ с ростом H при $T > T_K$, тогда как при $T < T_K$ рост H приводит к увеличению ЭКМ.

Температурная зависимость ЭКМ напоминает аналогичные зависимости констант магнитострикции редкоземельных ферритов-гранатов [5].

По-видимому эти два явления имеют много общего. Отметим, однако, что если магнитострикция определяется основным состоянием магнитного иона в кристалле, то поляризуемость (а следовательно и магнитооптические эффекты, зависит от всех электронных состояний магнитного иона.

Температурная зависимость ЭКМ в гематите приведена на рис. 3. Ниже температуры магнитного перехода $T_M = 253^\circ\text{K}$ спины двух антиферромагнитных подрешеток ориентированы вдоль оптической оси, и при распространении света по этому направлению ЭКМ должен отсутствовать. Выше T_M моменты подрешеток лежат в базисной плоскости и ориентированы перпендикулярно H и направлению света. Таким образом магнитный переход приводит к появлению ЭКМ.

Авторы выражают признательность М.О.Брыжиной за ориентацию образцов и В.Л.Ивашенцевой за помощь в измерениях.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
21 января 1969 г.

Литература

- [1] R. V. Pisarev, I. G. Siny, G. A. Smolensky. *Solid State Communications*, 7, вып. 12, 1968.
- [2] Р.В.Писарев, И.Г.Синий, Г.А.Смоленский. *Письма в ЖЭТФ*, 9, 112, 1969.
- [3] S. Geller, J. P. Remeika, R. C. Sherwood, H. J. Williams, J. P. Espinosa. *Phys. Rev.*, 137, A 1034, 1965.
- [4] Н.Ф.Харченко, В.В.Еременко, Л.И.Белый. *ЖЭТФ*, 55, 419, 1968.
- [5] A. E. Clark, J. J. Rhyne, E. R. Callen. *J. Appl. Phys.*, 39, 573, 1968.