

О РОЛИ МАГНИТОПОЛЕВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ИЗОТРОПНОЙ ЧАСТИ ОБРАТНОГО ЭФФЕКТА КОТТОНА—МУТОНА

Б. А. Зон, В. Я. Купершмидт, Г. В. Пахомов, Т. Т. Уразбаев

При изучении эффектов кругового и линейного двулучепреломления в магнитоупорядоченных кристаллах в последние годы значительное внимание уделяется так называемым магнитополевым членам, т. е. слагаемым, связанным с влиянием магнитного поля на величину двулучепреломления [1-4]. Вклад таких взаимодействий становится существенным в полях большой напряженности, в частности для величины двулучепреломления для кристаллов ферритов-гранатов в полях 10—100 кГс [1, 4]. Естественно, что вклад магнитополевого слагаемого должен проявляться и в величине изотропного магнитного преломления Δn

$$\Delta n = aM_s^2 + 2bM_sH, \quad (1)$$

где M_s — намагниченность насыщения кристалла, H — напряженность магнитного поля.

В эффектах нелинейной магнитооптики вклад магнитополевого слагаемого $\sim b$ может оказаться существенным уже в полях малой напряженности, в частности в изотропной (поляризационно не зависящей) части обратного эффекта Коттона—Мутона (ОЭКМ) [5, 6]: появлении намагниченности в кристалле, помещенном в насыщающее магнитное поле, под действием распространяющегося в нем интенсивного лазерного излучения. Физическим механизмом, ответственным за такой эффект, является вынужденное рассеяние света атомами среды, приводящее к реальному или виртуальному изменению заселенности уровней. В области прозрачности кристалла подобные явления можно описывать на основе термодинамических соотношений между намагниченностью и величиной свободной энергии во внешнем переменном электромагнитном поле [7]. Так, в модели изотропного ферромагнетика отсюда следует соотношение

$$\begin{aligned} \Delta M &= -\frac{\partial \Delta F}{\partial H} = \frac{\partial}{\partial H} \frac{E^2 n_0}{8\pi} \{a(M_s + \chi_s H)^2 + 2b(M_s + \chi_s H)H\} = \\ &= \frac{I}{c} M_s (a\chi_s + b). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь ΔF — изменение свободной энергии во внешнем электромагнитном поле, n_0 — показатель преломления кристалла, I — интенсивность излучения, χ_s — парамагнитная восприимчивость. Таким образом, уже из (2) следует, что магнитный вклад $\sim a$ по сравнению с эффектами линейной магнитооптики содержит дополнительную малость $\sim \chi_s$, и поэтому при выполнении условия $a\chi_s \ll b$ основной вклад в ОЭКМ будут давать магнитополевыми членами.

Подобный механизм был предположен в [6] для объяснения экспериментально наблюдавшегося изотропного ОЭКМ в монокристаллических пленках ферритов-гранатов $(R, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ с $R = Yb, Lu$. Для простоты дальнейшего рассмотрения ограничимся случаем немагнитного иона Lu^{3+} и стационарного излучения. Тогда в модели двухподрешеточного ферромагнетика (a , d — октаэдрическая и тетраэдрическая подрешетки соответственно) при распространении излучения вдоль направления магнитного поля, параллельного оси легкой анизотропии $[111]$, индуцируемую в кристалле намагниченность вдоль той же оси можно представить в виде [6]

$$\Delta M = \Delta M_m + \Delta M_H, \quad (3)$$

$$\Delta M_m = \frac{I \chi_s M_s}{(\gamma^2 - 1) c} (\gamma^2 Q_{12}^{dd} - Q_{12}^{aa}), \quad \Delta M_H = \frac{I M_s}{(\gamma - 1) c} (\gamma Q_{12}^{dH} - Q_{12}^{aH}). \quad (4)$$

Здесь $\gamma = M_d/M_a$. С параметрами Q_{12}^{dd} , Q_{12}^{aa} , Q_{12}^{dH} , Q_{12}^{aH} , подробно определенными в работе [6], связан также вклад в магнитную и магнитополевую части изотропного симметричного тензора диэлектрической проницаемости двух-подрешеточного магнитного кристалла [8]. Поэтому их можно связать с величинами a , b изотропного магнитного преломления (1)

$$a = \frac{Q_{12}^{aa} + \gamma^2 Q_{12}^{dd} - 2\gamma Q_{12}^{ad}}{(\gamma - 1)^2}, \quad b = \frac{\gamma Q_{12}^{dH} - Q_{12}^{aH}}{\gamma - 1}. \quad (5)$$

Если считать, что $\Delta M_m \gg \Delta M_H$, т. е. магнитный вклад превосходит магнитополевой, то из (3)–(5) следует

$$\Delta M \simeq \frac{I}{c} \chi_s M_s a \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \beta(Q), \quad \beta(Q) = \frac{\gamma Q_{12}^{dd} - Q_{12}^{aa}}{\gamma^2 Q_{12}^{dd} + Q_{12}^{aa} - 2\gamma Q_{12}^{ad}}.$$

Можно считать, что в оптическом диапазоне частот $|\beta| \simeq 1$. Например, для кругового двулучепреломления вклад октаэдрической подрешетки в два раза больше тетраэдрической [9]. Полагая, что $\chi_s \simeq 10^{-3}$, $n_0 \simeq 2.2$, и используя экспериментальные данные [6], получаем, что величина магнитного изотропного преломления должна составлять $\Delta n \simeq 1.6$, что явно противоречит экспериментально найденным значениям для $Y_3Fe_5O_{12}$ [10]: $\Delta n \simeq 9 \cdot 10^{-3}$. Поэтому следует считать, что выполняется обратное соотношение, т. е. $\Delta M_m \ll \Delta M_H$. Из тех же экспериментальных данных тогда следует оценка $\gamma Q_{12}^{dH} - Q_{12}^{aH} \simeq 4 \cdot 10^{-9} \text{ Гс}^{-2}$. Таким образом, из измерений нелинейных магнитооптических эффектов можно получать информацию о параметрах γQ_{12}^{dH} и Q_{12}^{aH} , которые в линейной магнитооптике проявляются лишь в достаточно сильных внешних полях.

Список литературы

- [1] Pisarev P. V., Schoenes J., Wachter P. // Sol. St. Comm. 1977. V. 23. N 9. P. 657–659.
- [2] Валиев У. В., Звездин А. К., Кривичик Г. С. и др. // ЖЭТФ. 1983. Т. 85. № 7. С. 311–326.
- [3] Гайдидей Ю. Б., Локтев В. М. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 6. С. 1616–1619.
- [4] Ведерников Н. Ф., Звездин А. К., Левитин Р. З., Попов А. И. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. № 12. С. 2161–2177.
- [5] Зон Б. А., Купершмидт В. Я., Пахомов Г. В., Уразбаев Т. Т. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 5. С. 219–222.
- [6] Балбашов А. М., Зон Б. А., Купершмидт В. Я., Пахомов Г. В., Уразбаев Т. Т. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. № 5. С. 304–314.
- [7] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.
- [8] Динамические и кинетические свойства магнетиков // Под ред. С. В. Вояковского, Е. А. Турова. М.: Наука, 1986. С. 248.
- [9] Бредников Е. В., Писарев Р. В. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 1. С. 81–87.
- [10] Ferre J., Gehring G. A. // Rep. Progr. Phys. 1984. V. 47. N 5. P. 513–611.

Воронежский
государственный университет
им. Ленинского комсомола
Воронеж

Поступило в Редакцию
24 мая 1983 г.
В окончательной редакции
16 января 1989 г.