

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСПЕРСИЯ И НОВЫЕ МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Н.Н.Ахмедиев, А.К.Звездин

Показано, что в кристаллах группы D_{2h}^{16} при магнитном упорядочении возможны эффекты наведенной магнитным полем оптической активности.

Известно, что линейные по компонентам волнового вектора K члены в тензоре диэлектрической проницаемости ϵ_{ij} (оптическая активность) могут существовать лишь в кристаллах без центра инверсии i . Интересная ситуация возникает в магнитных кристаллах, кристаллическая структура которых обладает центром инверсии, а магнитная не обладает. В парамагнитном состоянии они, естественно, не имеют оптической активности, но переход в магнитоупорядоченное состояние (без изменения кристаллографической симметрии) мо-

жет ее индуцировать. В данной статье мы не будем приводить полного симметричного анализа явления, а рассмотрим лишь на частном примере возможность существования оптической активности в кристаллах с центром инверсии при наличии внешнего магнитного поля и укажем на некоторые новые магнитооптические эффекты, обусловленные наличием линейных по K слагаемых в диэлектрической проницаемости магнитного кристалла.

Конкретно рассмотрим кристаллы, описываемые пространственной группой D_{2h}^{16} . К ним относится широкий класс материалов типа RMO_3 , где R — редкоземельный ион, M — магнитный d -ион ($Fe, Cr \dots$) или немагнитный ион ($Al, Ga \dots$). Пусть \mathcal{M} — магнитные моды, существующие в этих кристаллах, трансформационные свойства которых приведены, например, в ². Используется система координат, оси которой совпадают с осями a, b, c кристаллической структуры. Тензор ϵ_{ij} представим в виде

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^0 + ie_{ijk} J_k + \text{квадратичные слагаемые по } \mathcal{M}_i^p H_i, k_i.$$

Эффекты связанные с квадратичными слагаемыми, исследованы в ^{3,4}. Вектор J равен $J = G + g$, где вектор G определяет обычный эффект Фарадея, а g — наведенную магнитным полем оптическую активность, и он представляет для нас наибольший интерес ($g \sim k$):

$$g_i = \delta_{ijkm} \mathcal{M}_j^p H_k k_m.$$

Определим вид тензора δ_{ijkm} . Это можно сделать при помощи таблицы умножения неприводимых представлений группы D_{2h}^{16} . Необходимо, чтобы компоненты g_i и произведение $\mathcal{M}_j^p H_k k_m$ преобразовывались по одному и тому же представлению, т.е. $\Gamma(g_i) = \Gamma(\mathcal{M}_j^p) \Gamma(H_k) \Gamma(k_m)$. Приведем результаты такого анализа для эффектов, индуцированных внешним магнитным полем, которые реализуются в наиболее простых магнитных структурах $\Gamma_5 - \Gamma_8$ (см. ²). Заметим, что в магнитных структурах, описываемых представлениями $\Gamma_1 - \Gamma_4$ вектор гирации g равен нулю. Кроме того, в магнитных структурах $\Gamma_5 - \Gamma_8$ равны нулю коэффициенты при слагаемых типа $\mathcal{M}_j \mathcal{M}_k k_m$. Для X -компоненты вектора гирации имеем:

$$g_x = (a_{xyz}^{(1)} H_y k_z + a_{xzy}^{(1)} H_z k_y) \Gamma_5^m + (a_{xzx}^{(2)} H_z k_x + a_{xxz}^{(2)} H_x k_z) \Gamma_6^m + \\ + (a_{xxz}^{(3)} H_x k_y + a_{xyx}^{(3)} H_y k_x) \Gamma_7^m + (a_{xzx}^{(4)} H_z k_x + a_{xxz}^{(4)} H_x k_z) \Gamma_8^m,$$

где через Γ_n^m ($n = 5, \dots, 8$) обозначены линейные комбинации мод \mathcal{M} , преобразующихся по n -му представлению, например $\Gamma_5^m = \alpha A_y + \beta G_x$ и т.д. ². Аналогичным образом можно выписать две другие компоненты вектора g .

Рассмотрим, например, магнитную структуру, определяемую представлением Γ_5 (магнитная группа $\bar{4}2m$). В ней компоненты вектора гирации определяются соотношениями

$$g_x = B_{xyz}^{(1)} H_y k_z + B_{xzy}^{(1)} H_z k_y, \\ g_y = B_{yzx}^{(1)} H_z k_x + B_{yxz}^{(1)} H_x k_z, \\ g_z = B_{zxy}^{(1)} H_x k_y + B_{zyx}^{(1)} H_y k_x,$$
(1)

где $b_{ijk}^{(1)} = a_{ijk}^{(1)} \Gamma_5^m$ и т.д. Ниже во всех случаях мы рассмотрим лишь простейшие случаи, когда векторы H и k направлены по осям координат. Если $H \parallel k$, то как видно из (1), $g = 0$. Если $K \perp H$, то хотя эффект вращения плоскости поляризации в направле-

нии главных осей и отсутствует, но оптическая активность будет проявляться в двойном лучепреломлении, так что в кристалле будет распространяться обыкновенная волна с линейной поляризацией, перпендикулярной направлению магнитного поля и необыкновенная волна с эллиптической поляризацией, плоскость которой совпадает с плоскостью векторов H и k . Этот эффект аналогичен эффекту естественной оптической активности, предсказанному в ⁵. Поскольку вращения плоскости поляризации как такового нет, то наблюдать эффект можно только при отражении света от кристалла. Для естественной оптической активности такие наблюдения в резонансной области спектра были проведены недавно в работе ⁶. Для магнитной структуры, определяемой представлением Γ_6 имеем

$$g_x = B_{xxx}^{(2)} H_x k_x + B_{xyy}^{(2)} H_y k_y + B_{xzz}^{(2)} H_z k_z,$$

$$g_y = B_{yyx}^{(2)} H_y k_x + B_{yxy}^{(2)} H_x k_y,$$

$$g_z = B_{zzx}^{(2)} H_z k_x + B_{zzz}^{(2)} H_x k_z.$$

Для этой структуры выделенным направлением является ось X . В случае, когда магнитное поле направлено по оси X магнитное циркулярное двупреломление существует при распространении света вдоль любой из осей y и z , в частности, перпендикулярной магнитному полю в отличие от обычного эффекта Фарадея, который возможен только при $k \parallel H$. Легко проанализировать также другие геометрии взаимной ориентации векторов k и H . Отметим, кроме того, возможность возникновения „новых волн” (поляритонов) вблизи резонансов при наложении магнитного поля, причем магнитное поле позволяет в этом случае управлять показателем преломления „новой волны”. Для магнитных структур, определяемых представлениями Γ_7 и Γ_8 , эффекты будут такими же, что и для структуры с представлением Γ_6 , но с тем отличием, что для них выделенным направлением будут оси y и z соответственно. Рассмотренное явление относится к классу линейных по H эффектов (пьезомагнетизм, линейная магнитоотрицательность, линейный магнитоэлектрический эффект, линейное двупреломление), т.е. эти эффекты меняют знак при трансформации $H \rightarrow -H$.

Для рассмотренных кристаллов существуют также нелинейные оптические эффекты, наведенные внешним магнитным полем, — генерация второй гармоники, трехчастотное параметрическое преобразование и т.п., определяемые тензором нелинейной восприимчивости третьего ранга, линейно зависящим от магнитного поля.

Литература

1. Агранович В.М., Гинзбург В.Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М., 1979.
2. Белов К.П., Звездин А.К., Кадомцева А.М., Левитин Р.З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М., 1979.
3. Смоленский Г.А., Писарев Р.В., Синий И.Г. УФН, 1975, 116, 221.
4. Меркулов В.С. Кристаллография, 1983, 28, 421.
5. Федоров Ф.И. Оптика и спектроскопия, 1959, 6, 85, 377.
6. Ивченко Е.Л., Селькин А.В. ЖЭТФ, 1979, 76, 1838.

Поступила в редакцию

29 июня 1983 г.