

Эффекты пространственной дисперсии в магнитооптике

© В.Н. Гриднев, Б.Б. Кричевцов, В.В. Павлов, Р.В. Писарев, А.А. Ржевский

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты экспериментального исследования невязанных эффектов пространственной дисперсии в пара- ($\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$), ферро- (LiFe_5O_8) и антиферромагнитных кристаллах (Cr_2O_3), обусловленных внешним магнитным полем или магнитным порядком.

В веществах, группа симметрии которых не содержит операций обращения времени и инверсии пространства, могут наблюдаться оптические явления, запрещенные в centrosymmetric или немагнитных средах. Такие явления впервые наблюдались в [1,2] и затем в [3,4] в экситонной области спектра. В общем виде эти эффекты описываются членами разложения тензора диэлектрической проницаемости ϵ_{ij} по компонентам волнового вектора света \mathbf{k} и вектора \mathbf{G} , нечетного по отношению к операции обращения времени и определяющего магнитное состояние кристалла [5]:

$$\Delta\epsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k}, \mathbf{G}) = \gamma_{ijkl}k_kG_l. \quad (1)$$

Вектор \mathbf{G} может обозначать внешнее магнитное поле \mathbf{B} или магнитный параметр порядка, например, спон-

танную намагниченность \mathbf{M} или антиферромагнитный вектор \mathbf{L} . Члены (1) приводят к появлению магнитооптических эффектов в прохождении и отражении света в тех случаях, когда традиционные магнитооптические явления запрещены, что открывает новые возможности для исследования электронных состояний в кристаллах.

С позиций микроскопической теории существование членов (1) определяется действием различных механизмов. Отсутствие операций инверсии и обращения времени приводят к изменению волновых функций основного и возбужденных состояний и появлению отличных от нуля комбинаций матричных элементов типа $\text{Re } d_{km}m_{nk}$ и $\text{Re } d_{kn}Q_{nk}$, где \mathbf{d} , \mathbf{m} и \mathbf{Q} — операторы электрического, магнитного и квадрупольного момента. $\text{Re } d_{km}m_{nk}$ обуславливает магнитоэлектрическую воспри-

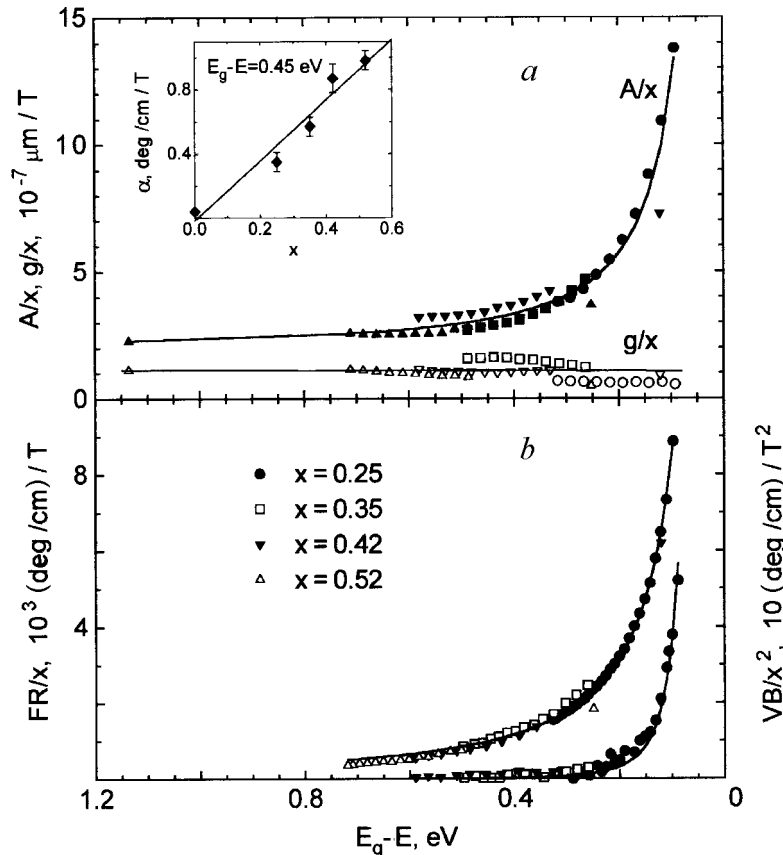


Рис. 1. Спектральные зависимости A/x и g/x (а), эффекта Фарадея FR/x и магнитного линейного дупреломления VB/x^2 (б), как функции $E_g - E$ в кристаллах $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$.

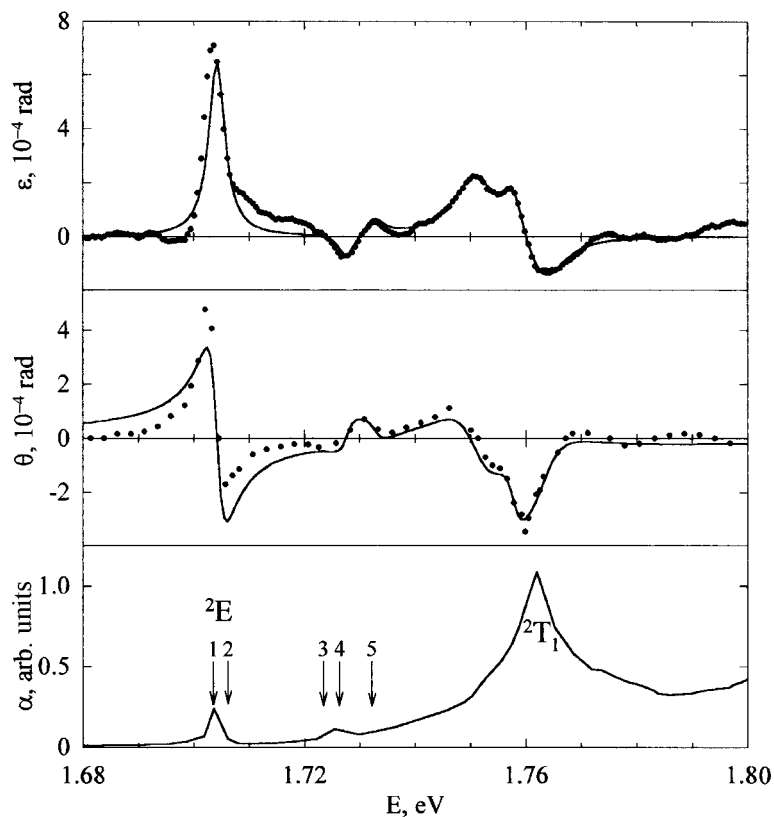


Рис. 2. Невзаимная эллиптичность ϵ и поворот плоскости поляризации θ при отражении света от базисной плоскости Cr_2O_3 при $T = 90 \text{ K}$ в области спин-запрещенных ${}^4A_2 \rightarrow {}^2E$, ${}^4A_2 \rightarrow {}^2T_1$ переходов. Внизу приведен спектр поглощения ($T = 77 \text{ K}$).

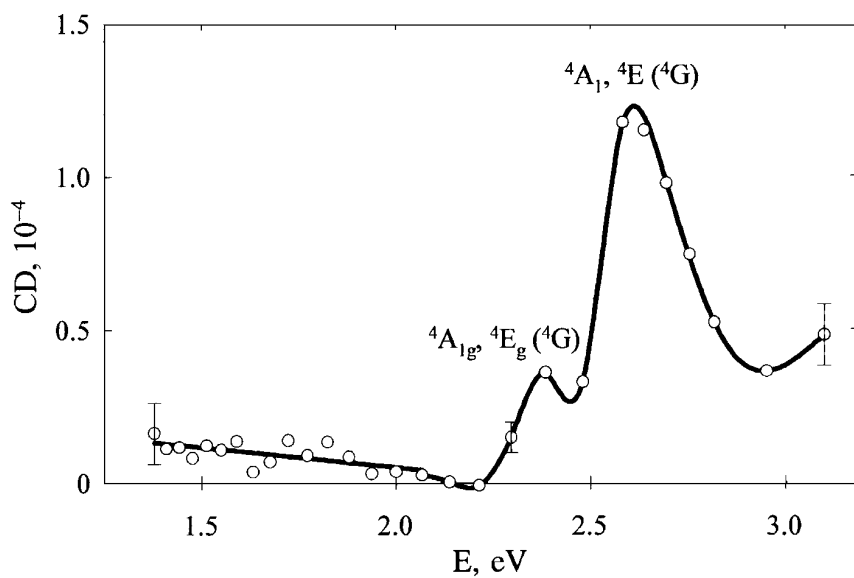


Рис. 3. Спектральная зависимость кругового дихроизма в отражении света от плоскости типа (111) при нормальном падении и поперечном намагничивании в LiFe_5O_8 .

имчивость α_{ij} на оптических частотах, которая при учете в уравнениях связи [6]:

$$D_i = \varepsilon_{ij}E_j + \alpha_{ij}H_j, \quad B_i = \mu_{ij}H_j + \alpha_{ij}E_j \quad (2)$$

дает вклад в компоненты $\Delta\varepsilon_{ij}$ и может проявляться в кристаллах, обладающих спонтанным магнитоэлектрическим эффектом. Ре $d_{kn}Q_{nk}$ определяет квадрупольный вклад в $\Delta\varepsilon_{ij}$. Другим возможным механизмом появления членов (1) является линейная зависимость резонансных частот оптических переходов от \mathbf{k} и \mathbf{G} для экситонных и межзонных переходов в полупроводниках. В данной работе приводятся результаты спектральных исследований магнитооптических эффектов пространственной дисперсии в пара- ($\mathbf{G} = \mathbf{B}$), ферро- ($\mathbf{G} = \mathbf{M}$) и антиферромагнитных ($\mathbf{G} = \mathbf{L}$) кристаллах.

В области прозрачности нецентросимметричных параили диамагнетиков члены (1) приводят к появлению невязимного двупреломления, линейного по \mathbf{B} и \mathbf{k} , которое в кристаллах кубической симметрии (T_d) описывается двумя параметрами, A и g , определяющими диагональные и недиагональные компоненты тензора $\Delta\varepsilon_{ij}$. Двупреломление типа \mathbf{kB} обнаружено в полумагнитных полупроводниках $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ($x = 0, 0.25, 0.35, 0.42, 0.52$) в геометриях $\mathbf{k} \parallel [110]$ и $[111]$. Эффект характеризуется сильной анизотропией по отношению к направлению B и описывается гармониками 1-го и 3-го порядка. На рис. 1 представлены зависимости приведенных параметров A/x и g/x от $E_g - E$, где E_g — ширина запрещенной зоны, E — энергия фотона. Там же приведены зависимости приведенных значений эффекта Фарадея FR/x и магнитного линейного двупреломления VB/x^2 . \mathbf{kB} -двупреломление линейно зависит от x , что свидетельствует об определяющей роли $sp-d$ -обмена в образовании эффекта. Диагональная компонента γ_{ijkl} вблизи края зоны имеет резонансную зависимость $A/x = d + c/(E_g - E)^{1.4}$. Величина недиагональной компоненты g/x вблизи края мала и не имеет резонансного характера. Такое поведение согласуется с микроскопической теорией, в которой \mathbf{kB} -эффект связывается с межзонными переходами, с линейной по \mathbf{k} дисперсией энергии дырок и зависимостью параметра обменного взаимодействия от волнового вектора электронов.

На рис. 2 представлены спектральные зависимости невязимного поворота плоскости поляризации θ и эллиптичности ε при отражении света от базисной плоскости антиферромагнетика Cr_2O_3 ($D_{3d}(D_3)$) в области экситонных переходов ${}^4A_2 \rightarrow {}^2E, {}^2T_1$ [7,8]. Нарушение операций инверсии и обращения времени в Cr_2O_3 связано с появлением антиферромагнитного порядка ($\mathbf{L} \parallel C_3$). Невязимные эффекты, линейные по \mathbf{L} , обусловлены магнитоэлектрической восприимчивостью α_{\perp} на оптических частотах: $\theta + i\varepsilon = 2\alpha_{\perp}(1+n)/(1-n)$, где n — показатель преломления. Микроскопическая теория магнитоэлектрической восприимчивости в оптическом диапазоне в Cr_2O_3 развита в [9].

На рис. 3 представлена спектральная зависимость невязимного кругового дихроизма (CD) в отражении света от плоскости типа (111) нецентросимметричного кубического O^6 ферримагнетика LiFe_5O_8 в области переходов в ионе Fe^{3+} : ${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1, {}^2E({}^4G)$ в октаэдрических и тетраэдрических позициях. Спектры получены при нормальном падении света и перпендикулярном намагничивании кристалла в плоскости $(111) \mathbf{M} \perp C_3$. Наблюдаемые спектры могут быть связаны с магнитоэлектрической восприимчивостью в оптическом диапазоне и с кубическим по \mathbf{M} эффектом Керра. Феноменологическое рассмотрение показало, что основной вклад в эффект дает магнитоэлектрический механизм [10].

Работа поддержана РФФИ и программой "Фундаментальная спектроскопия".

Список литературы

- [1] Е.Ф. Гросс, Б.П. Захарченя, О.В. Константинов. ФТТ 3 1, 305 (1961).
- [2] J.J. Hopfield, D.G. Thomas. Phys. Rev. Lett. 4, 357 (1960).
- [3] Е.Л. Ивченко, В.П. Кочерешко, Г.В. Михайлов, И.Н. Уралцев. Письма в ЖЭТФ 37, 137 (1983).
- [4] О.В. Гоголин, В.А. Цветков, Е.Г. Цицишвили. ЖЭТФ 87, 1038 (1984).
- [5] В.М. Агранович, В.Л. Гинзбург. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. Наука, М. (1979).
- [6] R.M. Hornreich, S. Shtrikman. Phys. Rev. 171, 1065 (1968).
- [7] В.В. Кричевцов, В.В. Павлов, Р.В. Писарев, В.Н. Гриднев. Phys. Rev. Lett. 76, 4628 (1996).
- [8] Б.Б. Кричевцов, В.В. Павлов, Р.В. Писарев, В.Н. Гриднев. ЖЭТФ 110, 1505 (1996).
- [9] E. Hanamura, Y. Tanade, T. Iizika-Sakano, M. Muto. In press.
- [10] В.Н. Гриднев, Б.Б. Кричевцов, В.В. Павлов, Р.В. Писарев. Письма в ЖЭТФ 65, 65 (1997).