

Ба 244 197

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Б. И. СТЕПАНОВА
АКАДЕМИИ НАУК БССР

КОВАРИАНТНЫЕ МЕТОДЫ В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

ОПТИКА И АКУСТИКА

(Сборник научных трудов)

Минск 1991

ЧАСТОТНО-ПЕРЕСТАНОВочНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ТЕНЗОРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОСПРИИМЧИВОСТЕЙ

Б.В.Вокуть (Институт физики АН БССР),
С.С.Гиргель (Гомельский госуниверситет им. Ф. Скорины)

Нелинейные оптические явления в кристаллах описываются тензорами различных рангов, причем частотная дисперсия весьма существенна. Для выяснения симметрии тензоров нелинейных оптических восприимчивостей в поглощающих кристаллах воспользуемся простой феноменологической моделью нелинейной среды [1, 2] как совокупности классических анизотропных ангармонических осцилляторов. Тогда можно получить, что в выражении для поляризации среды на частоте

$$P_i^{\omega_m} = \chi_{ij}^{\omega_m} E_j^{\omega_m} + \chi_{ijk}^{\omega_m; \omega_n, \omega_p} E_j^{\omega_n} E_k^{\omega_p} + \theta_{ijke}^{\omega_m; \omega_2, \omega_3, \omega_4} E_j^{\omega_2} E_k^{\omega_3} E_l^{\omega_4} + \dots \quad (1)$$

тензоры квадратичной χ и кубичной θ нелинейных восприимчивостей равны соответственно

$$\chi_{ijn}^{\omega_m; \omega_n, \omega_p} = \beta_{\pm uv} \chi_{it}^{\omega_m} \chi_{uj}^{\omega_n} \chi_{vk}^{\omega_p}, \quad (2)$$

$$\theta_{ijke}^{\omega_m; \omega_2, \omega_3, \omega_4} = \xi_{tuvw} \chi_{it}^{\omega_m} \chi_{uj}^{\omega_2} \chi_{vk}^{\omega_3} \chi_{we}^{\omega_4}, \quad (3)$$

причем частоты связаны между собой и удовлетворяют соотношениям

$$\omega_m = \omega_n + \omega_p; \quad \omega_m = \omega_2 + \omega_3 + \omega_4. \quad (4)$$

Для кристаллов ромбической сингонии тензор линейной восприимчивости на частоте ω_m равен

$$\chi_{ij}^{\omega_m} = \frac{e^2 N}{m f_i \omega_m} \left(\delta_{ij} - \frac{ie \omega_m e_{ijk} H_k^0}{m c f_i \omega_m} \right), \quad (5)$$

где $f_i^{\omega_m} = \omega_{oi}^2 - \omega_m^2 - i \omega_m \gamma_i^{\omega_m}$, N - число осцилляторов в единице объема, ω_{oi} - собственная частота колебаний, а $\gamma_i^{\omega_m}$ - коэффициенты

затухания на частоте ω_m вдоль i -й оси соответственно, H^0 - внешнее магнитное поле или параметр магнитного упорядочения.

Выражения (2), (3) являются обобщением известной формулы Миллера [3] на случай гироанизотропной нелинейной поглощающей среды, причем тензор β является аналогом параметра Δ Миллера.

Для установления симметрии тензоров χ , χ , θ введем следующие симметричные операции: $\tilde{1}$ - операция обращения во времени магнитной структуры (изменение направлений всех магнитных моментов, магнитных полей и токов на противоположные); операция инверсии времени $\tilde{1}'$. Для монохроматических волн она сводится к операции комплексного сопряжения $\tilde{1}^*$, которая изменяет знаки всех частот на противоположные; $\tilde{1}$ - операция изменения знака линейного поглощения. Под воздействием $\tilde{1}$ поглощение заменяется усилением и наоборот.

Из этих определений следует, что

$$\tilde{1}^* = \tilde{1}, \quad \tilde{1}^* = \tilde{1}, \quad \tilde{1} = \tilde{1}^*, \quad \tilde{1}^* = \tilde{1}, \quad (6)$$

где несколько символов содержат комбинированные операции.

Из (5) вытекает, что в поглощающих магнитных средах тензор линейной восприимчивости χ обладает следующими свойствами симметрии:

$$\chi_{ik}^{\omega} = \chi_{ki}^{\omega}; \quad \chi_{ik}^{\omega} = \chi_{ik}^{-\omega} = (\chi_{ik}^{\omega})^*, \quad (7); (7a)$$

где замена $\omega \rightarrow (-\omega)$ означает изменение знаков частоты ω и поглощения γ^{ω} на противоположные, а подчеркивание - обращение во времени магнитной структуры.

Полагая далее, что тензоры β и ξ не зависят от частоты и магнитного упорядочения и симметричны по всем индексам, и учитывая симметрию χ , находим, что

$$\chi_{ijk}^{m; n, p} = \chi_{jik}^{n; m, \tilde{p}} = (\chi_{jik}^{\tilde{n}; \tilde{m}, \tilde{p}})^*; \quad (8)$$

$$\theta_{ijke}^{m; q, r, s} = \theta_{jike}^{q; m, \tilde{r}, \tilde{s}} = (\theta_{jike}^{\tilde{q}; \tilde{m}, \tilde{r}, \tilde{s}})^*. \quad (9)$$

Здесь, для краткости, частоты обозначены одним индексом: $\omega_m \rightarrow m$, $\tilde{\omega}_n \rightarrow \tilde{n}$, $-\tilde{\omega}_p \rightarrow \tilde{p}$ и т.д.

Найденные частотно-перестановочные соотношения (ЧПС) (8), (9) можно сформулировать так.

У тензоров нелинейных оптических восприимчивостей можно переставлять одновременно декартовы индексы и соответствующие им частоты. Если же переставляется крайний слева индекс, то у тензоров следует дополнительно изменить знак магнитной структуры и знаки частот и поглощения при непереставляемых индексах на противоположные.

Для линейных поглощающих сред ЧПС (7) представляют собой известный в линейной электродинамике принцип симметрии кинетических коэффициентов, или линейный принцип Онзагера. Поэтому можно сказать также, что ЧПС (8), (9) являются обобщением принципа Онзагера на нелинейные оптические явления в поглощающих кристаллах. В отличие от линейных соотношений взаимности Онзагера, накладывающих ограничения временной симметрии на компоненты тензоров одного и того же свойства, найденные нами ЧПС связывают тензоры различных нелинейных эффектов в одном поглощающем кристалле, но находящемся в термодинамически различных состояниях, когда поглощение на некоторых частотах становится отрицательным. Практически среды, обладающие отрицательным поглощением, хорошо известны. Это, например, лазерные среды с инверсной заселенностью.

Из найденных ЧПС для поглощающих нелинейных сред следует как частные случаи ряд результатов, известных в литературе. Так, когда поглощение отсутствует на некоторых частотах, получаем ЧПС для частично поглощающих сред, предложенные в [4, 2], без магнитной структуры - в [2, 5 - 8]. Если сред считать полностью прозрачной на всех взаимодействующих частотах, то (8), (9) переходят в хорошо известные ЧПС, ранее предложенные в [1, 8] (см. также [2]).

Хотя (8), (9) выведены на базе модельных представлений, можно полагать, что они будут справедливы и в общем случае. Кроме того, ЧПС (8), (9) несложно обобщить на более общие, чем уравнения связи (1) и учесть также возможные эффекты пространственной дисперсии.

Литература

1. Ахманов С.А., Хохлов Р.В. Проблемы нелинейной оптики. - М.: Из-во ВИНТИ, 1965. - 283 с.

2. Вломберген Н. Нелинейная оптика. - М.: Мир, 1966. - 424 с.

3. Miller R.C. Optical second harmonic generation in piezoelectric crystals // Appl. Phys. Lett. - 1964. - V. 5, № 1. - P. 17 - 19.

4. Гиргель С.С., Демидова Т.В. Свойства симметрии тензоров нелинейных оптических восприимчивостей анизотропных магнитных сред. - М.: МЭТИ, 1987. - С. 53 - 55.

5. Ефремов Г.Ф. Соотношения симметрии для тензора кросс-восприимчивости. // ЖЭТФ. - 1966. - Т. 51, № 1. - С. 156 - 164.

6. Ефремов Г.Ф., Новиков М.А. Соотношения симметрии для нелинейных восприимчивостей в средах с поглощением. // Тезисы докладов XII Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике. Часть II. - Москва, 26 - 29 августа 1985 г. - М.: 1985. - С. 803 - 804.

7. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. - М.: Наука, 1986. - 293 с.

8. Pershan P.S. Nonlinear optical properties of solids: energy considerations // Phys. Rev. - 1963. - V. 130, № 3. - P. 919 - 929.