

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ НОВОГО НЕВЗАИМНОГО МАГНИТО-ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В.А.Маркелов, М.А.Новиков, А.А.Туркин

Приводятся результаты экспериментального исследования эффекта невзаимного линейного двупреломления (различие фазовых скоростей встречных волн одинаковой линейной поляризации) в кристалле иодата лития (LiIO_3), помещенного в магнитное поле. Эффект обусловлен пространственной дисперсией и возможен в средах без центра симметрии.

Как известно, учет пространственной дисперсии в кристаллах приводит к ряду качественно новых оптических явлений [1]. К их числу относится невзаимное линейное двупреломление (различие фазовых

скоростей встречных волн одинаковой линейной поляризации). В работах [2 – 4] отмечалась возможность существования подобного эффекта в магнито-упорядоченных кристаллах, который, однако, ввиду его малости экспериментально ранее не был обнаружен.

В работе одного из авторов [5] показано, что невзаимное линейное двупреломление возникает также в нецентросимметричных кристаллах при наложении внешнего магнитного поля. Согласно оценкам величина невзаимного набега фаз даже при сравнительно небольших напряжениях приложенного магнитного поля вполне доступна для измерения при размещении исследуемого кристалла в резонаторе кольцевого лазера; в этом случае невзаимный набег фазы влияет на разность частот встречных волн лазера.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования эффекта невзаимного линейного двупреломления в кристалле иодата лития (LiIO_3), помещенного в магнитное поле. Образец из кристалла вырезался так, что лазерный пучок распространялся перпендикулярно оптической оси с поляризацией обыкновенного луча (входные грани были брюстеровскими).

В эксперименте использовался кольцевой He – Ne -лазер с периметром $L = 100$ см, который мог работать (при смене зеркал) на длинах волн $\lambda = 1,15$ мкм и $\lambda = 0,63$ мкм. Для устранения эффекта захвата частот встречных волн лазер был установлен на вращающуюся платформу; при этом создавалось начальное расщепление частот порядка 100 кГц. Измерения проводились по модуляционной методике, аналогично описанной в [6]. На кристалл накладывалось переменное магнитное поле (с частотой 80 Гц и амплитудой порядка десятков эрстед) перпендикулярное как направлению лазерного луча, так и оптической оси. Измерялась девиация разности частот встречных волн, обусловленная невзаимным магнито-оптическим эффектом. Величина этой девиации $\Delta f = \Delta n d c / \lambda L$, где Δn – величина невзаимного двупреломления, d – длина образца, c – скорость света.

Для кристалла LiIO_3 ($d = 1,8$ см) зарегистрирована величина эффекта $\Delta n/H = (1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-12}$ э⁻¹ при $\lambda = 1,15$ мкм и $\Delta n/H = (1,9 \pm 0,3) \times 10^{-12}$ э⁻¹ при $\lambda = 0,63$ мкм. Поскольку кристалл LiIO_3 является полярным, знак наблюдаемого эффекта должен меняться при смене направления оптической оси на противоположное, что и было экспериментально подтверждено. Было проверено также, что эффект отсутствовал, если магнитное поле направлено параллельно оптической оси.

Для описания магнитооптических эффектов воспользуемся разложением тензора диэлектрической проницаемости в следующем виде [1]:

$$\epsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k}, \mathbf{H}) = \epsilon_{ij}(\omega) + \gamma_{ijk} H_k + \gamma_{ijkl} H_k k_l(\omega), \quad (1)$$

где \mathbf{k} – волновой вектор, $\bar{\mathbf{H}}$ – вектор постоянного магнитного поля. Первый член разложения (1) ответственен за оптические эффекты в кристалле без учета пространственной дисперсии и внешних магнитных полей (рассматриваются только немагнитные кристаллы). Для появления невзаимных эффектов необходимо выполнение условия

$$\epsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k}, \mathbf{H}) \neq \epsilon_{ji}(\omega, -\mathbf{k}, \mathbf{H}).$$

Этому условию удовлетворяют добавки к диэлектрической проницаемости, связанные с тензорами γ_{ijk} и γ_{ijkl} , так как соотношение Онсагера [1] накладывает на них ограничения следующего вида:

$$\gamma_{ijk} = -\gamma_{ikj}; \quad \gamma_{ijkl} = \gamma_{jikl}.$$

Кроме того, в области, частот, где отсутствует поглощение, γ_{ijk} — мнимые, а γ_{ijkl} — действительные величины. Тензор γ_{ijk} ответственен за традиционные невязимные магнито-оптические эффекты (эффект Фарадея и пр.) и в дальнейшем рассматриваться не будет. Как видно из разложения (1) тензор γ_{ijkl} имеет аксиальный характер. Это означает, что обсуждаемый эффект будет наблюдаться только в средах без центра симметрии. Вид аксиального тензора четвертого ранга для различных кристаллических классов можно найти в работе [7]. Тензор γ_{ijkl} симметричен по первым двум индексам и его проявление существенно зависит от типа анизотропии, которое имеет место вдоль выбранного направления распространения света. Можно показать, что величина эффекта, связанного с тензором γ_{ijkl} , становится очень малой, если эта анизотропия носит циркулярный характер. Это обстоятельство затрудняет наблюдение эффекта в оптических активных кубических кристаллах, а также в изотропных средах на фоне эффекта Фарадея. Наиболее благоприятна ситуация, если вдоль направления распространения света имеет место большое естественное двупреломление тогда как показывает анализ, эффект Фарадея дает малый вклад в невязимный набег фазы. Еще в большей степени эффект Фарадея дискриминируется, если выбрать поперечный вариант магнито-оптического эффекта, а свет направить перпендикулярно оптической оси одноосного кристалла. В этом случае наведенное невязимное линейное двупреломление складывается с естественным линейным двупреломлением. В результате как для обыкновенной, так и для необыкновенной волны будут иметь место разные набег фаз для встречных направлений. Именно такая конфигурация была выбрана для наблюдения невязимного магнито-оптического двупреломления в кристалле иодата лития, симметрия которого соответствует кристаллическому классу C_6 . Более подробный теоретический анализ нового невязимного магнито-оптического эффекта будет дан в последующих публикациях.

В заключение авторы выражают благодарность И.Л.Берштейну за интерес к работе, а Е.И.Шалагинову за изготовление кристаллов.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
2 марта 1977 г.

Литература

- [1] В.А.Агранович, В.Л.Гинзбург. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов, Москва, 1965.
- [2] R. M. Hornreich, S. Shtrikmann. Phys., Rev., 171, 1065, 1968.
- [3] В.Н.Любимов. Кристаллография, 14, 213, 1969.
- [4] Р.В.Писарев. ЖЭТФ, 58, 1421, 1970.

- [5] М.А.Новиков. Тезисы докладов конференции по нелинейной оптике, Минск, 1972.
- [6] В.А.Маркелов. А.А.Туркин. Квантовая электроника, 3, 1139, 1976.
- [7] R. Birss . Proc . Phys . Soc . , 79, 946, 1962.
-