

ОБ ОТРАЖЕНИИ СВЕТА ОТ ГРАНИЦЫ КИРАЛЬНОЙ ГИРОТРОПНОЙ СРЕДЫ

А.Ю. Лукьянов, М.А. Новиков

Экспериментально показано, что с точностью до 10^{-7} в свете, отраженном от изотропной киральной гиротропной среды, отсутствует циркулярный дихроизм. Это позволяет судить о правильности выбора материальных уравнений для таких сред.

Оптика киральных гиротропных сред в настоящее время привлекает большое внимание как физиков, в связи с открытием несохранения четности при слабых взаимодействиях, так и биологов, поскольку биологические активные вещества обладают киральными свойствами. Однако до настоящего времени окончательно не решен вопрос о правильном выборе материальных уравнений для описания оптических явлений в таких средах. Так как до настоящего времени дискуссия по этому вопросу носила чисто теоретический характер ¹, в настоящей статье приводится описание простого эксперимента, позволяющего судить об адекватности материальных уравнений для киральных гиротропных сред. По нашему мнению, это первый эксперимент такого рода.

В литературе обсуждаются два типа материальных уравнений для гиротропных сред. Первое, по-видимому, впервые предложенное в ², имеет следующий вид. (Для простоты ниже ограничимся случаем изотропных киральных сред).

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} - g \dot{\mathbf{H}} \\ \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} + g \mathbf{E}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где \mathbf{D} , \mathbf{B} , \mathbf{E} , \mathbf{H} — соответственно электрическая и магнитная индукция, а также электрические и магнитные поля световой волны, параметр g — ответственен за киральность среды. Второй тип материальных уравнений предложен М. Борном ³ и имеет следующий вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} + p \dot{\mathbf{H}} \\ \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Было показано, что применение этих уравнений для описания оптических явлений в однородных средах не вызывает противоречия между ними. Однако при решении вопросов, связанных с распространением света в неоднородных киральных средах их применение дает существенно различные результаты ⁴. Наиболее ярко это проявляется при вычислении поправок к формулам Френеля на границе киральной среды ⁵.

Для экспериментальной проверки этого желательно выбрать такую оптическую схему, чтобы предсказанные этими теориями результаты имели качественное различие и, кроме того, чтобы при проведении эксперимента можно было в максимальной степени устранить сопутствующие мешающие оптические эффекты. На наш взгляд, такой ситуации соответствует случай отражения от границы изотропной киральной среды при нормальном падении.

Как показано в работе ⁶, коэффициенты отражения для циркулярно поляризованных волн при нормальном падении на границу изотропной киральной среды имеют вид

$$r_{\perp}^{\pm} = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}; \quad r_{\parallel}^{\pm} = \frac{n_2^{\pm} - n_1}{n_2^{\pm} + n_1}, \quad (3)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления пограничных сред без учета киральной гиротропии, r_I^\pm — коэффициенты отражения для циркулярных волн, соответствующие уравнению (1), а r_{II}^\pm — (2). В обоих случаях использовались обычные граничные условия. Показатели преломления для циркулярных волн

$$n_I^\pm = n_2(1 \pm g); \quad n_{II}^\pm = n_2(1 \pm \frac{1}{2}p) \quad (4)$$

Уравнения (3) показывают качественные различия между r_I^\pm и r_{II}^\pm , так как в линейном приближении по параметру гирации r_I^\pm не зависит от киральности среды. Этот факт и проверялся в описываемом ниже эксперименте.

В качестве объекта использовался клин из кристалла α -LiIO₃ (йодат лития), рабочая поверхность которого нормальна к его оптической оси. Известно ⁷, что этот кристалл имеет большой коэффициент вращения $\theta = 86,8^\circ/\text{мм}$ для $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ и $n_2 = 1,9$. Используя эти данные, а также формулы (3–4), можно получить для случая $n_1 = 1$ (воздух):

$$R_I^\pm = |r_I^\pm|^2 = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right)^2 = 9,6 \cdot 10^{-2} \quad (5)$$

$$R_{II}^\pm = |r_{II}^\pm|^2 = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1}\right)^2 \pm \frac{4(n_2 - 1)}{(n_2 + 1)^3} \frac{\lambda\theta}{360} = 9,6 \cdot 10^{-2} \pm 2,24 \cdot 10^{-5}.$$

Видно, что во втором случае при отражении имеет место циркулярный дихроизм, а в первом — отсутствует.

$$\Delta R = R_{II}^\pm - R_I^\pm = \frac{8(n_2 - 1)}{(n_2 + 1)^3} \frac{\lambda\theta}{360} = 4,5 \cdot 10^{-5}. \quad (6)$$

В настоящей работе используется модуляционный метод измерения циркулярного дихроизма ⁸. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке. В качестве источника све-

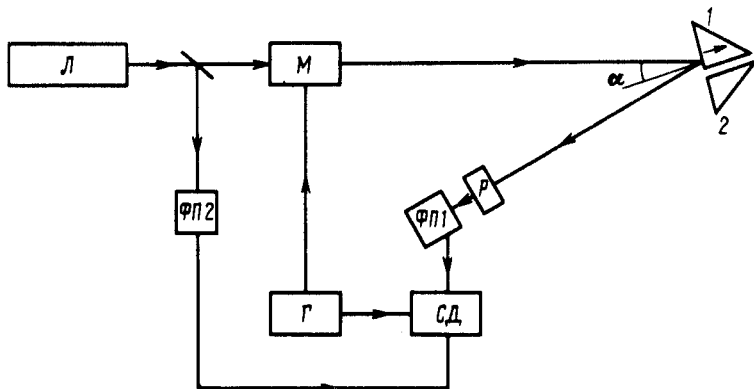


Схема экспериментальной установки: Л — лазер; М — модулятор; Г — генератор, СД — синхронный детектор; Р — рассеиватель; ФП1, ФП2 — фотоприемники; $\alpha < 2^\circ$, 1 — кристалл α -LiIO₃, 2 — стеклянная призма

та использовался стабилизированный лазер ЛГИ-302 с $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ ($P = 1 \text{ мВт}$). С целью исключения влияния отраженного луча на лазер угол падения был отличен от нормального примерно на 2° . Как показывают оценки это должно мало сказываться на результатах измерения. В

качестве модулятора эллиптичности использовался электрооптический модулятор МЛ-102, напряжение на который подавалось от звукового генератора ГЗ-56/1. Дифференциальное включение фотоприемников ФП1 и ФП2 позволяло уменьшить влияние амплитудных шумов лазера при выделении сигнала циркулярного дихроизма в фототоке ФП2. С целью исключения влияния анизотропии фотодиода перед ним помещался рассеиватель света Р. Для исключения систематических ошибок дихроизм отражения от кристалла сравнивался с дихроизмом от границы стеклянного клина, который устанавливался рядом с кристаллом. Это позволяло быстро их менять без расстройки оптической схемы. Многократные измерения и усреднение по многим замерам показало, что циркулярный дихроизм отсутствует в обоих случаях с точностью до 10. Это позволяет утверждать, что материальные уравнения (1) более адекватны для описания взаимодействия света с киральными средами.

Литература

1. Федоров Ф.И. Теория гиротропии. Минск: Наука и техника, 1976.
2. Condon E.U. *Rev. Mod. Phys.*, 1937, 9, 432.
3. Борн М. Оптика. Харьков: ГНТИУ, 1937.
4. Бокуть Б.В., Сердюков А.Н. ЖЭТФ, 1971, 61, 1808.
5. Silvermann M.P. *Lett. Nuovocimento*, 1985, 43, 378.
6. Schlagheck U. *Z. Phys.*, 1973, 258, 233.
7. Перекалина З.Б. и др. Кристаллография, 1970, 15, 1252.
8. Веллюз Л. и др. Оптический круговой дихроизм. М.: Мир, 1967.