

АЗИМУТАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Е. К. Галанов, Р. И. Мельник и М. В. Мухина

Экспериментально установлена независимость поворота плоскости поляризации и эллиптичности излучения, прошедшего через холестерические жидкие кристаллы, от азимута поляризации этого линейно поляризованного излучения. Эти же поляризационные характеристики жидких холестерических кристаллов вычислены на основании модели плосковинтовой структуры холестерических кристаллов. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных показывает, что плосковинтовая модель холестерических жидких кристаллов неудовлетворительно описывает азимутальную зависимость поляризационных характеристик этих кристаллов. Предложена модель холестерических жидких кристаллов в виде совокупности параллельных винтовых цепей, фазы которых в любой из плоскостей, перпендикулярных осям этих винтов, хаотичны.

В недавно проведенном исследовании [1] температурной зависимости шага винта однокомпонентных холестерических жидких кристаллов (эфиров холестерина) нами было показано, что наиболее вероятной моделью холестерического жидкокристаллического состояния является модель параллельных винтообразных цепей, составленных из молекул эфиров холестерина, а не плосковинтовая модель. С целью дальнейшей проверки и развития этих представлений нами проведена настоящая работа.

Основными экспериментами были выбраны такие, которые позволяют исследовать свойства холестерических жидких кристаллов (ХЖК), существующие плосковинтовой структуре: зависимость поворота плоскости поляризации и эллиптичности прошедшего через ХЖК излучения от азимута поляризации этого падающего на ХЖК линейно поляризованного излучения.

1. Исследование азимутальной зависимости поляризационных характеристик ХЖК проведено на поляриметре [1] ($\lambda = 0.628$ мкм). При этом точность измерения угла поворота плоскости поляризации (φ) и эллиптичности ($\theta = \arctg(a/b)$) равна 0.1° . Точность термостатирования 0.01°C . Образцы ХЖК в виде тонких слоев $t = 10 \pm 0.5$ мкм, находящихся между кварцевыми пластинами, имели плоскую текстуру. По составу ХЖК представляли собой композиции из двух или трех типов эфиров холестерина, тонкие образцы таких композиций в сравнении с однокомпонентными ХЖК имеют обратимые термооптические характеристики и высокую однородность оптических свойств по площади образца. Композиции ХЖК имели следующий процентный состав: 60% пеларгоната и 40% олеата холестерина (ХЖК-I), 60% пеларгоната, 31.5% олеата и 8.5% бензоата холестерина (ХЖК-II). Компоненты ХЖК получены методом, описанным в работах [1, 2].

2. Азимутальная зависимость оптической активности и эллиптичности электромагнитного излучения, прошедшего через ХЖК, рассмотрена в работах [2, 3]. Азам и Башара [2, 3] провели расчеты для случая, когда направление распространения излучения параллельно винтовой оси ХЖК, при этом в качестве модели взята плосковинтовая структура ХЖК [4].

Оптические свойства среды записываются с помощью дифференциальной матрицы Джонса [5]. Эллипс поляризации (в комплексной плоскости) для излучения, распространяющегося вдоль винтовой оси ХЖК, определяется на основании дифференциального уравнения Риккати. Решение этого уравнения в общем случае имеет вид

$$\chi(z, \chi_0) = \left[\frac{(\beta - i\alpha \operatorname{tg} \beta z) \chi_0 + (-ig_0 \operatorname{tg} \beta z)}{(-ig_0 \operatorname{tg} \beta z) \chi_0 + (\beta + i\alpha \operatorname{tg} \beta z)} \right] e^{i2\alpha z}, \quad (1)$$

где $\chi = \varepsilon_1/\varepsilon_2$ (ε_1 и ε_2 — базисные векторы), z — толщина ХЖК, $\chi_0 = \chi(z=0)$ — поляризация падающего на ХЖК излучения, $\alpha = 2\pi/P$; P — шаг винта, $g_0 = (2\pi/\lambda)(n_o - n_e)$, $(n_o - n_e)$ — двойное лучепреломление плоскости $z = \text{const}$ ХЖК, $\beta = g_0 / [(\alpha/g_0)^2 + 1]^{1/2}$.

Если в качестве базисных векторов взяты векторы право- и левозвращательной поляризации, то оптическая активность и эллиптичность прошедшего через ХЖК излучения выражаются

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{Arg}(\chi), \quad \theta = \arctg \frac{|\chi| - 1}{|\chi| + 1}. \quad (2)$$

Как видно из (1) и (2), поворот плоскости поляризации и эллиптичность являются функциями поляризации падающего на ХЖК излучения.

На основании (1) и (2) нами определены (рис. 1, 2) значения поворота плоскости поляризации и эллиптичности излучения для азимутов поляризации, изменяющихся в пределах $0 \div 90^\circ$ (азимут, равный нулю, соответ-

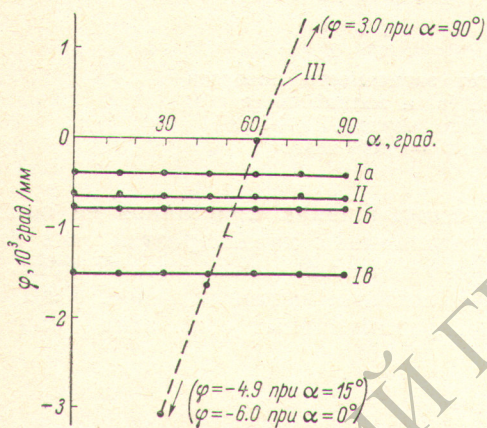


Рис. 1. Экспериментальная азимутальная зависимость оптической активности жидких кристаллов ХЖК-I (Ia — $T=37.5^\circ\text{C}$; Ib — $T=37.2^\circ\text{C}$; Ie — $T=37.0^\circ\text{C}$); ХЖК-II (II — $T=31.5^\circ\text{C}$); III — азимутальная зависимость, рассчитанная на основании соотношений (1) и (2) ($\lambda=0.628$ мкм).

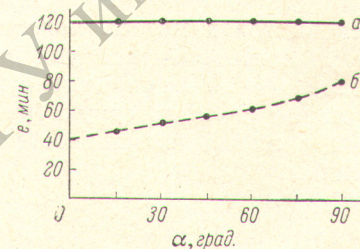


Рис. 2. Экспериментальная (a) и теоретическая (б) зависимости эллиптичности (e) ХЖК-II ($T=36.0^\circ\text{C}$) от азимута линейно поляризованного излучения ($\lambda=0.628$ мкм).

ствует случаю, когда направление поляризации падающего на ХЖК излучения и направление ориентации молекул слоя $z=0$ совпадают). При вычислении $\varphi(\chi_0)$ и $\theta(\chi_0)$ взяты следующие значения параметров: $n_o - n_e = 0.1$, $z = 10$ мкм, $\lambda = 0.628$ мкм, $P = 0.6$ мкм. Как видно из рис. 1, 2, при изменении азимута поляризации падающего на ХЖК излучения в пределах $0 \div 90^\circ$ поворот плоскости поляризации и эллиптичность изменяются не менее, чем в 1.5—2 раза.

Экспериментальные исследования зависимости оптической активности и эллиптичности от азимута поляризации, падающего на ХЖК излучения, проведены при температурах, которые были выбраны на основании температурной зависимости поляризационных характеристик ХЖК-I и -II (рис. 3). Результаты экспериментальных исследований, проведенных на кристаллах ХЖК-I и -II, показывают, что при изменении азимута поляризации падающего на ХЖК излучения изменения поворота плоскости поляризации и эллиптичности прошедшего через ХЖК излучения находятся в пределах точности измерения и не превышают долей процента

для поворота плоскости поляризации и 4—5% для эллиптичности. Эти изменения существенно меньше расчетных значений, полученных на основании модели плосковинтовой структуры ХЖК.

Таким образом, результаты настоящих экспериментальных исследований, как и исследований, представленных в работе [1], показывают, что

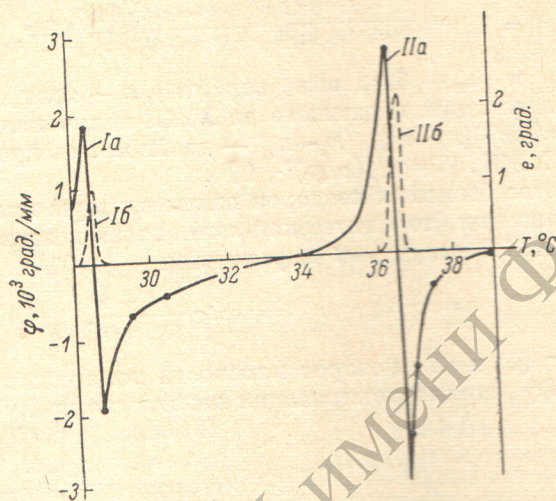


Рис. 3. Температурная зависимость поворота плоскости поляризации (а) и эллиптичности (б) излучения, прошедшего через ХЖК-I (I) и ХЖК-II (II), ($\lambda=0.628$ мкм).

Плосковинтовая модель холестерических жидких кристаллов не описывает удовлетворительно ряд поляризационных характеристик этих кристаллов. Одной из вероятных моделей холестерических жидких кристаллов может служить структура параллельных винтовых цепей, фазы которых в любой из плоскостей, перпендикулярных осям этих винтов, хаотичны.

Литература

- [1] Е. Н. Галанов, Г. К. Костюк, М. В. Мухина, Р. И. Мельник, И. Д. Костров. Ж. структ. хим., 17, № 4, 1976.
- [2] R. M. A. Azzam, N. M. Bashara. J. Opt. Soc. Am., 62, 1952, 1972.
- [3] R. M. A. Azzam, V. E. Merrill, N. M. Bashara. Appl. Opt., 12, 764, 1973.
- [4] H. de Vriërs. Acta cryst., 4, 219, 1951.
- [5] R. C. Johnes. J. Opt. Soc. Am., 38, 671, 1948.

Поступило в Редакцию 25 марта 1975 г.