

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ НА НЕМАТИЧЕСКУЮ ФАЗУ
ОРИЕНТИРОВАННОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА МББА И ЭФФЕКТ
ТЕПЛОВОЙ ЛИНЗЫ В ЭТОМ КРИСТАЛЛЕ

А. С. Золотько, В. Ф. Китаева, Н. Кроо *),
Н. Н. Соболев, Л. Чилдаг **)

УДК 532.783

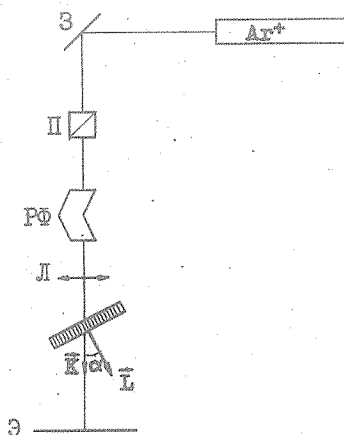
Исследованы увеличение расходимости и сложная поперечная структура пучка аргонового лазера, прошедшего через ориентированные образцы нематического жидкого кристалла МББА. Для кристаллов, не подвергавшихся воздействию лазерного излучения, увеличение расходимости (~ 50 раз) и структура пучка определяются ориентацией директора в поле световой волны.

В работе /1/ наблюдалась чрезвычайно большое увеличение расходимости (~ 150 раз) и сложная структура пучка аргонового лазера, прошедшего через гомеотропно ориентированную фазу жидкого кристалла ОЦФ. Было показано, что это связано с переориентацией директора в электрическом поле световой волны. В работе /1/ в световом поле удалось наблюдать все основные черты эффекта Фредерикса /2/.

Теоретически вопрос о повороте директора в поле световой волны был рассмотрен в работе /3/, где предсказана гигантская нелинейность нематических жидких кристаллов. В этой работе удалось увеличение расходимости (~ 2 раза) пучка гелий-неонового лазера, прошедшего через ориентированный образец нематического жидкого кристалла сложного состава.

*) Центральный институт физических исследований ВАН, г. Бу-
дапешт.

Увеличение расходимости и сложная структура пучка аргонового лазера, прошедшего через планарно ориентированную нематическую фазу кристалла МББА, наблюдалась и в работе /4/, где это объясняется эффектом тепловой линзы. В работе /4/ для усиления эффекта принимались специальные меры по увеличению поглощения лазерного излучения, падающего на кристалл.



Р и с. I. Оптическая схема установки

Целью настоящей работы явилось детальное изучение характера расходимости пучка аргонового лазера, прошедшего через гомеотропно и планарно ориентированные образцы нематического жидкого кристалла МББА, и выяснение условий, при которых увеличение расходимости связано с переориентацией директора в поле световой волны, и при которых оно связано с эффектом тепловой линзы.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. I. Излучение одночастотного аргонового лазера (модель I7I-03 Спектра-Физикс) фокусировалось объективом Л ($f = 210$ мм) в кристалл МББА. Поляризатор П обеспечивал вертикальную (по отношению к плоскости рисунка) поляризацию падающего излучения, двойной ромб Френеля РФ поворот плоскости поляризации. Кювета с кристаллом помещалась в термостатируемую камеру, находящуюся на столике, вращающемся вокруг вертикальной оси. Это позволяло проводить исследования при разных углах между волновым вектором падающего излучения

ния \vec{k} и директором \vec{l} . За кюветой на расстоянии 20 см от нее помещался матовый экран, с которого фотографировалась получаемая на нем картина. Кювета с МББА находилась в перетяжке лазерного пучка. Радиус перетяжки $a = 5 \cdot 10^{-3}$ см. При этом напряженность электрического поля в центре пучка составляла $\sim 8 \cdot 10^2$ В/см при мощности падающего излучения ~ 100 мВт.

Кристалл МББА находится в нематической фазе в интервале температур $16^\circ\text{C} < t < 46^\circ\text{C}$. Основная часть экспериментов выполнена при температуре 36°C . Гомеотропно ориентированный образец имел толщину $l = 50$ мкм, планарный — 40 мкм. Использовалось излучение лазера на длинах волн 4880 Å и 5145 Å. Коэффициент поглощения МББА на длине волны 5145 Å несколько меньше, чем на длине волны 4880 Å. Специальные меры для увеличения поглощения нами не принимались. Полученные результаты сводятся к следующему:

1. В кристаллах, не подвергавшихся длительному воздействию лазерного излучения, расходимость и структура прошедшего через них пучка излучения определяются ориентацией директора в поле световой волны. Картина, наблюдавшаяся с гомеотропно ориентированным образцом МББА, была полностью аналогична наблюдавшейся с гомеотропно ориентированным кристаллом ОПФФ /1/:

а) При Н-поляризации (колебания вектора \vec{E} происходят в плоскости \vec{k} и \vec{l}) и постоянной мощности лазерного пучка P наблюдаемая картина зависит от угла α между \vec{k} и \vec{l} . С ростом α расходимость пучка θ и число наблюдаемых на экране колец возрастает. При постоянном угле α картина зависит от мощности излучения так же, как от угла α : угловая расходимость пучка θ и число колец растут с увеличением P . При $P = 90$ мВт рост угловой расходимости замедляется. Внешнее кольцо имеет наибольшие угловые размеры и большую интенсивность.

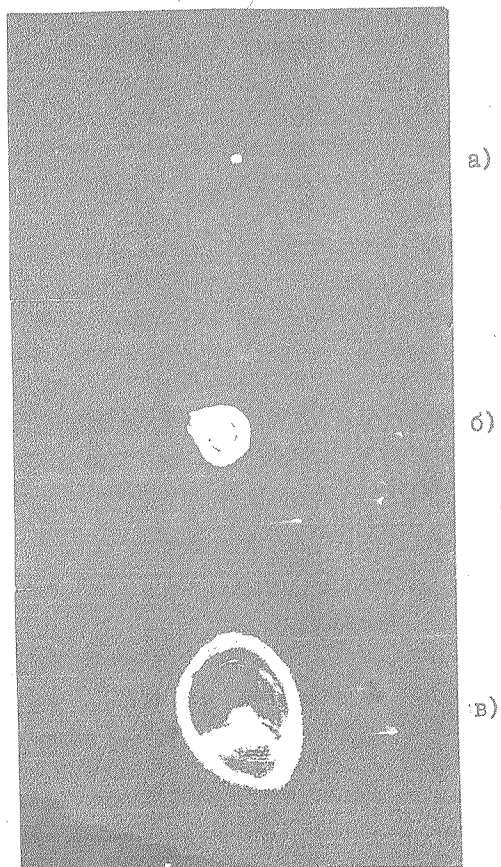
б) При V-поляризации падающего на кристалл излучения (колебания вектора \vec{E} происходят перпендикулярно плоскости \vec{k} и \vec{l}) и $\alpha \neq 0^\circ$ уширение пучка не наблюдалось вплоть до мощности $P \sim 170$ мВт. При вращении плоскости поляризации от V к Н уширение пучка происходило монотонно.

в) Время установления стационарной картины $\tau \sim 10$ с. В течение этого времени расходимость монотонно увеличивается: кольца как-бы "выбегают" из центра.

г) При $\alpha = 0^\circ$ увеличение расходимости происходило скачком при мощности 170 мВт.

д) При круговой поляризации падающего на кристалл излучения кольцевая структура не наблюдалась.

Следует отметить, что максимальные расходимости пучка и наблюдавшееся число колец в случае МББА значительно меньше, чем в случае ОЦБФ.



Р и с. 2. Структура пучка, прошедшего через планарно ориентированный кристалл при $\alpha = 0^\circ$ в зависимости от мощности \bar{P} и поляризации падающего излучения: а) $P = 40$ мВт, V-поляризация, б) $P = 40$ мВт, в) $P = 90$ мВт: б), в) H-поляризация

В планарном образце большая угловая расходимость ($\theta \sim 15^\circ$ при $P = 90$ мВт), как и следовало ожидать, наблюдалась в случае, когда угол между директором \vec{L} и полем \vec{E} был 90° . На рис. 2 приведены картины, наблюдавшиеся на экране, в зависимости от мощности лазерного пучка для этого случая ($\alpha = 90^\circ$). Характер картины такой же, как и в случае гомеостропно ориентированного образца. (Мощности больше 90 мВт не использовались из-за опасений разрушить кристалл).

При угле между \vec{L} и \vec{E} равном нулю кольцевая структура в планарном образце не наблюдалась. Она не наблюдалась также и в случае, когда лазерный пучок имел круговую поляризацию.

Все перечисленные результаты эксперимента, как нам кажется, убедительно свидетельствуют в пользу эффекта Фредерикса /2/ — переориентации директора в поле световой волны.

Использовавшиеся в данной работе лазерные поля соответствуют полям, вызывающим эффект Фредерикса. Действительно, пороговое значение электрического поля, оцененное из соотношения /2/:

$$E_{\text{пор}} = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{4\pi K}{\Delta\epsilon}} \quad (1)$$

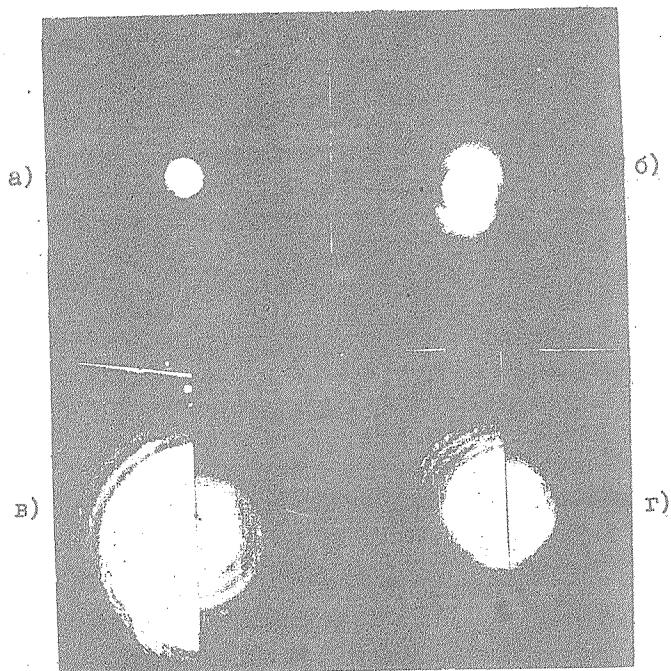
где $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ — анизотропия диэлектрической проницаемости, K — константа Франка, оказывается равным $6 \cdot 10^2$ В/см. (Формула (1) и значения $\Delta\epsilon$ и K взяты из работы /2/). Напряженность же поля в центре пучка при мощности лазерного излучения ~ 100 мВт составляет $\sim 8 \cdot 10^2$ В/см, т.е. того же порядка величины.

II. После длительного воздействия (несколько часов) относительно мощного ($P \sim 170$ мВт) лазерного излучения на гомеостропно ориентированный образец наблюдавшаяся картина резко изменилась. Вместо картины, характерной для ориентации молекул в световом поле, появились две другие, наблюдавшиеся как при линейной, так и при круговой поляризации лазерного пучка.

Сначала возникает первая система широких колец. Их интенсивность падает при удалении от оси пучка. При возрастании мощности от 80 до 120 мВт их расходимость увеличивается незначительно ($\sim 1,5 - 2$ раза). При мощности 100 мВт расходимость $\sim 7^\circ$. При этом наблюдается 3 — 4 кольца.

При $P \sim 50$ мВт, наряду с первой, возникает вторая система колец с очень большой расходимостью. Интенсивность второй системы значительно меньше, чем первой. Сразу после возникновения,

кольца второй системы широкие, но по мере увеличения мощности они как бы "сбегаются" к центру и угловые расстояния между ними резко уменьшаются (рис. 3). Кольца этой системы эквидистантны. При $P = 120$ мВт угловое расстояние между ними $\sim 0,85^\circ$, а при $P = 80$ мВт $\sim 1,4^\circ$. Время установления стационарной картины менее одной секунды. Эта картина наблюдалась как при $\lambda = 4880 \text{ \AA}$ так и при $\lambda = 5145 \text{ \AA}$, но при $\lambda = 4880 \text{ \AA}$ она выражена более четко. Характер картины, в целом, такой же, как в работе /3/, где принимались меры по увеличению поглощения лазерного излу-



Р и с. 3. Структура пучка, прошедшего через гомеотропно ориентированный кристалл при $\alpha = 0^\circ$, подвергавшийся длительному воздействию относительно мощного (~ 170 мВт) лазерного излучения, в зависимости от мощности пучка: а) $P = 30$ мВт, б) $P = 50$ мВт, в) $P = 140$ мВт, г) $P = 200$ мВт; а), б) V-поляризация; в), г) H-поляризация (кадры состоят из двух частей, напечатанных с разными выдержками)

чения кристаллом и наблюдавшаяся картина объясняется эффектом тепловой линзы. По нашему мнению, опыты с круговой поляризацией лазерного излучения подтверждают эту интерпретацию. Наблюдение этой картины в наших исследованиях стало, как сказано выше, возможным после длительного воздействия относительно мощного лазерного излучения на исследуемый образец, которое, по-видимому, ухудшает чистоту исследуемого образца кристалла /5/ и тем самым увеличивает его поглощающую способность.

Резюмируя, следует сказать, что в непоглощающих образцах нематических жидких кристаллов в поле световой волны легко наблюдать эффект переориентации директора. В поглощающих образцах - превалирующим является эффект тепловой линзы.

В заключение авторы выражают благодарность В. Л. Бухтиярову за помощь при проведении эксперимента.

Поступила в редакцию
30 сентября 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. С. Золотко и др., Письма в ЖЭТФ, 32, 170 (1980).
2. Л. М. Блинов, Электро и магнитооптика жидких кристаллов, "Наука", М., 1978 г.
3. Б. Я. Зельдович и др., Письма в ЖЭТФ, 31, 287 (1980).
4. V. Volterra, E. Wiener-Avnear, Opt. Comm., 12, 194 (1974).
5. И. М. Арефьев и др., ЖЭТФ 63, 1729 (1972); T. W. Stinson, J. D. Litster, Phys. Rev. Lett., 25, 503 (1970); J. Haller, H. A. Huggins, M. J. Freiser, Mol. Cryst. and Liquid Cryst., 16, 53 (1972).