

УДК 532.783;535.21

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С НЕМАТИЧЕСКИМИ ЖИДКИМИ КРИСТАЛЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ АЗОКСИ- И АЗОМОЛЕКУЛЫ

И. А. Будаговский, А. С. Золотько, В. Ф. Китаева, М. П. Смаев

*Экспериментально исследовано взаимодействие светового пучка с гомеотропно и планарно ориентированными образцами НЖК "смесь А", целиком состоящими из азоксимолекул, и ЖКМ-1277 с малыми добавками азокрасителя КД-1. Установлено, что при определенных длинах световой волны знак ориентационной нелинейности гомеотропно ориентированных образцов этих НЖК изменяется с положительного на отрицательный и, при этом, процесс переориентации заканчивается эффектом памяти. В планарно ориентированных образцах детально исследованы обнаруженные ранее особенности светового пучка, отраженного от НЖК.*

Хорошо известно, что присутствие в жидких кристаллах азо- и азоксимолекул приводит к разнообразным нелинейнооптическим эффектам, например, к изменению шага холестерической спирали [1 – 4] и знакопеременной ориентационной нелинейности [5 – 7]. В работе [8] были исследованы нелинейнооптические свойства планарно ориентированного образца нематического жидкого кристалла (НЖК) "смесь А", целиком состоящей из азоксимолекул. В этой работе впервые было замечено, что информацию о процессах взаимодействия света с НЖК несет не только световой пучок, прошедший через кристалл, но и пучок, отраженный от внутренней стенки кюветы и прошедший область НЖК, на которую уже воздействовал проходящий пучок. Как будет показано в настоящей работе, эта дополнительная информация позволяет исследовать эффекты светоиндуцированной переориентации молекул в НЖК с сильной тепловой нелинейностью.

Целью настоящей работы явилось сравнительное изучение с помощью прошедшего и отраженного пучков НЖК, содержащих азо- и азоксимолекулы: “смеси А”, целиком состоящей из азоксимолекул, и ЖКМ-1277, легированного малой добавкой азокрасителя КД-1.

*Экспериментальные образцы и условия эксперимента.* Исследования проводились с гомеотропно и планарно ориентированными образцами НЖК “смесь А”, целиком состоящими из азоксимолекул, и ЖКМ-1277, легированным азокрасителем КД-1 (0.025% по весу).

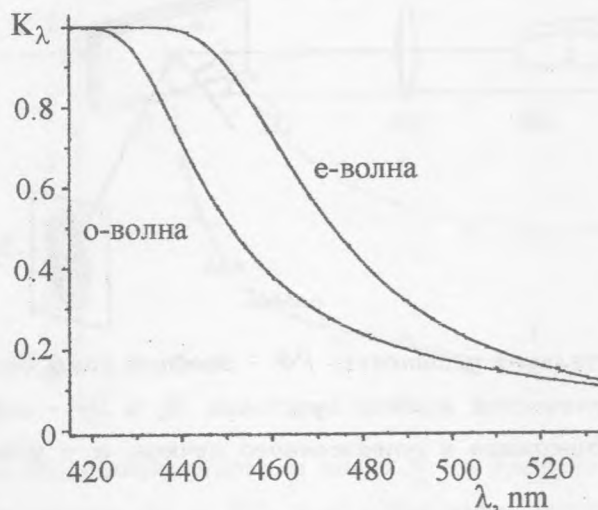


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента поглощения  $K_\lambda$  для “смеси А”.

“Смесь А” состоит из двух азоксисоединений – БМАОБ и БГАОБ – в пропорции 2/3 и 1/3. Химические формулы этих соединений и свойства “смеси А” приведены в [8, 9]. БМАОБ и БГАОБ состоят из двух структурных изомеров, отличающихся положением атома кислорода в азоксигруппе, каждый из которых, в свою очередь, может быть в *trans*- или *cis*-форме. Таким образом, “смесь А” может содержать восемь различных молекул. В видимом диапазоне поглощение “смеси А”, как следует из рис. 1, возрастает с уменьшением длины световой волны. Температурный интервал существования нематической фазы “смеси А”: 0 – 70°C. Низкочастотная диэлектрическая анизотропия  $\Delta\epsilon$  отрицательна.

Свойства ЖКМ-1277 и красителя КД-1 приведены в [5, 7]. ЖКМ-1277 практически

прозрачен в видимом диапазоне и имеет положительную низкочастотную диэлектрическую анизотропию; интервал существования нематической фазы:  $-20 - 60^\circ\text{C}$ . Краситель КД-1 имеет максимум поглощения на длине волны  $510\text{ нм}$ . Гомеотропно ориентированный ЖКМ-1277, легированный этим красителем, характеризуется знакопеременной ориентационной нелинейностью; для планарной ориентации образцов эта нелинейность положительна.

Все исследованные образцы имели толщину  $L = 100\text{ }\mu\text{м}$ . Внутренние поверхности стекол жидкокристаллических ячеек были покрыты проводящими электродами, что позволяло прикладывать к образцам внешнее электрическое поле.

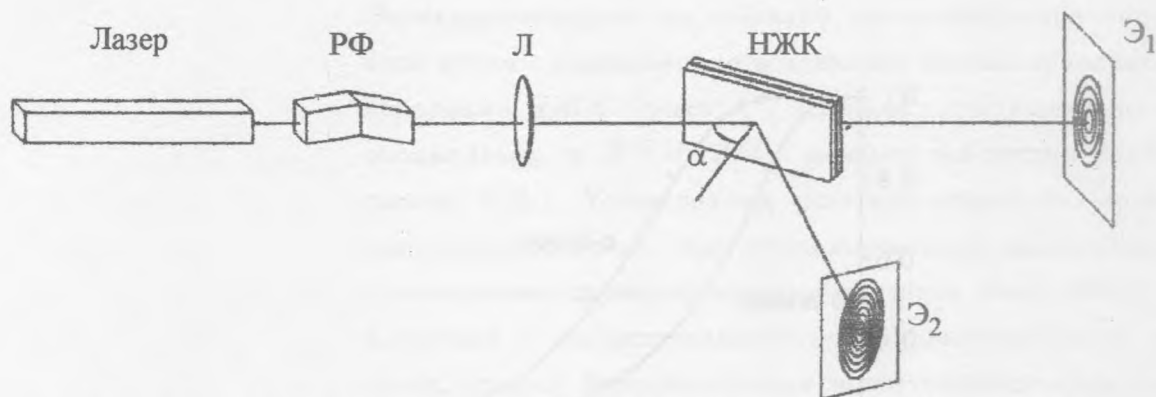


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: РФ – двойной ромб Френеля, Л – фокусирующая линза, НЖК – нематический жидкий кристалл, Э<sub>1</sub> и Э<sub>2</sub> – экраны для наблюдения поперечной структуры прошедшего и отраженного пучков, α – угол падения светового пучка на НЖК.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. В качестве источников излучения использовались аргоновые лазеры ИА-120 ( $\lambda = 458, 477, 488$  и  $515\text{ нм}$ ) и LASOS ( $\lambda = 515\text{ нм}$ ) или полупроводниковый лазер LASOS GL ( $\lambda = 532\text{ нм}$ ). Излучение фокусировалось линзой ( $f = 12$  или  $18\text{ см}$ ) в ячейку с кристаллом. Прошедший и отраженный световые пучки наблюдались на экранах Э<sub>1</sub> и Э<sub>2</sub>, соответственно. Угол падения световой волны на кристалл α изменялся поворотом жидкокристаллической ячейки вокруг вертикальной оси. Директор  $\mathbf{n}$  и вектор светового поля  $\mathbf{E}$  были расположены в горизонтальной плоскости.

Для определения знака нелинейности использовался метод, основанный на изменении структуры светового пучка при перемещении НЖК в плоскости, перпендикулярной направлению распространения светового пучка, и подробно описанный в [7].

Взаимодействие светового пучка с гомеотропными НЖК. При  $\alpha = 0$  заметного уширения пучка, прошедшего через НЖК “смесь А”, не наблюдалось.

При  $\alpha > 0$  световой пучок уширяется и в его поперечном сечении образуется кольцевая абберационная картина, обусловленная ориентационной нелинейностью (об этом свидетельствуют времена ее образования ( $T_{for} \sim 1 - 10$  с) и релаксации ( $T_{rel} \sim 10$  с)).

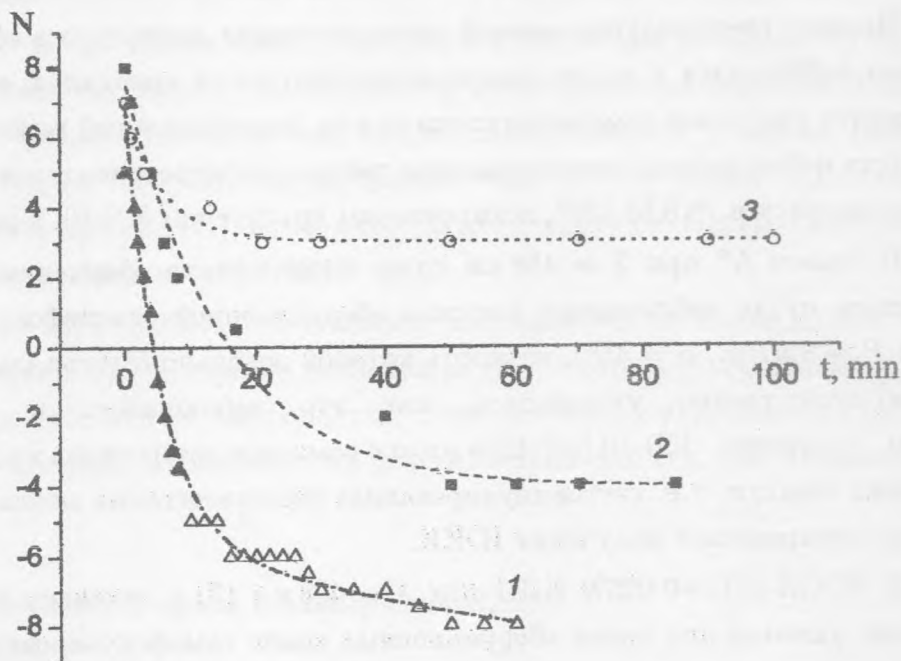


Рис. 3. Зависимость числа абберационных колец  $N$  от времени  $t$  облучения НЖК наклонно падающим световым пучком ( $\alpha = 45^\circ$ , положительные значения  $N$  соответствуют самофокусировке, отрицательные — дефокусировке) для гомеотропно ориентированных кристаллов “смесь А” (▲, △;  $P = 30$  мВт) и ЖКМ-1277+0.025% КД-1 (○, ■;  $P = 1$  мВт): (▲, △, ○) —  $\lambda = 488$  нм и (■) —  $\lambda = 458$  нм; (▲, ■, ○) — измерения при непрерывном облучении, (△) — измерения в зондирующем пучке.

На рис. 3 представлены временные зависимости числа абберационных колец  $N$  для “смеси А” ( $\lambda = 488$  нм, кривая 1), аналогичная картина наблюдалась и при  $\lambda = 532$  нм, и для ЖКМ-1277+0.025% КД-1 ( $\lambda = 458$  (2) и 488 нм (3)). Из рис. 3 видно, что число колец абберационной самофокусировки  $N$  для “смеси А” (1) и ЖКМ-1277+0.025% КД-1 (2) со временем уменьшается и через некоторое время ( $t > 5$  мин (кривая 1) и  $t > 15$  мин (кривая 2)) абберационная картина схлопывается, после чего развивается абберационная картина самодифракции. Через достаточно длительное время

(~ десятков минут) картина самодефокусировки достигает насыщения. Смена знака нелинейности сопровождается эффектом памяти, что подтверждается изменениями, произошедшими с исследованными образцами, наблюдавшимися с помощью поляризационного микроскопа. Об этом свидетельствует также сохранение абберационной картины при уменьшении мощности светового пучка до весьма малой величины ( $P_p \sim 1 \text{ mW}$ , зондирующий пучок).

Процесс светоиндуцированной переориентации директора в области самодефокусировки наблюдался и после прекращения облучения кристалла, если к этому времени директор уже успел заметно отклониться от первоначальной гомеотропной ориентации. То есть наблюдалась инициированная светом самопереориентация директора, ранее наблюдавшаяся в ЖКМ-1277, легированном красителем КД-10, в работе [10].

В "смеси А" при  $\lambda = 458 \text{ нм}$  сразу после начала облучения ( $t < 0.1 \text{ сек}$ ) в прошедшем пучке наблюдалась картина абберационной самодефокусировки ( $N \sim 5 - 6$  при  $P \sim 8 \text{ мВт}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ), четкость которой довольно быстро (за время ~ нескольких мин) существенно ухудшалась, как это наблюдалось и с НЖК, содержащим краситель КД-10 [10]. При этом с помощью микроскопа в кристалле наблюдался эффект памяти, т.е. светоиндуцированная переориентация молекул, сохраняющаяся и после прекращения облучения НЖК.

В ЖКМ-1277+0.025% КД-1 для  $\lambda = 488 \text{ нм}$  (3) с течением времени наблюдалось только уменьшение числа абберационных колец самофокусировки. Смена знака самовоздействия и формирование памяти не наблюдались.

Таким образом, в кристалле "смесь А" наблюдалась либо положительная нелинейность, переходящая с течением времени в отрицательную с эффектом памяти ( $\lambda = 488 - 532 \text{ нм}$ ) (рис. 3), либо отрицательная с эффектом памяти ( $\lambda = 458 \text{ нм}$ ) (на рис. 3 не показана).

В ЖКМ-1277, легированном КД-1, наблюдалась положительная нелинейность ( $\lambda = 488 \text{ нм}$ ) или положительная, переходящая в отрицательную с эффектом памяти ( $\lambda = 458 \text{ нм}$ ).

Изменение знака самовоздействия с эффектом памяти в соответствии с работой [10] можно пояснить следующим образом.

При  $t < t_i$  ( $t_i$  – момент времени, соответствующий смене знака самовоздействия) в световом поле индуцированные им диполи поворачиваются в объеме кристалла в сторону поля и наблюдается самофокусировка светового пучка. Но, как следует из рис. 3, со временем число абберационных колец уменьшается; соответственно, уменьшается

и угол поворота директора в сторону поля. Это можно понять, если предположить, что в приповерхностном слое кристалла в процессе освещения изменяются ориентирующие свойства поверхности (направление оси легкого ориентирования). Это изменение приводит к повороту директора в приповерхностном слое и в объеме кристалла перпендикулярно световому полю. При этом происходит сначала уменьшение числа колец, а затем и изменение знака самовоздействия светового пучка (самодефокусировка).

В случае “смеси А” и  $\lambda = 458$  нм сразу после начала облучения наблюдается не самофокусировка, а самодефокусировка, т.е., директор поворачивается перпендикулярно световому полю. Это можно объяснить тем, что на длине волны  $\lambda = 458$  нм (поглощение на которой в “смеси А” существенно больше, чем на  $\lambda = 488$  нм) происходит изменение межмолекулярных сил [11]; возможно, также, достаточно быстрое изменение ориентирующих свойств поверхностей НЖК.

В кристалле ЖКМ-1277+0.025% КД-1 память наблюдается на длине волны  $\lambda = 458$  нм, дальше отстоящей от максимума поглощения ( $\lambda_m = 510$  нм), чем длина волны  $\lambda = 488$  нм, на которой память не наблюдается. Этот результат указывает на отсутствие существенного влияния поглощения на формирование памяти, что находится в согласии с [10].

#### *Взаимодействие светового пучка с планарными НЖК.*

##### *а) Прошедший пучок.*

При нормальном падении света ( $\alpha = 0$ ) пучок, прошедший НЖК “смесь А”, практически мгновенно уширяется и на экране  $\mathcal{E}_1$  наблюдается абберационная картина. Число абберационных колец  $N$  зависит от  $P$  и  $\lambda$ . Оно увеличивается с возрастанием мощности пучка  $P$  ( $\lambda = \text{const}$ ) и уменьшением длины волны  $\lambda$  ( $P = \text{const}$ ). Например,  $N = 8$  при  $\lambda = 476$  нм и  $P = 30$  мВт,  $N = 3$  при  $\lambda = 476$  нм и  $P = 15$  мВт,  $N = 3$  при  $\lambda = 488$  нм и  $P = 30$  мВт.

Поскольку характерное время формирования наблюдаемой нелинейности значительно меньше, чем для ориентационной нелинейности, определение ее знака требует более быстрого перемещения кристалла относительно светового пучка. В отличие от случая достаточно медленной ориентационной нелинейности, когда трансформацию распределения интенсивности в поперечном сечении светового пучка можно наблюдать при скорости перемещения кристалла  $\sim 10^{-2}$  см/сек, для определения знака наблюдаемой быстрой нелинейности необходимо перемещать НЖК перпендикулярно направлению распространения светового пучка со скоростью  $\sim 1$  см/сек.

Быстрота формирования абберационной картины, увеличение  $N$  при уменьшении  $\lambda$  (т.е., при увеличении поглощения) и знак самовоздействия указывают на то, что наблюдаемая абберационная картина обусловлена тепловой нелинейностью.

Поясним это еще следующим образом. Знак теплового самовоздействия определяется знаком температурной производной показателя преломления. Для распространяющейся в НЖК необыкновенной световой волны этот знак зависит от направления распространения световой волны. Если угол  $\gamma$  между директором  $\mathbf{n}$  и электрическим полем световой волны  $\mathbf{E}$  равен нулю  $\gamma = 0$ , то  $\frac{\partial n}{\partial T} < 0$ , если  $\gamma = 90^\circ$ , то  $\frac{\partial n}{\partial T} > 0$  [8]. При нормальном падении необыкновенной световой волны на планарный НЖК  $\gamma = 0$ , поэтому в этом случае должна наблюдаться самодефокусировка светового пучка, что и имело место в эксперименте.

При наклонном падении света ( $\alpha = 30^\circ$ ) на планарный НЖК "смесь А" в прошедшем пучке на экране  $\mathcal{E}_1$  также возникает абберационная картина, но с более сложным временным поведением. Вначале практически мгновенно формируется абберационная картина с числом колец  $N = N_1$ . Затем, за более длительное время  $t_2 \sim 5$  сек число колец уменьшается до некоторого значения  $N_2$ . При этом временное изменение  $N$  при фиксированном значении  $P$  зависит от угла падения  $\alpha$ : при  $\alpha$ , меньшем некоторого значения  $\alpha_0$  ( $\alpha < \alpha_0$ ), уменьшение числа абберационных колец до  $N_2$  является монотонным, а при  $\alpha > \alpha_0$  число абберационных колец сначала уменьшается до нуля, а потом возрастает до  $N_2$ . Например, при  $P = 20$  мВт  $N_1 = 3$  и  $N_2 = 0$  для  $\alpha = \alpha_0 = 30^\circ$  и  $N_1 = 3$  и  $N_2 = 3$  для  $\alpha = 45^\circ$ . Эта картина наблюдалась в спектральном диапазоне 477 – 515 нм.

Описанную картину можно объяснить конкуренцией двух нелинейностей – тепловой (характерное время  $\sim 0.1$  сек) и ориентационной (характерное время  $\sim 5$  сек), – имеющих противоположные знаки.

Действительно, угол между световым полем  $\mathbf{E}$  и директором  $\mathbf{n}$  тем больше, чем больше  $\alpha$ , и при положительном знаке ориентационной нелинейности ее вклад возрастает с увеличением  $\alpha$ . При  $\alpha = \alpha_0$  происходит компенсация тепловой и ориентационной нелинейностей.

Ориентационную нелинейность планарного НЖК "смесь А" можно подавить внешним электрическим полем. Действительно, поскольку диэлектрическая анизотропия "смеси А" отрицательна, то внешнее электрическое поле, перпендикулярное стенкам НЖК, восстанавливает невозмущенную ориентацию директора, параллельную стенкам. При этом абберационная картина должна формироваться только за счет тепловой

нелинейности и, поэтому, совпадать с картиной, наблюдаемой сразу после начала облучения. Именно это и наблюдалось в эксперименте – воздействие на НЖК внешнего низкочастотного поля восстанавливало число абберационных колец до  $N_1$ .

При  $\lambda = 458$  нм заметного изменения числа колец не наблюдалось. В этом случае, когда тепловая нелинейность особенно велика, для определения знака нелинейности мощность ( $P \sim 10$  мВт) быстро уменьшалась до зондирующего значения. При этом тепловая составляющая самовоздействия быстро (за время  $\leq 0.1$  с) исчезала (число колец уменьшалось) и, вслед за этим, наблюдалась медленная (за время нескольких секунд) релаксация ориентационной части самовоздействия. Было установлено, что знак ориентационной нелинейности отрицателен.

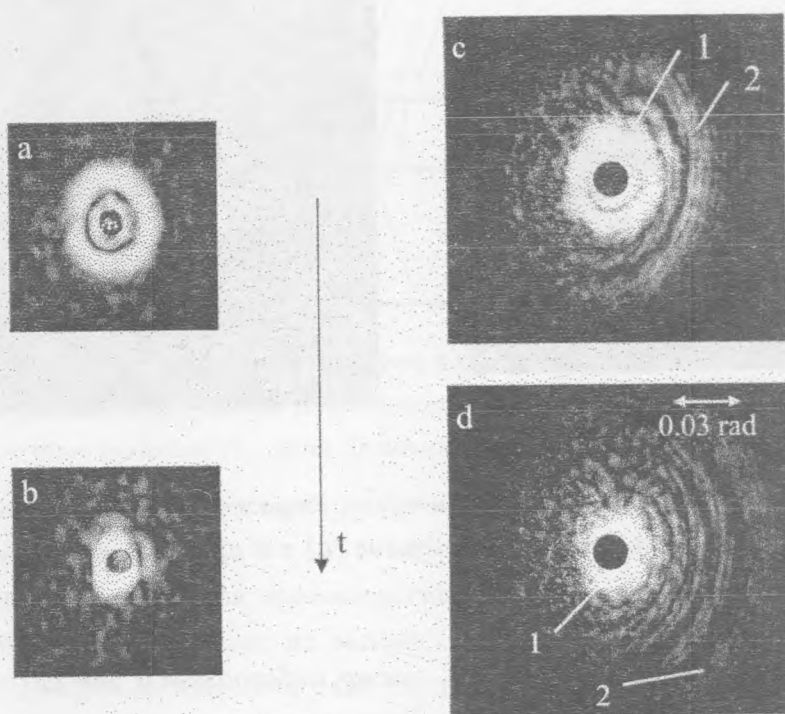


Рис. 4. Абберационная картина для прошедшего (а, б) и отраженного (с, д) световых пучков при облучении планарно ориентированного ЖКМ-1277 + 0.025% КД-1 ( $\lambda = 515$  нм,  $P = 8$  мВт,  $\alpha = 45^\circ$ ) в различные моменты времени после начала облучения.

При наклонном падении света на планарный кристалл ЖКМ-1277+0.025% КД-1 также наблюдалась конкуренция положительной ориентационной и отрицательной тепловой нелинейностей. Так, при  $\alpha = 45^\circ$ ,  $P = 8$  мВт и  $\lambda = 515$  нм  $N_1 = 3$  и  $N_2 = 0$  (рис. 4а, б).



При меньшей мощности  $P = 1 \text{ мВт}$  тепловая нелинейность не наблюдалась. За время порядка нескольких секунд возникало одно кольцо ориентационной аберрационной самофокусировки.

б) Отраженный пучок.

В пучке, отраженном от планарного кристалла ЖКМ-1277+0.025% КД-1 и наблюдаемом на экране  $\mathcal{O}_2$ , можно выделить две системы колец, внутреннюю (1) и внешнюю (2), имеющие общий центр, но различные расхожимость и динамику развития (рис. 4с, d). После практически мгновенного возникновения внутренняя картина с течением времени уменьшается, а внешняя возрастает и становится сегментной.

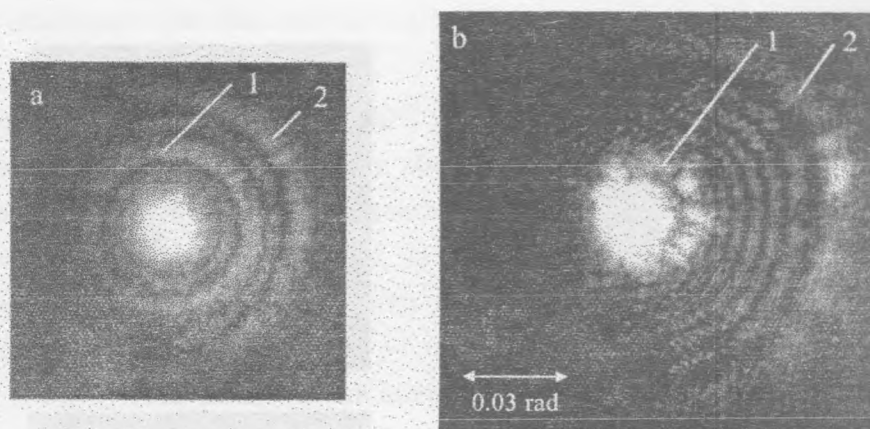


Рис. 5. Аберрационная картина в световом пучке, отраженном от планарного НЖК “смесь А” ( $\lambda = 488$ ,  $P = 30 \text{ мВт}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ) в отсутствие (а) и в присутствии (б) низкочастотного поля.

В пучке, отраженном от “смеси А”, также наблюдались две системы колец. При  $\lambda = 488 \text{ нм}$ ,  $P = 30 \text{ мВт}$ , и  $\alpha = 30^\circ$  в начальный момент число колец во внешней системе  $N_{ext} = 6$ , а во внутренней –  $N_{int} = 4$ . В течение 5 секунд внутренняя картина уменьшается ( $N_{int} = 2$ ), а большая возрастает и становится сегментной (рис. 5). Как и в случае прошедшего пучка, воздействие низкочастотного поля восстанавливает картину, наблюдаемую сразу после начала облучения (рис. 5). Исследования показали, что знак нелинейности внутренней картины положителен, а внешней отрицателен.

Поясним рис. 4 и 5.

Внутренняя система колец образована пучком  $33'$ , отраженным от границы раздела стекло–воздух (рис. 6). Этот пучок проходит через неискаженную область кристалла

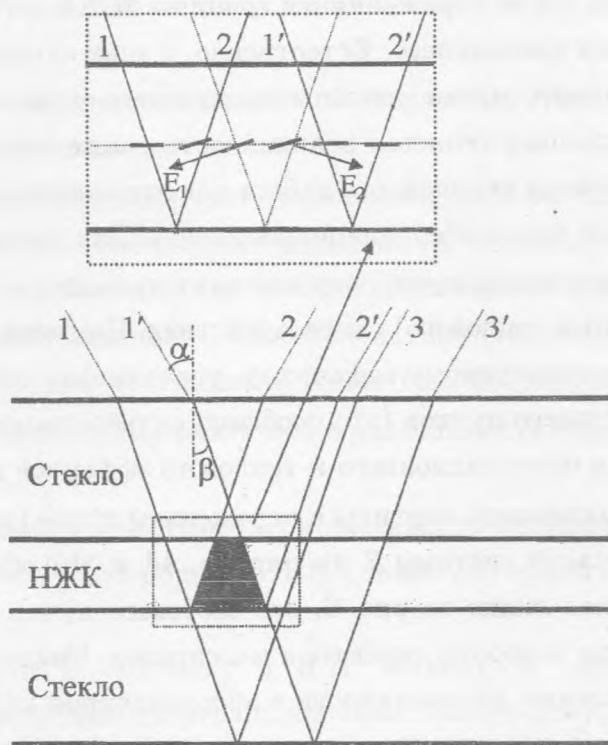


Рис. 6. Схема распространения световых пучков в объеме кристалла: 11' – падающий пучок; 22' – пучок, отраженный от границы НЖК–стекло, 33' – пучок, отраженный от границы стекло–воздух;  $\alpha$  – угол падения;  $\beta$  – угол преломления; “палочки” показывают направление директора.

и его мощность недостаточна для переориентации директора и нагрева кристалла. Поэтому картина, которую он создает на экране  $\mathcal{O}_2$ , похожа на картину, которую создает пучок, прошедший через НЖК, на экране  $\mathcal{O}_1$ .

Внешняя система колец соответствует пучку 22', отраженному от границы НЖК–стекло (рис. 6) [8]. Этот пучок частично вновь проходит через область НЖК с измененной ориентацией директора и испытывает дополнительное самовоздействие.

Световое поле  $E_1$  пучка 11' поворачивает директор параллельно своему направлению (рис. 6), при этом показатель преломления для этого пучка увеличивается. Для пучка 22' этот поворот, наоборот, увеличивает угол между директором и его световым полем  $E_2$ , тем самым уменьшая показатель преломления. Поэтому световой пучок, проходя в прямом направлении испытывает самофокусировку, а проходя в обратном – дефокусировку. Как показано в [8], изменение показателя преломления, вызванное

поворотом директора, после отражения от границы НЖК–стекло может быть в  $\sim 3$  раза большим, чем для прошедшего. Естественно, и знак суммарного ориентационного самовоздействия светового пучка, дважды прошедшего через кристалл, должен быть отрицательным<sup>1</sup>. Поскольку тепловая нелинейность также отрицательна, она увеличивает абсолютную величину нелинейного набега для отраженного пучка (и соответственно, его расходимость и число абберационных колец). Для прошедшего пучка тепловая нелинейность ослабляет самофокусировку или даже приводит к инверсии знака суммарного (ориентационного и теплового) самовоздействия. Поэтому тепловая нелинейность, дополнительно к ориентационному механизму, увеличивает отношение расходимостей отраженного и прошедшего пучков (это особенно сильно проявляется в случае полной взаимной компенсации ориентационного и теплового эффектов для прошедшего пучка).

Асимметрия абберационной картины в отраженном пучке (значительно большая интенсивность правой части системы 2 на рис. 4с, 4d и 5b) объясняется тем, что для отраженного пучка, как видно из рис. 6, ось светового пучка сдвинута относительно области, в которой угол поворота директора максимален. Согласно [7], такой сдвиг приводит к перераспределению интенсивности в абберационной картине, что наблюдалось в [8] и данной работе. Характер этого перераспределения также позволяет определить знак самовоздействия отраженного пучка.

Спектральная зависимость знака ориентационной нелинейности, очевидно, объясняется так же, как и в случае гомеотропно ориентированного кристалла.

Таким образом, в настоящей работе детально исследовано взаимодействие света с НЖК “смесь А”, целиком состоящим из азоксимолекул, и ЖКМ-1277, содержащим малые примеси азокрасителя КД-1.

Установлено, что характер переориентации директора в световом поле зависит от длины волны светового излучения.

В гомеотропно ориентированных образцах наблюдалась временная зависимость знака самовоздействия светового пучка, обусловленная одновременным действием различных ориентационных механизмов (с ориентацией директора вдоль светового поля или перпендикулярно ему), и эффект светоиндуцированной памяти. В “смеси А” память наблюдалась на всех исследованных длинах волн в диапазоне 458 – 532 нм, а в ЖКМ-1277 с примесью КД-1 она наблюдалась на длине волны  $\lambda = 458$  нм, дальше отстоящей от

<sup>1</sup> В работе [8] знак самовоздействия в отраженном световом пучке не определялся. Поэтому изменение знака самовоздействия по сравнению со случаем падающего пучка не было замечено.

максимума поглощения ( $\lambda_m = 510$  нм), чем длина волны  $\lambda = 488$  нм, на которой память отсутствовала.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии существенного влияния поглощения на формирование памяти.

В планарно ориентированных образцах самовоздействие света в основном определяется одновременным присутствием ориентационного и теплового эффектов. При этом для светового пучка, отраженного от внутренней стенки кюветы и еще раз прошедшего через кристалл, знак ориентационного самовоздействия (самодефокусировка), отличается от знака самовоздействия прошедшего пучка (самофокусировка).

Дано объяснение значительному различию в расходимостях прошедшего и отраженного пучков.

Полученные результаты демонстрируют возможность исследования светоиндуцированной переориентации в поглощающих НЖК с помощью эффекта абберационного самовоздействия.

Авторы благодарны М.И. Барнику и В.Н. Очкину за полезные обсуждения и А.С. Аверюшкину за измерение спектральной зависимости коэффициента поглощения "смеси А".

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-02-16927 и 04-02-17354) и Федеральных программ "Интеграция" (проект Б0049) и "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники".

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Sackmann E. J. Am. Chem. Soc., **93**, 7088 (1971).
- [2] Золотько А. С., Китаева В. Ф., Соболев Н. Н. и др. Письма в ЖЭТФ, **43**, 477 (1986).
- [3] Kitaeva V. F. and Zolot'ko A. S. Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sec. B: Nonlinear optics, **2**, 261 (1992).
- [4] Chanishvili A., Chilaya G., Petriashvili G., Sikharulidze D. Mol. Cryst. Liq. Cryst., (in press).
- [5] Барник М. И., Золотько А. С., Румянцев В. Г., Терсков Д. Б. Кристаллография, **40**, 746 (1995).
- [6] Janossy I. and Szabados L. Phys. Rev. E, **58**, 4598 (1998).

- [7] Золотько А. С., Китаева В. Ф., Барник М. И. Препринт ФИАН N 5, М., 1999; Kitaeva V. F., Zolot'ko A. S., and Barnik M. I. Mol. Materials, **12**, 271 (2000).
- [8] Золотько А. С., Китаева В. Ф., Терсков Д. Б. ЖЭТФ, **106**, 1722 (1994).
- [9] Барник М. И., Беляев С. В., Гребенкин М. Ф., и др. Кристаллография, **23**, 805 (1978).
- [10] Barnik M. I., Kitaeva V. F., and Zolot'ko A. S. Mol. Cryst. Liq. Cryst., **391**, 111 (2003).
- [11] Золотько А. С. Письма в ЖЭТФ, **68**, 410 (1998).

Поступила в редакцию 8 июля 2004 г.