

## Светоиндуцированный термомеханический эффект как новый механизм ориентационной оптической нелинейности жидких кристаллов

Р. С. Акопян, Р. Б. Алавердян, Г. С. Геворгян<sup>1)</sup>, А. А. Киракосян

Ереванский государственный университет, факультет физики, 0025 Ереван, Армения

Поступила в редакцию 18 августа 2010 г.

Обнаружен и экспериментально исследован термомеханический эффект, индуцированный лазером в твист-ориентированном нематическом жидком кристалле. Доказана ориентационная и недифракционная природа явления. Показано, что ориентационная оптическая нелинейность, обусловленная этим эффектом, может быть настолько же сильна, как и широко известная гигантская оптическая нелинейность (ГОН). Кроме того, при нормальном падении пучка ГОН отсутствует, а величина термомеханической нелинейности при любом значении угла падения пучка остается того же порядка.

Еще в работе [1], проведенной в 1984 г., было предсказано, что в нематических жидких кристаллах (НЖК) с деформированным директором могут выявляться различные термомеханические явления. Согласно этой работе, в нематических жидких кристаллах может возникнуть дополнительная переориентация директора при наличии температурного градиента.

Для обнаружения и исследования вышеупомянутого термомеханического явления нами была собрана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис.1. Для создания двумерного температур-

зы с фокусным расстоянием, равным 4 см. Изображение прошедшего через ячейку пучка на экране регистрировалось цифровой камерой. В ходе эксперимента обеспечивалось нормальное падение пучка на ячейку. Начальная поляризация лазера была подобрана параллельно к направлению директора у передней стены ячейки. При таком расположении и при отсутствии переориентации молекул ЖК поляризация лазера поворачивается параллельно к повороту молекул и на выходе ячейки приобретает поляризацию, направление которой перпендикулярно начальной поляризации. Толщина использованной ячейки была равна 100 мкм. Использовался жидкий кристалл типа 5СВ. Эксперимент был проведен при комнатной температуре.

Исследования пропускания света твист-ориентированной ЖК ячейкой, находящейся между скрещенными поляризаторами в статическом электрическом поле, показали следующее: в отсутствие электрического поля наблюдается полное пропускание света, а в присутствии поля, выше некоторого порогового значения напряжения (порядка нескольких вольт), происходит переориентация директора ЖК в направлении поля (выход из плоскости начальной ориентации молекул), и пропускание такой системы плавно уменьшается до абсолютно закрытого состояния [2]. Отсюда следует, что в нашем эксперименте можно оценить величину переориентации ЖК с помощью измерения освещенности изображения на экране. То есть, чем темнее изображение, тем больше переориентация. В случае твист-ячейки, находящейся между параллельными поляризаторами, происходит обратное – система переходит из закрытого в открытое состояние. То есть, чем ярче изображение, тем больше переориентация.

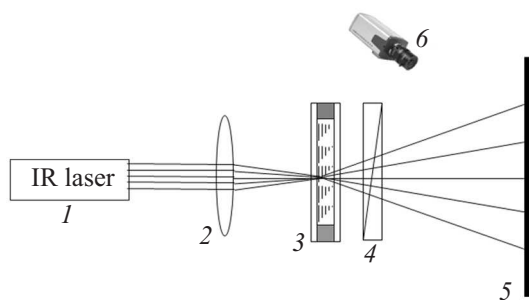


Рис.1. Схема экспериментальной установки по исследованию термомеханического явления: 1 – Nd:YAG-лазер, 2 – линза с фокусным расстоянием 4 см, 3 – твист-ячейка НЖК (толщина 100 мкм), 4 – поляризатор, 5 – экран, 6 – цифровая камера

ного градиента у стен ЖК ячейки был использован Nd:YAG-лазер с длиной волны 1.06 мкм, мощностью 3 Вт и линейной поляризацией. Лазерный пучок был сфокусирован на твист-ориентированную нематическую жидкокристаллическую ячейку с помощью лин-

<sup>1)</sup> e-mail: g.gevorgyan@ysu.am

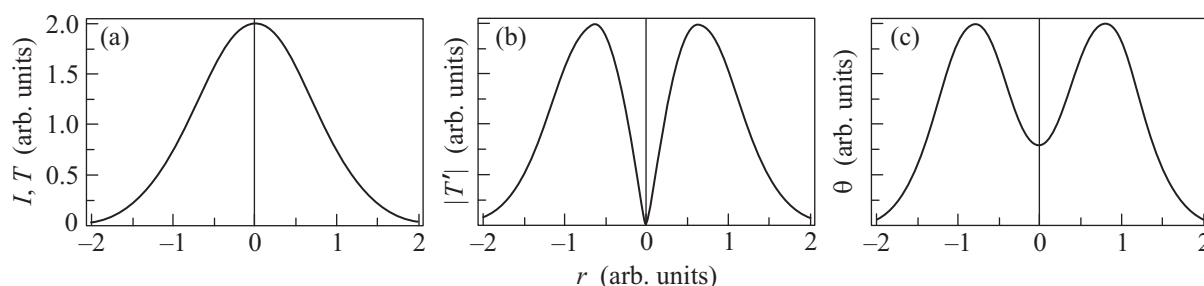


Рис.2. Радиальные распределения интенсивности пучка и температуры НЖК (а), модуля производной распределения температуры (b), угла переориентации директора (с)

Прежде чем перейти к измеренным данным, отметим, что из-за поглощения света распределение температуры в образце принимает вид, близкий к радиальному распределению интенсивности индуцирующего ИК лазера, который в нашем случае имеет форму Гаусса (рис.2а). Соответственно, для модуля производной этого распределения получим вид, показанный на рис.2b, который, согласно [1], должен совпадать с распределением угла переориентации. Однако из-за взаимодействия между молекулами ЖК ориентируется также и центральная часть излученной области ячейки, и реальное распределение переориентации молекул принимает вид, показанный на рис.2с. Как видно из сказанного, распределение угла переориентации директора НЖК в термомеханическом эффекте отличается от распределений в случаях гигантской оптической нелинейности (ГОН) [3–5] и нелинейностей, изученных в [6, 7] и [8]. В последних это распределение принимает форму, близкую к форме радиального распределения, а не производной этой формы. Согласно распределению на рис.2с и в зависимости от взаимного положения поляризаторов, можно предсказать получаемое изображение на экране (см. рис.3). С увеличени-

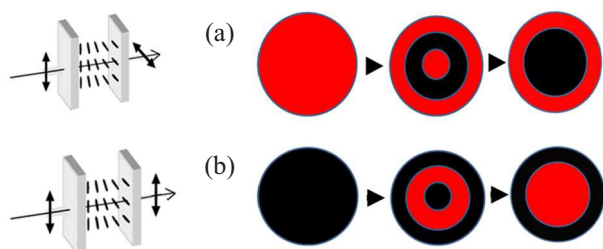


Рис.3. Ожидаемые изображения пучка на экране при постепенном увеличении интенсивности лазера: (а) при скрещенных поляризаторах, (b) при параллельных поляризаторах

ем интенсивности индуцирующего ИК лазера сначала должна возникнуть переориентация в той части пуч-

ка, где градиент температуры максимален. Дальнейшее увеличение интенсивности приводит к переориентации также в центральной части пучка. В случае твист-ячейки, находящейся между скрещенными поляризаторами, должны получаться изображения, показанные на рис.3а, а в случае твист-ячейки, находящейся между параллельными поляризаторами, должны получаться изображения, показанные на рис.3б.

В нашем эксперименте с увеличением интенсивности лазера на экране были получены изображения, показанные на рис.4. Сначала, при низких интенсивностях, имелось полное пропускание пучка (рис.4а). При увеличении интенсивности на экране было получено изображение, показанное на рис.4б, из чего следует, что в образце переориентация молекул произошла только в тех частях, где градиент температуры велик. Дальнейшее увеличение интенсивности приводило к переориентации молекул также в центральной части (рис.4с). Как видно, полученные нами результаты достаточно хорошо совпадают с приведенными выше предсказаниями.

В ходе эксперимента, при повороте выходного поляризатора на  $90^\circ$ , на экране получался переход от изображения на рис.5а к изображению на рис.5б, что также совпадает с нашими предсказаниями (сравнить с последними изображениями на рис. 3а и 3б).

Для исключения дифракционной природы полученного явления, на ячейку подавалось статическое электрическое поле частотой 1 кГц и с напряжением 5 В, в результате чего наблюдалось исчезновение кольцевого изображения. Это недвусмысленно доказывает, что полученный эффект не имеет дифракционную природу. А ориентационную природу явления доказывает тот факт, что при твист-ячейке, расположенной между параллельными поляризаторами, при увеличении интенсивности на экране получается светлое пятно. Если эффект был бы не ориентационной природы, то изменения начального темного изображения не произошло бы. Кроме того, в наших



Рис.4. Изменение изображения на экране при увеличении интенсивности лазера

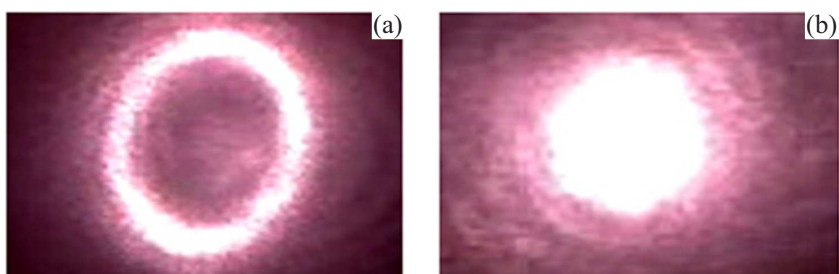


Рис.5. Зарегистрированные изображения пучка на экране в зависимости от взаимного положения поляризаторов: (а) при скрещенных поляризаторах, (б) при параллельных поляризаторах

экспериментах полученные изображения формировались достаточно медленно (за более чем 30 с), что еще раз доказывает ориентационную, а не тепловую природу явления. В нашем эксперименте, при коэффициенте поглощения  $\alpha = 0.03 \text{ см}^{-1}$ , интенсивности лазера  $I = 25 \text{ кВт/см}^2$  и толщине ячейки  $L = 100 \text{ мкм}$  угол переориентации директора равен  $3.4^\circ$ . То есть, если в ЖК добавить краситель с высоким коэффициентом поглощения ( $\alpha = 10 \text{ см}^{-1}$ ), то можно получить тот же угол переориентации при низких интенсивностях ( $I = 70 \text{ Вт/см}^2$ ). В этом случае можно получить эффективные константы нелинейности, сравнимые с широко известной гигантской оптической нелинейностью ( $\epsilon_2 = 0.14 \text{ см}^3/\text{эрг}$ ) [3]. В конце отметим, что при нормальном падении пучка ГОН отсутствует, а величина термомеханической нелинейности при любом значении угла падения пучка остается того же порядка.

Авторы благодарят Б.Я. Зельдовича и Н.В. Табирия за ценные обсуждения.

1. Р. С. Акопян, Б. Я. Зельдович, *ЖЭТФ* **87**, 1660 (1984).
2. M. Schadt and W. Helfrich, *Appl. Phys. Lett.* **18**, 127 (1971).
3. Б. Я. Зельдович, Н. Ф. Пилипецкий, А. В. Сухов, Н. В. Табирия, *Письма в ЖЭТФ* **31**, 287 (1980).
4. А. С. Золотко, В. Ф. Китаева, Н. Кроо и др., *Письма в ЖЭТФ* **32**, 170 (1980).
5. И. А. Будаговский, А. С. Золотко, В. Н. Очкин и др., *ЖЭТФ* **131**, 204 (2008).
6. I. C. Khoo, J. Ding, A. Diaz et al., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **375**, 33 (2002).
7. I. C. Khoo, J. H. Park, and J. D. Liou, *JOSA B* **25**, 1931 (2008).
8. I. Janossy, A. D. Lloyd, and B. S. Wherrett, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **179**, 1 (1990).