

УДК 532.783

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АЗОБЕНЗОЛЬНОМ НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

Г.С. ГЕВОРГЯН, Р.Б. АЛАВЕРДЯН, Р.С. АКОПЯН

Ереванский государственный университет, Армения

(Поступила в редакцию 18 февраля 2011 г.)

Экспериментально исследованы индуцированные лазером нелинейные оптические ориентационные эффекты в нематических жидких кристаллах типа ВААВ 1005. Показано, что ориентационные нелинейные явления в поле одномодового лазерного пучка сильнее проявляются после предварительного облучения жидкокристаллического вещества видимым излучением определенной частоты. Эти явления обусловлены транс-цис переходом молекул азобензольного жидкого кристалла ВААВ-1005 при поглощении излучения определенной частоты. Качественное объяснение экспериментальных результатов основано на одновременном действии нескольких механизмов, в том числе и термомеханического.

1. Введение

Теоретическое и экспериментальное исследование оптических свойств жидких кристаллов (ЖК) и их смесей с различными фоточувствительными веществами продолжает оставаться в центре внимания исследователей, так как результаты этих исследований могут найти непосредственное техническое применение в оптоэлектронных приборах нового поколения. В последнее время закрученные (твист) структуры ЖК и хиральные фотонные структуры на основе холестерических ЖК (в том числе, активированные лазерными красителями) находят широкое применение, в частности, в высокоэффективных ЖК-дисплеях, поляризационных фильтрах, источниках круговой поляризации и т.д. [1-4]. Общеизвестно, что ЖК очень чувствительны к таким внешним воздействиям, как, например, статические электрические и магнитные поля, лазерные поля, тепловые воздействия и т.д. В работах [5-9] теоретически и экспериментально доказано, что ЖК обладают гигантской оптической нелинейностью (ГОН), в 10^9 раз превышающую известные до этого нелинейности (например, нелинейность сероуглерода CS_2). Это позволило реализовать и исследовать в реальном временном масштабе многие нелинейно-оптические эффекты в поле непрерывного лазерного излучения.

В физике ЖК большой интерес представляют также и ориентационные фазовые переходы, индуцированные механическими и термомеханическими

воздействиями. В работе [10] было предсказано, а в [11] экспериментально подтверждено, что в нематических ЖК (НЖК) с деформированным директором могут проявляться различные термомеханические явления. Сущность одного из этих явлений состоит в том, что наличие температурного градиента в НЖК с деформированным директором приводит к переориентации директора, в отсутствие появления гидродинамических потоков. Это так называемое третье термомеханическое явление было экспериментально обнаружено нами в работе [12].

Целью настоящей работы являлось исследование термомеханического механизма ориентационной оптической нелинейности и других лазерно-индуцированных нелинейных явлений в твист-ориентированном азобензольном нематическом жидком кристалле типа ВААВ-1005.

2. Эксперимент

Азобензольный ЖК типа ВААВ-1005 имеет два изомера: транс- и цис-форму. В обычных условиях азобензол находится в транс-форме. Облучение азобензола оптическим излучением определенной частоты приводит к образованию цис-изомера. При выключении излучения среда из цис-формы, совершая релаксацию, возвращается в транс-форму. Обычно эта релаксация длится долго (почти день). Ориентационные явления в ЖК с азобензолом более наглядно выявляются в цис-форме. Для исследования ориентационных нелинейностей в ЖК типа ВААВ-1005 была собрана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис.1. Возбуждение цис-формы азобензола осуществлялось диодным лазером с длиной волны $\lambda = 0.53$ мкм (зеленый лазер), а для возбуждения переориентации молекул ЖК было использовано линейно-поляризованное излучение He-Ne лазера ($\lambda = 0.63$ мкм), с гауссовым распределением интенсивности. Пучок He-Ne лазера фокусировался на ЖК ячейку, плоскость которой была перпендикулярна направлению распространения излучения лазера. Распределение интенсивности изображения, прошедшего через ячейку и поляризатор пучка, на экране регистрировалось цифровой камерой. Излучение зеленого лазера, возбуждающее транс-цис переход изомеров, падало на ячейку сбоку под некоторым углом. В эксперименте использовались твист-ориентированные ЖК ячейки типа сэндвич, толщиной слоя НЖК ВААВ-1005 100 мкм. Эксперимент был проведен при комнатной температуре.

При выключенном зеленом лазере, когда поляризация падающего на твист-ячейку линейно-поляризованного пучка He-Ne лазера была подобрана параллельно направлению директора у передней стенки ячейки, и при отсутствии переориентации молекул ЖК поляризация лазерного излучения поворачивается и на выходе ячейки приобретает поляризацию, направление которой перпендикулярно первичной поляризации (так называемый предел Могена).

На первом этапе в эксперименте направление анализатора (поставленного после ячейки ЖК) было подобрано параллельно направлению директора у

задней стенки ячейки. При отсутствии облучения зеленым лазером и при интенсивности падающего на ячейку излучения He-Ne лазера $\sim 3,5$ кВт/см² никакого ориентационного явления нами не было зарегистрировано (излучение He-Ne лазера было сфокусировано на ячейку ЖК линзой с фокусным расстоянием 2 см перпендикулярно стенкам ячейки), т.е. свет проходил через систему без особых изменений. Однако при значительном увеличении интенсивности He-Ne лазера, из-за термомеханического эффекта в транс-форме также можно регистрировать ориентацию молекул. После облучения ячейки в течение нескольких секунд широким пучком зеленого лазера интенсивностью ~ 15 мВт/см² на экране He-Ne лазером было зарегистрировано появление кольцеобразного изображения, показанного на рис.2, свидетельствующее о нелинейном взаимодействии излучения He-Ne лазера с молекулами ЖК. При повороте поляризатора на 90° кольцеобразное изображение на экране исчезало.

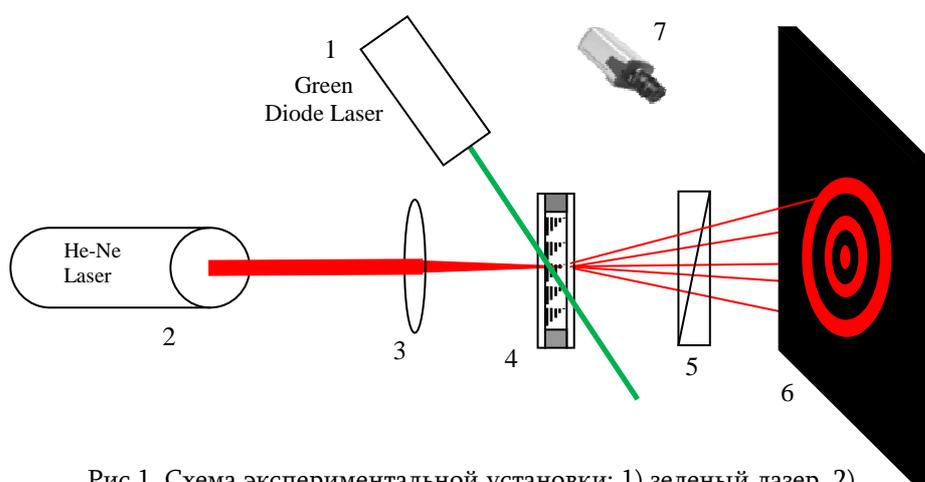


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1) зеленый лазер, 2) He-Ne лазер, 3) линза, 4) ЖК-ячейка, 5) поляризатор, 6) экран, 7) цифровой фотоаппарат.

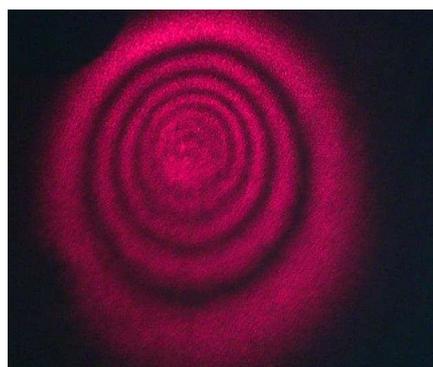


Рис.2. Изображение He-Ne лазера на экране при угле между поляризацией лазера и направлением директора у передней стенки ячейки 0°.

В эксперименте вращением плоскости ячейки последовательно изменялся угол между поляризацией He-Ne лазера и направлением директора у передней стенки ячейки. При этом наблюдаемое на экране изображение видоизменялось: кроме колец, приведенных на рис.2, появлялись также другие кольца, меньше размером, но большей яркости (рис.3).



Рис.3. Изображение He-Ne лазера на экране при угле между поляризацией лазера и направлением директора у передней стенки ячейки 45° .

При угле 90° между поляризацией He-Ne лазера и направлением директора у передней стенки ячейки на экране появлялся только второй тип колец (рис.4). Появление кольцевых структур обязательно обусловлено выходом молекул из плоскости начальной ориентации. Последнее в нашей схеме может произойти термомеханическим образом. После выхода молекул из плоскости начальной ориентации возможна также ГОН-переориентация. Полученные кольцеобразные изображения формировались достаточно медленно (за более чем 10 секунд), что доказывает ориентационную природу явления.



Рис.4. Изображение He-Ne лазера на экране при угле между поляризацией лазера и направлением директора у передней стенки ячейки 90° .

Причиной формирования колец могло быть также появление градиента показателя преломления из-за перехода среды из цис-формы к транс-форме благодаря облучению красным He-Ne лазером. Для исключения этого явления

ЖК ячейка, находящаяся в цис-форме, была облучена расширенным красным лазером, а затем были повторены вышеупомянутые измерения. Никакого принципиального различия результатов не зарегистрировано. Это еще раз доказывает ориентационную термомеханическую природу явления.

Подобные измерения были проведены и для случая, когда направление поляризатора было перпендикулярно направлению директора у задней стенки ячейки. При таком расположении и при низких интенсивностях ($\sim 0,3$ кВт/см²) He-Ne лазера переориентация молекул не происходила, и лазерный пучок полностью поглощался поляризатором. Увеличение интенсивности He-Ne лазера до 3,5 кВт/см² не приводило к изменению изображения на экране. При повороте поляризатора на 90° на экране появлялось кольцеобразное изображение, показанное на рис.2. Если бы молекулы ЖК переориентировались в направлении, перпендикулярном подложкам ячейки (гомеотропное направление), то на экране должно было появляться светлое изображение. Так как этого не происходит, то переориентация молекул, по-видимому, происходит в плоскости, параллельной плоскости подложек ячейки. Поэтому при обоих, как переориентированных, так и не переориентированных, состояниях поляризация лазера поворачивается на 90°, и лазерный пучок полностью поглощается поляризатором.

Для регистрации динамики переориентации молекул при возбуждении изомеров в жидких кристаллах при включенном He-Ne лазере включался также зеленый лазер. Перед включением зеленого лазера изменения гауссова профиля пучка He-Ne лазера не происходило. После включения зеленого лазера, через несколько секунд происходил переход среды из транс-формы к цис-форме, и на экране начинали появляться кольца.

3. Заключение

Таким образом, из проведенных измерений и полученных результатов видно, что наблюдаемый эффект имеет ориентационную природу. Объяснением полученных явлений может служить одновременное действие термомеханического механизма ориентационной оптической нелинейности и гигантской оптической нелинейности. Поскольку ГОН не проявляется при нормальном падении пучка, то переориентация за счет ГОН происходит только после того, как молекулы ЖК переориентируются благодаря термомеханическому механизму. Эти явления проявляются тогда, когда среда находится в цис-форме. Поскольку с помощью облучения жидкого кристалла излучением определенной частоты можно возбудить переход наблюдаемой среды из транс-формы к цис-форме и наоборот, то, благодаря полученным результатам, выявлена возможность контролировать ориентационные явления в жидких кристаллах.

Авторы благодарны Н.В. Табиряну, А.Л. Маргаряну и В.К. Абрамяну за ценные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **P.G. De Gennes, J.Prost.** The Physics of Liquid Crystals. Oxford, Clarendon, 1993.
2. **A.Lakhtakia, M.McCall.** Opt. Commun., **168**, 457 (1999).
3. **N.P.M.Huck, I.Staube, A.Thirouard, D.K.G. De Broer.** Jpn. J. Appl. Phys., **42**, 5189 (2003).
4. **S.M.P.Blom, H.P.M.Huck, H.J.Cornelissen, H.Greiner.** J. Soc. Inf. Display, **10**, 209 (2002).
5. **Б.Я.Зельдович, Н.Ф.Пилипецкий, А.В.Сухов, Н.В.Табирян.** Письма в ЖЭТФ, **31**, 287 (1980).
6. **С.М.Аракелян, С.Р.Галстян, О.В.Гарибян, А.С.Караян, Ю.С.Чилингарян.** Письма в ЖЭТФ, **32**, 561 (1980).
7. **А.С.Золотько, В.Ф.Китаева, Н.Кроо, Н.Н.Соболев, Л.Чиллаг.** Письма в ЖЭТФ, **32**, 170 (1980).
8. **И.А.Будаговский, А.С.Золотько, В.Н.Очкин, М.П.Смаев, А.Ю.Бобровский, В.П.Шибяев, М.И.Барник.** ЖЭТФ, **131**, 204 (2008).
9. **И.А.Будаговский, А.С.Золотько, М.П.Смаев, М.И.Барник.** ЖЭТФ, **138**, 150 (2010).
10. **Р.С.Акопян, Б.Я.Зельдович.** ЖЭТФ, **87**, 1660 (1984).
11. **R.S.Akopyan, R.B.Alaverdian, E.A.Santrosian, Yu.S.Chilingarian.** J. Appl. Phys., **90**, 3371 (2001).
12. **Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, Г.С.Геворгян, А.А.Киракосян.** Письма в ЖЭТФ, **92**, 504 (2010).

ԼԱԶԵՐՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ԿՈՂՄՆՈՐՈՇՈՒՄԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ
ԱՋՈՐԵՆՁՈՒԱՅԻՆ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Գ.Ս. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ռ.Բ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Ռ.Ս. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

Փորձնականորեն ուսումնասիրված են լազերով մակածված ոչգծային օպտիկական երևույթները BAAB 1005 տիպի նեմատիկ հեղուկ բյուրեղներում: Ցույց է տրված, որ միամոդ լազերային փնջի դաշտում կողմնորոշումային օպտիկական ոչգծայնություններն ավելի ուժեղ արտահայտվում են հեղուկ բյուրեղյա միջավայրը որոշակի հաճախությամբ տեսանելի ճառագայթումով նախնական ճառագայթելուց հետո: Այս երևույթները պայմանավորված են որոշակի հաճախությամբ ճառագայթման կլանման ժամանակ BAAB 1005 ազոբենզոլային հեղուկ բյուրեղի մոլեկուլների տրանս-ցիս անցումով: Փորձարարական արդյունքների որա-կական բացատրությունը հիմնված է մի քանի մեխանիզմների միաժամանակյա գործողության վրա, ներառյալ ջերմամեխանիկական մեխանիզմը:

LASER-INDUCED NONLINEAR ORIENTATIONAL EFFECTS IN AZOBENZENE NEMATIC LIQUID CRYSTALS

G.S. GEVORGYAN, R.B. ALAVERDYAN, R.S. HAKOBYAN

Laser-induced nonlinear optical effects in BAAB-1005 type nematic liquid crystals have been investigated experimentally. It is shown that the orientational nonlinear effects in the field of single-mode laser beam emerge intensely after preliminary exposure of the liquid crystal with a visible radiation with certain frequency. These effects are conditioned by trans-cis transition of molecules of BAAB 1005 type azobenzene liquid crystal, at absorption of radiation with certain frequency. Qualitative explanation of experimental results is based on simultaneous action of several mechanisms, including thermomechanical mechanism.