

В заключение авторы выражают признательность В.Д. Румянцеву и А.А. Водневу за полезные обсуждения и помощь в эксперименте.

Л и т е р а т у р а

- [1] Андреев В.М., Сараджишвили Н.М., Федорова О.М., Шамухамедов Ш.Ш. - ЖТФ, 1984, т. 54, в. 6, с. 1215-1218.
- [2] Андреев В.М., Бурба Г.С., Дороган В.В., Трофим В.Г., Чумак В.А. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 19, с. 1197-1202.
- [3] Бордина Н.М., Каган М.Б., Любашевская Т.Л., Летин В.А., Таурбаев Т.И., Шорин В.Ф. - Гелиотехника, 1985, № 1, с. 3-7.
- [4] Ахмедов Ф.А. - Гелиотехника, 1987, № 1, с. 3-7.
- [5] Агафонов В.Г., Алферов Ж.И., Андреев В.М., Гарбузов Д.З., Давидюк Н.Ю., Ларионов В.Р. - ЖТФ, 1977, т. 47, в. 8, с. 1756-1764.
- [6] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18, с. 1089-1093.
- [7] Андреев В.М., Ивентьева О.О., Конников С.Г., Погребницкий К.Ю., Пурон Э., Сулима О.В., Фалеев Н.Н. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 9, с. 533-537.
- [8] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Егоров Б.В., Сырбу А.В. - ФТП, 1977, т. 11, в. 10, с. 1918-1925.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе, АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
28 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 3

12 февраля 1988 г.

ОРИЕНТАЦИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАПЕЛЬ НЕМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

А.В. К о в а л ь ч у к, О.Д. Л а в р е н т о в и ч,
В.В. С е р г а н

В настоящее время особую актуальность приобрела задача о действии внешнего электрического поля на капли нематического жидкого кристалла (НЖК), диспергированные в полимерной матрице, в связи с созданием на их основе устройств отображения информации нового типа [1].

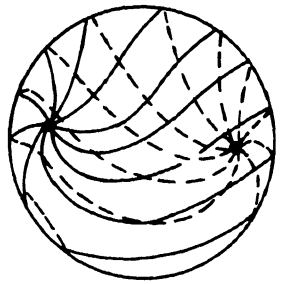
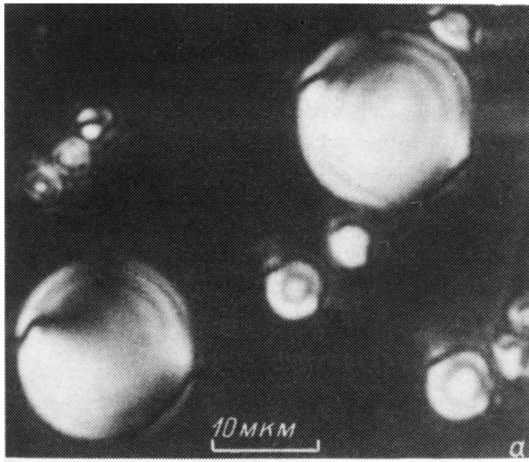
Нами экспериментально изучено ориентирующее действие постоянного электрического поля на капли НЖК осесимметричной структуры, причем обнаружен пороговый характер эффекта, связанный с условиями на поверхности капель.

Капли НЖК (смесь цианоксибифенилов с анизотропией диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon = (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}) \approx 10$, где индексы \parallel и \perp относятся к компонентам проницаемости, направленным параллельно и перпендикулярно директору соответственно) диспергировались в вязкой ($\eta \approx 10^3$ Па·с) полиуретановой матрице. Диаметр капель d менялся в пределах 1–25 мкм. Система размещалась в капилляре толщиной 25 мкм между двумя полупрозрачными электродами. Структура капель и ее изменения определялись с помощью поляризационного микроскопа по методике, описанной в [2].

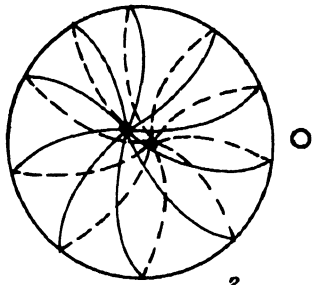
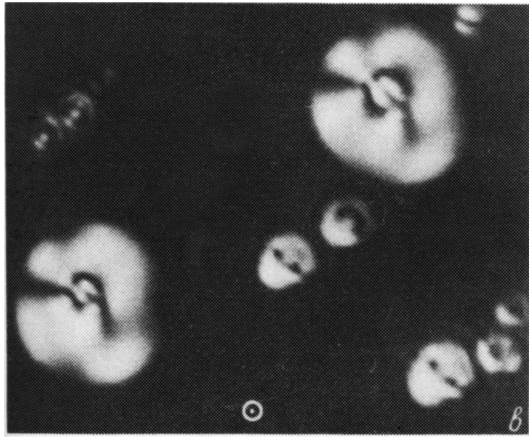
Исходная структура капель (при напряженности электрического поля $E = 0$), как следует из наблюдения текстур, осесимметрична (рис. 1, а, б). Линии директора \vec{n} соединяют два точечных дефекта на полюсах (т.н. буджума), обнаруживая при этом слабое спиральное кручение, рис. 1, б (подробнее см. [2]). Во внешнем постоянном поле капли переориентируются осями, соединяющими буджумы, вдоль поля (рис. 1, в–е). Поворот при данном значении напряженности E_c испытывают лишь капли, диаметр которых больше некоторого критического d_c (рис. 2).

Основной причиной ориентации капель является положительное значение $\Delta\epsilon$; анизотропия электропроводности НЖК оказывает гораздо меньшее влияние на эффект. Это подтверждается двумя обстоятельствами: поворот не наблюдался, если в качестве НЖК использовался ЖК-440 с $\Delta\epsilon < 0$ и наблюдался в переменном поле частотой 200 кГц, при которой анизотропия электропроводности не должна проявляться. Пороговый характер переориентации капель является несколько неожиданным: если следовать принятым представлениям о диэлектрических механизмах переориентации НЖК [3], поворот должен происходить при бесконечно малых E , т.к. поле направлено под углом к \vec{n} в большей части капли (см. рис. 1, б). Причины, вызывающие порог, будут обсуждаться ниже.

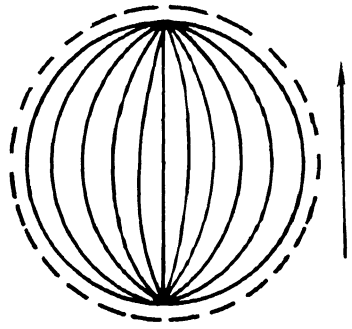
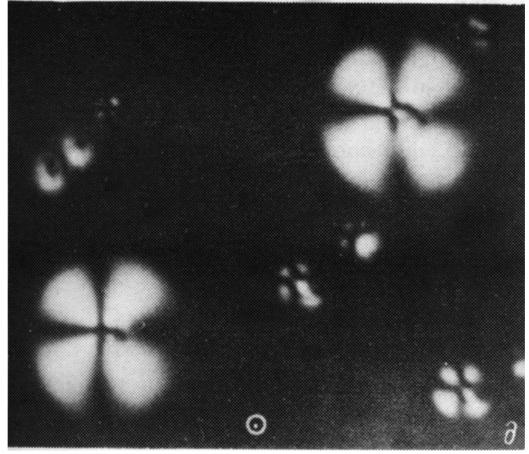
Рис. 1. Текстуры (слева, а, в, д) и соответствующие им структуры (справа б, г, е) капель НЖК в полиуретановой матрице в зависимости от напряженности внешнего электрического поля: а, б – $E = 0$, исходное состояние, оси капель расположены почти горизонтально; в, г – $E = 2.4 \cdot 10^5$ В/м, частичная переориентация осей капель вдоль вертикального направления поля; д, е – $E = 4 \cdot 10^5$ В/м, полная переориентация капель. Микрофотографии (а, в, д) получены в поляризованном свете, плоскости поляризации николей направлены вдоль краев фотографии. На рисунках (б, г, е) линиями изображено распределение директора на поверхности (б, г) и в сечении капли вертикальной плоскостью (е). Кружками обозначены дефектные точки на поверхности – буджумы.



б



z



е

Как следует из экспериментальных данных, при многократных включениях и выключениях поля ось капли возвращается в одно и то же исходное положение. Следовательно, исходное состояние капель в матрице при $E=0$ не является вырожденным по пространственным ориентациям оси. Естественной причиной такой ситуации следует считать отклонение формы капли от строго сферической, которое практически неизбежно в жесткой полимерной матрице (например, из-за деформации матрицы или наличия примесей на границе капли). Оценим, какие отклонения способны снимать вырождение.

Отклонение капли от строго сферической будем характеризовать угловым параметром $\beta = 1 - \frac{2\sigma}{\pi}$, где σ - угол, под которым виден диаметр капли, соединяющий буджумы, с ее поверхности. Для сферы $\beta = 0$, для веретена $\beta < 0$, для капель с двумя углублениями в точках буджумов $\beta > 0$. Распределение директора, удовлетворяющее граничным условиям и симметрии капли, запишем в биполярной системе координат (σ, τ, φ) [4] как

$$n_\sigma = 0, \quad n_\tau = 1, \quad n_\varphi = 0$$

(т.е. директор направлен вдоль меридиональных кривых, соединяющих буджумы). Энергия упругих искажений капли определяется из функционала Франка [3] и с точностью до членов, линейных по β , есть

$$\mathcal{F} = \pi KR \left(7 - \frac{\pi^2}{4} + \frac{\pi^2}{32} (12 + \pi^2) \beta \right), \quad (1)$$

где K - модуль изгиба, $R = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{1/3}$, V - объем капли. При $\beta = 0$ последняя формула сводится к полученной в [5]. Как следует из (1), даже такие незначительные изменения β , как $\beta = 10^{-2}$, что для капли диаметром 10 мкм соответствует изменению последнего примерно на 0.1 мкм, ведут к изменению упругой энергии на величину $0.2K$, которая при типичных значениях $K = 10^{-11}$ Н и $R = 10^{-5}$ м составляет $2 \cdot 10^{-17}$ Дж и значительно превышает тепловую энергию $k_B T$, равную $4 \cdot 10^{-21}$ Дж при комнатных температурах. Следовательно, в реальных условиях биполярные структуры действительно являются невырожденными по ориентации оси.

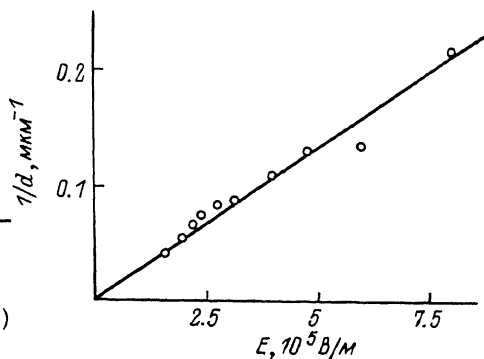
Помимо особенностей релаксации капли при выключении поля, несферичность формы объясняет и пороговый характер их переориентации при включении поля.

В несферической капле момент кручения, порождаемый внешним полем E и вынуждающий структуру внутри капли к повороту, будет компенсироваться возвращающей силой, обусловленной изменением упругой энергии при передвижении буджумов по поверхности капли и изменением расстояния между ними. Возвращающий момент равен $\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \alpha} \sim K d \alpha$, где α - угловая амплитуда искажения. Прирав-

Рис. 2. Зависимость $E_c \left(\frac{1}{d_c} \right)$.

нивая упругий момент моменту кручения $\Delta \epsilon E^2 d^3 \alpha$, приходим к заключению о существовании критической напряженности E_c , определяемой равенством

$$E_c = \frac{A(2\epsilon_M + \bar{\epsilon})}{3\epsilon_M d_c} \sqrt{\frac{K}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}}, \quad (2)$$



где A – безразмерный параметр, зависящий от геометрии капли и по порядку величины равный ~ 10 , ϵ_M и $\bar{\epsilon}$ – средние значения диэлектрической проницаемости матрицы и НЖК, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная. Как видно из последней формулы, модель правильно описывает качественный характер зависимости $E_c(1/d_c)$. Удовлетворительным является и совпадение количественных данных, что иллюстрируется рис. 2, на котором приведена линия зависимости $E_c(1/d_c)$, рассчитанная по формуле (2) при значениях параметров, характерных для рассматриваемой ситуации: $K = 10^{-11}$ Н, $\bar{\epsilon} = \Delta \epsilon = 10$, $\epsilon_M = 3$, $A = 6.3$.

Изложенная выше модель подтверждается также экспериментальными данными для капель НЖК, диспергированных в маловязкой жидкой матрице – глицерине ($\eta = 1$ Па с). Механизм, снимающий вырождение по ориентации капли в пространстве, в жидкой матрице отсутствует, поскольку, во-первых, форма капель не отличается от сферической за счет действия сил поверхностного натяжения, во-вторых, механические примеси на границе могут поворачиваться вместе с каплей.

Авторы признательны М.В. Курику и С.В. Шияновскому за обсуждение результатов, Н.М. Головатой и М.А. Миняйло за помощь в изготовлении образцов.

Л и т е р а т у р а

- [1] D o a n e J.W., V a z N.A., W u B.-G., Z u m e r S. – Appl. Phys. Lett., 1986, v. 48, N 4, p. 269–271.
- [2] В о л о в и к Г.Е., Л а в р е н т о в и ч О.Д. – ЖЭТФ, 1983, т. 85, в. 6(12), с. 1997–2010.
- [3] Б л и н о в Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов, М.: Наука, 1978. 384 с.
- [4] К о р н Г., К о р н Т. Справочник по математике, М.: Наука, 1978. С. 195.

Институт физики АН УССР,
Киев

Поступило в Редакцию
27 июля 1987 г.
В окончательной редакции
19 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 3

12 февраля 1988 г.

РАССЕЯНИЕ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОДОЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ В ОДНОМОВОМ КВАРЦЕВОМ СВЕТОВОДЕ

Г.Е. Креймерман, М.Я. Меш,
В.В. Проклов

Эффекты рассеяния оптического излучения в волоконных световодах (ВС) при взаимодействии с акустической волной имеют свои особенности.

В работе [1] исследовалось рассеяние излучения вперед на термически возбужденных статистических акустических волнах, распространяющихся в одномодовом ВС, при ненулевых сдвигах частоты излучения в диапазоне 10^2 - 10^3 МГц. При этом на выходе из световода процесс рассеяния регистрировался как модуляция поляризации, обусловленная рассеянием на поперечных радиальных акустических модах.

В работе [2] наблюдалось рассеяние излучения назад в одномодовом ВС на термически возбужденных акустических волнах при сдвигах частоты излучения в диапазоне 10^3 - 10^4 МГц. В этом случае направление поляризации падающего излучения совпадало с направлением поляризации рассеянного излучения, и условие пространственного синхронизма не выполнялось. Доминирующим фактором в рассеянии было рассеяние на продольных акустических волнах.

В настоящей работе рассмотрены особенности рассеяния когерентного излучения на акустических волнах, индуцированных внешним источником акустических колебаний и распространяющихся в одномодовом ВС. Этот случай интересен тем, что он отличается от рассеяния Мандельштамма-Бриллюэна в объемных материалах, где рассеяние вперед происходит без сдвига частоты в соответствии с условием Брэгга.

Наш эксперимент проводился на установке, представленной на рис. 1. В качестве источника акустических колебаний использовался пьезокерамический преобразователь из материала ЦТС-19 $30 \times 10 \times 2$ мм. ВС в средней части его длины приклеивался к преобразователю в двух точках. Длина L одномодового кварцевого