

УДК 532.783

Многообразие ориентационных структур в каплях нематических жидких кристаллов и их оптические текстуры

Оксана О. Прищепа*
Александр В. Шабанов†
Виктор Я. Зырянов‡

Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН,
Академгородок 50, Красноярск, 660036,
Россия

Получена 18.03.2010, окончательный вариант 25.04.2010, принята к печати 10.06.2010

Представлен краткий обзор ориентационных структур в каплях нематических жидких кристаллов и различных факторов, определяющих специфику их формирования. Основные из этих факторов: соотношение констант упругости жидких кристаллов, размер и форма капель, внешние воздействия (например, электрическое поле) и поверхностное сцепление, определяющее ориентацию молекул нематика на межфазной границе. Подробно рассмотрены особенности структурообразования в капсулированных полимером жидких кристаллах для неоднородных граничных условий.

Ключевые слова: капсулированный полимером жидкий кристалл, нематик, сурфактант, граница раздела, поверхностное сцепление, конфигурация директора.

Введение

Прошло более ста лет со времени открытия жидких кристаллов (ЖК) [1] — этого удивительного "кентавра" природы, сочетающего в себе одновременно свойства твердых кристаллов и изотропной жидкости. Наиболее известные термотропные каламитные ЖК образуются органическими молекулами вытянутой формы в определенном температурном диапазоне, ниже которого они переходят в твердокристаллическое состояние, а выше — в изотропно-жидкое. На сегодняшний день синтезировано около сотни тысяч соединений, имеющих мезофазу, и число их с каждым годом растет все быстрее. Термотропные ЖК принято делить на нематики, холестерики и смектики, различающиеся ориентационно-трансляционным упорядочением молекул [2, 3]. Нематики по своим свойствам наиболее близки к изотропным жидкостям, на молекулярном уровне отличаясь от них лишь наличием дальнего ориентационного порядка в расположении длинных осей молекул. Направление преимущественной ориентации молекул называют директором. Ориентационное упорядочение молекул обуславливает анизотропию физических (в том числе, оптических) свойств ЖК. Нематические ЖК — оптически одноосные среды, обладающие большим двулучепреломлением. Оптическая ось в нематиках совпадает с директором. Классификация термотропных ЖК не

*p_oksana@iph.krasn.ru

†nikel@akadem.ru

‡zyr@iph.krasn.ru

ограничивается вышеупомянутыми тремя типами, существуют десятки их разновидностей, и выявляются все новые варианты структурного упорядочения.

ЖК способны не только поразить исследователей многообразием фазовых состояний и спецификой их свойств, но и доставить эстетическое удовольствие калейдоскопической феерией разноцветных текстурных картин, образующихся за счет изгибовых деформаций директора. Возможность реализации плавного изгиба оптической оси в ЖК является существенным отличием их структуры от твердых кристаллов. При этом возникают упругие силы искаженного поля директора, возвращающие его в однородно ориентированное состояние. Имеются три вида деформации поля директора в объеме нематического ЖК: поперечного изгиба, кручения и продольного изгиба, которым соответствуют коэффициенты упругости K_{11} , K_{22} и K_{33} . Деформированное состояние поля директора нематика может сохраняться лишь при воздействии внешних сил, включая силы поверхностного сцепления молекул ЖК с подложкой или матрицей, в которую он заключен. Высокая чувствительность ЖК к внешним воздействиям, в особенности к электрическому полю, и лежит в основе их широкого использования в различных устройствах современной оптоэлектроники.

Текстурные картины ЖК изучают с помощью поляризационного оптического микроскопа. Известно, что через систему скрещенных поляризаторов может пройти свет, если между ними расположить оптически анизотропную среду. В случае одноосного кристалла интенсивность проходящего излучения I определяется соотношением [4]:

$$I = I_0 \sin^2(2\beta) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность падающего на кристалл света; β — угол между проекцией оптической оси на плоскость поляроида и его направлением; $\Delta\varphi = 2\pi\Delta nd/\lambda$ — фазовое рассогласование обыкновенного (с показателем преломления n_o) и необыкновенного (с показателем преломления n_e) лучей с длиной волны λ , прошедших образец толщиной d ; $\Delta n = n_e - n_o$ — двулучепреломление кристалла. Анализируя наблюдаемые текстуры с учетом (1), можно приближенно оценить ориентацию директора ЖК в исследуемом образце.

Наиболее сложные конфигурации директора реализуются в композитных ЖК-материалах, например в капсулированных полимером жидких кристаллах (КПЖК) [5, 6]. Данный материал представляет собой полимерную пленку с диспергированными в ней каплями ЖК микронных размеров. Композитные ЖК-материалы все более широко применяются в оптоэлектронных устройствах, обеспечивая ряд преимуществ по сравнению с электрооптическими ячейками на основе чистых слоев ЖК, а именно: простую и дешевую технологию изготовления, надежность в эксплуатации, гибкость и высокое быстродействие. Светотехнические характеристики КПЖК-пленок в основном определяются ориентационной структурой капель ЖК, чем и объясняется столь пристальное внимание к их изучению.

Первые микроскопические наблюдения капель нематиков были проведены еще в XIX веке основоположником науки о жидких кристаллах О. Леманом [1]. Диспергируя ЖК в канадском бальзаме и других вязких матрицах, он выявил два различных типа упорядочения оптической оси. Для одного из них поле директора напоминает сетку меридианов на глобусе, сходящихся в двух точечных дефектах (полюсах), вследствие чего эту структуру называют *биполярной* (рис. 1а). Такая конфигурация директора характерна для тангенциальной (планарной) ориентации молекул нематиков на поверхности капли. При нормальных (гомеотропных, перпендикулярных) граничных условиях формируется *радиальная* структура (рис. 1е), в которой директор направлен вдоль радиуса, образуя точечный дефект

(дисклинацию) в центре капли. В этом случае реализуется лишь деформация поперечного изгиба поля директора.

В композитных ЖК-материалах наиболее часто образуются биполярные и радиальные капли нематиков, однако возможны и другие варианты упорядочения. В общем случае конфигурация директора ЖК определяется не только граничными условиями, но и соотношением констант упругости, размером и формой каплей, а также внешними полями. При соотношении $K_{11} \geq K_{22} + 0,431 K_{33}$ образуется *твист-биполярная* структура нематика (рис. 1b) [7,8]. Уменьшение модуля K_{33} относительно K_{11} может в принципе привести к формированию *тороидальной* структуры (рис. 1d) [9,10], в которой имеется лишь деформация продольного изгиба директора, описывающего concentрические круги вокруг линейной дисклинации, проходящей через центр капли. Однако сообщение [10] о получении каплей нематика с тороидальной конфигурацией оказалось ошибочным, и в последующей работе [11] выяснилось, что в реальности образовывалась *супер-твист-биполярная структура* (рис. 1c). Соотношение $K_{11} > K_{33}$ является также причиной образования *твист-радиальной* структуры (рис. 1f) [12–14]. Большое разнообразие структур каплей нематиков (в том числе *вытекшая радиальная*) (рис. 1g) [15,16] и *аксиальная* конфигурация (рис. 1h) [13,15,17] реализуются под действием электрического или магнитного поля.

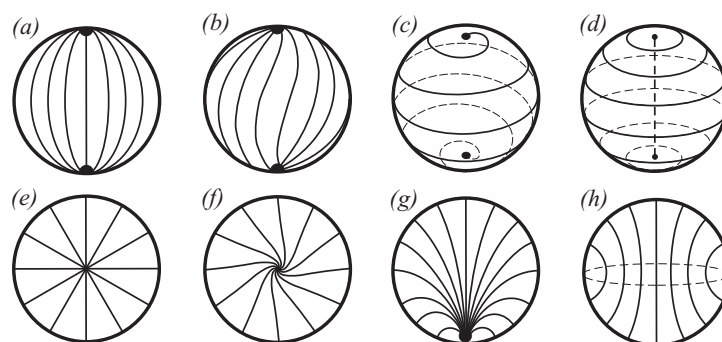


Рис. 1. Конфигурации директора в каплях нематика. Биполярная (а), твист-биполярная (б), супер-твист-биполярная (с), тороидальная (d) структуры для тангенциальных граничных условий. Радиальная (е), твист-радиальная (f), вытекшая радиальная (g), аксиальная (h) структуры для гомеотропного сцепления

Капли нематика с изменяющимися граничными условиями за счет вариации температуры рассматривались в работах [7, 18]. Теоретически предсказан и экспериментально продемонстрирован сценарий трансформации биполярной конфигурации директора в радиальную с образованием дополнительных дисклинаций в переходных структурах сферических каплей нематика, диспергированных в изотропной жидкости [7]. Более сложная картина температурно индуцированных взаимопревращений ориентационных структур с двумя различными сценариями переходов наблюдалась в нематических каплях эллипсоидальной формы, капсулированных полимером [18]. В последующих разделах представлены методы исследования и сравнительный анализ новых ориентационных структур каплей нематика [19–21], диспергированного в полимерной матрице, с переходными граничными условиями, формирующимися за счет вариации концентрации сурфактанта.

Эксперимент

Для изготовления композитных пленок использовался ЖК 4'-н-пентил-4-цианобифенил (5ЦБ), находящийся в нематической фазе при комнатной температуре. Показатели преломления исследуемого 5ЦБ: $n_{\parallel} = n_{e,max} = 1,725$ и $n_{\perp} = n_o = 1,534$ при $T = 22^{\circ}\text{C}$ и $\lambda = 0,589$ мкм. Полимерным компонентом был поливинилбутираль (ПВБ) с $n_p = 1,492$. ПВБ обеспечивает тангенциальное сцепление с молекулами производных алкилцианобифенилов. В качестве сурфактанта, инициирующего гомеотропное поверхностное сцепление, использовался лецитин. Изменение концентрации сурфактанта в нематике позволило получить КПЖК пленки с варьируемыми граничными условиями.

ЖК диспергировался в полимере по растворной технологии [5, 6] при испарении общего растворителя — этанола. Была изготовлена серия образцов с содержанием ЖК 55% и варьируемыми в пределах 41,5 ÷ 45,0% и 0 ÷ 3,5% (по весу) концентрациями ПВБ и лецитина, соответственно.

Исследование текстурных картин в каплях нематика проводилось с помощью поляризационного оптического микроскопа Полам Р-113 в геометрии скрещенных поляризаторов.

Компьютерное моделирование

Рассчитывая ориентационную структуру каплей нематика в отсутствие внешнего поля, мы ограничились рассмотрением лишь энергии упругих деформаций в одноконстантном приближении

$$F = \frac{1}{2} \int K[(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + (\nabla \times \mathbf{n})^2] dV, \quad (2)$$

где \mathbf{n} — директор ЖК, K — среднее значение констант упругости. Равновесные конфигурации директора определяются посредством минимизации F . В расчетах использовались неоднородные жесткие граничные условия на сферической поверхности капли. Распределение угла сцепления θ (угла между директором и нормалью к поверхности) задавалось исходя из анализа наблюдаемых текстур. На основе полученных конфигураций директора, используя соотношение (1), по методу [22] были рассчитаны текстурные картины каплей ЖК в скрещенных поляризаторах. Сопоставление модельных текстур с микрофотографиями позволяет выявить соответствие рассчитанных конфигураций с реальным распределением поля директора.

Результаты и обсуждение

Для композиции ПВБ-5ЦБ без лецитина характерны капли ЖК с биполярной структурой. Добавка сурфактанта приводит к появлению капель с новыми конфигурациями директора. При содержании лецитина более 1% почти все капли ЖК имеют радиальное упорядочение. Таким образом, промежуточные структуры образуются в диапазоне 0 ÷ 1% лецитина.

Биполярная конфигурация

Биполярная конфигурация является наиболее известной среди тех, которые образуются в КПЖК-пленках при тангенциальных граничных условиях (рис. 2а) [1, 7–10, 13]. В этом раз-

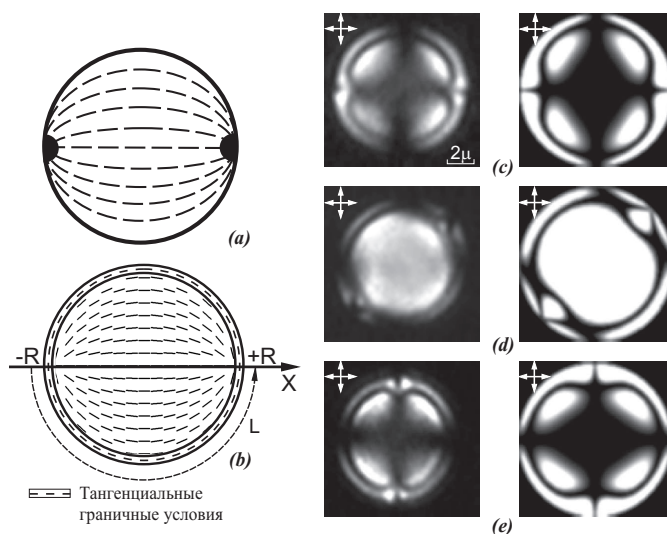


Рис. 2. Схема распределения поля директора (а) и расчетная конфигурация (б) биполярной капли. Микрофотографии в скрещенных поляризаторах (левый столбец) и рассчитанные текстуры (правый столбец) биполярной капли под разными углами α поляризатора к оси симметрии капли: (с) $\alpha = 0$; (д) $\alpha = 45^\circ$; (е) $\alpha = 90^\circ$

деле мы обращаем внимание на те особенности текстурных картин таких капель, которые будут нужны далее для сравнительного анализа с новыми структурами.

В геометрии скрещенных поляризаторов видны полосы погасания, которые сужаются в узкую линию при приближении к полюсам капель (буджумам) и расширяются в объеме капли. Если $\alpha = 0$ или 90° , то отображаются лишь две полосы, формирующие фигуру креста (рис. 2с,е, левая колонка). При $\alpha = 45^\circ$ видны четыре полосы погасания, по две рядом с каждым полюсом (рис. 2д, левая колонка). Размер капли достаточно большой, поэтому проявляется одна полоса интерференционного гашения, которая видна как темный концентрический круг с диаметром, немного меньшим, чем диаметр капли.

Задав однородное тангенциальное сцепление вдоль меридианов $L = \pi R$ по всей поверхности капли в результате минимизации энергии упругих деформаций (2), мы получили типичную биполярную структуру (рис. 2б). Использование этих данных позволило рассчитать текстуры ЖК в скрещенных поляризаторах (рис. 2с-е, правая колонка). Хорошее согласие полученных текстур с микрофотографиями подтверждает корректность используемого метода моделирования ориентационной структуры капель.

Капля с разрушенным буджумом

Добавление лецитина в ЖК приводит к образованию ряда новых равновесных структур с одним поверхностным точечным дефектом. Например, в образце, содержащем 0,08% лецитина, наряду с биполярными конфигурациями, преобладающее количество капель (около 70%) имеют структуру, показанную на рис. 3а.

Текстурные картины таких капель (рис. 3с-е, левый столбец) похожи на биполярные, но имеются и явные отличия. При $\alpha = 0$ (рис. 3с, левый столбец) видны две полосы погасания, но левая полоса вблизи края капли не сужается, а, наоборот, расширяется, что

свидетельствует об отсутствии здесь точечного дефекта. В большей части объема капли, за исключением области, примыкающей к распадающемуся буджуму, текстурные картины аналогичны биполярной конфигурации. Отсутствие темного круга, обусловленного интерференционным гашением на рис. 3с-е (левый столбец), объясняется меньшим размером этой капли по сравнению с биполярной (рис. 2с-е, левый столбец).

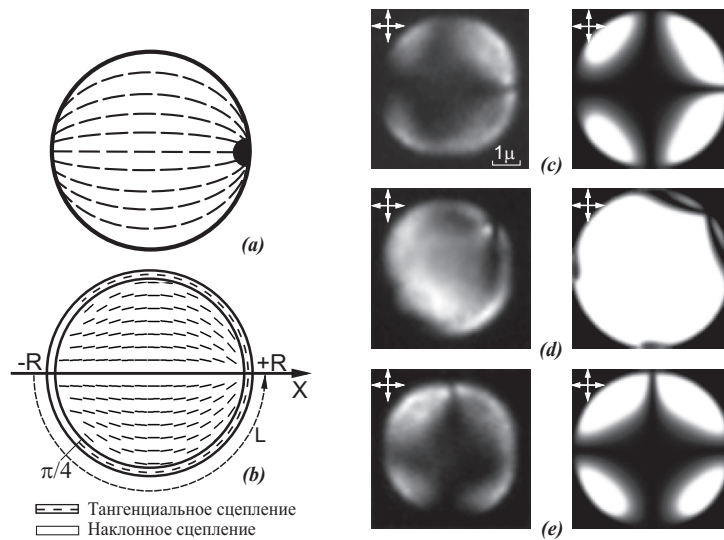


Рис. 3. Схема распределения поля директора (а) и расчетная конфигурация (б) капли с одним разрушенным буджумом. Микрофотографии в скрещенных поляризаторах (левый столбец) и рассчитанные текстуры (правый столбец) капли с одним разрушенным буджумом под разными углами α : (с) $\alpha = 0^\circ$; (д) $\alpha = 45^\circ$; (е) $\alpha = 90^\circ$

Для расчета описываемой конфигурации директора мы использовали неоднородные граничные условия на поверхности капли. Тангенциальное сцепление $\theta = 90^\circ$ задавалось для всех точек, которые лежат на меридиане в интервале $\pi R/4 \leq L \leq \pi R$ (рис. 3б). В оставшейся части меридиана $0 \leq L \leq \pi R/4$ угол сцепления изменялся линейно от 0 до 90° как $\theta = 2L/R$. Такая зависимость угла θ примерно соответствует данным из анализа экспериментальных текстур. Граничные условия, используемые здесь и далее для рассчитываемых структур, имеют цилиндрическую симметрию относительно оси X . В результате мы получили распределение поля директора (рис. 3б) и на его основе текстурные картины капли в геометрии скрещенных поляризаторов (рис. 3с-е, правый столбец), аналогичные микрофотографиям (рис. 3с-е, левый столбец).

Монополярная структура

В образцах КПЖК-пленок с более высоким содержанием сурфактанта (около $0,1\%$) образуются капли с монополярной структурой (рис. 4а). Особенностью текстур таких капель в скрещенных поляризаторах является наличие только одной полосы погасания, исходящей из точечного дефекта, которая постепенно расширяется и заполняет практически всю противоположную половину капли (рис. 4с,е, левый столбец). При повороте капли на $\alpha = 45^\circ$ появляются две полосы погасания, локализующиеся вблизи буджума (рис. 4д, левый столбец), как и в биполярных структурах.

Анализ микрофотографий позволяет сделать вывод, что для половины объема капли характерна конфигурация директора, аналогичная биполярной. В другой ее половине директор параллелен оси симметрии. Исходя из этого, мы задали в левой части капли ориентацию директора на поверхности параллельно оси X (рис. 4b). Следовательно, здесь угол $\theta = L/R$. Для оставшейся области капли $\theta = 90^\circ$. В результате была получена конфигурация директора (рис. 4b) и ее текстуры (рис. 4с-е, правый столбец), которые в основных чертах совпадают с экспериментальными картинками.

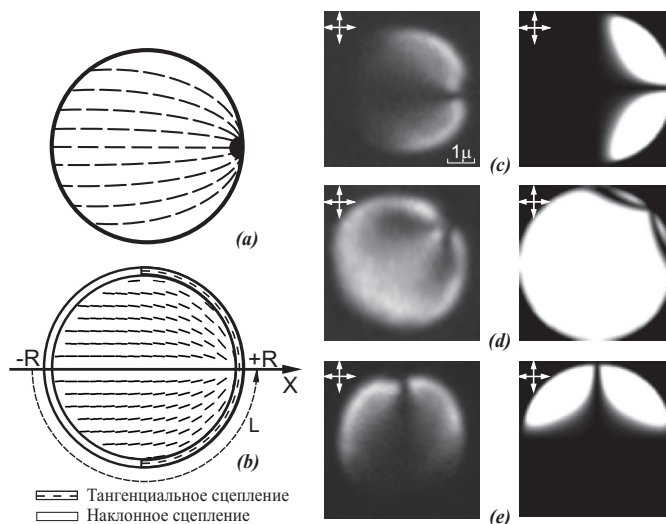


Рис. 4. Схема распределения поля директора (а) и расчетная конфигурация (b) монополярной капли. Микрофотографии в скрещенных поляризаторах (левый столбец) и рассчитанные текстуры (правый столбец) монополярной капли под разными углами α : (с) $\alpha = 0$; (d) $\alpha = 45^\circ$; (е) $\alpha = 90^\circ$

Структура "заходящего солнца"

Сравнительный анализ структур, изображенных на рис. 2а, 3а, 4а, показывает, что в этом диапазоне изменения концентрации лецитина, увеличение его содержания вызывает все большее выпрямление линий директора. Следовательно, такая тенденция должна привести к формированию структуры (рис. 5а), в которой линии директора будут прямыми, исходя из бужума, как лучи света от заходящего солнца.

Капли нематика, соответствующие такой конфигурации директора, были обнаружены в образцах с содержанием лецитина 0,3%. На их текстурных картинах при $\alpha = 0$ или 90° (рис. 5с, 5е, левый столбец) видна одиночная полоса погасания, выходящая из поверхностного дефекта, но, в отличие от монополярной структуры, она гораздо уже. При $\alpha = 45^\circ$ (рис. 5d, левый столбец) проявляются две более длинные, чем на текстуре монополярной капли (рис. 4d, правый столбец), полосы погасания. Характерной особенностью структуры "заходящего солнца" является то, что при любом угле α полосы погасания прямые и направлены под прямым углом друг к другу.

Для моделирования поля директора в таких каплях мы задавали изменение угла сцепления вдоль меридиана как $\theta = L/2R$. В этом случае в каждой точке на поверхности дирек-

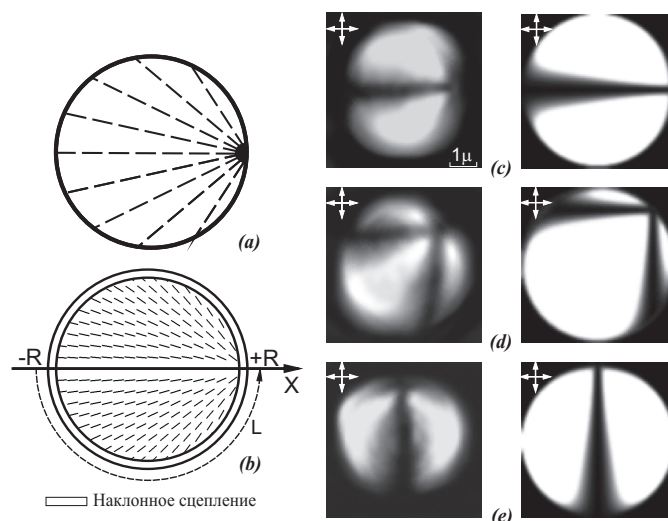


Рис. 5. Схема распределения поля директора (а) и расчетная конфигурация (б) капли со структурой „заходящего солнца“. Микрофотографии в скрещенных поляризаторах (левый столбец) и рассчитанные текстуры (правый столбец) капли со структурой „заходящего солнца“ под разными углами α : (с) $\alpha = 0$; (д) $\alpha = 45^\circ$; (е) $\alpha = 90^\circ$

тор направлен по прямой, соединяющей эту точку и поверхностный дефект. В результате минимизации упругой энергии была получена структура (рис. 5b) без деформаций продольного изгиба, как и в предложенной схеме (рис. 5a). Для такой конфигурации рассчитанные текстурные картины (рис. 5с-е, правый столбец) также хорошо согласуются с микрофотографиями.

Вытекшая радиальная структура

При повышении концентрации сурфактанта в ЖК до 1% и более угол θ значительно изменяется по всей поверхности капли, включая окрестности второго бужума. Как известно из топологического анализа [7], изменение сцепления до гомеотропного состояния вызывает трансформацию бужума в объемный точечный дефект типа "еж" вблизи поверхности (вытекшая радиальная структура рис. 1g), который затем отрывается и уходит в центр капли (радиальная структура). Это позволяет назвать рассматриваемую далее конфигурацию директора предрадиальной (рис. 6a).

Для текстуры таких капель при $\alpha = 0$ или 90° характерны три симметрично расположенные полосы погасания, исходящие из точечного дефекта (рис. 6с,е, левый столбец). Узкая центральная полоса проходит параллельно оси симметрии капли вплоть до противоположной границы, а две боковые направлены под углом примерно 40° к оси симметрии (рис. 6с, 6е, левый столбец). Вследствие этого капли имеют характерный конусообразный вид, хотя в действительности они круглые, о чем свидетельствует микрофотография при $\alpha = 45^\circ$ (рис. 6d, левый столбец). В последнем случае внутри капли видны две V-образно расположенные полосы погасания, сходящиеся к точечному дефекту и ориентированные под углом приблизительно 45° друг к другу.

В соответствии с этим для расчета конфигурации директора (рис. 6b) мы ввели следующую

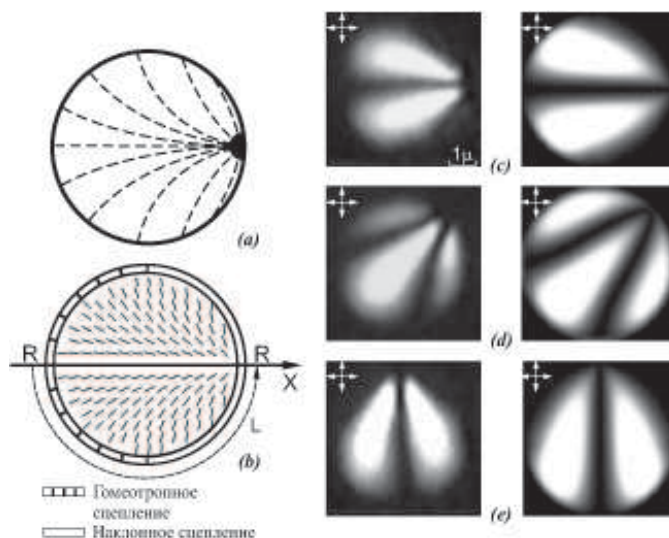


Рис. 6. Схема распределения поля директора (a) и расчетная конфигурация (b) капли с пре радиальной структурой. Микрофотографии в скрещенных поляризаторах (левый столбец) и рассчитанные текстуры (правый столбец) капли с пре радиальной структурой под разными углами α : (c) $\alpha = 0$; (d) $\alpha = 45^\circ$; (e) $\alpha = 90^\circ$

щие граничные условия. В одной половине капли сцепление гомеотропно, в другой — угол $\theta = (L - \pi R/2)/R$. Совпадение расчетных текстур (рис. 6с-е, правый столбец) с микрофотографиями убедительно свидетельствует о правильно выбранных граничных условиях.

Радиальная структура

При содержании лецитина около 2% преимущественной структурой в ансамбле капель ЖК становится радиальная (рис. 7а).

Текстура такой капли (рис. 7с, слева) представляет собой крест, форма и ориентация полос которого не изменяются при повороте образца. Задание однородной гомеотропной границы по всей поверхности капли в расчетной процедуре приводит к получению классической радиальной конфигурации директора (рис. 7б) и текстуры (рис. 7с, справа), аналогичной экспериментально наблюдаемой.

Заключение

Таким образом, на примере капель нематического ЖК 5СБ с варьируемой добавкой лецитина, капсулированных в поливинилбутирале, проведен сравнительный анализ обнаруженных недавно [19–21] новых стабильных конфигураций директора (рис. 3–6). Для наглядности последовательность этих конфигураций, плавно переходящих от биполярной к радиальной структуре при изменении граничных условий от тангенциальных к нормальным, представлена на рис. 8. Как оказалось, такой эволюционный ряд соответствует второму сценарию взаимопревращения топологических дефектов без формирования дополнительных дисклинаций в объеме и на поверхности ЖК, предсказанному в работе [7].

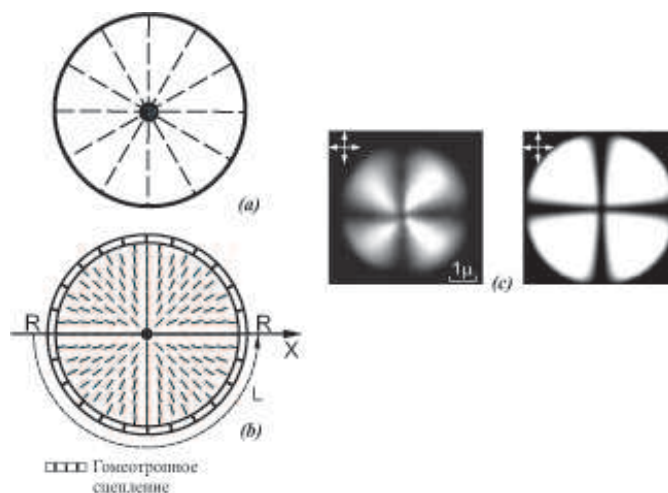


Рис. 7. Схема распределения поля директора (a) и расчетная конфигурация (b) радиальной капли. Микрофотография в скрещенных поляризаторах (слева) и рассчитанная текстура (справа) радиальной капли для произвольного значения угла α (c)

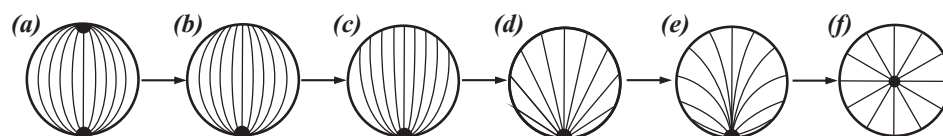


Рис. 8. Последовательность ориентационных структур, образующихся при изменении граничных условий от тангенциальных к нормальным. Биполярная капля (a), капля с разрушенным дефектом (b), монополярная структура (c), структура заходящего солнца (d), предрадialная структура (e), радиальная капля (f)

Проведенные исследования переходных ориентационных структур являются важным этапом в развитии основ создания новых оптоэлектронных материалов и устройств на основе композитных ЖК с управляемыми граничными условиями. Кроме того, необходимо отметить, что полученная информация интересна для специалистов, работающих не только в области ЖК, но и других научных направлений. Так, например, есть много общего в упорядочении низкомолекулярных ЖК и биоорганических структур [23]. Известно, какую важную роль играют поверхностно-активные добавки в регуляции жизнедеятельности биологических организмов, и это дает основание надеяться, что полученные нами данные о влиянии сурфактантов на структуру ЖК-капель могут быть полезны и для понимания молекулярных механизмов функционирования живых тканей. Следует также обратить внимание на эффективное использование методов топологического анализа — быстро развивающегося направления современной математики — для изучения специфики структурообразования и взаимопревращений дефектов в ЖК. Это означает, что ЖК — удобный физический объект для выяснения и наглядной демонстрации ряда закономерностей, следующих из математической топологии, например, закона сохранения топологических зарядов при эволюции дефектов.

Работа выполнена при поддержке грантов: РФФИ No 08-03-01007; No 27.1, 110

и 144 СО РАН; г/к 02.740.11.0220, 02.740.11.0568 и П901 ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России".

Список литературы

- [1] O. Lehmann, Die Struktur krystallinischer Flüssigkeiten, *Ztschr. Phys. Chem.*, **5**(1890), 427–435.
- [2] Л.М. Блинов, Электро- и магнитооптика жидких кристаллов, М., Наука, 1978.
- [3] А.С. Сонин, Введение в физику жидких кристаллов, М., Наука, 1983.
- [4] М. Борн, Э. Вольф, Основы оптики, М., Наука, 1973.
- [5] Г.М. Жаркова, А.С. Сонин, Жидкокристаллические композиты, Новосибирск, Наука, 1994.
- [6] G.P. Crawford, S. Zumer, Liquid Crystals in Complex Geometries, London, Taylor and Francis Publ. Ltd., 1996.
- [7] Г.Е. Воловик, О.Д. Лаврентович, Топологическая динамика дефектов: буджумы в каплях нематика, *ЖЭТФ*, **85**(1983), 1997–2010.
- [8] R.D. Williams, Two transitions in tangentially anchored nematic droplets, *J. Phys. A: Mat. Gen.*, **19**(1986), 3211–3222.
- [9] E. Dubois-Violette, O.J. Parodi, Émulsions nématiques. Effets de champ magnétiques et effets piézoélectriques, *J. Phys. (Paris), Colloq. C4.*, **30**(1969), 57–64.
- [10] P.S. Drzaic, A new director alignment for droplets of nematic liquid crystal with low bend-to-splay ration, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **154**(1988), 289–306.
- [11] P.S. Drzaic, A case of mistaken identity: spontaneous formation of twisted bipolar droplets from achiral nematic materials, *Liq. Cryst.*, **26**(1999), 623–627.
- [12] M.J. Press, A.S. Arrot, Theory and experiments on configurations with cylindrical symmetry in LC droplets, *Phys. Rev. Lett.*, **33**, (1974), 403–406.
- [13] S. Candau, P. Le Roy, F. Debeauvais, Magnetic field effects in nematic and cholesteric droplets suspended in an isotropic liquid, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **23**(1973), 283–297.
- [14] О.Д. Лаврентович, Е.М. Терентьев, Фазовый переход с изменением симметрии топологических точечных дефектов (ежей) в нематическом жидком кристалле, *ЖЭТФ*, **91**(1986), 2084–2096.
- [15] В.Г. Боднар, О.Д. Лаврентович, В.М. Пергаменщик, Порог структурного перехода еж-кольцо в каплях нематика в переменном электрическом поле, *ЖЭТФ*, **101**(1992), 111–125.
- [16] F. Xu, H.-S. Kitzerow, P.P. Crooker, Electric-field effects on nematic droplets with negative dielectric anisotropy, *Phys. Rev. A.*, **46**(1992), 6535–6540.

- [17] А.В. Ковальчук, М.В. Курик, О.Д. Лаврентович, В.В. Серган, Структурные превращения в каплях нематика во внешнем электрическом поле, *ЖЭТФ*, **94**, (1988), 350–364.
- [18] В.С. Сутормин, М.Н. Крахалев, О.О. Прищепа Температурно индуцированные изменения конфигурации директора в каплях нематика, диспергированного в поливинилпирролидоне, *Журнал Сибирского федерального университета. Математика и физика*, **2**(2009), №3, 352–359.
- [19] О.О. Прищепа, А.В. Шабанов, В.Я. Зырянов, Трансформация конфигурации директора в каплях нематического ЖК при изменении граничных условий, *Письма в ЖЭТФ*, **79**(2004), 315–319.
- [20] O.O. Prishchepa, A.V. Shabanov, V.Ya. Zyryanov, Director configurations within nematic droplets doped by lecithin, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **438**(2005), 141–150.
- [21] O.O. Prishchepa, A.V. Shabanov, V.Ya. Zyryanov, Director configurations in nematic droplets with inhomogeneous boundary conditions, *Phys. Rev. E*, **72**(2005), 031712.
- [22] R. Ondris-Crawford, E.P. Boyko, B.G. Wagner, J.H. Erdmann, S. Zumer, J.W. Doane, Microscope textures of nematic droplets in polymer dispersed liquid crystal, *J. Appl. Phys.*, **69**, 6380–6386.
- [23] Г. Браун, Дж. Уолкен, ЖК и биологические структуры, М., Мир, 1982.

Variety of Orientational Structures in the Nematic Liquid Crystal Droplets and their Optical Textures

Oxana O. Prishchepa
Alexander V. Shabanov
Victor Ya. Zyryanov

A brief review of the orientational structures in the nematic liquid crystal droplets and the different factors specifying their formation has been presented. The basic factors are the correlation of elastic modules of liquid crystals, the size and form of droplets, the external influence (for example, electric field) and surface anchoring, specifying an orientation of nematic molecules at the interface. Features of structure formation inside the polymer dispersed liquid crystals have been considered in detail for the inhomogeneous boundary conditions.

Keywords: polymer dispersed liquid crystal, nematic, surfactant, interface, surface anchoring, director configuration.