

06.2

## **Особенности перехода Фредерикса в каплях нематохолестерика: влияние границы ЖК—изотропная фаза**

© Ю.И. Тимиров, О.А. Скалдин, Е.Р. Гареева, И.Р. Каюмов

Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН,  
Уфа  
E-mail: scala@anrb.ru

Поступило в Редакцию 27 июня 2013 г.

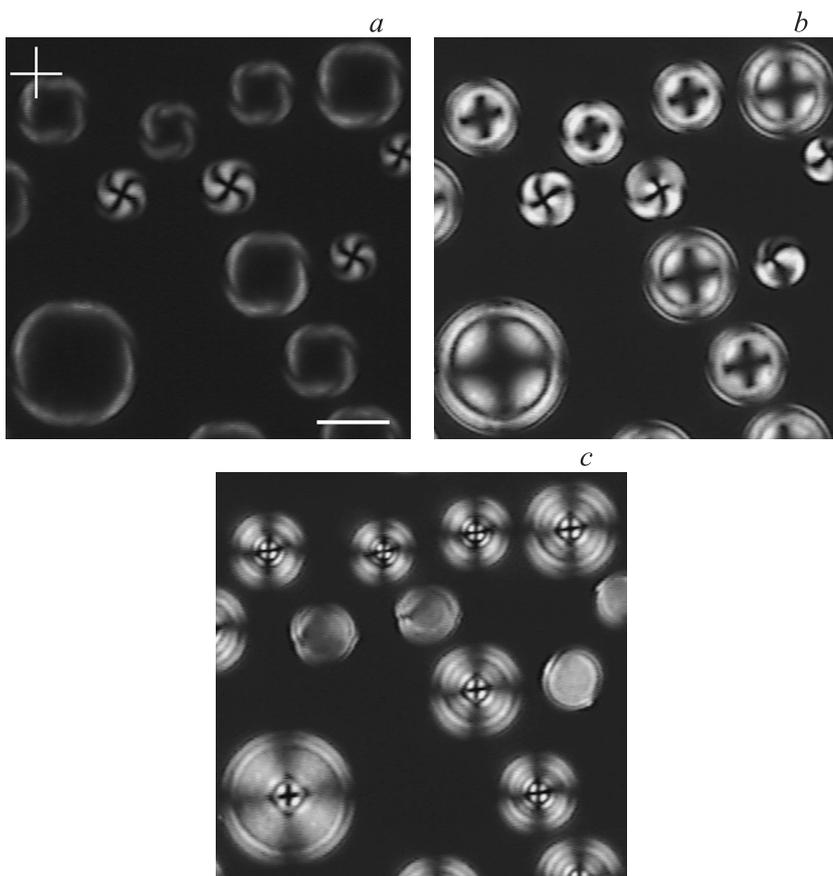
Изучены ориентационные квазистатические превращения в каплях-перетяжках нематохолестерика, находящихся в изотропном окружении под действием внешнего электрического поля. Показано, что процесс трансформации начальной гомеотропной ориентации поля директора рассматриваемых капель носит беспороговый характер, который связан с присутствием малых добавок холестерика, приводящих с увеличением напряжения к непрерывному росту эффективного размера деформационного поля от границы раздела ЖК—изотропная фаза.

Использование в оптических устройствах жидких кристаллов в виде отдельных капель, диспергированных в полимере или изотропной жидкости, привлекает к себе внимание как перспективный способ создания на их основе ряда электрооптических элементов [1–3]. Оптические и электрооптические свойства таких материалов во многом определяются технологией изготовления, ориентационной структурой, размером и формой капель и ее трансформацией в электрическом поле. Внешнее управление оптическими свойствами капсулированных жидкокристаллических пленок, как с регулярным, так и случайным распределением капсул в образце, предполагает знание механизма переориентации директора жидкого кристалла (ЖК) в изолированных каплях. В связи с этим, представляет интерес изучение трансформации внутренней структуры поля директора капли при приложении внешнего электрического поля [4,5] и влияния на данный процесс границы раздела ЖК—изотропная фаза.

В данной работе на примере смеси нематика — метоксibenзилиден бутиланилина (МББА) с холестериком — холестерилхлоридом, составляющим  $C = 0.11 \text{ mass.}\%$  (с шагом  $P_{0.11\%} = 108 \mu\text{m}$ ), подробно рассматриваются ориентационные превращения нематохолестерических капель жидких кристаллов в электрических полях. Для определения шага спирали полученных смесей был использован метод, представленный в [6]. ЖК-ячейка размещалась на термостате HCS250 (Instec, США) с термостабилизацией лучше  $0.01^\circ\text{C}$ , который располагался на вращающемся предметном столике поляризационно-оптического микроскопа AxioImager Al.m (Carl Zeiss, Германия). Для получения капель в изотропном окружении, расположенная в термостолике ЖК-ячейка перегревалась для полного перехода ЖК в изотропное состояние. Затем ячейка медленно охлаждалась до появления зародышей мезофазы, которые далее укрупнялись до образования ЖК-капель нужного размера с последующей их стабилизацией. Измерения размеров капель проводились в программном пакете AxioVisionRel.4.7 (Carl Zeiss, Германия) со встроенной системой определения размеров объекта с точностью определения размеров капель порядка  $\sim 1 \mu\text{m}$ .

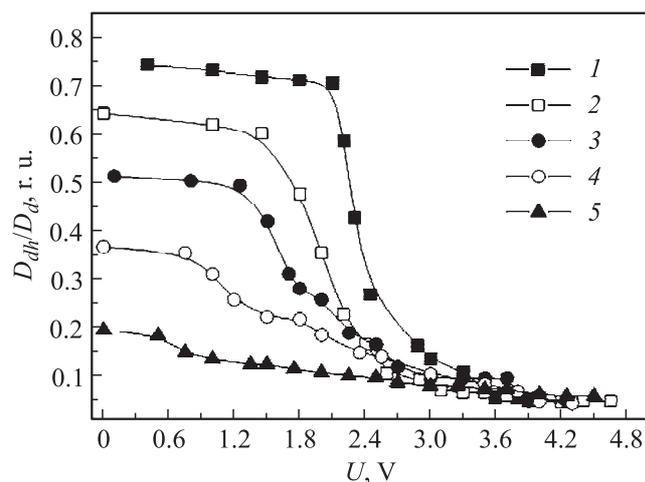
Рассмотрим процесс ориентационной деформации поля директора вдоль радиуса капли с увеличением приложенного напряжения. На рис. 1 представлена последовательность оптических картин капель нематохолестерика с увеличением напряжения, в которых равновесный шаг холестерической спирали ( $P$ ) был порядка  $108 \mu\text{m}$ . На рис. 1, *a* изображены капли в отсутствие внешнего напряжения. Так как концентрации холестерика таковы, что  $P$  значительно больше радиуса ( $R$ ) капли, то ее оптическая картина с начальной гомеотропной ориентацией эквивалентна состоянию холестерика в пределе чистого нематика, за исключением границы раздела, где проявляются твист-мотивы в виде скрученных фрагментов изогир. Увеличение внешнего электрического напряжения приводит к просветлению оптической картины, так что имеет место непрерывный рост пространственного размера деформационной области, который начинается от границы раздела нематохолестерик–изотропная фаза (рис. 1, *b*).

Из анализа последовательности текстур, наблюдаемых при увеличении приложенного электрического напряжения, следует, что картины ориентационных превращений в каплях данной смеси при малых изменениях напряжения вполне эквивалентны картинам ориентационных изменений в каплях при вариации концентрации холестериче-



**Рис. 1.** Последовательность текстур НХЖК-капель при увеличении приложенного напряжения для смеси с шагом  $P_{0.11\%} = 108 \mu\text{m}$  при:  $a$  —  $U = 0 \text{ V}$  (вставка —  $50 \mu\text{m}$ ),  $b$  —  $U = 2 \text{ V}$ ,  $c$  —  $U = 4 \text{ V}$ .

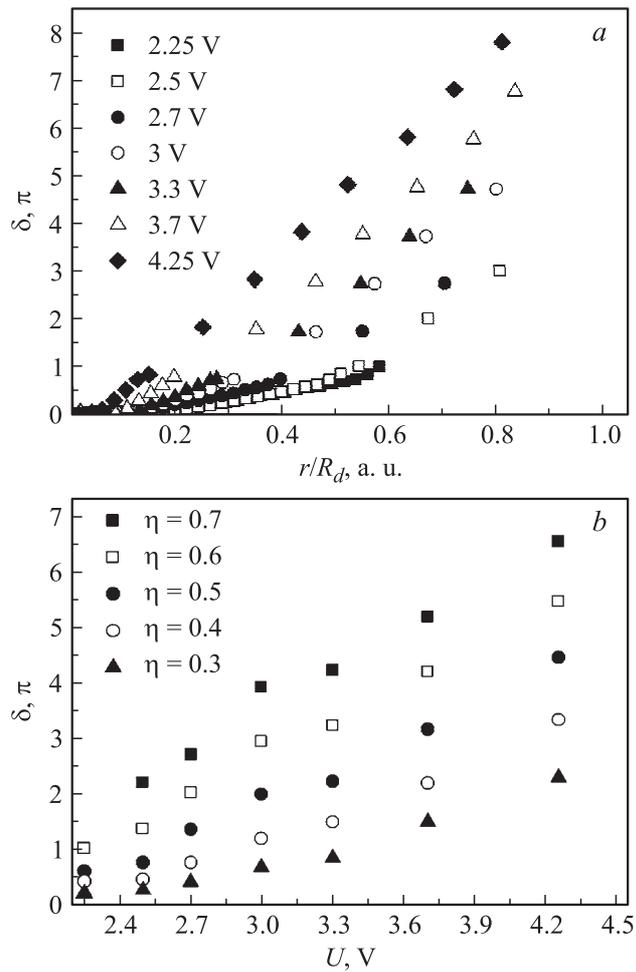
ской добавки (в области малых концентраций) [7], но в отсутствие внешнего электрического поля. При больших напряжениях ( $U \approx 4 \text{ V}$ ) ориентационное поле в каплях однородно и имеет осевую симметрию (рис. 1,  $c$ ), проходящую через центр капли, в то время как повышение концентрации допанта ( $C = 0.33 \text{ mas.}\%$ ) приводит к неоднородному



**Рис. 2.** Зависимости величины гомеотропного ядра капли  $D_{dh}/D_d$  от приложенного напряжения для различных концентраций холестерического допанта с соответствующими значениями шага спирали: 1 —  $P_{MBVA} = \infty \mu\text{m}$ , 2 —  $P_{0.05\%} = 238 \mu\text{m}$ , 3 —  $P_{0.11\%} = 108 \mu\text{m}$ , 4 —  $P_{0.165\%} = 72 \mu\text{m}$ , 5 —  $P_{0.22\%} = 54 \mu\text{m}$ .

распределению и появлению дефектов на поверхности капли. То есть, поведение гомеотропного ядра  $D_{dh}$ , его относительного размера к диаметру капли  $D_d$ , при воздействии электрического поля и изменения концентрации холестерического допанта в пределе малых значений практически аналогично. На рис. 2 изображены зависимости  $D_{dh}/D_d$  от приложенного напряжения при различных концентрациях холестерика. В случае чистого нематика имеет место пороговое просветление гомеотропного поля капли (кривая 1), что соответствует реализации классического эффекта Фредерикса, при этом пороговое напряжение в чистом МБВА составляет 2.6 В. Во всех остальных случаях с увеличением концентрации холестерика реализуется непрерывный характер роста деформационного поля и сублимации гомеотропного ядра соответственно.

Были получены зависимости профиля интенсивности пропускания проходящего света (николи скрещены) вдоль радиуса капли по на-



**Рис. 3.** Зависимость фазовой задержки  $\delta$ : *a* — от соотношения  $r/R_d$  для различных значений приложенного напряжения  $U$  ( $P_{0.11\%} = 108 \mu\text{m}$ ), *b* — от приложенного напряжения  $U$  при некоторых фиксированных значениях  $\eta_i = r_i/R_d$ .

правлению биссектрисы между двумя изогирами. Эти кривые носят осциллирующий характер, что соответствует коноскопической картине в виде „мальтийского креста“ (рис. 1, *c*), реализуемого в каплях с увеличением напряжения. Осциллирующий характер этих кривых связан с наличием изохром, определяющих набег фазы в  $\pi$  между обыкновенными и необыкновенными лучами. Далее было определено распределение фазовой задержки  $\delta$  при различных напряжениях вдоль диаметра, проходящего посередине между двумя изогирами (рис. 3, *a*). Фазовая задержка рассчитывалась аналогичным образом, что и для распределения, индуцированного изменением концентрации [7]. Для В-деформации приближенное выражение зависимости  $\delta(U)$  описывается следующей формулой [8]:

$$\delta \approx \frac{2\pi d}{\lambda} \left( \frac{n_e^2 - n_0^2}{2n_e^2} \right) \frac{1}{K_{33}/K_{11} - 4\pi\epsilon_0\Delta\epsilon/\epsilon_{\parallel}} \left( \frac{U}{U_c} - 1 \right), \quad (1)$$

где  $U_c$  — критическое напряжение для перехода Фредерикса в случае В-деформации ( $U_c = \pi\sqrt{K_{11}/(\epsilon_0\Delta\epsilon)}$ ). На рис. 3, *b* представлены зависимости  $\delta(U)$  при различных параметрах  $\eta_i = r_i/R_d$ , где  $r_i$  — дискретный набор расстояний от центра капли до точки измерения,  $R_d$  — радиус капли, из которых вытекает, что фазовая задержка достаточно хорошо описывается выражением (1). Оценки угла отклонения директора от гомеотропной ориентации можно сделать, зная связь между фазовой задержкой и средним квадратом отклонения директора

$$\langle \sin^2 \theta \rangle = \frac{1}{d} \int_0^d \sin^2 \theta dz$$

от оси  $OZ$ , проходящей через центр капли перетяжки и перпендикулярной плоскости ЖК-слоя, которая дается соотношением:

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \left( \frac{n_e^2 - n_0^2}{2n_e^2} \right) \langle \sin^2 \theta \rangle. \quad (2)$$

С учетом выражения (2) анализ поведения угла  $\langle \sin^2 \theta \rangle$  вдоль радиуса капли от ее центра показывает, что величина угла растет к границе раздела фаз квазилинейно и стремится к своему предельному значению  $90^\circ$ .

Таким образом, из приведенных выше данных в совокупности с результатами работы [7] следует, что наличие даже малых концентраций хиральных добавок приводит к изменению ориентации молекул на границе раздела ЖК-изотропная фаза, которое в свою очередь приводит к изменению характера перехода Фредерикса, который становится беспороговым. При этом каждому напряжению соответствует своя равновесная область деформации, локализованная в окрестности границы капли при сохранении гомеотропного ядра, размер которого сублимируется с увеличением приложенного напряжения (рис. 2).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований гранты № 12-02-97039, 13-02-01117 и стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам СП-904.2013.1.

## Список литературы

- [1] *Жаркова Г.М., Сонин А.С.* // Жидкокристаллические композиты. М.: Наука, 1994. 213 с.
- [2] *Ковальчук А.В., Курик М.В., Лаврентович О.Д.* // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 5. С. 44.
- [3] *Klosowicz S.J., Zmija J.* // Optical Engineering. 1995. V. 34. N 12. P. 3440.
- [4] *Xu F., Kitzerow H.-S., Doane J.W.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 64. P. 6535–6540.
- [5] *Xu F., Kitzerow H.S., Crooker P.P.* // Phys. Rev. E. 1994. V. 49. P. 3061–3068.
- [6] *Беляков В.А.* Оптика холестерических жидких кристаллов. М.: Наука, 1982. 360 с.
- [7] *Тимиров Ю.И., Скалдин О.А., Гареева Е.Р.* // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 2. С. 36–43.
- [8] *Сонин А.С.* Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. С. 320.