

07

Ориентационный переход в каплях нематохонлестерика, индуцированный хиральным допантом

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

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

Поступило в Редакцию 1 августа 2012 г.

Изучены ориентационные квазистатические превращения в каплях нематохонлестерика, находящихся в изотропном окружении при изменении концентрации холестерического допанта. Рассмотрен случай, когда радиус капли меньше или порядка равновесного шага спирали, индуцированного допантом $R \leq P$. Показано, что существует критическая концентрация хирального допанта, выше которой граница раздела с изотропной фазой с уменьшением P инициирует рост деформационного поля с корреляционной длиной, зависящей от шага спирали P .

Оптические эффекты, реализуемые в жидких кристаллах (ЖК) и, в частности, в нематиках и смесях на их основе, традиционно имеют широкую прикладную базу [1–4]. Ориентационные неустойчивости, лежащие в основе наблюдаемых эффектов, обусловленные электрическим, магнитным, температурным и механическим воздействием, достаточно хорошо изучены, чего нельзя сказать о „примесных“ эффектах [5–9]. В данной работе изучаются ориентационные возмущения, инициируемые хиральным допантом в микроконтейнерах-каплях нематохонлестерика с границей раздела ЖК–изотропная фаза.

Исследуемые образцы представляют собой смесь на основе нематического ЖК–*n*-(4-метоксибензилиден)-4-бутиланилин (МББА) и холестерического ЖК–холестерилхлорида с равновесным шагом спирали в диапазоне $20 \leq P \leq 350 \mu\text{m}$. Для определения шага спирали полученных смесей был использован метод, представленный в [10]. ЖК-ячейка размещалась на термостате HCS250 (Instec, США) с термостабилизацией лучше 0.01°C , который располагался на вращающемся предметном столике поляризационно-оптического микроскопа AxioImager Al.m (Carl

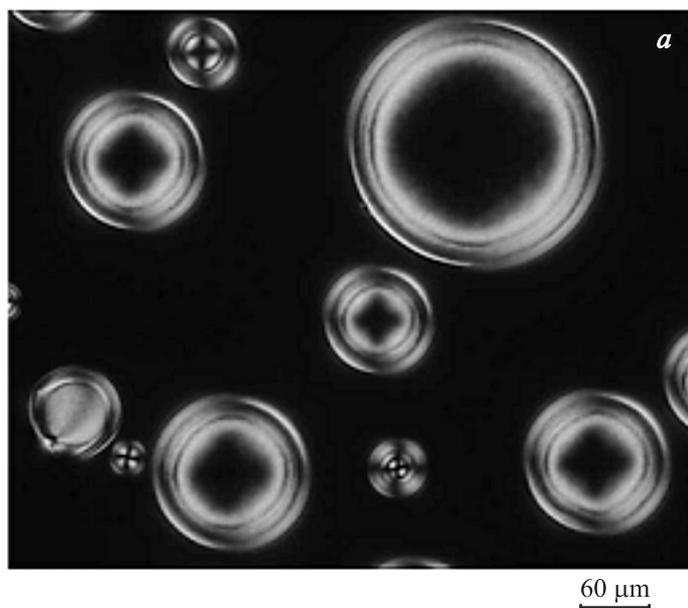


Рис. 1. Структура НХЖК капль-перетяжек: *a* — вид ЖК-капель при концентрации холестерического допанга 0.22% и $P_{0.22\%} = 54 \mu\text{m}$ (николи скрещены); *b* — схема распределения молекул капли НХЖК единичного радиуса с сечением в произвольной диаметральной плоскости (D_{dh} — диаметр гомеотропного ядра); *c* — вид сверху вдоль оси OZ .

Zeiss, Германия). Для получения капль в изотропном окружении расположенная в термостолке 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 капль проводились в программном пакете Axio VisionRel.4.7 (Carl Zeiss, Германия) со встроенной системой определения размеров объекта с точностью определения размеров капль порядка $\sim 1 \mu\text{m}$.

На рис. 1, *a* представлена оптическая картина ЖК-капель с шагом спирали $P = 54 \mu\text{m}$. В скрещенных николях они фактически пред-

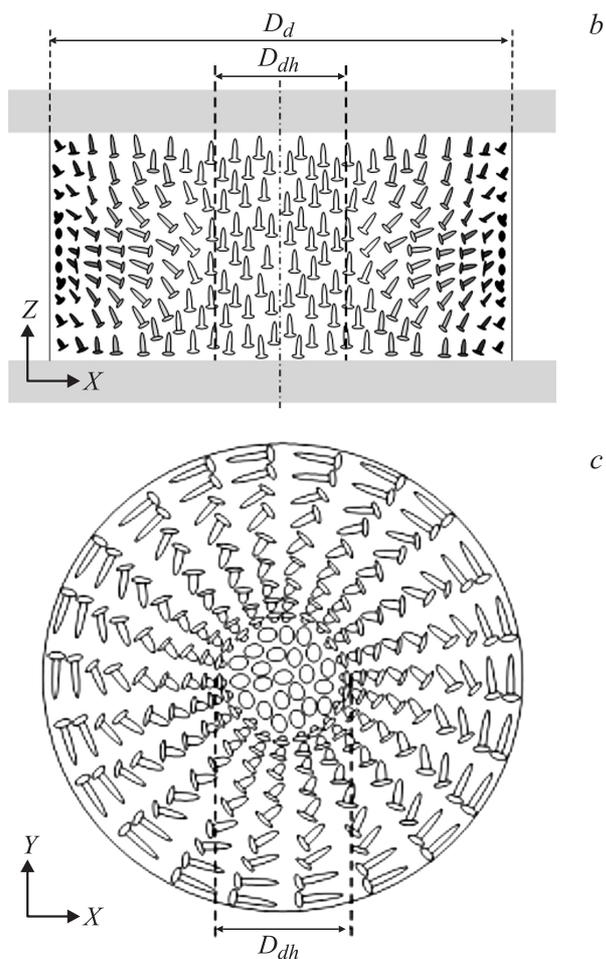


Рис. 1 (продолжение).

ставляют собой темное ядро со светлой рассеивающей оболочкой, на которой видны концевые части изогир. Наличие темной области ядра связано с исходной гомеотропной ориентацией директора на подложке, которая индуцирует однородное гомеотропное распределение

директора практически во всем объеме капли. Это следует из того, что, во-первых, вращение ЖК-ячейки (николи скрещены) не приводит к просветлению капель, а во-вторых, механическая деформация подложки инициирует просветление, которое быстро релаксирует, в-третьих, в момент просветления наблюдается сильное мерцание в объеме, что связано с флуктуациями директора, характерными именно для гомеотропной ориентации. Таким образом, капля представляет собой цилиндрическую область мезофазы с гомеотропной ориентацией в объеме, так называемую перетяжку в изотропном окружении. На рис. 1, *b* изображено сечение капли единичного радиуса ($D_d = 2R_d$) в произвольной диаметральной плоскости при некоторых произвольных значениях шага спирали ($20 \leq P \leq 350 \mu\text{m}$). В центре изображена область с гомеотропным ядром ($D_{dh} = 2R_{dh}$), которая плавно переходит в область деформации В-типа по θ относительно вертикали с поворотом директора дополнительно по азимутальному углу φ в плоскости, параллельной плоскости ЖК-ячейки, как показано на рис. 1, *c* (вид сверху). В случае такого типа ориентационной деформации для угла θ можем записать:

$$\theta = \theta_0(r) \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right), \quad (1)$$

где r — полярная координата вдоль радиуса относительно оси симметрии капли, d — толщина ЖК-слоя.

Вывод же о повороте директора по углу φ следует из наличия скрученных изогир, наблюдаемых при больших концентрациях хиральных добавок.

Рассмотрим теперь количественно изменение оптических характеристик изучаемых капель при вариации концентрации холестерической добавки. Количественной характеристикой распределения поля директора является профиль интенсивности прошедшего через каплю света, измеренный вдоль радиуса капли. На рис. 2, *a* представлены распределения интенсивности необыкновенного луча по телу капли вдоль его радиуса при различных концентрациях холестерической добавки. На оси абсцисс отложено отношение r/R_d (значение R_d выбиралось по результатам фотометрирования капель так, чтобы $I/I_0 \approx 5 \cdot 10^{-2}$). Это означает, что все последующие результаты относятся к нормированным каплям единичного радиуса, что избавляет во многих случаях от необходимости учета размера капель. Все направления профиля выбирались вдоль среднего между двумя изогирями. Как и ожидалось, профиль

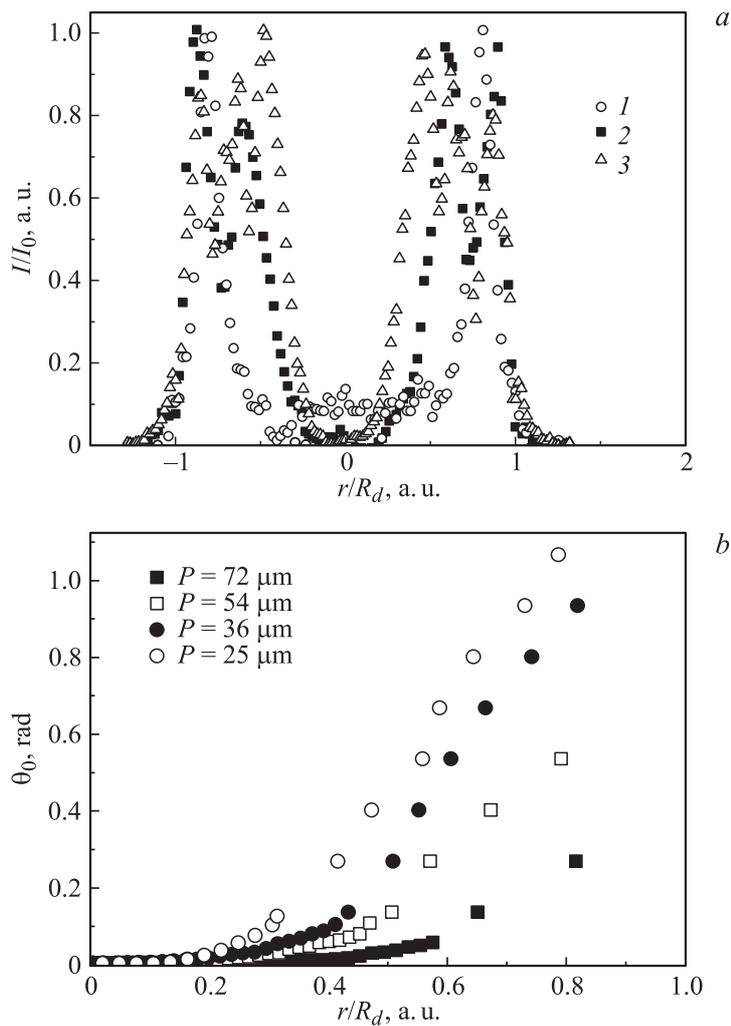


Рис. 2. *a* — зависимости профиля относительной интенсивности поляризованного света, прошедшего вдоль диаметра капли через ЖК-слой для различных концентраций холестерика с соответствующими значениями шага спирали: 1 — $P = 238 \mu\text{m}$; 2 — $P = 72 \mu\text{m}$; 3 — $P = 54 \mu\text{m}$. *b* — зависимости $\theta_0(r/R_d)$, вычисленные по материальным параметрам МББА [11] для различных концентраций хирального допанта.

пропускания имеет осциллирующий характер. Для каплей с чистыми МББА мы имеем по одному максимуму по краям между нематиком и изотропной фазой, по которым не представляется возможным определение характера изменения ориентации поля директора от гомеотропной в центре к почти планарной на границе, однако это можно сделать для каплей с большей концентрацией холестерика. Из выражения (2.1) для пропускания в скрещенных николях определим распределение фазовой задержки вдоль радиуса капли:

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\delta}{2} \right) \sin^2 2\varphi, \quad (2.1)$$

$$\delta \approx \frac{2\pi d}{\lambda} \left(\frac{n_e^2 - n_0^2}{2n_e^2} \right) \langle \sin^2 \theta \rangle [10], \quad (2.2)$$

n_0 и n_e — показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, значения которых взяты в окрестности точки просветления $d = 25 \mu\text{m}$, $\lambda = 600 \text{ nm}$, $n_e = 1.72503$, $n_0 = 1.56163$ [11]:

$$\frac{1}{d} \int_0^d \sin^2 \theta dz = \langle \sin^2 \theta \rangle [12]. \quad (2.3)$$

Здесь следует отметить следующее: кривые пропускания нормированы без учета поглощаемой способности ЖК, которая в целом не является сколько-нибудь большой и не вносит существенных поправок в расчет фазовой задержки. В данном случае положения максимумов и минимумов однозначно говорят о величине фазовой задержки в той или иной области капли, а именно — максимумы определяются нечетным числом набега фазы в π , минимумы — четным, что соответственно и определяет отсутствие влияния высоты пиков на результат расчета. Конечно, это становится не вполне корректным в сильно поглощающих средах, что может сказаться на расчетах в области от 0 до π . Из данных по распределению фазовых задержек с учетом связи между δ и средним углом $\langle \sin^2 \theta(r) \rangle$ (выражения 2.2 и 2.3) для конкретного распределения В-типа (1) получаем зависимости максимального угла отклонения директора θ_0 в средней плоскости капли (рис. 2, *b*).

Из этих зависимостей видно, что с увеличением концентрации в выбранных точках в пространстве капли среднее откло-

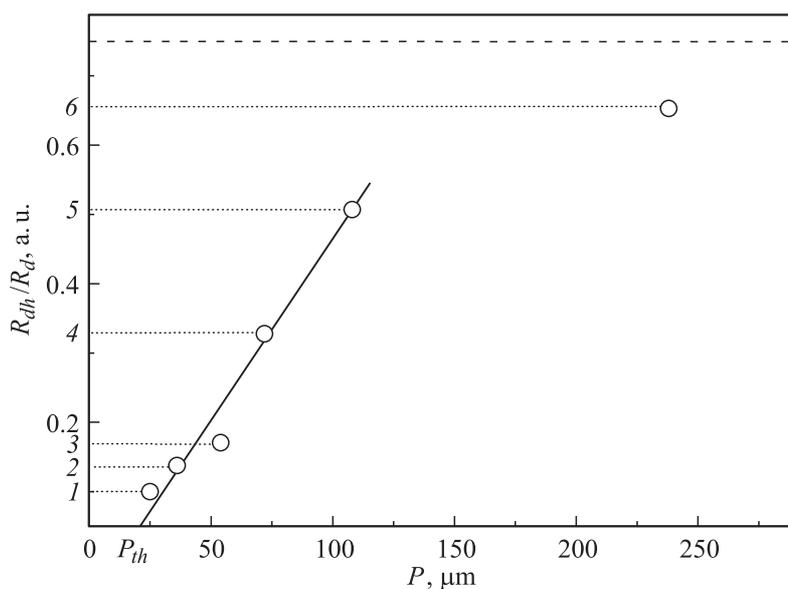


Рис. 3. Зависимости относительной величины R_{dh}/R_d (отношение радиуса гомеотропного ядра к радиусу капли) от величины равновесного шага спирали P : 1 — $P = 25 \mu\text{m}$, 2 — $P = 36 \mu\text{m}$, 3 — $P = 54 \mu\text{m}$, 4 — $P = 72 \mu\text{m}$, 5 — $P = 108 \mu\text{m}$, 6 — $P = 238 \mu\text{m}$.

нение директора относительно OZ растет, причем рост инициируется границей ЖК–изотропная фаза. Причем квазилинейный рост θ_0 , который имеет место в основном теле капли, сменяется на сильно нелинейный в 20%-й зоне окрестности границы раздела нематохолестерик–изотропная фаза, т.е. $\theta_0 \rightarrow 90^\circ$ вместе с азимутальным углом $\varphi \rightarrow 90^\circ$ так, что директор ориентирован тангенциально на границе.

Из дальнейшего анализа изображенных капель с более высоким процентом холестерилхлорида видно, что гомеотропные ядра практически полностью сублимируются при $P < 254 \mu\text{m}$, что соответствует значению периода равновесного геликоида $P_{th} \approx 20 \mu\text{m}$ (рис. 3).

Таким образом, в данной работе показано, что имеет место ориентационный переход в каплях нематохолестерика, индуцируемый границей

раздела мезофаза–изотропная жидкость, причем критическое значение периода холестерической спирали, при котором в капле ориентационное поле директора полностью деформировано, составляет $P_{th} \approx R$ капли. При увеличении P примерно до $300 \mu\text{m}$ мы получаем критическую концентрацию, ниже которой влияние холестерика на внутреннюю конфигурацию капли не проявляется, т.е. такие капли фактически неотличимы от капель нематических.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-02-97039) и финансовой поддержке компании ОПТЭК.

Список литературы

- [1] Жарков Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994. 224 с.
- [2] Ковальчук А.В., Курик М.В., Лаврентович О.Д. // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. № 5. С. 44.
- [3] Жаркова Г.М., Сонин А.С. // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1993. Т. 35. № 10. С. 17.
- [4] Klosowicz S.J., Zmija J. // Optical Engineering. 1995. V. 34. N 12. P. 3440.
- [5] Bajc J., Bezic J., Zumer S. // Phys. Rev. E. 1995. V. 51. N 3. P. 2176.
- [6] Сутормин В.С., Крахалев М.Н., Прищепина О.О. // Журнал Сибирского федерального университета. Математика и физика. 2009. Т. 2. № 3. С. 352–359.
- [7] Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепина О.О., Шабанов А.В. // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86. В. 6. С. 440–445.
- [8] Swisher R.R., Huo H., Crooker P.P. // Liq. Cryst. 1999. V. 26. N 1. P. 57–62.
- [9] Oswald P., Dequidt A. // Phys. Rev. E. 2008. V. 77. P. 051 706.
- [10] Беляков В.А. Оптика холестерических жидких кристаллов. М.: Наука, 1982. 360 с.
- [11] Haller Ivan, Huggins H.A., Freiser M.J. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1972. V. 16. P. 53–59.
- [12] Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. 320 с.