

06

Эффект локального вращения молекул в каплях нематохолестерика, индуцированный электрическим полем

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

Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра РАН,
Уфа
Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа
E-mail: timirov@anrb.ru

Поступило в Редакцию 13 февраля 2014 г.

Экспериментально изучена структурная динамика жидкокристаллических (ЖК) капель перетяжек, находящихся в изотропном окружении в переменном электрическом поле. Обнаружено, что выше некоторого порогового значения поля оптическая картина в виде скрученного „мальтийского креста“ становится динамической и начинает „вращаться“. Величина порогового напряжения, так же как и частота „вращения“, практически не зависит от диаметра капли. Это явление связано с развитием самосогласованного процесса локального вращения молекул ЖК в плоскости, перпендикулярной оси капли. Показано, что такое вращение инициирует распространение геликоидальной волны от одного полюса капли к другому.

В последние годы значительно возрос интерес к микрокаплям жидких кристаллов (ЖК), диспергированных в изотропной фазе или в полимерной матрице [1–4]. Такие материалы характеризуются большим многообразием ориентационного упорядочения ЖК в объемных образованиях сложной формы, наличием в них различных топологических дефектов, высокой чувствительностью к различным воздействиям внешних полей (электрических, магнитных, акустических и температурных градиентов) и к изменениям граничных условий. Таким образом, изучение капсулированных ЖК представляет интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Несмотря на то что имеется много современных научных работ по изучению условий возникновения, трансформации и исчезновения различных видов дефектов в капсулированных ЖК, динамика этих объектов остается мало изученной. В связи с этим целью данной работы является изучение структурной динамики

ЖК-капель перетяжек, развивающейся в переменном электрическом поле в диапазоне частот проводящего режима.

В качестве объекта исследования использовались образцы, представляющие собой смесь нематического ЖК — *n*-(4-метоксибензилиден)-4-бутиланилина и холестерического ЖК — холестерилхлорида (0.05–0.165 mass %) с равновесным шагом спирали в диапазоне $240 \geq P \geq 72 \mu\text{m}$. Для определения шага спирали полученных смесей был использован метод, представленный в [5]. 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 Zeiss, Германия). Для получения капель в изотропном окружении расположенная на 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 необходимого диаметра D с последующей их стабилизацией. Измерения размеров капель проводились в программном пакете Axio VisionRe1.4.7 (Carl Zeiss, Германия) со встроенной системой определения размеров объекта с точностью порядка $\sim 1 \mu\text{m}$. Толщина слоя ЖК составляла порядка $d \approx 25 \mu\text{m}$ и контролировалась интерференционным методом.

В исследуемых каплях нематохолестерического ЖК (НХЖК), при отсутствии приложенного напряжения, формируется темное ядро со светлой рассеивающей оболочкой, что соответствует гомеотропной ориентации директора коллинеарной оси OZ [6] и нормальной к плоскости изображения капли. При включении переменного электрического поля гомеотропное ядро сублимируется с увеличением напряжения [7], а оптическая картина самой капли имеет вид изогнутого „мальтийского креста“ (рис. 1, *a*). Такая конфигурация капли может быть связана либо со слабой закрученностью поля директора вдоль оси капли, либо с изменением угла наклона директора относительно оси OZ и его регулируемым поворотом по азимутальному углу φ вдоль радиуса капли. Последнее является наиболее предпочтительным, поскольку этой конфигурации соответствует линейная особенность, проходящая через центр видимого поля капли, образующаяся как конечное состояние при непрерывном уменьшении размера гомеотропного ядра. При дальнейшем увеличении напряжения ($U \geq 7.5 \text{ V}$) ориентационное поле в капле теряет свою устойчивость, что выражается периодическим

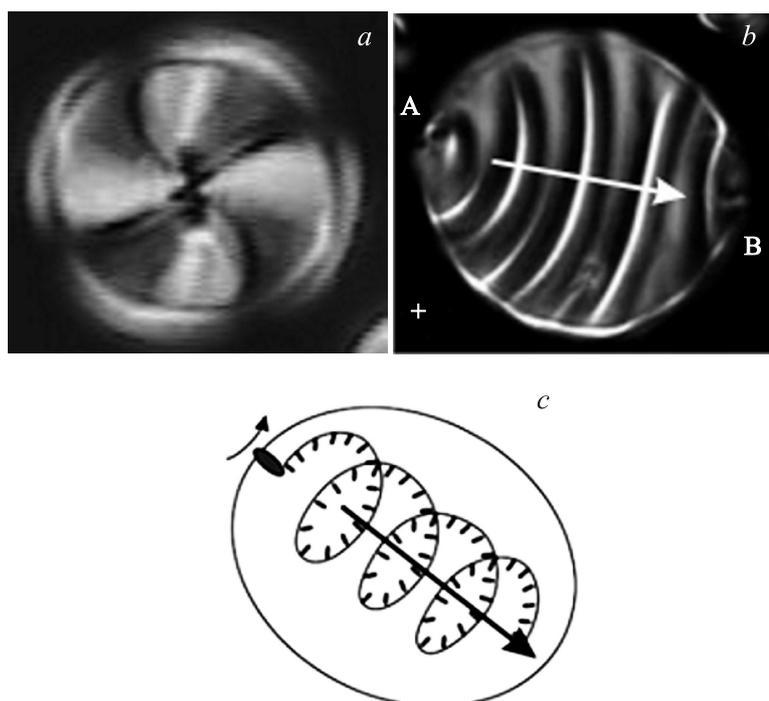


Рис. 1. Изображения капль нематохолестерического ЖК для смеси с шагом $P = 72 \mu\text{m}$: *a* — структура капли в виде изогнутого „мальтийского креста“; *b* — аналогичная капля с „опрокинутой“ осью, лежащей в плоскости образца ($D = 121 \mu\text{m}$); *c* — схема образования ориентационных волн в капле нематохолестерического ЖК.

просветлением и затемнением изогир с частотой изменения $f \leq 1 \text{ Hz}$. Подобное поведение внешне напоминает вращение капли как целого. Однако в этом случае поворот капли вокруг оси в скрещенных николях не может привести к изменению оптического пропускания в ней, но этот оптический эффект возможен при вращении молекул локального характера, т.е. в каждой точке капли происходит согласованное вращение директора. Для понимания процессов, протекающих в каплях, изучим динамику ориентационных превращений на примере опрокину-

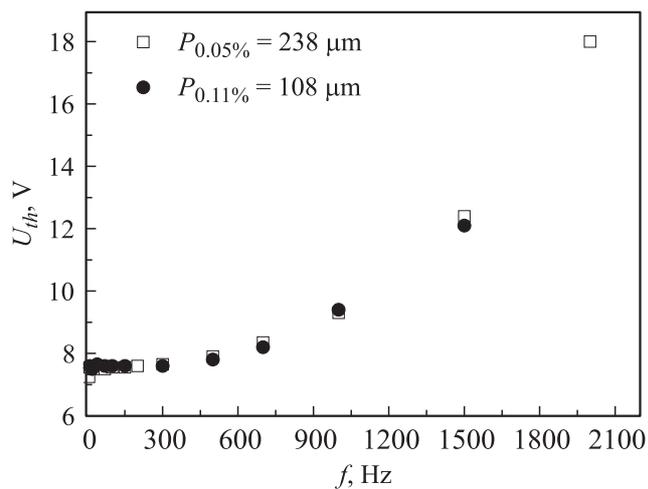


Рис. 2. Зависимость порогового напряжения, при котором начинается „вращение“, от частоты приложенного напряжения для $P_{0.05\%} = 238 \mu\text{m}$ и $P_{0.11\%} = 108 \mu\text{m}$.

тех капель большего размера, когда ось капли OZ не перпендикулярна плоскости образца, как на рис. 1, *a*, а лежит в плоскости слоя (рис. 1, *b*). В этом случае периодические осцилляции просветления связаны с вращением центрального дефекта, как показано на рис. 1, *c*, который генерирует ориентационные спиральные волны от полюса А к В (рис. 1, *b*), вдоль направления, совпадающего с осью капли. Спиральные волны диагностируются как периодические просветления и затемнения в фокальной плоскости, перпендикулярной оси „вращения“ капли. Зная размер капли и распределение профиля засветки вдоль оси, можно определить длину данной спиральной волны, которая оказалась равной $\lambda = 23 \pm 1 \mu\text{m}$, что значительно меньше равновесного шага геликоида ($P \approx 72 \mu\text{m}$). Отсюда следует, что такая динамика капли не может быть связана с периодическим вращением оси равновесного геликоида.

Рассмотрим более детально „вращение креста“ в электрическом поле. Из полученных результатов следует, что данный процесс является пороговым. При этом величина порога практически не зависит от частоты вплоть до 500 Hz. Выше 500 Hz значение порогового напряже-

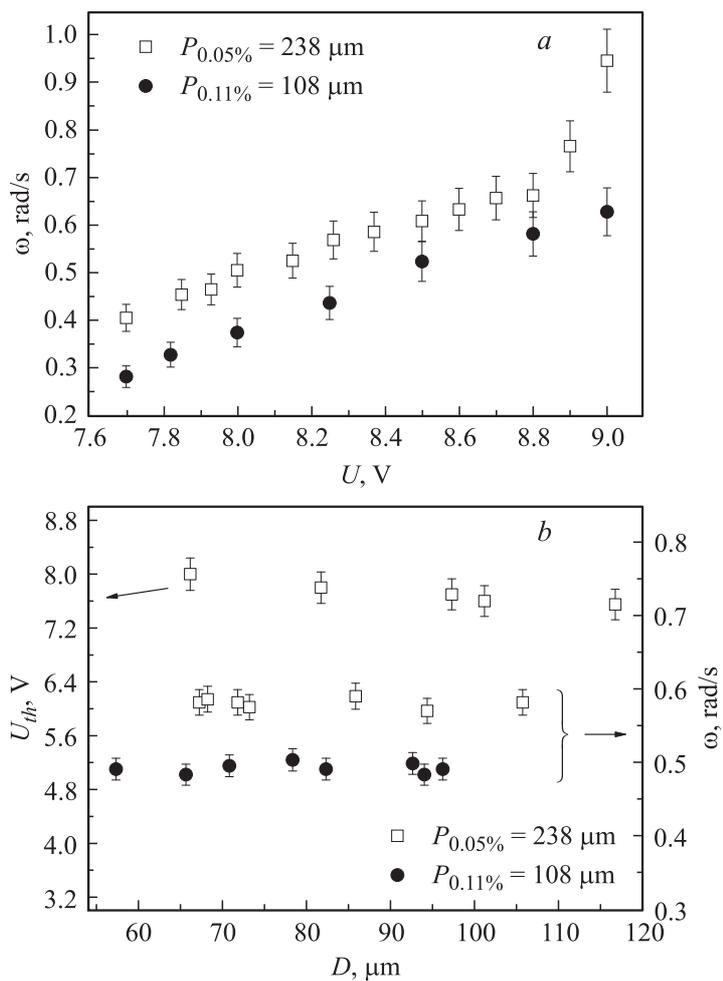


Рис. 3. *a* — зависимость скорости вращения „креста“ от приложенного напряжения при частоте внешнего переменного поля $f = 50 \text{ Hz}$; *b* — зависимость порогового напряжения U_{th} эффекта вращения и частоты вращения „креста“ ω от диаметра капли D (при $U = 8.5 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$).

ния U_{th} начинает быстро увеличиваться с ростом частоты (рис. 2). Такое поведение величины U_{th} при изменении частоты внешнего электрического поля аналогично частотной зависимости порога образования ЭГД-неустойчивости [8]. Из рис. 3 видно, что зависимости частоты вращения „креста“ от приложенного напряжения, а также от размера капли, достаточно хорошо аппроксимируются прямой в небольшом диапазоне напряжений $\Delta U \approx 2$ В. Выше 9 В, где заканчивается линейный участок, начинается сильный рост частоты вращения „креста“, что связано, по видимому, с конвективными процессами при развивающейся электродинамической неустойчивости и образованием полиструктур, приводящих к нарушению периодичности оптических осцилляций. Величина порога начала вращения практически не зависит от диаметра капли (рис. 3, *b*), как и частота вращения при различных значениях равновесного шага спирали (рис. 3, *b*).

Таким образом, в данной работе обнаружен и изучен эффект локального вращения молекул нематохолестерика в каплях-перетяжках, находящихся в изотропном окружении. Суть данного явления сводится к возбуждению низкочастотных ориентационных спиральных волн, распространяющихся вдоль оси капли, при частотах воздействия поля, на два порядка больших, чем регистрируемые оптические осцилляции. Показано, что величина порога начала „вращения“ растет с изменением частоты приложенного напряжения (рис. 2), что в совокупности с данными рис. 3 говорит в пользу электроконвективного механизма неустойчивости, который в основном определяется толщиной слоя ЖК и проводимостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 13-02-01117, 14-02-97014 и стипендии президента РФ СП-904.2013.1.

Список литературы

- [1] *Bajc J., Zumer S.* // Phys. Rev. E. 1997. V. 55. P. 2925–2937.
- [2] *Prishchepa O.O., Shabanov A.V., Zyryanov V.Y.* // Phys. Rev. E. 2005. V. 72. P. 031 712.
- [3] *Lopez-Leon T., Fernandez-Nieves A.* // Coll. and Polym. Sci. 2011. V. 289. P. 345–359.
- [4] *Oswald P., Dequidt A.* // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100. P. 217 802.

- [5] Скалдин О.А., Тимиров Ю.И., Лебедев Ю.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 19. С. 23–30.
- [6] Тимиров Ю.И., Скалдин О.А., Гареева Е.Р. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 2. С. 36–43.
- [7] Тимиров Ю.И., Скалдин О.А., Гареева Е.Р., Каюмов И.Р. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. В. 24. С. 38–44.
- [8] Пикин С.А. Структурные превращения в жидких кристаллах. М.: Наука, 1981. 336 с.