

06.2

Механизм вращения капель нематохонлестерика в постоянном электрическом поле

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

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

Поступило в Редакцию 9 июля 2014 г.

Экспериментально изучена динамика ориентационных превращений в нематохонлестерических каплях, находящихся в изотропном окружении, под действием внешнего постоянного электрического поля. Рассматриваются капли с равновесным шагом спирали меньше радиуса капли. Показано, что в этом случае динамика вращательного движения капель в постоянном электрическом поле определяется флексоэлектрическим механизмом.

Дисперсные системы на основе жидких кристаллов (ЖК) являются объектами активных исследований в области физики конденсированных сред [1,2]. Особый интерес вызывают наблюдаемые в ЖК эффекты вращения микрокапель, поскольку их механизмы отличаются от механизмов изотропных систем и связаны с анизотропной природой ЖК фазы. Особое место занимают эффекты вращения капель под действием внешних воздействий в анизотропных системах, обладающих хиральностью — в холестерических или нематических ЖК с хиральными добавками [3], хотя работа, положившая начало этому направлению, была сделана достаточно давно [4]. Такие системы формируют спиральные надмолекулярные структуры, демонстрирующие большое разнообразие процессов ориентационной динамики при различных внешних воздействиях.

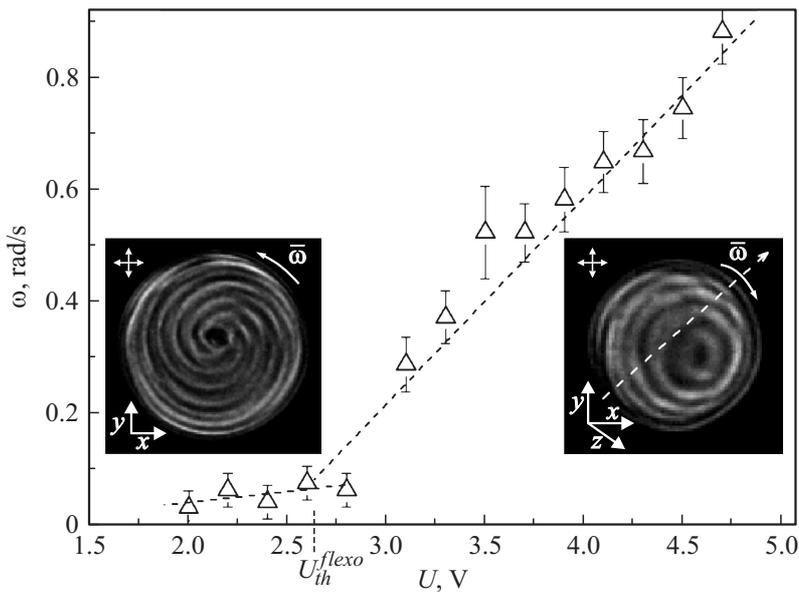
Вращение капель в электрическом поле было обнаружено относительно недавно [5,6] в системе капель нематохонлестерического жидкого кристалла (НХЖК) в глицерине. Анализ экспериментальных данных позволил интерпретировать вращение капель в рамках модели электромеханического механизма, в котором, по аналогии с термомеханическим эффектом, вращательный момент линейно пропорционален

градиенту приложенного электрического потенциала, и количественно характеризуется феноменологическим электромеханическим коэффициентом. Однако недавно теоретически было показано [7], что вращение капель НХЖК в электрическом поле можно объяснить флексоэлектрическим или электрогидродинамическим (ЭГД) механизмами, причем зависимость свойств линейности скорости вращения от напряжения следует из линейности флексоэлектрического вклада в энергию искажения.

Несмотря на то что имеется множество экспериментальных работ, общепринятого объяснения явления вращения капель ЖК не существует и дискуссия о механизме продолжается до настоящего времени [8,9]. В связи с этим целью данной работы является экспериментальное определение механизма вращения капель НХЖК в постоянном электрическом поле.

Исследуемый образец представляет собой смесь на основе нематического ЖК — *n*-(4-метоксибензилиден)-4-бутиланилина и холестерического ЖК — холестерилхлорида в пропорции 1:0.0175 весовых долей. Шаг спирали НХЖК смеси составил $P = 7 \mu\text{m}$, измеренный методом, представленным в работе [10]. Образец толщиной ЖК-слоя $25 \mu\text{m}$ размещался на термостолике HCS250 (Instec, США) с термостабилизацией лучше 0.01°C . Для получения капель в изотропном окружении ЖК-ячейка перегревалась для полного перехода ЖК в изотропное состояние, затем медленно остужалась до появления зародышей мезофазы, которые по мере охлаждения укрупнялись до образования капель ЖК необходимого размера. Оптические изображения структур и эффектов, возникающих в каплях ЖК под действием постоянного электрического поля \mathbf{E} наблюдались в поляризационно-оптическом микроскопе AxioImager A1.m (Carl Zeiss, Германия). Полученные при помощи видеокамеры CL600 × 2 (Optronis GmbH) экспериментальные последовательности видеоизображений оцифровывались фреймграббером microEnable IV VD4-CL (SILICONSOFTWARE GmbH) с пространственным разрешением 512×512 точек по 256 уровням серого цвета.

Основой для интерпретации наблюдаемых процессов послужили выводы теоретической работы [7], из которой следует, что причина вращения ЖК капель связана либо с флексоэлектрической или ЭГД-неустойчивостями, либо с их суперпозицией. Согласно выдвинутой модели неоднородное распределение плотности заряда $\rho_{el} \neq 0$ в электрическом поле \mathbf{E} приводит к появлению объемной силы $\rho_{el}\mathbf{E}$ в уравнении Навье–Стокса, которая возбуждает движение холестерической



Зависимость угловой скорости вращения каплей НХЖК от приложенного постоянного электрического напряжения. На вставках показаны спиральные структуры, характерные для первой области с напряжением $U \leq 2.5$ В и второй — $U \geq 2.5$ В.

жидкости. Решение уравнения Навье–Стокса совместно с условием несжимаемости дает выражение для угловой скорости вращения капли НХЖК [7]

$$\omega = a^4 E_0 + b^4 E_0^2, \quad (1)$$

где коэффициенты a и b зависят от материальных характеристик НХЖК и от распределения поля директора. В формуле (1) слагаемое пропорциональное E_0 — отвечает за вклад флексоэффекта, а пропорциональное E_0^2 — за ЭГД-механизм. На рисунке изображена зависимость угловой скорости ω вращения капли НХЖК от приложенного постоянного напряжения. Из анализа представленной зависимости $\omega(U)$ следует, что она может быть разбита на две области, которые разделены точкой перегиба $U_{th} \approx 2.5$ В. Первая область соответствует значению напряжений $U \leq 2.5$ В, в которой развиваются процессы образования

двухзаходовых спиральных структур, аналогичных изученным в [10] только при воздействии переменного поля. Вторая область — $U \geq 2.5 \text{ V}$ соответствует линейной зависимости $\omega(U)$. Следует подчеркнуть отличия этих процессов, а именно, вектор угловой скорости вращения спиральной структуры перпендикулярен плоскости слоя НХЖК (первая область), тогда как во второй области вектор ω лежит в плоскости слоя и вращение капли происходит как единое целое. На вставках видны кольцевые структуры, связанные с наличием в объеме капли холестерического геликоида, ось которого вращается в плоскости, перпендикулярной слою НХЖК. Ключом для решения вопроса о механизме вращения капель в постоянном электрическом поле является область $U \geq 2.5 \text{ V}$. Во-первых, ее можно аппроксимировать линейной зависимостью (см. выражение 1), а во-вторых, ее пересечение с осью абсцисс дает значение напряжения $U \approx 2.5 \text{ V}$, которое достаточно хорошо совпадает с величиной порогового напряжения U_{th} для флексоэффекта в МБА, являющегося основой исследуемых смесей, т. е. при этих напряжениях включается флексоэлектрический механизм.

Таким образом, на основании полученных данных можно утверждать, что вращательные процессы капель НХЖК как единого целого в постоянном электрическом поле связаны с флексоэлектрическим механизмом.

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

Список литературы

- [1] Ковальчук А.В., Курик М.В., Лаврентович О.Д., Серган В.В. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. В. 5. С. 350–364.
- [2] Sec D., Porento T., Ravnik M., Zumer S. // Soft Matter. 2012. V. 8. P. 11 982–11 988.
- [3] Oswald P. // Eur. Phys. J. E. 2012. V. 35. P. 10.
- [4] Lehmann O. // Ann. Phys. 1900. V. 2. P. 649.
- [5] Madhusudana N.V., Pratibha P. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett. 1987. V. 5. P. 43.
- [6] Madhusudana N.V., Pratibha P. // Liq. Cryst. 1989. V. 5. P. 1827.
- [7] Tarasov O.S., Krekhov A.P., Kramer L. // Phys. Rev. E. 2003. V. 68. P. 031 708.
- [8] Oswald P. // Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100. P. 217 802.
- [9] Oswald P. // EPL. 2012. V. 97. P. 36 006.
- [10] Скалдин О.А., Тимиров Ю.И., Лебедев Ю.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 19. С. 23–30.