

07

## Электрооптика немато-холестерических капель в постоянном электрическом поле

© Ю.И. Тимиров, О.С. Тарасов, О.А. Скалдин

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

Поступило в Редакцию 29 августа 2006 г.

Исследуются электрооптика и динамика закрученных нематохолестерических капель в постоянном электрическом поле, находящихся в изотропном окружении. Установлено, что степень закрученности поля директора существенно влияет на характер вращения самих капель. Показывается, что наиболее вероятным механизмом, объясняющим вращение холестерических капель, является электрогидродинамическая неустойчивость Карра–Хелфриха.

PACS: 47.55.dd

Одним из важных направлений исследования динамики молекулярных систем является изучение эволюции надмолекулярного порядка в веществах, обладающих дополнительно к позиционной также ориентационной степенью свободы (жидкие кристаллы — ЖК), и влияния на эти процессы свойств молекул, например их анизотричности. В частности, изучение структур жидкокристаллических капель во внешних полях [1–3] и динамики их ориентационных превращений интересно с точки зрения как приложений [4,5] (системы отображения информации), так и фундаментальной — образование структурного порядка и превращения в пространственно-ограниченных системах — контейнерах. Причем в этой ситуации сочетание топологических факторов с ориентирующим влиянием поверхностей и полей приводит к большому количеству разнообразных явлений, что подчеркивает существенную роль граничных условий, особенно в случае, когда длина корреляции (влияние границы) сравнима с размером самих капель. Влияние граничных условий на статическую структуру нематических и холестерических капель под действием электрических полей изучалось как экспериментально [6–8], так и теоретически [9–11]. В частности, в работе [6] приводятся экспериментальные результаты по поведению

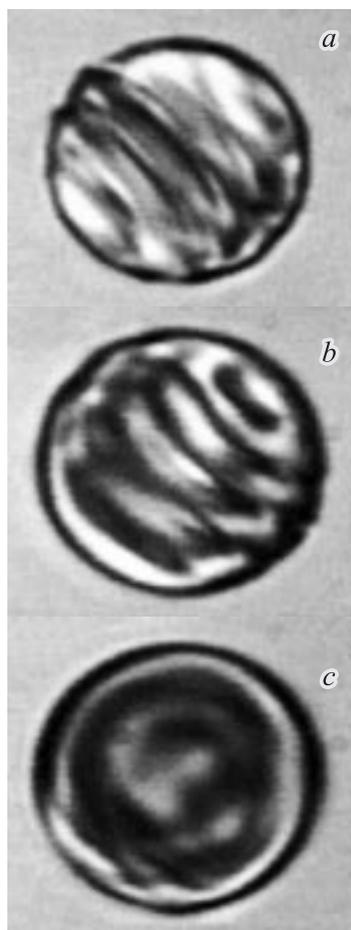
нематических капель в электрическом поле, диспергированных в полимерной матрице, которая значительно понижает количество степеней свободы ЖК-системы, так как жестко фиксирует ориентацию молекул на поверхности капель.

Понятно, что если молекулы ЖК имеют возможность изменять положение и ориентацию на поверхности капель, то степеней свободы системы становится больше, что приводит к большему разнообразию динамических эффектов. В связи с этим нам представляется важным изучение динамики ориентационных превращений под действием электрических полей в каплях со сложной внутренней ориентацией молекул, помещенных в изотропное окружение.

Капли в данной работе приготавливались в результате нагрева слоя смеси ЖК до точки просветления и его термостабилизации в ее окрестности. Смеси разной концентрации производились на основе двух ЖК: 4-метоксибензилиден-4'-бутиланилина (нематический ЖК, НЖК) и холестерилхлорида (холестерический ЖК, ХЖК). Все измерения проводились в окрестности температуры перехода нематик–изотропная фаза с использованием термостоллика с температурной стабилизацией  $\pm 0.010^\circ\text{C}$  на поляризационно-оптическом микроскопе „Amplival-Pol.U“ (Carl Zeiss, Germany). Изображения регистрировались при помощи видеокамеры и оцифровывались картой видеозахвата с разрешением  $512 \times 512$  пикселей и 256 уровней интенсивности серого цвета. Бюковые размеры ЖК-ячейки составляли  $1 \times 1.5$  см, толщина слоя  $d$  варьировалась от 10 до  $50 \mu\text{m}$ . На ячейку подавались постоянные напряжения  $U \leq 10$  В.

Ориентационное поле капли ХЖК представляет собой сложную структуру, являющуюся комбинацией спиральной закрутки (равновесного состояния ХЖК) и ориентации, задаваемой поверхностью капли. В результате топологической несовместимости этих двух конфигураций ориентационное поле капли ХЖК содержит радиальную дисклинационную линию с топологическим зарядом  $s = +2$  [9].

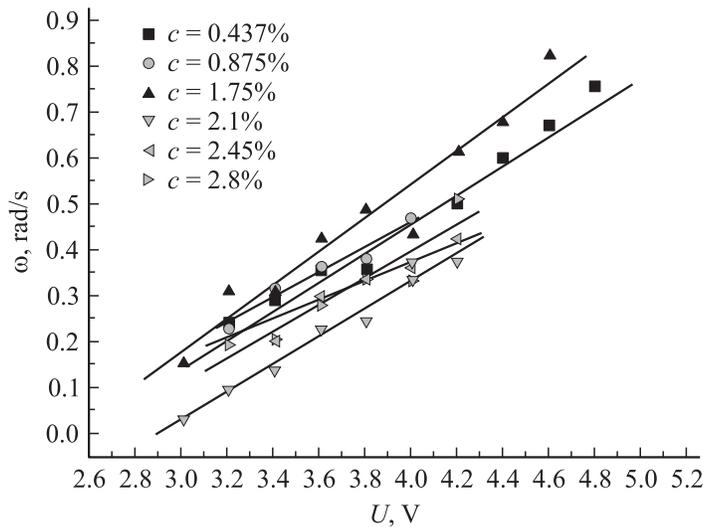
Наиболее интересными из полученных нами результатов представляются наблюдения поведения капель, в которых период пространственных ориентационных структур, возникающих в результате начальной спиральной закрутки ХЖК, соизмерим с толщиной слоя смеси и размером капель. В частности, имеет место эффект вращения оси холестерической спирали в плоскости вектора электрического поля. На рис. 1 изображена последовательность фаз вращения спирали в



**Рис. 1.** Изображения холестерической капли в последовательные моменты времени (электрическое поле направлено перпендикулярно плоскости рисунка): *a* — ось спирали параллельна электрическому полю; *b* — ось спирали направлена под углом  $45^\circ$  к электрическому полю; *c* — ось спирали лежит в плоскости образца.

капле. Отметим, что вращение начинается при напряжении значительно меньшем, чем необходимо для появления макроскопических конвективных потоков ЖК, обусловленных классической электрогидродинамической (ЭГД) неустойчивостью Карра–Хелфриха [12]. Для данного типа ЖК пороговое напряжение конвективной неустойчивости составляет  $\approx 6\text{ V}$  при комнатной температуре и расходится с приближением к точке просветления (холестерические добавки  $\leq 2 \div 3\%$  его практически не меняют), тогда как вращение спирали начинается примерно при  $2.5\text{ V}$ .

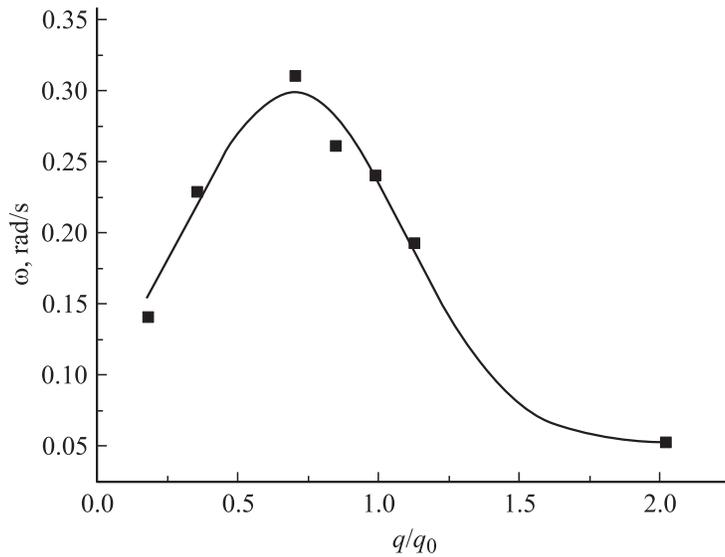
В основе механизма наблюдаемого эффекта лежит, по-видимому, ЭГД-эффект, который возникает по причине присутствия в объеме капли инжектированных зарядов и сильного искривления ориентационного поля, особенно вблизи дефектов. Как нам представляется, уменьшение порога электроконвекции связано с тем, что равновесная структура капли — искривленные холестерические плоскости — обеспечивает наличие областей стекания зарядов (как положительных, так и отрицательных) для сколь угодно малых напряжений, т. е. из выражения для порогового значения поля ЭГД-конвекции как бы вычитается упругая составляющая. Подобное поведение обнаружено у так называемых „холестерических пальцев“ (ХП) — сложных структур, возникающих в области перехода нематик–холестерик [13]. „Холестерические пальцы“ поступательно двигаются в электрическом поле (в постоянном или в переменном в зависимости от симметрии ориентационного поля ХП) при напряжениях, значительно меньших напряжения ЭГД-неустойчивости. Существенно и то, что механизмы, обсуждаемые в данной работе при детальном рассмотрении, обнаруживают определенное сходство с механизмом электрогидродинамической неустойчивости в изотропной фазе [14,15], сопутствующей электроконвекции в анизотропных каплях, сформированных внутри изотропного массива нематохонестерического образца. Последнее подтверждается наличием конвективного движения микрочастиц. Но принципиальное отличие исследуемого эффекта состоит в том, что вращение оси холестерической фазы в анизотропной капле нечувствительно к перемене знака прикладываемого электрического поля. Это указывает на то, что моменты сил, приводящих к вращению капли, содержат четные степени напряженности электрического поля, что характерно для ЭГД-эффекта, в котором моменты сил по электрическому полю квадратичны. Кроме того, следует отметить, что скорость вращения существенно зависит от приложенного напряжения  $U$  (рис. 2,



**Рис. 2.** Зависимости скорости вращения капли  $\omega$  от приложенного постоянного напряжения  $U$  для различных значений концентрации холестерина.

она линейна) и волнового вектора  $q$  закрученности капли (рис. 3). Причем максимум имеет место при  $q \sim q_0 = 2\pi/d$  (это соответствует концентрации холестерина  $\sim 1.75\%$  в весовом соотношении). Такая зависимость косвенно указывает на ЭГД-природу вращения капель, поскольку моменты сил, действующих на ЖК со стороны электрического поля в механизме Карра–Хелфриха, квадратичны по градиентам ориентационного поля, а вязкие моменты, с учетом градиентов скорости жидкости, содержат фактически более высокие степени таких градиентов. Поэтому при более сильных закрутках ЖК вращение капель подавляется вязкостью, а при слабых уже исчезает холестерическая составляющая ЖК.

Таким образом, представляется возможным, что вращение холестерических капель имеет в своей основе ЭГД-эффект Карра–Хелфриха. Сложная ориентационная структура капли обуславливает нетривиальную картину течений жидкости внутри капли, которая обеспечивает появление ненулевого среднего значения азимутальной скорости потока.



**Рис. 3.** Зависимость скорости вращения капли  $\omega$  от волнового вектора  $q$  — спиральной структуры капли.

Стоит отметить, что эта картина существенно трехмерна. Для развития модели вращения капли и определения всех существенных параметров необходимы дополнительные исследования как в переменных электрических полях, так и при различного рода граничных условиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 05-02-16548, 05-02-97907).

## Список литературы

- [1] Yang D.K., Crooker P.P. // *Liq. Cryst.* 1991. V. 9. P. 245.
- [2] Kitzerow H.-S., Crooker P.P. // *Liq. Cryst.* 1992. V. 11. P. 561.
- [3] Kitzerow H.-S., Crooker P.P. // *Liq. Cryst.* 1993. V. 13. P. 31.
- [4] Yang D.K., Doane J.W., Yaniv Z., Glasser J. // *Appl. Phys. Lett.* 1994. V. 64. P. 1905.

- [5] *Ondris-Crawford R., Boyko E.P., Wagner B.G., Erdmann J.H., Zumer S., Doane J.W.* // J. Appl. Phys. 1991. V. 69. P. 6380.
- [6] *Xu F., Kitzero H.-S., Crooker P.P.* // Phys. Rev. E. 1994. V. 49. P. 3061.
- [7] *Xu F., Kitzero H.-S., Crooker P.P.* // Phys. Rev. A. 1992. V. 46. P. 6535.
- [8] *Xu F., Crooker P.P.* // Phys. Rev. A. 1997. V. 56. P. 6853.
- [9] *Bajc J., Bezic J., Zumer S.* // Phys. Rev. E. 1995. V. 51. P. 2176.
- [10] *Bajc J., Zumer S.* // Phys. Rev. E. 1997. V. 55. P. 2925.
- [11] *Bezic J., Zumer S.* // Lig. Cryst. 1992. V. 11. P. 593.
- [12] *Carr E.F.* // Ordered fluids and liquid crystals, Adv. Chem. Series, Am. Chem. Soc. Pub. 1967. P. 76; *Helfrich W.* // Mol. Cryst. Liquid Cryst. 1972. V. 21. P. 187.
- [13] *Gil L., Thiberge S.* // J. Phys. II France. 1997. V. 7. P. 1499. *Oswald P., Baudry J., Pirkl S.* // Phys. Rep. 2000. V. 337. P. 67.
- [14] *Turnbull R.J.* // J. of phys. 1973. V. D6. P. 1745.
- [15] *Барник М.И., Блинов Л.М., Пикин С.А., Труфанов А.Н.* // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. С. 756.