

03;05;12

Термомеханический эффект в цилиндрически-гибридном нематическом жидком кристалле

© Р.С. Акопян, Р.Б. Алавердян, Э.А. Сантросян,
С.Ц. Нерсисян, Ю.С. Чилингарян

Ереванский государственный университет

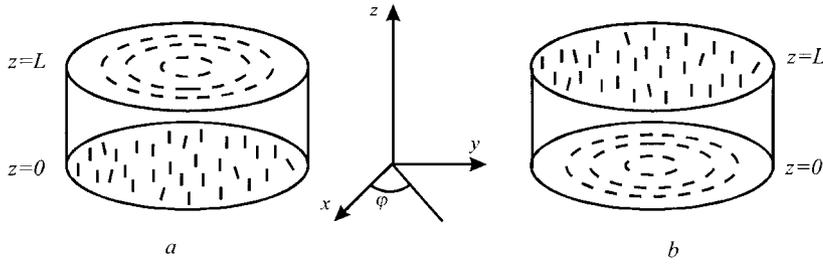
Поступило в Редакцию 5 июня 1998 г.

Теоретически предсказано и экспериментально зарегистрировано термомеханическое вращение цилиндрически-гибридного нематического жидкого кристалла в присутствии продольного градиента температуры.

1. Последовательная теория термомеханических эффектов в деформированных жидких кристаллах (ЖК) впервые была построена в [1]. Позднее [2] сообщалось об экспериментальном обнаружении вращения вещества в горизонтальной плоскости нематических слоев, находящихся в поле продольного градиента температуры. В работе [3] впервые экспериментально был зарегистрирован термомеханический эффект в гомеотропно-планарно-ориентированном нематическом жидком кристалле (НЖК), заключающийся в возникновении гидродинамического потока за счет продольного градиента температуры. Измеренные в [2,3] значения термомеханического коэффициента хорошо согласуются с теоретическом оценкой.

В настоящей работе теоретически предсказано и экспериментально зарегистрировано термомеханическое вращение цилиндрически и аксиально-гибридно-ориентированного НЖК за счет продольного градиента температуры.

2. Рассмотрим цилиндрическую горизонтальную НЖК ячейку, на нижней подложке которой ($z = 0$) задано гомеотропное граничное условие. На верхней подложке ($z = L$) задано такое планарное условие, чтобы молекулы ориентировались везде вдоль концентрических окружностей на этой плоскости с центром на оси цилиндра (см. рисунок). Пусть плоскость (x, y) совпадает с нижним основанием цилиндра. Тогда в одноконстантном приближении константы упругости Франка



Геометрия эксперимента. Подложка ячейки, задающая планарную ориентацию НЖК, находится: a — сверху, b — снизу.

$K_1 = K_2 = K_3 = K$. Распределение директора будем иметь в виде:

$$n_x = \sin \varphi \cdot \sin \frac{\pi z}{2L}, \quad n_y = \cos \varphi \cdot \sin \frac{\pi z}{2L}, \quad n_z = \cos \frac{\pi z}{2L}. \quad (1)$$

Здесь φ — азимутальный угол цилиндрической координатной системы, L — толщина ячейки. Пусть внешние источники тепла поддерживают температуру $T = T_0 + \Delta T$ в сечении $z = 0$ и температуру $T = T_0$ в сечении $z = L$. Тогда выражение для термомеханической вязкой силы можно записать в простейшем виде $\xi \frac{\Delta T}{L^3}$. Где ξ — термомеханическая константа. Запишем стационарное уравнение Навье–Стокса в цилиндрической координатной системе, полагая однородность по φ и r :

$$\eta \frac{\partial^2 \nu_\varphi}{\partial z^2} - \eta \frac{\nu_\varphi}{r^2} = \xi \frac{\Delta T}{L^3}. \quad (2)$$

Здесь η — коэффициент вязкости НЖК. Решение уравнения с граничными условиями $\nu_\varphi(z = 0, L) = 0$ имеет вид

$$\nu_\varphi = \frac{\xi r^2 \Delta T}{\eta L^3} \left\{ \frac{(\exp(-\frac{L}{r}) - 1) \exp(\frac{z}{r}) + (1 - \exp(\frac{L}{r})) \exp(-\frac{z}{r})}{(\exp(-\frac{L}{r}) - \exp(\frac{L}{r})) - 1} \right\}. \quad (3)$$

Вдали от цилиндрической оси $r \gg L$ и $r \gg z$ имеем

$$\nu_\varphi = \frac{\xi}{2\eta} \frac{\Delta T}{L^3} z(z - L); \quad \nu_{\varphi \max} = \frac{\xi}{8\eta} \frac{\Delta T}{L}. \quad (4)$$

Таким образом, скорость вращения вокруг цилиндрической оси не зависит от расстояния до оси.

3. В эксперименте использовалась цилиндрическая аксиально-гибридная ячейка НЖК МББА с интервалом нематической фазы 20–47°C. Ячейка типа ”сэндвич” устанавливалась в строго горизонтальной плоскости и подогревалась снизу сплошным прозрачным нагревателем, обеспечивающим однородный нагрев в горизонтальной плоскости с точностью $\pm 0.01^\circ\text{C}$ и возможность наблюдения текстур в поляризационный микроскоп.

Разность температур на нижней и верхней поверхностях пленки определялась как разность температур перехода в изотропную фазу нижнего и верхнего слоев. Скорость $\nu_{\varphi \max}$ определялась как максимальная скорость движения мелких ($2\text{--}3 \mu\text{m}$) частиц окиси алюминия.

Геометрия эксперимента приведена на рисунке, *a, b*. Пунктирными линиями изображено распределение директора на коаксиальных цилиндрах $r = \text{const}$. В эксперименте, когда подложка ячейки, задающая планарную ориентацию НЖК, находилась сверху (случай *a*), наблюдалось вращение жидкого кристалла вокруг цилиндрической оси z . Максимальная скорость течения для ячейки с толщиной $L = 100 \mu\text{m}$ и разностью температур на верхней и нижней поверхностях $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ была порядка $\nu_{\varphi \max} \approx 0.5 \mu\text{m/s}$. В случае *b*, когда подложка, задающая планарную ориентацию молекул НЖК, находится снизу, в системе возникает колебательное вращение вокруг оси цилиндрической ячейки.

Список литературы

- [1] Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. // ЖЭТФ. 1984. Т. 87(11) С. 1660.
- [2] Лаврентович О.Д., Настишин Ю.А. // Укр. физ. журн. 1987. Т. 32(6). С. 710.
- [3] Акопян Р.С., Алавердян Р.Б., Сантросян Э.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23(17) С. 77.