

03:05:12

## Термомеханический эффект в гибридно-ориентированном нематическом жидком кристалле

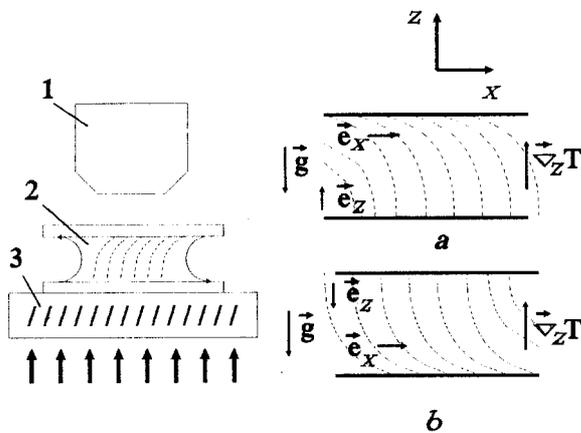
© Р.С. Акопян, Р.Б. Алавердян, Э.А. Сантросян,  
Ю.С. Чилингарян

Ереванский государственный университет

Поступило в Редакцию 20 декабря 1996 г.

Впервые экспериментально зарегистрирован термомеханический эффект в гомеотропно-планарно ориентированном нематическом жидком кристалле, заключающийся в возникновении гидродинамического потока за счет продольного градиента температуры. Измеренное значение термомеханического коэффициента хорошо согласуется с теоретической оценкой.

1. Термомеханические эффекты в холестерических жидких кристаллах предсказаны и исследованы экспериментально в работах [1–3]. Эти эффекты связаны с хиральностью холестериков, т.е. с отсутствием в них право-левой симметрии. В работе [4] впервые построена последовательная теория термомеханических эффектов в деформированных жидких кристаллах, а также предсказан ряд новых термомеханических эффектов. Соображения пространственной симметрии показывают, что для их реализации необходима пространственная неоднородность невозмущенного распределения директора. Были оценены также константы термомеханических эффектов. Авторы работы [5] считают, что члены первого порядка по градиентам скорости, директора и температуры в диссипативной функции отсутствуют из-за их неинвариантности относительно обращения времени. Однако если принять, что термомеханические константы являются псевдоскалярными величинами, то свойство инвариантности диссипативной функции в [4] при обращении времени не нарушается. Кроме того, в работе [6] сообщалось об экспериментальном обнаружении вращения вещества в горизонтальной плоскости нематических слоев, находящихся в поле продольного градиента температуры. Из экспериментальных данных было вычислено значение псевдоскалярной



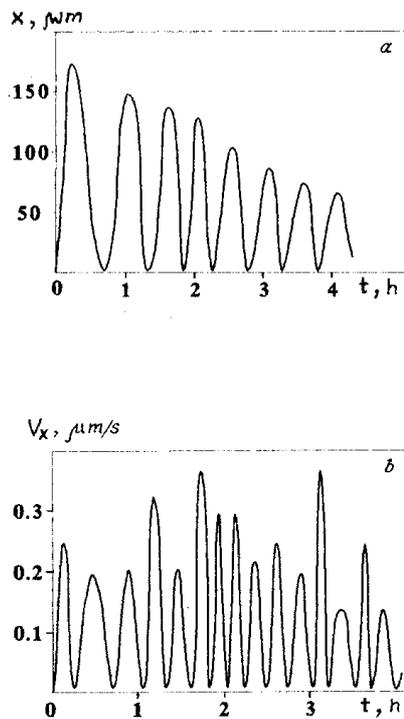
**Рис. 1.** Геометрия эксперимента. 1 — поляризационный микроскоп, 2 — ячейка с нематическим жидким кристаллом, 3 — прозрачный нагреватель.

термомеханической константы  $\xi \sim 10^{-11}$  Н/град., хорошо согласующейся с теоретическими расчетами работы [4].

В настоящей работе экспериментально и теоретически рассматривается возникновение гидродинамических потоков за счет градиента температуры в гибридно-ориентированном нематике.

2. В работе использовался гибридно-ориентированный НЖК МББА с интервалом нематической фазы  $20-47^\circ\text{C}$ . 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 (рис. 1). Разность температур на нижней и верхней поверхностях пленки, как и в [6], определялась как разность температур перехода в изотропную фазу нижнего и верхнего слоев. Скорость  $V$  определялась как максимальная скорость движения мелких (2–3) (мкм) частиц окиси алюминия.

Геометрия эксперимента приведена на рис. 1 (а, б). Пунктирными линиями изображено распределение директора в плоскости  $(x, z)$ . В эксперименте, когда подложка ячейки, задающая планарную ориентацию НЖК, находилась сверху (случай а), наблюдалось течение жидкого



**Рис. 2.** Временные зависимости: *a* — координаты края жидкости  $x$  и *b* — абсолютного значения максимальной скорости  $V_x$ .

кристалла в направлении оси  $x$ . При повороте ячейки вокруг оси  $z$  это течение сохранялось и всегда было направлено по оси легкого ориентирования  $e_x$  на подложке, задающей планарную ориентацию нематического жидкого кристалла. Максимальная скорость течения для ячейки с толщиной  $L = 120$  мкм и разностью температур на верхней и нижней поверхностях  $\Delta = 4.7^\circ\text{C}$  была порядка  $V \sim 0.4$  мкм/с. Течение НЖК останавливается после того, как жидкий кристалл достигает края ячейки, что, по-видимому, обусловлено возникновением капиллярных сил на крае ячейки. После выключения температурного градиента жидкий кристалл не возвращается к исходному положению.

Экспериментальные результаты в случае, когда подложка, задающая планарную ориентацию молекул НЖК, находится снизу (случай  $\bar{b}$ ), качественно отличаются от случая  $a$ . Наблюдается следующая динамика гидродинамического течения. После включения градиента температуры  $\nabla_z T$  возникает течение НЖК в положительном направлении оси  $x$ . Через некоторое время ( $\sim 15-20$  мин) жидкий кристалл постепенно останавливается, не достигая края ячейки, после чего начинается течение жидкости в обратном направлении. После возвращения НЖК к исходному положению процесс повторяется.

Таким образом, в случае  $\bar{b}$  возникает колебание жидкости, которое практически не прекращается в течение длительного времени (наблюдалось движение в течение более чем 10 ч) при поддержании градиента температуры неизменным. Гидродинамические колебания жидкого кристалла прекращаются после выключения градиента температуры. На рис. 2 приведена зависимость координаты края жидкости  $x$  и максимальной скорости течения  $V$  от времени.

3. С целью теоретического рассмотрения и проведения численных оценок будем считать, что при  $z = 0$  граничное условие на стенке задает гомеотропную ориентацию:  $\mathbf{n}(z = 0) = \mathbf{e}_z$ , а при  $z = L$  — планарную:  $\mathbf{n}(z = L) = \mathbf{e}_x$ . Здесь  $\mathbf{n}$  — директор нематического жидкого кристалла. 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 градиент температуры  $dT/dz \sim \Delta T/L$  приведет к термомеханическому потоку НЖК в направлении оси  $x$ . В описанной выше геометрии можно предполагать  $n_y = 0, V_y = V_z = 0, \partial/\partial x = \partial/\partial y = 0$ . В стационарном режиме ( $\partial/\partial t = 0$ ) уравнение Навье-Стокса имеет вид [4]:

$$dG_{zx}^{TM}/dz + dG'_{zx} = 0. \quad (1)$$

Здесь  $G_{zx}^{TM} + G'_{zx}$  —  $zx$  компонент тензора вязких напряжений:

$$G'_{zx} = \eta dV_x/dz, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} G_{zx}^{TM} = \pi dT/8Ldz & \left[ n_x^2 (-2\xi_1 - 2\xi_5\xi_3 - \xi_7) + n_z^2 (\xi_7 - \xi_3 + \xi_{11} + 2\xi_{12}) \right. \\ & + n_z^4 (\xi_3 - \xi_4 - \xi_7 + \xi_8 - \xi_{11} - \xi_{12}) \\ & \left. + n_x^2 n_z^2 (\xi_3 - \xi_4 + \xi_7 - 2\xi_9 + 4\xi_{10} - 4\xi_{12}), \right] \quad (3) \end{aligned}$$

где  $\eta$  – коэффициент вязкости,  $dT/dz = \Delta T/L$  — градиент температуры,  $\xi_1 \div \xi_{12}$  — псевдоскалярные термомеханические константы. Решение уравнений (1) для скорости термомеханического потока получаем в виде:

$$V_x = \xi \pi \Delta T / \eta L, \quad \xi = \xi_1 - \xi_5 + \xi_8 + \xi_9 + 2\xi_{10}. \quad (4)$$

Воспользовавшись экспериментальными данными  $L = 120$  мкм,  $\Delta T = 4.7^\circ\text{C}$ ,  $\eta = 1$  П,  $V = 0.4$  мкм/с, для термомеханического коэффициента получаем  $\xi = 10^{-12} \text{H}^\circ\text{C}$ , которое хорошо согласуется с теоретическими оценками [4].

Таким образом, в настоящей работе впервые обнаружен термомеханический эффект в гибридно-ориентированном нематическом жидком кристалле. Эмпирически получено одно из двенадцати необходимых соотношений между двенадцатью термомеханическими коэффициентами: для их экспериментального измерения необходимо предложить и провести еще одиннадцать независимых экспериментов. Некоторые из них (например, термомеханический эффект в твист-нематике), нам предстоит осуществить в будущем.

## Список литературы

- [1] *Leslie F.M.* // Proc. Roy. Soc. A. 1968. P. 307.
- [2] *Stephen M.J., Straley J.P.* // Rev. Mod. Phys. 1974. V. 46. P. 617.
- [3] *Eber N., Janossy I.* Proceedings of the Fourth Liquid Crystal Conference of Socialist Countries, USSR, Tbilisi. 1981. V. 11. P. 125.
- [4] *Акопян Р.С., Зельдович Б.Я.* // ЖЭТФ. 1984. Т. 11. С. 1660.
- [5] *Brand H.R., Pleiner H.* // Phys. Rev. A. 1987. V. 5. P. 7.
- [6] *Лаврентович О.Д., Насишин Ю.А.* // Укр. физ. ж. 1987. Т. 32 (5). С. 710.