

УДК 532.783

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Р.С. АКОПЯН, Р.Б. АЛАВЕРДЯН, Э.А. САНТРОСЯН,
Ю.С. ЧИЛИНГАРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 11 ноября 1999 г.)

Исследованы термомеханические явления в однородно-ориентированном нематическом жидком кристалле, индуцированные внешними полями. Эффект объясняется возбуждением внешними полями неоднородности ориентации директора, необходимого для возникновения термомеханического эффекта, и заключается в возникновении гидродинамического потока за счет продольного градиента температуры.

1. Термомеханические эффекты в холестерических жидких кристаллах предсказаны и исследованы в работах [1-3]. Эти эффекты связаны с хиральностью холестериков, т. е. с отсутствием в них правой симметрии. В работе [4] предсказаны термомеханические эффекты в нематических жидких кристаллах (НЖК) с неоднородным распределением директора. В работе [5] был отмечен термомеханический эффект в гибридно-ориентированном НЖК.

В настоящей работе обнаружены и исследованы индуцированные внешними (квазистатическими электрическими и световыми) полями термомеханические явления в однородно ориентированном НЖК. Эффект объясняется тем, что выше порога перехода Фредерикса распределение директора НЖК является неоднородным. В присутствии вертикального градиента температуры и неоднородности распределения директора возникает гидродинамический поток.

2. В эксперименте для наблюдения индуцированного внешним электрическим полем термомеханического эффекта использовалась ячейка планарно-ориентированного НЖК 5ЦБ. На нижней подложке было задано планарное граничное условие. Граничное условие для верхней подложки свободное. В результате имеем однородную планарную ориентацию для директора НЖК. Мы использовали стеклянные подложки толщиной 1мм, на которые нанесены электропроводящие покрытия. К подложкам ячейки приложено квазистатическое электри-

ческое поле. Вертикальный температурный градиент в ячейке НЖК был создан двумя регулируемыми термостатами. Визуализация гидродинамических движений производилась путем добавки в НЖК алюминиевого порошка.

В отсутствие квазистатического электрического поля термомеханический эффект, заключающийся в появлении гидродинамического потока в направлении, перпендикулярном градиенту температуры, отсутствовал. При толщине ячейки $L \approx 70$ мкм и перепаде температуры $\Delta T \approx 4,7^\circ\text{C}$ пороговое значение напряжения электрического поля для появления гидродинамического потока составляло $U_{\text{пор}} = 0,25$ В. При увеличении напряжения скорость потока увеличивалась, стремясь к насыщению (рис.1).

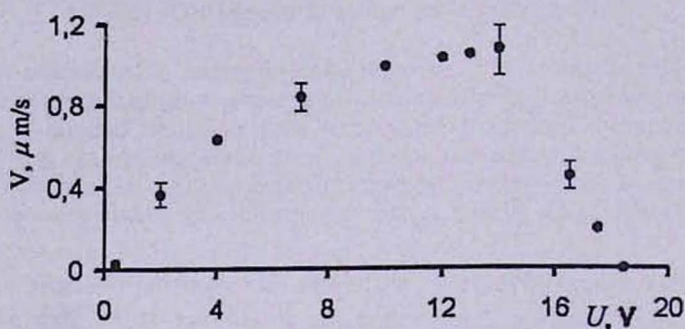


Рис.1. Зависимость скорости потока НЖК от напряжения электрического поля.

Это увеличение связано с возрастанием градиента ориентации директора НЖК. Дальнейшее увеличение U приводит к уменьшению градиента ориентации директора и скорости термомеханического гидродинамического потока до нуля. До установления стационарного потока скорость испытывает осцилляционные изменения, связанные с конкуренцией между переориентациями директора НЖК полем и гидродинамическим потоком.

3. В эксперименте для наблюдения светоиндуцированного термомеханического эффекта использовалась ячейка гомеотропно-ориентированного НЖК 5ЦБ. На нижней подложке было задано гомеотропное граничное условие. Граничное условие для верхней подложки свободное. В результате, при небольших толщинах имеем однородную гомеотропную ориентацию молекул НЖК. Линейно поляризованное излучение второй гармоники $\lambda \approx 0,53$ мкм лазера YAG : Nd^{3+} падало перпендикулярно на слой НЖК. Излучение фокусировалось на ячейку линзой с фокусным расстоянием 25 см. При толщине ячейки 110 мкм пороговая мощность светоиндуцированного перехода Фредерикса

составляла примерно 15 мВт. Выше этого порога директор переориентировался. В соответствии с граничными условиями, переориентация у нижней подложки отсутствовала, а у верхней принимала максимальное значение, прямо пропорциональное интенсивности излучения. Таким образом, лазерное излучение создавало своеобразное гибридное рас-

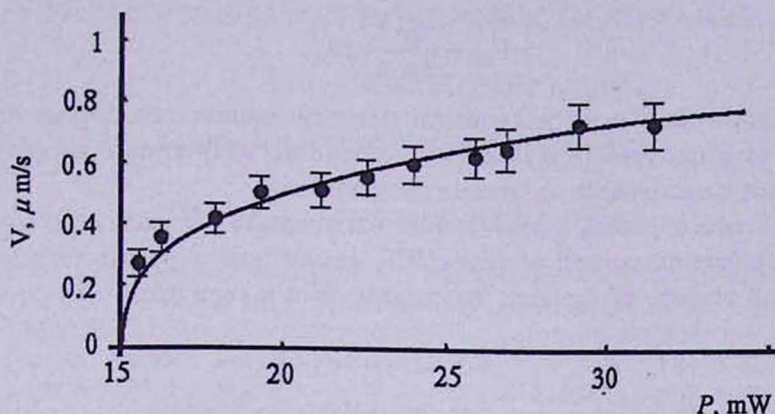


Рис. 2. Зависимость скорости потока НЖК от мощности лазерного излучения.

пределение директора. В такой ячейке в присутствии перепада температуры $\Delta T \approx 5,2^\circ\text{C}$ возникал гидродинамический поток. При увеличении мощности лазерного излучения скорость потока увеличивалась, стремясь к насыщению (рис.2). Это увеличение связано с возрастанием градиента ориентации директора НЖК. Дальнейшее увеличение мощности лазерного излучения привело бы к уменьшению градиента ориентации директора и резкому падению скорости термомеханического гидродинамического потока. Однако при больших интенсивностях, из-за поглощения, в НЖК возникает пузырьковая кавитация, которая мешает наблюдаемому эффекту.

4. Количественный анализ задачи предполагает решение уравнения Навье-Стокса для конкретного вида распределения $\theta(z)$ [6]. Численное решение этого уравнения с граничными условиями $V_x(z=0) = V_x(z=L) = 0$ в термомеханическом одноконстантном приближении для распределения скорости $V_x(z)$ имеет вид, близкий к параболическому с максимумом в центре ячейки. В случае гибридной ячейки этот максимум имеет вид

$$V_{\max} \approx 0.148 \xi \frac{\Delta T}{L(\eta_2 - \eta_1)}. \quad (1)$$

Здесь ΔT – градиент температуры, η_1, η_2 – коэффициенты вязкости Месовича. В ячейке НЖК с исходно однородным распределением директора термомеханический поток отсутствует. Однако при падении на

ячейку линейно поляризованного излучения происходит светоиндуцированный переход Фредерикса, сущность которого заключается в том, что выше некоторого порогового значения мощности излучения $P_{\text{пор}}$ директор НЖК переориентируется на угол θ . Подставляя соответствующее распределение для $\theta(z)$ в уравнение Навье-Стокса и интегрируя, для максимального значения скорости получаем [6]

$$V_{\text{max}} = \frac{\pi \Delta T}{64 L \eta_2} \xi \theta_m.$$

Полученные зависимости скорости гидродинамического потока от перепада температуры ΔT и мощности лазерного излучения P хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

Таким образом, в этой работе мы впервые показали, что в однородно ориентированной ячейке НЖК можно индуцировать термомеханический эффект внешними электрическими и световыми полями.

ЛИТЕРАТУРА

1. F.M.Leslie. Proc. Roy. Soc. A, 307, 359 (1968).
2. M.J.Stephen, J.P.Straley. Rev. Mod. Phys., 46, 617 (1974).
3. N.Eber, J.Janossy. Proceedings of the Fourth LC Conference of Socialist Countries, USSR, Tbilisi. Vol.1, 125 (1981).
4. Р.С.Акопян, Б.Я.Зельдович. ЖЭТФ, 87, 1660 (1984).
5. Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, Э.А.Сантросян и др. Письма в ЖТФ, 23, №17, 77 (1997).
6. Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, Э.А.Сантросян и др. ЖТФ, 69, №4, 122 (1999).

ՋԵՐԱՄԱՍԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՓՈՐՉԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ռ.Ս.ՀԱՎՈՐՅԱՆ, Ռ.Բ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ, Է.Ա. ՍԱՆԹՐՈՍՅԱՆ,
ՅՈՒ.Ս. ՉԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ

Համասեռ կողմնորոշված մեմատիկ հեղուկ բյուրեղում հայտնաբերվել է ջերմամեխանիկական հոսք, մակածված քվազիստատիկ էլեկտրական և լուսային դաշտերով: Հոսքը առաջանում է, երբ դաշտի լարվածությունը գերազանցում է Ֆրեդերիկսի ստատիկ անցման շեմը: Երևույթը բացատրվում է արտաքին դաշտով ուղղորդի կողմնորոշման անհամասեռության գրգռմամբ, որը անհրաժեշտ է ջերմամեխանիկական հոսքի առաջացման համար:

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMOMECHANICAL EFFECTS IN LIQUID CRYSTALS

R.S. AKOPYAN, R.B. ALAVERDIAN, E.A. SANTROSYAN, YU.S. CHILINGARIAN

The external field-induced thermomechanical effects in homogeneously-oriented nematic liquid crystals are investigated. This effect is due to the director reorientation via external fields and is connected with the rise of the hydrodynamical flow due to the longitudinal temperature gradient.