

Гистерезис при светогидродинамической переориентации директора нематического жидкого кристалла

Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, А.С.Варданян, Ю.С.Чилингарян

Обнаружено осцилляционное и гистерезисное поведение директора нематического жидкого кристалла при светогидродинамической переориентации, обусловленной прямым объемным расширением. Обратную связь обеспечивает свет, прошедший через жидкий кристалл, помещенный между скрещенными поляризаторами. Этот свет попадает обратно на жидкий кристалл и поглощается, вызывая объемное расширение. Предложенная теория объясняет указанное поведение директора нематического жидкого кристалла.

Ключевые слова: гистерезис, нематический жидкий кристалл, переориентация директора.

Тот факт, что довольно умеренная поглощенная мощность достаточна для значительной переориентации директора нематического жидкого кристалла (НЖК), был известен давно (см., напр., [1]). Надо было только предложить механизмы превращения поглощенной энергии в энергию упругой ориентации. Два механизма такого рода (термокапиллярный и гравитационный) были предложены в работах [2, 3].

Недавно [4] был обнаружен и исследован экспериментально третий, светогидродинамический (СГД) механизм переориентации директора НЖК световой волной мощностью порядка 10^{-5} Вт. Сущность этого механизма заключается в следующем. Световая энергия, поглощаясь в некотором объеме НЖК, нагревает его, приводя к объемному расширению. Под действием давления расширяющейся жидкости возникает пуазейлевское течение НЖК в капилляре, сообщаемом со светопоглощающей жидкостью, что и обуславливает переориентацию директора.

В настоящей работе обнаружено и экспериментально исследовано осцилляционное и гистерезисное поведение переориентации директора НЖК при изменении интенсивности светового поля, обусловленное конкуренцией между прямой переориентацией директора электрическим полем световой волны и СГД переориентацией. Важная особенность рассматриваемого нами СГД эффекта состоит в том, что угол переориентации директора НЖК пропорционален не просто изменению температуры, а скорости изменения температуры. В этом отношении СГД эффект аналогичен пирозлектрическому эффекту в кристаллах, где возникающий ток пропорционален производной температуры по времени.

В эксперименте излучение аргонового лазера ($\lambda = 0.51$ мкм), проходя через поляризатор, падает на ячейку с гомеотропно ориентированным НЖК толщиной $L = 35$ мкм, вызывая светоиндуцированный переход Фредерикса (см.,

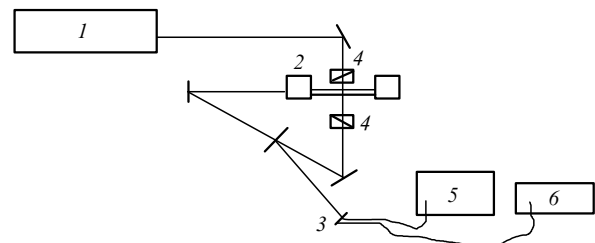


Рис.1. Экспериментальная установка:

1 – Ar³⁺-лазер; 2 – гомеотропно ориентированная НЖК-ячейка; 3 – фотоэлемент ФЕК-1; 4 – скрещенные поляризаторы; 5 – осциллограф С1-77; 6 – самописец.

напр., [5]). Затем свет, проходя через анализатор, скрещенный с поляризатором, отражается от зеркала (с коэффициентом отражения $R = 1$), попадает обратно на НЖК и, поглощаясь им, вызывает СГД переориентацию директора.

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. Для увеличения поглощения в НЖК добавлен краситель родамин 6Ж с концентрацией 10^{-3} моль/л. Коэффициент поглощения смеси для аргонового лазера $\chi \approx 0.2$ см⁻¹. С целью уменьшения фонового теплового воздействия ячейка была помещена в сосуд Дьюара. Скорость изменения температуры в сосуде не превышала 10^{-5} К/с.

При малой интенсивности P лазерного излучения оно не проходит через систему поляризатор – НЖК – анализатор. При интенсивности выше порога перехода Фредерикса $P_1 = 2.2$ кВт/см² свет проходит через систему, отражается от зеркала и попадает на НЖК, вызывая СГД поток (пуазейлевское течение под действием объемного расширения жидкости при поглощении светового излучения). Последний еще больше увеличивает переориентацию директора НЖК, поэтому выше порога перехода Фредерикса пропускание системы $T = P_2/P$ (где P_2 – интенсивность прошедшей через систему волны) увеличивается скачком (см. рис.2). При интенсивностях падающего излучения $P = P_3$ интенсивность прошедшего света, а следовательно, и пропускание испытывают осцилляционные изменения и скачок (см. рис.3).

При более высоких P от $P = P_3 = P_1$ до $P = P_4 = 2.95$ кВт/см² система стабилизирует интенсивность прошед-

Ереванский государственный университет, физический факультет, Армения, 375025 Ереван, ул. Алек Манукяна, 1; эл.почта: arvardan@server.physdep.r.am

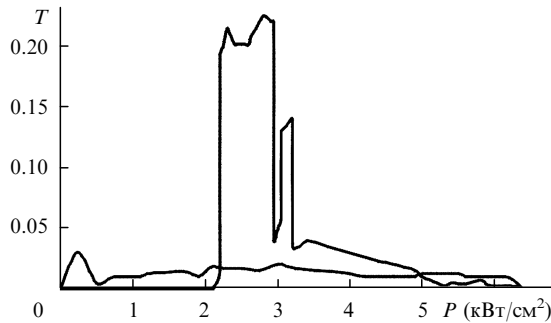


Рис.2. Гистерезисное поведение пропускания системы в зависимости от интенсивности падающего излучения.

шей волны. При интенсивностях падающей волны, больших $P_5 = 3.2$ кВт/см², переориентация молекул в объеме НЖК составляет $\pi/2$ и только к границам ячейки нарушается однородность распределения директора. По этой причине ячейка слабо меняет поляризацию падающего излучения и система поляризатор–НЖК–анализатор слабо пропускает излучение. Следовательно, при $P > P_5$ пропускание системы резко падает. Данное положение сохраняется также при уменьшении интенсивности падающего излучения благодаря тому, что даже при таком слабом пропускании интенсивность прошедшей волны достаточна для реализации сильной СГД переориентации. Это значит, что СГД эффект сохраняется практически до нулевой интенсивности падающего излучения.

Таким образом, имеет место очень необычное гистерезисное поведение пропускания описанной системы. Заметим также, что при скачкообразном изменении пропускания системы во всех точках наблюдаются и временные осцилляции (см. рис.3).

Для теоретического объяснения описываемого гистерезисного эффекта воспользуемся стационарным уравнением СГД переориентации [4]:

$$\frac{d^2\varphi}{dz^2} + \frac{\pi^2}{2L^2} \frac{\alpha\beta V\chi P_{\text{лhd}}}{l\rho C_p K} \cos \frac{\pi z}{L} = 0. \quad (1)$$

Здесь φ – угол переориентации директора; ось z направлена перпендикулярно НЖК-капилляру; $P_{\text{лhd}}$ – интенсивность поглощающегося в НЖК излучения; L и l – толщина и ширина капилляра; α – коэффициент Лесли; β – коэффициент объемного расширения; V – объем, поглощающий свет; χ – коэффициент поглощения; ρ – плотность НЖК; C_p – теплоемкость при постоянном давлении; K – коэффициент упругости Франка. Интенсивность света, прошедшего через систему поляризатор–НЖК–анализатор при нормальном падении, дается формулой [6]

$$P_2 = P \sin^2 \frac{\Delta\Phi}{2}, \quad \Delta\Phi = \Phi_a \frac{\varepsilon_{\perp}^{1/2}}{L} \int_0^L \varphi^2(z) dz, \quad \Phi_a = \frac{\omega}{2c} L \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_{\parallel}}. \quad (2)$$

Здесь $\Delta\Phi$ – разность фаз о- и е-волн на выходе из капилляра; $\varepsilon_a = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ – анизотропия диэлектрической проницаемости НЖК на световой частоте ω ; c – скорость света в вакууме. Интенсивность поглощающегося в НЖК излучения $P_{\text{лhd}} = RP_2$.

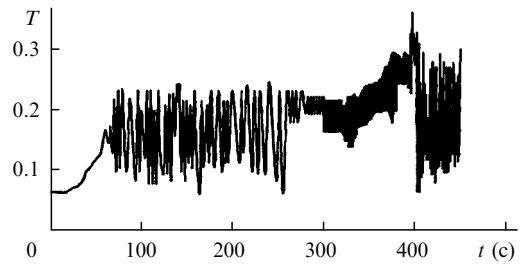


Рис.3. Временные осцилляции пропускания системы в точках его скачкообразного изменения.

Совместное решение уравнений (1) и (2) численным методом дает гистерезисную петлю, соответствующую рис.2. При малых интенсивностях P переориентация отсутствует ($\varphi = 0$), поэтому $\Delta\Phi = 0$ и свет через систему не проходит ($P_2 = 0$). Выше порога светоиндуцированного перехода Фредерикса ($P \geq P_1$, $P_1 = P_{\text{Fr}} = \pi^2 c \varepsilon_{\parallel} K_3 \varepsilon_a^{-1} \varepsilon_{\perp}^{-1/2} \times L^{-2}$, где K_3 – модуль упругости) директор НЖК переориентируется электрическим полем световой волны ($\Delta\Phi \neq 0$) и свет проходит через скрещенные поляризаторы, попадая обратно на НЖК через зеркало.

Поглощение света в НЖК и вызываемое им объемное расширение приводят к дополнительной СГД переориентации директора. При уменьшении интенсивности P лазерного излучения угол переориентации становится равным нулю при интенсивностях P_6 , намного меньших, чем P_1 . Это связано с тем, что интенсивности, необходимые для СГД переориентации, очень малы ($\sim 10^{-5}$ Вт) и при обратном ходе система поляризатор–НЖК–анализатор долгое время остается открытой.

Предлагаемая система может лечь в основу довольно компактного бистабильного устройства. Кроме того, она может стабилизировать прошедшую мощность в большом интервале интенсивностей падающего излучения. Исследуемый эффект может быть использован также для исследования вязкоупругих свойств жидких кристаллов.

Авторы благодарят Э.Шигаряна за оказанную техническую помощь. Работа была выполнена при финансовой поддержке INTAS (грант № 97-1672).

1. Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. *Письма в ЖТФ*, **9**, 1200 (1983).
2. Акопян Р.С., Зельдович Б.Я. *ЖЭТФ*, **86**, 533 (1984).
3. Акопян Р.С., Хосровян Г.Р. *ЖТФ*, **61**, № 11, 16 (1991).
4. Акопян Р.С., Алавердян Р.Б., Оганесян М.Ж., Чилингарян Ю.С. *Оптика и спектроскопия*, **84**, 762 (1998).
5. Золотко А.С., Китаева В.Ф., Кроо Н., Соболев Н.Н., Сухоруков А.П., Чиллаг Л. *ЖЭТФ*, **83**, 1368 (1982).
6. Блинов Л.М. *Электро- и магнитооптика жидких кристаллов* (М., Наука, 1978).

R.S.Akopyan, R.B.Alaverdyan, A.S.Vardanyan, Yu.S.Chilingaryan.
Hysteresis upon light-induced hydrodynamic reorientation of the director of a nematic liquid crystal.

The oscillations and hysteresis of the director of a nematic liquid crystal were observed upon its light-induced hydrodynamic reorientation caused by direct volume expansion. The light propagated through the liquid crystal placed between crossed polarisers provides the feedback. This light falls back on the liquid crystal and is absorbed by producing the volume expansion. A theory is suggested that describes the observed behaviour of the director of the nematic liquid crystal.