

## ОРИЕНТАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ИЗМЕНЕНИЕМ АНИЗОТРОПИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ – ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

А.Г.Дядюша, Т.Я.Марусий, Ю.А.Резников, В.Ю.Решетняк\*),  
А.И.Хижняк

*Институт физики АН Украины,  
252650, Киев, Украина*

\*) *Институт химии поверхности АН Украины, 252650, Киев, Украина*

Поступила в редакцию 19 марта 1992 г.

После переработки 27 мая 1992 г.

Обнаружен новый тип ориентационного эффекта в жидком кристалле – изменение направления планарной ориентации директора при изменении величины и направления анизотропии взаимодействия жидкого кристалла с ограничивающей его поверхностью.

Эффекты переориентации директора в нематических жидких кристаллах (НЖК) широко используются в системах отображения и обработки оптической информации. Хорошо изучен ряд "объемных" эффектов, в которых переориентация директора происходит под воздействием на весь объем ЖК электрического, магнитного или достаточно мощного светового полей<sup>1,2</sup>. Существует принципиальная возможность другого типа ориентационных эффектов, в которых внешние поля действуют не на ЖК, а на ориентирующую его поверхность. Если в результате такого воздействия граничные условия для директора изменятся, то должна произойти его переориентация в новое положение во всем объеме ЖК ячейки. Механизмы изменения граничных условий могут быть различными. Изменение оси легкого ориентирования может происходить, например, при фотоизомеризации молекул ориентанта<sup>3</sup>, или при поляризационно-чувствительных химических реакциях в нем<sup>4</sup>.

В этой статье теоретически предсказан и обнаружен экспериментально один из ряда таких эффектов – пороговое изменение направления планарной ориентации директора НЖК при светоиндуцированном изменении граничных условий.

1. Рассмотрим простую модельную ситуацию. Пусть НЖК помещен между двумя поверхностями  $S_1$  и  $S_2$ , и в первоначальном состоянии внешним, например, магнитным полем, директор в объеме ЖК ориентирован однородно в направлении оси  $OY$ :  $n_0 = (0, 1, 0)$  (рис.1). В результате внешнего воздействия поверхности  $S_1$  и  $S_2$  становятся ориентирующими, и оси легкого ориентирования,  $e_1$  и  $e_2$ , обусловленные анизотропией взаимодействия НЖК с поверхностями, располагаются в плоскости  $XY$  ( $Z=0$  и  $Z=L$ ) и составляют угол  $\psi$  с направлением  $n_0$ . При этом возникает момент силы  $\mu_s$ , действующий на директор в плоскости ориентирующих поверхностей. Если, как обычно, энергия взаимодействия НЖК с ориентирующими поверхностями описывается потенциалом Рапини  $F_s = W_0(n \cdot e)^2$  ( $W_0$  – энергия сцепления)<sup>5</sup>, то  $\mu_s = \partial F_s / \partial \psi \sim \sin 2\psi$ . Появление момента силы должно приводить к беспороговой переориентации директора в направлении  $e$  для всех углов  $\psi$ , кроме  $\psi = 0, \pi/2$ . Углу  $\psi = 0$  соответствует устойчивое положение равновесия директора, а  $\psi = \pi/2$  – неустойчивое.

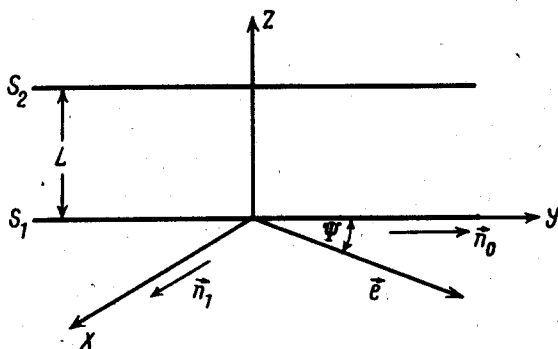


Рис.1

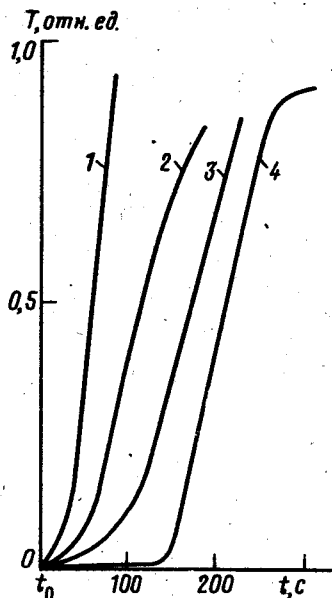


Рис.2

Рис.2. Изменение пропускания ЖК ячейки, помещенной между скрещенными поляризаторами, при облучении поляризованным светом УФ-диапазона. 1 -  $\varphi = 55^\circ$ , 2 -  $\varphi = 35^\circ$ , 3 -  $\varphi = 15^\circ$ , 4 -  $\varphi = 0^\circ$

Рассмотрим подробнее второй случай. Поскольку в исходном состоянии  $n_0 \perp e$ , то  $\mu_e = 0$ , и переход в новую устойчивую планарную ориентацию  $n_1 \parallel e$  может произойти только за счет тепловых флуктуаций директора. Тепловая флуктуация в направлении  $e$  приведет к снижению поверхностной части  $F_s$  упругой энергии системы и одновременному росту объемной части  $F_v$  упругой энергии. Условие переориентации директора будет определяться балансом изменений  $F_s$  и  $F_v$  при появлении тепловой флуктуации. Сравнение вкладов поверхностной и объемной частей упругой энергии следует проводить для нижайших флуктуационных мод, так как они наиболее чувствительны к изменениям  $F_s$ .<sup>6</sup>

Условие перехода директора в новое положение равновесия следует из условия неограниченного роста флуктуаций  $\delta n(z)$ , выражение для пространственного спектра которых в ограниченной ячейке с конечным значением энергии сцепления было получено нами в<sup>6</sup> (см. (10) из этой работы). Воспользовавшись этим выражением с учетом того, что в нашем случае параметр сцепления  $\epsilon = W_0 L / K$  - отрицателен, ( $L$  - толщина слоя НЖК,  $K$  - константа его упругости) получаем, что флуктуация неограниченно возрастает при

$$2 + \frac{2\epsilon_x}{\epsilon_x^2 + t_x^2} + \frac{1}{(\epsilon_x^2 + t_x^2)t_x} [(t_x^2 - \epsilon_x^2) \sin 2t_x - 4t_x \epsilon_x \cos 2t_x] = 0, \quad (1)$$

где  $t_x = q_x L$  является решением уравнения

$$\operatorname{tg} t_x = 2t_x \epsilon_x / (t_x^2 - \epsilon_x^2), \quad (2)$$

$q_x(z)$  – волновой вектор флуктуации. Численное решение (2) дает критическое значение параметра сцепления  $\epsilon = -1,16$ , при котором директор переориентируется в новое устойчивое положение, с граничным условием  $n_1 = (1, 0, 0)$ . Это означает, что переход  $n_0 \rightarrow n_1$  имеет пороговый характер, так как происходит только при достижении определенного значения энергии сцепления  $W_c = -1,16K/L$  в направлении, заданном внешним воздействием. Для типичных значений параметров  $K = 10^{-6}$  дин,  $L = 10$  мкм это соответствует относительно малой энергии сцепления  $W = 1,6 \cdot 10^{-3}$  эрг/см<sup>2</sup>.

Рассмотренная геометрия является простейшей из возможных для осуществления пороговой переориентации директора при изменении граничных условий. Этот эффект может наблюдаться в случае различных значений  $W_{x_1}$  и  $W_{x_2}$  на поверхностях  $S_1$  и  $S_2$ , существовании начальной энергии сцепления  $W_{y_1}$  и  $W_{y_2}$  и т.п. Как показали расчеты, учет этих параметров не приводит к качественно новым результатам, изменяет лишь пороговое значение энергии сцепления.

2. В качестве среды для наблюдения поверхностного ориентационного эффекта был выбран поливинилциннамат (ПВЦ) – изотропный полимерный материал, в котором при облучении поляризованным светом УФ диапазона наводится оптическая анизотропия<sup>7</sup>. В работе<sup>4</sup> нами было показано, что используемая в качестве ориентанта облученная пленка ПВЦ для ряда нематиков и стандартных нематических смесей задает ось легкого ориентирования  $e_{yф}$ , перпендикулярную вектору поляризации облучающего света  $E_{yф}$ .

Основные эксперименты были проведены нами при комнатной температуре в комбинированных ячейках, собранных из покрытой изотропной пленкой ПВЦ кварцевой подложки и подложки с планарно ориентирующим микрорельефом (например, покрытием из ПАК лака), либо кварцевой подложки без покрытия. В первом случае однородная планарная ориентация слоя ЖК,  $n_0 = (0, 1, 0)$ , задавалась подложкой с микрорельефом, во втором – создавалась по известной методике медленного охлаждения ЖК из изотропного состояния в мезофазу в магнитном поле, параллельном плоскости подложек<sup>8</sup>. Ячейки, толщиной  $L = 10 - 50$  мкм, заполнялись стандартными смесями НЖК-807, НЖК-1285.

Облучение заполненных ячеек со стороны подложки с ПВЦ ориентантом при разных углах  $\varphi = 90^\circ - \psi$  между  $E_{yф}$  и  $n_0$  во всех случаях, кроме геометрии  $E_{yф} \perp n_0$  ( $n_0 \parallel e_{yф}$ ), приводило к переориентации директора в облученных областях. Новое направление директора вблизи поверхности с ПВЦ ориентантом совпадало с наведенной осью легкого ориентирования для толстых ( $L = 50$  мкм) и составляло угол  $\psi' < \psi$  для тонких ( $L = 10$  мкм) ячеек. Зависимость нового направления директора от типа второй поверхности и угла между  $n_0$  и  $E_{yф}$  для различных образцов ЖК ячеек требуют дальнейшего изучения. Однако кинетика переориентации не меняется от образца к образцу. Изменение пропускания ячейки, помещенной между скрещенными поляризаторами, отражающее кинетику переориентации директора, контролировалось в процессе облучения и показано на рис.2. Видно, что для всех углов  $\varphi \neq 0$  переориентация начинается практически одновременно с временем начала облучения  $t_0$ . Если же директор и наводимая ось легкого ориентирования ортогональны, то переориентация начинается через некоторое время после  $t_0$ . Это время меняется от образца к образцу в пределах примерно  $10 \div 150$  с, зависит от точности юстировки, качества начальной ориентации и сокращается с увеличением интенсивности облучения. Время накопления анизотропии в пленке при

использованных мощностях облучения значительно больше характерных времен переориентации директора, следовательно задержка переориентации при  $e_{yф} \perp n_0$  означает, что процесс начинается только при достижении некоторого критического значения энергии сцепления, то есть имеет пороговый характер.

Необходимо отметить, что впервые пороговую переориентацию директора в геометрии  $e_{yф} \perp n_0$  мы наблюдали в ячейке, собранной из двух подложек, покрытых ПВЦ-ориентантом (ПВЦ-ячейка), планарно ориентированной магнитным полем. Выбор для экспериментов комбинированной ячейки обусловлен тем, что в этом случае параметры  $e$  и  $W_0$  можно определить для обеих ориентирующих поверхностей, в отличие от ПВЦ-ячейки, в которой для поверхности, облучаемой через слой ЖК, эти параметры трудно проконтролировать. Неопределенность связана с ослаблением мощности и изменением состояния поляризации облучающего света при его распространении через слой ориентированного ЖК.

3. Обнаруженный ориентационный эффект представляет большой практический интерес, так как предоставляет возможность управления направлением планарной ориентации директора при изменении поляризации и мощности светового поля. Кроме того, эффект может быть положен в основу новых методов исследования параметров взаимодействия НЖК с ориентирующими поверхностями, определения энергии сцепления. В этом "поверхностном" ориентационном эффекте, в отличие от обычных объемных эффектов, директор поворачивается на ориентирующей поверхности на большие углы, поэтому по кинетике переориентации возможно определение, например, коэффициентов поверхностной ориентационной вязкости, константы, на существование которой обращалось внимание в <sup>9</sup>.

Авторы признательны В.М.Козенкову и В.Г.Чигринову за ценные обсуждения и предоставление поливинилциннамата.

1. Л.М.Блинов, Электро- и магнито-оптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978.
2. Б.Я.Зельдович, Н.В.Табиран, Ю.С.Чилингарян, ЖЭТФ 81, 72 (1981).
3. K.Ishimura, Y.Suzuki, T.Seki et al., Jap. J. Appl. Phys. 28, Suppl.28-3, 289 (1989).
4. А.Г.Дядюша, В.М.Козенков, Т.Я.Марусий и др., УФЖ 36, 1059 (1991).
5. A.Rapini, and M.Papolar, J. Phys. Colloid. 30, 54 (1969).
6. Т.Я.Марусий, Ю.А.Резников, Решетняк и др., ЖЭТФ 91, 851 (1986).
7. Е.Д.Квасников, В.М.Козенков, В.А.Барачевский, ДАН СССР 27, 633 (1977).
8. Ж.Коньяр, Ориентация нематических жидких кристаллов и их смесей. Минск: Университетское из-во, 1986.
9. М.Е.Becker, R.A.Kilian, B.B.Sosnowski et al., Mol. Cryst. Liq. Cryst. 132, 167 (1986).