

УДК 532.783

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ГИБРИДНО ОРИЕНТИРОВАННОМ НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

Г.Е. СЕФЕРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 27 ноября 2000 г.)

В гибридно ориентированном нематическом жидком кристалле теоретически исследован электромеханический эффект, связанный с неоднородностью распределения директора. Благодаря этому эффекту, приложенное извне электрическое поле приводит к появлению гидродинамического потока в направлении, перпендикулярном электрическому полю. Предложен новый эксперимент для оценки величины этого эффекта.

### 1. Введение

В настоящее время общеизвестно, что жидкие кристаллы (ЖК) обладают высокой чувствительностью к таким внешним воздействиям, как электрические и магнитные поля. Хорошо известно, например, что тонкий слой нематика с отрицательной анизотропией диэлектрической проницаемости, помещенный между стеклянными пластинками с проводящими покрытиями, при наложении достаточно большого постоянного напряжения образует регулярную конвективную структуру доменов Капустина-Вильямса [1-5]. При еще более высоких напряжениях (порядка десятков вольт) регулярная картина переходит в турбулентную. Пороговое напряжение для возникновения регулярной структуры обычно составляет несколько вольт и не зависит от толщины образца. Это явление получило название электрогидродинамической неустойчивости (ЭГДН).

Подробное изучение электрогидродинамических эффектов было вызвано прикладным значением электрооптических эффектов в системах отображения информации. Однако отдельные вопросы комбинированных электрогидродинамических эффектов еще не рассмотрены до конца.

В работе [6], в частности, был предсказан новый механизм возбуждения электрическим полем гидродинамических потоков в деформированных нематиках. Сущность этого механизма заключается в том,

что при наложении извне квазистатического электрического поля к неоднородно ориентированным нематикам в них возникают гидродинамические течения в направлении, перпендикулярном этому полю. Соображения пространственной симметрии показывают, что для их реализации необходима пространственная неоднородность невозмущенного распределения директора.

В настоящей работе теоретически рассмотрен новый, электромеханический эффект в гибридно ориентированном НЖК, отвечающий гомеотропному и планарному граничным условиям на подложках (электродах) ячейки. Приложенная разность потенциалов приводит к появлению гидродинамического течения нематика в направлении, перпендикулярном электрическому полю. Решением гидродинамического уравнения движения НЖК найдены основные зависимости максимальной скорости течения НЖК в описанной ячейке от параметров системы.

## 2. Электромеханическое течение НЖК

Рассмотрим ячейку НЖК, имеющую так называемую гибридную ориентацию (рис.1). Нормаль к стенкам ячейки выберем вдоль оси  $z$  и будем считать, что при  $z=0$  граничное условие на стенке задает гомеотропную ориентацию,  $n(z=0) = e_x$ , а при  $z=L$  - планарную,  $n(z=L) = e_x$ . Здесь  $L$  - толщина ячейки,  $e_x, e_y, e_z$  - единичные орты, направленные по координатным осям,  $n$  - директор: единичный вектор, направленный по преимущественному направлению ориентации молекул НЖК. Предположим также, что ячейка НЖК имеет достаточно большую протяженность в направлении  $y$ , так что пространственные изменения величин в этом направлении можно не учитывать. Тогда в одноконстантном приближении (по константам Франка) распределение директора имеет вид

$$n_x = \sin\theta(z), \quad n_y = 0, \quad n_z = \cos\theta(z), \quad (1)$$

где  $\theta(z) = \pi z / 2L$ .

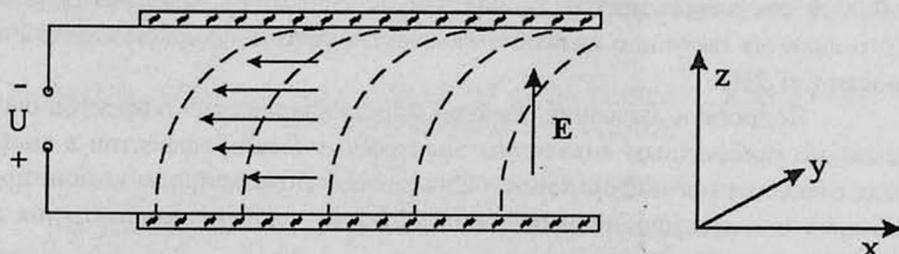


Рис.1. Гибридная ячейка НЖК, к подложкам которой приложена статическая разность потенциалов.

Пусть к подложкам ячейки приложена статическая разность потенциалов  $U \equiv \Delta\varphi = \varphi(z=L) - \varphi(z=0)$ . (Здесь мы учли тот факт, что задача однородна по направлениям  $x$  и  $y$ , и потому все величины зависят только от  $z$ .) Такая разность потенциалов создает в НЖК электрическое поле  $E$ , направленное по  $z$  вдоль вертикали, абсолютную величину которого приблизительно можно написать в виде  $E \approx U/L$ . Приложенное электрическое поле приводит к появлению электромеханических сил, вызывающих течение НЖК в направлении, перпендикулярном  $E$ . Такое гидродинамическое движение описывается уравнением Навье-Стокса [6], которое в стационарном режиме ( $\partial/\partial t = 0$ ) имеет вид

$$\partial\sigma_{ik}/\partial x_k = 0, \quad \sigma_{ik} = -p\delta_{ik} + \sigma'_{ik} + \sigma^E_{ik}. \quad (2)$$

Здесь  $p$  — давление,  $\sigma'_{ik}$  — тензор вязких напряжений, а  $\sigma^E_{ik}$  есть тот новый член, который и обуславливает описанный электромеханический эффект:

$$\sigma^E_{ij} = \alpha^{(E)}_{ijkp} E_k (\nabla_i n_p), \quad (3)$$

$\alpha^{(E)}_{ijkp}$  — электромеханический тензор-коэффициент (см. [6]).

После нескольких математических преобразований, окончательно для линейной скорости течения получаем следующее простое дифференциальное уравнение:

$$\eta \frac{d^2 v}{dz^2} = \frac{\pi^2 \alpha E}{4L^2} (6 \sin(2\theta) - 3 \sin(4\theta) - 4 \cos^2 \theta \sin(2\theta)). \quad (4)$$

Здесь  $\eta$  — коэффициент вязкости НЖК,  $v = v_x(z)$  —  $x$ -компонента скорости течения,  $\alpha$  — электромеханическая константа в одноконстантном приближении ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_{10} \equiv \alpha$ ) [6].

Необходимо написать еще граничные условия к уравнениям движения НЖК. Эти условия должны соответствовать тому, что прилегающие к твердым подложкам слои жидкости полностью задерживаются, как бы прилипают к ней. Соответственно этому граничные условия к уравнениям движения НЖК состоят в требовании обращения в нуль скорости жидкости на неподвижных твердых поверхностях:

$$v(z=0) = v(z=L) = 0. \quad (5)$$

Уравнение (4) легко решается аналитически и в результате получается следующее выражение для скорости  $v$ :

$$v(z) = \frac{\alpha}{\eta} E \left( -\sin 2\theta + \frac{1}{4} \sin 4\theta \right). \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), это распределение имеет вид, близкий к параболическому, достигая наибольшей величины примерно в середине слоя:  $v_{\max} \approx -1.107\alpha\Delta\varphi/\eta L$ ,  $z_{\max} \approx 0.62L$ . Как видно из приведенной формулы, максимальное значение скорости  $v_{\max}$  прямо пропорционально приложенной разности потенциалов и обратно пропорционально толщине ячейки.

Экспериментальное осуществление этого эффекта и измерение величины скорости гидродинамического потока позволит оценить величину электромеханического коэффициента.

### 3. Заключение

Таким образом, в настоящей работе мы исследовали электромеханический эффект в так называемой гибридной ячейке НЖК, когда к подложкам ячейки приложена статическая разность потенциалов. Здесь надо отметить, что гибридная ориентация очень удобна для изучения этого эффекта, так как из вида тензора электромеханических напряжений видно, что даже при пространственно однородном электрическом поле специфическая ориентация молекул НЖК обеспечивает возникновение электромеханического потока. Специальные граничные условия директора гибридной ячейки обеспечивают исходное неоднородное распределение директора (в данном случае гибридная ориентация), что является необходимым для реализации данного механизма.

Кстати, из вида тензора электромеханических напряжений (3) видно и качественное отличие электромеханических эффектов от ЭГДН: в то время как ЭГДН – явление пороговое и может возникнуть в однородно ориентированных НЖК, электромеханический эффект не имеет порога возникновения и возможен только в деформированных нематиках, причем это явление можно наблюдать только при постоянных или переменных полях с низкой частотой: при высоких частотах электрического поля электромеханические потоки не успевают следить за изменениями поля.

Отметим, что по аналогии с уже известными термомеханическими эффектами (см. [7,8]) предполагается, что здесь также возможны осцилляционные режимы движения НЖК, когда при той же ориентации НЖК электрическое поле направлено вертикально вниз.

Обсужденное явление надо учитывать также как сопутствующий эффект при рассмотрении других комбинированных электрогидродинамических эффектов.

Автор выражает глубокую благодарность профессору Р.С.Акопяну за постановку задачи и постоянный интерес к работе.

Данная работа выполнена при поддержке гранта INTAS 97-1672.

## ЛИТЕРАТУРА

1. P.G. de Gennes. The Physics of Liquid Crystals, 3<sup>rd</sup> ed. Oxford, Clarendon Press, 1982.
2. Л.М.Блинов. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1978.
3. А.П.Капустин. Экспериментальные исследования жидких кристаллов. М., Наука, 1978.
4. С.Чандрасекар. Жидкие кристаллы. М., Мир, 1980.
5. С.А.Пикин. Структурные превращения в жидких кристаллах. М., Наука, 1981.
6. H.R.Brand, H.Pleiner. Phys. Rev. A, 35 (7), 3122 (1987).
7. Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, Э.А.Сантросян, Ю.С.Чилингарян. Письма в ЖТФ, 23 (17), 77 (1997).
8. Р.С.Акопян, Р.Б.Алавердян, Э.А.Сантросян, С.Ц.Нерсисян, Ю.С.Чилингарян. Письма в ЖТФ, 25 (6), 71 (1999).

### ԷԼԵԿՏՐԱՍԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹ ՀԻԲՐԻԴԱՅՆՈՐԵՆ ԿՈՂԱՆՈՐՈՇՎԱԾ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՈՒՄ

Հ.Ե. ՄԵՖԵՐՅԱՆ

Հիբրիդայնորեն կողմնորոշված մեմատիկ հեղուկ բյուրեղում տեսականորեն հետազոտված է էլեկտրամեխանիկական երևույթ, որը մասնավորապես կապված է դիրեկտորի անհամասեռ բաշխման հետ: Այդ երևույթի շնորհիվ, արտաքինապես կիրառված էլեկտրական դաշտը հանգեցնում է դաշտին ուղղահայաց ուղղությամբ հիդրոդինամիկ հոսքի առաջացման: Առաջարկված է մոր էքսպերիմենտ, որը թույլ կտա չափել այդ էֆեկտի մեծությունը:

### ELECTROMECHANICAL EFFECT IN A HYBRIDLY ALIGNED NEMATIC LIQUID CRYSTAL

H.YE. SEFERYAN

An electromechanical effect in a hybridly aligned nematic liquid crystal related specifically to the inhomogeneity in the director distribution is investigated theoretically. Due to this effect, an external electric field leads to the appearance of hydrodynamic fluxes in the direction perpendicular to this field. We propose a new experiment for estimation of the magnitude of this effect.