

05; 09; 11; 12

ДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ОРИЕНТАЦИЮ НЕМАТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

© В.Э.Эпштейн, Э.М.Эпштейн

Рассматривается влияние высокочастотного электрического поля на ориентацию неполярных молекул нематического жидкого кристалла на поверхности подложки. Электрическое поле параллельно подложке, взаимодействие молекулы с подложкой описывается потенциалом Рапини-Папуляра. Используется метод усреднения Капицы. При исходной (в отсутствие поля) гомеотропной ориентации эта ориентация с ростом амплитуды поля оказывается неустойчивой, а устойчивой становится планарная ориентация; существует также промежуточная область полей, где устойчивы обе ориентации, но одна из них метастабильна.

В последние годы появился ряд работ (см., например, [1-4] и цитированную там литературу), посвященных динамическим ориентационным эффектам на границе между жидким кристаллом (ЖК) и подложкой, в частности ориентационным фазовым переходам гомеотропной и планарной (или наклонной) конфигурациями, происходящим при изменении температуры или структуры подложки.

В настоящей работе мы рассмотрим влияние внешнего высокочастотного электрического поля на ориентацию молекул нематического ЖК на поверхности подложки. Известно, что воздействие на систему (маятник, диполь) постоянной силы, определяющей некоторую собственную частоту колебаний, и переменной силы, частота которой превышает эту собственную частоту, приводит к ряду интересных следствий: "опрокидыванию" потенциального рельефа, в результате чего неустойчивые состояния становятся устойчивыми и, наоборот, появлению новых точек равновесия и т. д. [5-11]. Такие бифуркации зависят от конкретного вида потенциала постоянной силы и амплитуды переменной силы.

Воспользуемся моделью плоского маятника, предложенной Ливом и Тейлором [1-3]. Будем рассматривать молекулу ЖК на поверхности подложки как однородный толстый жесткий стержень, прикрепленный одним концом к плоской поверхности подложки. Помимо факта закрепления конца молекулы на подложке имеет место взаимодействие ме-

жду молекулой и подложкой, описываемое энергией сцепления [12]

$$W(\theta) = -(W_0/2) \cos^2 \theta, \quad (1)$$

где θ — угол отклонения молекулы от нормали к подложке. При $W_0 > 0$ в отсутствие внешних полей энергетически выгодна гомеотропная ориентация молекулы ($\theta = 0$), при $W_0 < 0$ — планарная ориентация ($\theta = 90^\circ$).

Молекула ЖК предполагается неполярной, высокочастотное поле $E(t) = E_0 \sin \Omega t$ направлено параллельно подложке.

Уравнение движения молекулы имеет вид

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{W_0}{8J} - \frac{\alpha E_0^2}{4J} \sin^2 \Omega t \right) \sin 2\theta = 0, \quad (2)$$

где J — момент инерции молекулы относительно оси, проходящей через центр молекулы перпендикулярно ее длине; α — анизотропия поляризуемости молекулы.

Применяя метод усреднения Капицы [5,13], получаем уравнение для усредненной по быстрым осцилляциям частоты $\sim \Omega$ угловой переменной $\langle \theta \rangle$

$$\frac{d^2\langle \theta \rangle}{dt^2} = -U'(\langle \theta \rangle), \quad (3)$$

где

$$U(\theta) = \frac{\Omega^2}{16} \left[(A - B) \cos 2\theta - \frac{A^2}{128} \cos 4\theta \right] \quad (4)$$

— эффективный потенциал, $A = \alpha E_0^2 / J \Omega^2$, $B = W_0 / J \Omega^2$.

Приведем результаты анализа положений равновесия в этом потенциале и их устойчивости. При этом необходимо иметь в виду, что собственная частота (малых) колебаний молекулы в поле с потенциалом $(I)\omega_0 = (W_0/4J)^{1/2}$ должна быть мала по сравнению с частотой внешнего поля Ω (это есть условие применимости метода Капицы), т. е. $B \ll 1$. При $J = 10^{-43}$ кг · м², $W_0 = 10^{-23}$ Дж [3] имеем $\omega_0 = 5 \cdot 10^9$ с⁻¹. Если выбрать $\Omega = 5 \cdot 10^{10}$ с⁻¹ (при этом $B = 4 \cdot 10^{-2}$), при $\alpha = 10^{-28}$ м³ значению $A = 1$ будет соответствовать напряженность поля $E = 1.5 \cdot 10^8$ В/м. Поэтому реально имеет смысл ограничиться случаем $A \ll 1$, $B \ll 1$.

При $B < 0$ планарная ориентация ($\theta = 90^\circ$), устойчивая в отсутствие высокочастотного поля (при $A = 0$), сохраняет устойчивость и при $A \neq 0$.

При $B > 0$, $0 \leq A < B - B^2/32$ устойчива только гомеотропная ориентация ($\theta = 0^\circ$), при $A > B + B^2/32$ — только планарная ориентация. В промежуточной области $B - B^2/32 < A < B + B^2/32$ устойчивы обе ориентации, причем при $B - B^2/32 < A < B$ метастабильна (соответствует более высокой энергии) планарная, а при $B < A < B + B^2/32$ — гомеотропная ориентация.

При указанных выше значениях параметров переключению ориентации соответствует напряженность высокочастотного электрического поля $E_0 - (W_0/\alpha)^{1/2} - 10^7$ В/м.

До сих пор рассматривалась чисто механическая задача без учета диссипации. При введении в исходное уравнение $(2/\tau)(d\theta/dt)$ (τ — время релаксации) в рассматриваемом случае $A \ll 1$, $B \ll 1$ изменения сводятся к перенормировке параметров $A \rightarrow \bar{A} \equiv A [1 + (\Omega\tau)^{-2}]^{-1}$, $B \rightarrow \bar{B} \equiv [1 + (\Omega\tau)^{-2}]^{-1}$.

Таким образом, под действием высокочастотного электрического поля поверхностная ориентация ЖК может претерпевать скачкообразные изменения типа фазового перехода 1-го рода. Наличие метастабильных состояний должно проявляться в гистерезисной зависимости ориентации от напряженности электрического поля.

Действие высокочастотного электрического поля на поверхностную ориентацию ЖК дает дополнительный механизм ориентационной оптической нелинейности ЖК [14]. Эта задача требует отдельного рассмотрения.

Список литературы

- [1] Lin B., Taylor P.L. // Phys. Lett. A. 1993. V. 172. P. 281-284.
- [2] Lin B., Taylor P.L. // Liquid Cryst. 1994. V. 16. P. 831-843.
- [3] Lin B., Taylor P.L. // J. Phys. (France), Ser. II. 1994. T. 4. P. 825-836.
- [4] Alexe-Ionescu A.L., Barbero G., Gabbasova Z. et al. // Phys. Rev. E. 1994. V. 49. P. 5354-5358.
- [5] Капица А.Л. // УФН. 1951. Т. 44. С. 7-20.
- [6] Магнус К. Колебания. М.: Мир, 1982. 304 с.
- [7] Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
- [8] Шмелев Г.М., Эпштейн В.Э. Изв. вузов. Физика. 1990. Т. 33. № 10. С. 118-119.
- [9] Боровский А.В., Коробкин В.В., Мухтаров Ч.К. // ЖЭТФ. 1991. Т. 99. С. 715-720.
- [10] Боровский А.В., Коробкин В.В., Мухтаров Ч.К. // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. С. 1455-1462.
- [11] Боровский А.В., Коробкин В.В., Мухтаров Ч.К. // ЖЭТФ. 1993. Т. 103. С. 1959-1969.

- [12] *Rapini A., Paroulat M.* // J. Phys. (France). Coll. 1969. T. 30. P. C4.
[13] *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Механика. М.: ГИФМЛ, 1958. 208 с.
[14] *Зельдович Б.Я., Табирян Н.В.* // УФН. 1985. Т. 147. С. 633-674.

Hewlett-Packard Russia
Москва

Поступило в Редакцию
4 августа 1995 г.
В окончательной редакции
11 апреля 1996 г.
