

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ НЕМАТИКА

Дж. Барберо^{*}, А.К. Звездин

Исследованы индуцированные электрическим (или магнитным) полем поверхностные фазовые переходы в слое нематика с различным характером зацепления молекул на поверхности. Тип фазовых переходов зависит от знака константы поверхностной анизотропии K_{2s} . При $K_{2s} > 0$ переориентация молекул происходит путем двух фазовых переходов 2-го рода с промежуточной скрученной угловой фазой. При $K_{2s} < 0$ фазовая диаграмма имеет линии 1-го и 2-го родов и трикритическую точку.

В последние годы активно исследуются поверхностные свойства жидких кристаллов (ЖК). Интерес к этой проблеме частично объясняется практическими соображениями, так как явления на поверхности раздела жидкий кристалл — твердое тело играют важную роль в функционировании ЖК приборов отображения информации и пространственно-временных модуляторов света.

Ориентационные фазовые переходы на границе ЖК — подложка исследовались в последние годы теоретически и экспериментально в ряде работ /1-6/.

В работе /7/ обнаружено, что ориентация директора нематика \mathbf{n} ($n^2 = 1$) на поверхности стеклянной пластинки с нанесенной на нее пленкой SiO_2 (напыленной под определенным углом падения ионов) может изменяться в широком интервале углов в зависимости от толщины пленки SiO_2 . В работе /2/ предложены некоторые "химические" механизмы управления ориентацией директора на поверхности подложки. Важнейшей характеристикой поверхности раздела с этой точки зрения является поверхностная энергия, удерживающая директор в определенном направлении относительно нормали к подложке.

Для описания наклонных ориентаций директора и переходов от "параллельной" ($\theta_s = \pi/2$) к "перпендикулярной" ($\theta_s = 0$) ориентации используется следующее выражение для энергии поверхностной анизотропии /4/:

$$K_s(\theta) = K_{1s} \cos^2 \theta_s + K_{2s} \cos^4 \theta_s, \quad (1)$$

где полярный угол θ_s директора \mathbf{n} отсчитывается от нормали к подложке (оси z). Такая же форма энергии анизотропии используется для описания спин-переориентационных фазовых переходов в

* Туринский политехнический институт, Италия.

магнитных средах /8/. Спонтанные ориентационные фазовые переходы в нематиках с подобной зависимостью $K_s(\theta)$ рассмотрены в /4/. Для более детального изучения поверхностной анизотропии весьма перспективно использовать индуцированные ориентационные переходы, т.е. фазовые переходы Фредерикса в электрическом или магнитном поле. Изучению таких фазовых переходов и соответствующих фазовых диаграмм посвящено настоящее сообщение.

Рассмотрим слой нематика толщиной d , свободную энергию которого представим в приближении одной упругой константы ($K_1 = K_2 = K_3 = K$) /9/

$$F = \int dz \{ K(\nabla\theta)^2 - \epsilon_a E^2 \cos^2 \theta / 2 + K_s(\theta) \}, \quad (2)$$

где $E = (0, 0, E)$ — электрическое поле, ϵ_a — анизотропная часть диэлектрической проницаемости среды (мы полагаем $\epsilon_a > 0$). Полярный угол θ определяет ориентацию директора n в объеме и отсчитывается от оси z . Азимутальный угол предполагается зафиксированным. Здесь для определенности рассматриваются переходы в электрическом поле, хотя результаты полностью применимы и для магнитного поля.

Для определения равновесных распределений ориентации директора, т.е. $\theta(z)$ нужно обратиться к исследованию уравнения Эйлера — Лагранжа функционала (2)

$$\begin{aligned} K \partial^2 \theta / \partial z^2 - \epsilon_a E^2 \sin \theta \cos \theta &= 0, \\ \partial \theta / \partial z \Big|_{z=0} &= 0, \\ K \partial \theta / \partial z \Big|_{z=d/2} &= - \partial K_s / \partial \theta_s. \end{aligned} \quad (3)$$

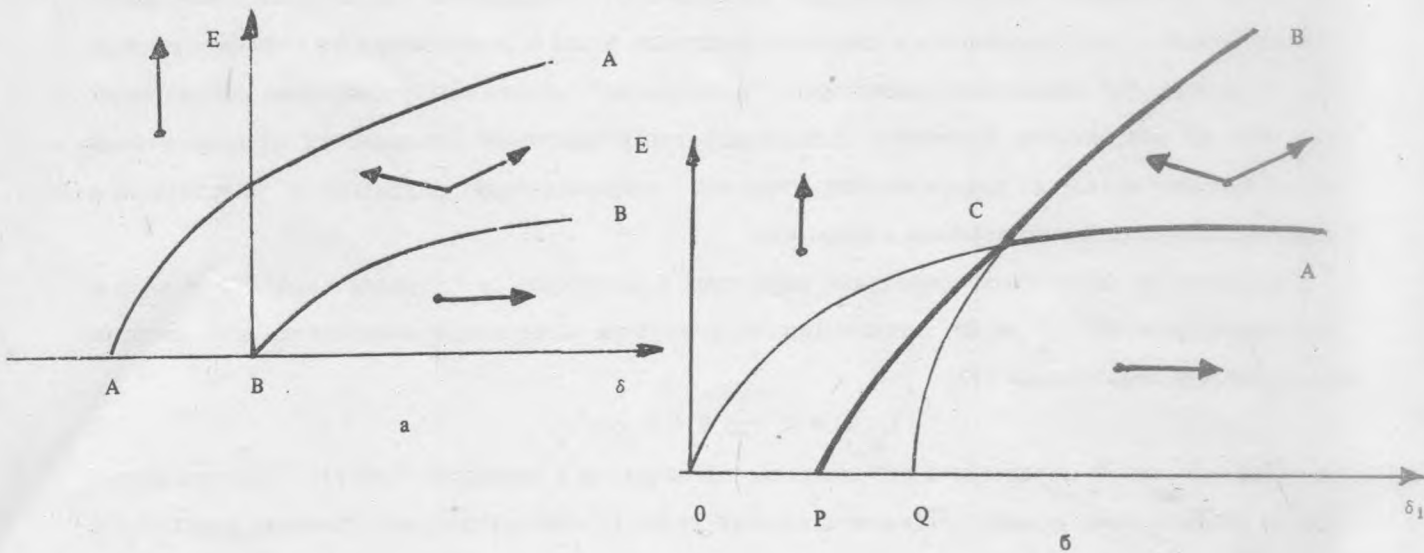


Рис. 1. Фазовые диаграммы нематика: а) $K_{2s} > 0$, б) $K_{2s} < 0$.

Мы рассматриваем симметричную структуру, т.е. считаем, что граничные условия при $z = d/2$ и $z = -d/2$ одинаковы, поэтому естественно считать, что распределение $\theta(z)$ является четной функцией, отсюда следует граничное условие (3).

Очевидно, что существуют три решения уравнения (3), т.е. три равновесные фазы системы. Им соответствуют определенные области на фазовой диаграмме (E, δ_1) , где δ_1 — нормированная константа поверхностной анизотропии: $\delta_1 = K_{1s} d/K$.

Естественно определить зависимость $\delta_1(T)$ вблизи точки инверсии знака K_{1s} в виде $\delta_1 = a(T_1 - T)/T_1$, тогда фазовые диаграммы (E, δ_1) можно перестроить в фазовые диаграммы на плоскости (E, T) .

Фазовые диаграммы (E, δ_1) изображены на рис. 1. Существуют три фазы: две коллинеарные (А и В) и угловая (С), которые определяются уравнениями

$$A: \theta = \pi/2,$$

$$B: \theta = 0,$$

$$C: 0 < \theta < \pi/2.$$

Рассмотрим отдельно два случая $K_{2s} > 0$ и $K_{2s} < 0$. В первом случае (рис. 1а) все переходы между фазами являются переходами 2-го рода. Линии AA' и BB' определяются соответственно парами уравнений:

$$E_{c1} = (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} V_1,$$

$$V_1 \operatorname{tg} V_1 = \delta_1,$$

$$E_{c2} = (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} V_2,$$

$$V_2 \operatorname{tg} V_2 = \delta_1 + 2\delta_2,$$

где $\delta_1 = K_{1s} d/K$, $\delta_2 = K_{2s} d/K$.

Во втором случае линии потери устойчивости коллинеарных фаз имеют точку пересечения (точка C^- на рис. 1б). Это означает, что переход А — В ($\theta = 0 \rightarrow \theta = \pi/2$) происходит как фазовый переход 1-го рода при $\delta_1 < \delta^*$ (или $T > T^*$, где T^* — трикритическая точка).

В области $\delta_1 > \delta^*$ переход А — В происходит через угловую фазу, т.е. так же, как и в случае $K_{2s} > 0$. Здесь мы имеем непрерывную переориентацию с двумя точками фазового перехода 2-го рода. В области $\delta_1 < \delta^*$ переход А — В есть переход 1-го рода и осуществляется на линии CP^+ , которая определяется правилом Максвелла, а линии CO и CQ играют здесь роль линий лабильности и определяют ширину области существования метастабильных фаз. В окрестности линии CP возможно возникновение промежуточного состояния, подобно тому, как это имеет место в сверхпроводниках 1-го рода и в антиферромагнетиках при спин-флоп переходе /8/. Линии AO и BO

определяются также уравнениями (4) и (5), а линии CP — уравнением $E_1 = (2K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (\delta_1 + \delta_2)^{1/2}$.

Приведем некоторые асимптотики критических линий на фазовых диаграммах.

1. $|\delta_1| \ll 1, |\delta_2| \ll 1$ — "слабое сцепление" молекул с поверхностью

$$E_{c1} = (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} \delta_1^{1/2} (1 - \delta_1/6),$$

$$E_{c2} = (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (\delta_1 + 2\delta_2) (1 + 1/6(\delta_1 + 2\delta_2)).$$

Координаты трикритической точки для случая $\delta_2 < 0$

$$E^* \simeq (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (-3\delta_2)^{1/4},$$

$$\delta^* \simeq (-3\delta_2)^{1/2}.$$

2. $|\delta_1| \gg 1, |\delta_1 + 2\delta_2| \gg 1$ — "сильное сцепление" молекул с поверхностью

$$E_{c1} \simeq (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (1 - \delta_1^{-1}) \pi/2,$$

$$E_{c2} \simeq (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (\delta_1 + 2\delta_2) (1 + 2\exp(-2(\delta_1 + 2\delta_2))),$$

$$\delta_1^* = (\pi/2 - 2\delta_2), \quad |\delta_2| \gg 1,$$

$$E^* = (4K/\epsilon_a d^2)^{1/2} (\pi/2 - 2\delta_2)^{1/2}.$$

Итак, мы исследовали индуцированные внешним полем поверхностные фазовые переходы в нематике с различным характером зацепления молекул на поверхности. Вид фазовых диаграмм сильно зависит от константы поверхностной анизотропии K_{2s} . При $K_{2s} > 0$ переход из ромбической (исходной) фазы в одноосную происходит путем двух фазовых переходов 2-го рода с промежуточной скрученной угловой фазой; при $K_{2s} < 0$ такая переориентация является более сложной — фазовая диаграмма имеет линии 1-го и 2-го рода и трикритическую точку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Di Lisi G.A. et al. *Liqv. Cryst.*, **7**, 359 (1990).
2. Flatischler K. et al. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **198**, 119 (1991).
3. Barberi R., Barbero G., Evangelista L.R. *Modern Phys. Lett. B.*, **4**, 751 (1990).
4. Barbero G., Gabbasova Z., Osipov M.A. *J. Phys. II*, **1**, 691 (1991).
5. Sluckin T.J., Ponievski A. in "Fluid Interfacial Phenomena", Ed. C.A. Croxton. Wiley, Chichester, 1986.
6. Barberi R., Durand G. *Phys. Rev. A*, **41**, 2207 (1990).
7. Monkade M., Voix M., Durand G. *Europhys. Letters*, **5**, 697 (1988).
8. Белов К.П. и др. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках, М., Наука, 1979.
9. De Gennes P.G. *The Physics of Liquid Crystals*. Oxford University Press, 1974.
10. Каганов М.И. *ЖЭТФ*, **54**, 773 (1980).

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 7 мая 1992 г.