

ПОТЕНЦИАЛ БИСТАБИЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЦЕПЛЕНИЯ В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

А. Д. Казакова, Д. В. Макаров

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Жидкие кристаллы (ЖК) представляют собой агрегатное состояние вещества, в котором свойства обычных жидкостей уникально сочетаются с макроскопической анизотропией, присущей твёрдым телам. Они обладают подвижной структурой, позволяющей изменять макроскопическое состояние ЖК при помощи сравнительно слабых внешних воздействий [1]. Важную роль в изучении ориентационной структуры ЖК играют эффекты сцепления молекул с ограничивающими жидкий кристалл поверхностями. Чаще всего при теоретическом описании ЖК применяется потенциал поверхностного сцепления, известный как потенциал Рапини [2]. Исследования показали, что такой потенциал плохо описывает ориентационную структуру ЖК при сильных деформациях поля директора.

В настоящей работе в рамках континуальной теории изучено ориентационное поведение нематического жидкого кристалла (НЖК), находящегося в контакте с плоской стенкой (рис. 1) и помещенного в однородное магнитное поле $\mathbf{H} = (0, H, 0)$. Проанализирована роль бистабильного потенциала поверхностного сцепления [3–4] на переориентацию директора в образце НЖК, вызванную магнитным полем.

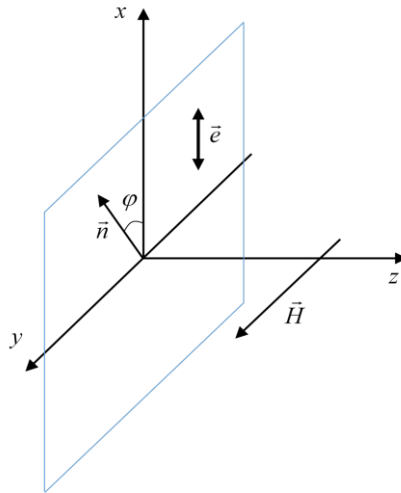


Рис. 1. Ориентация директора \mathbf{n} НЖК в магнитном поле \mathbf{H}

Равновесная ориентация поля директора определяется из условия минимума полной свободной энергии НЖК, содержащей объемную и поверхностную части:

$$F = \int_V f dV + \oint_S f_s dS. \quad (1)$$

Объемный вклад дается выражением [1]

$$f = \frac{1}{2} \left[K_{11} (\operatorname{div} \mathbf{n})^2 + K_{22} (\mathbf{n} \cdot \operatorname{rot} \mathbf{n})^2 + K_{33} (\mathbf{n} \times \operatorname{rot} \mathbf{n})^2 \right] - \frac{1}{2} \chi_a (\mathbf{n} \cdot \mathbf{H})^2, \quad (2)$$

где K_{ii} – модули деформации, \mathbf{n} – директор нематического жидкого кристалла, $\chi_a > 0$ – анизотропия диамагнитной восприимчивости, \mathbf{H} – внешнее однородное магнитное поле.

Будем считать, что на поверхности стенки задано мягкое планарное сцепление, описываемое бистабильным потенциалом [3, 4]

$$f_s = \frac{1}{2} w (\mathbf{n} \times \mathbf{e})^2 [1 - a (\mathbf{n} \times \mathbf{e})^2], \quad (3)$$

где w – поверхностная плотность энергии сцепления молекул НЖК с поверхностью, a – параметр поверхностной анизотропии ЖК

Ориентационные искажения плоского поля директора \mathbf{n} можно представить следующим образом:

$$\mathbf{n} = [\cos \varphi(z), \sin \varphi(z), 0], \quad (4)$$

где $\varphi(z)$ – угол поворота директора от оси легкого ориентирования.

Минимизация полной свободной энергии (1) с учетом соотношений (2)–(4) приводит к уравнению ориентационного равновесия [1, 2]

$$K_{22} \frac{d^2 \varphi}{dz^2} + \chi_a H^2 \sin \varphi \cos \varphi = 0 \quad (5)$$

с граничным условием

$$-K_{22} \frac{d\varphi}{dz} + w \sin \varphi \cos \varphi [1 - 2a \sin^2 \varphi] = 0 \text{ при } z = 0. \quad (6)$$

Уравнение ориентационного равновесия (5) с учетом (6) имеет точное аналитическое решение

$$\sin \varphi = \frac{\operatorname{th} h \zeta + \sin \varphi_0}{1 + \sin \varphi_0 \operatorname{th} h \zeta}.$$

Здесь $\zeta = z/b$ – безразмерная координата, $b = K_{22}/w$ – экстраполяционная

длина и $h = H \sqrt{\chi_a K_{22}}/w$ – безразмерная напряженность магнитного поля.

Нетривиальные решения уравнения (6) для угла φ_0 определяются из

алгебраического уравнения $-2a \sin \varphi_0^3 + \sin \varphi_0 = h$.

На рис. 2 представлены зависимости угла φ_0 поворота директора на ограничивающей поверхности как функции безразмерной напряженности магнитного поля h при различных значениях параметра a .

При напряженности магнитного поля h_i , соответствующей полю равновесного перехода, угол поворота директора меняется скачком по типу фазового перехода 1-го рода и директор выстраивается вдоль магнитного

поля. Чем больше параметр a , тем меньше напряженность магнитного поля, при которой происходит ориентационный переход.

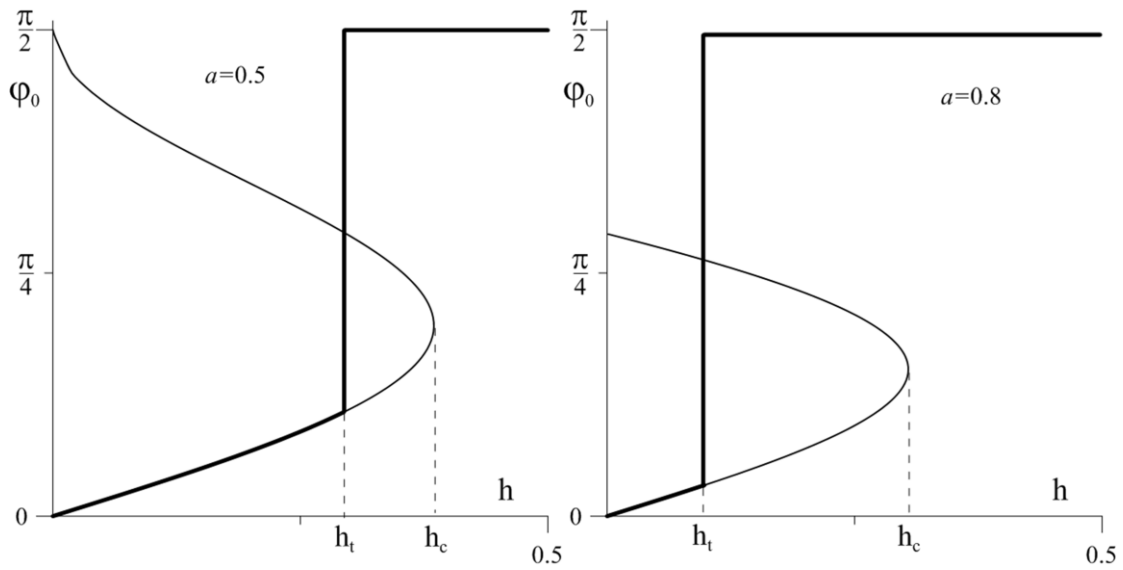


Рис. 2. Зависимость угла φ_0 поворота директора от безразмерной напряженности магнитного поля h и параметра анизотропии a

Для нахождения поля h_t равновесного перехода директора в однородное состояние было аналитически получено выражение для свободной энергии деформированного жидкого кристалла, отсчитываемое от энергии однородного состояния ЖК.

$$\Delta F = h(1 - \sin \varphi_0) + \frac{\sin^2 \varphi_0 - 1}{2} [1 - a(\sin^2 \varphi_0 + 1)] \quad (8)$$

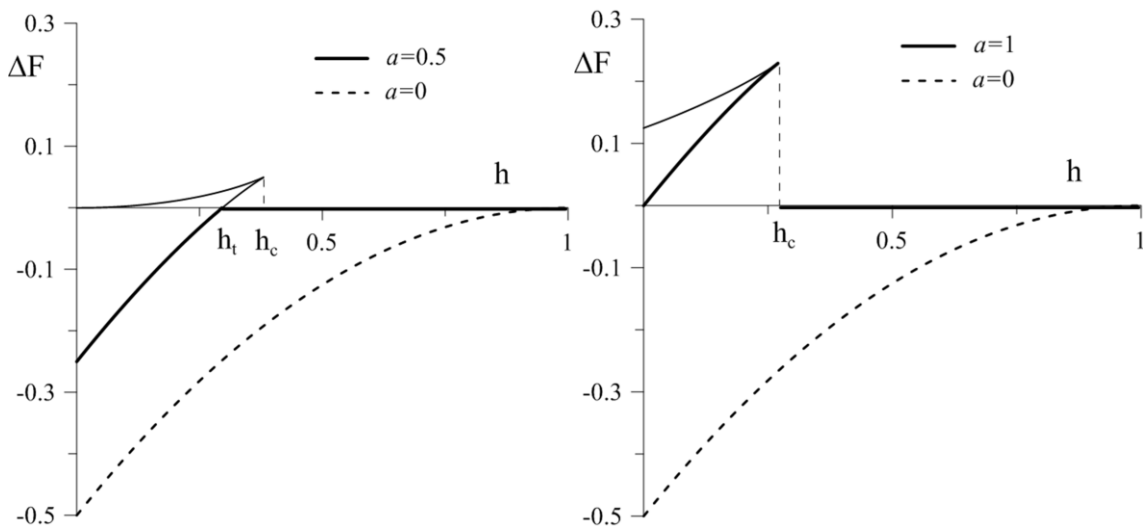


Рис. 3. Зависимость свободной энергии деформированного жидкого кристалла от безразмерной напряженности магнитного поля h и параметра анизотропии a

Жирными сплошными линиями на рис. 3 показаны устойчивые состояния системы, отвечающие минимуму свободной энергии (1). Пространственные

зависимости угла отклонения директора от оси легкого ориентирования для различных значений параметра a показаны на рис. 4.

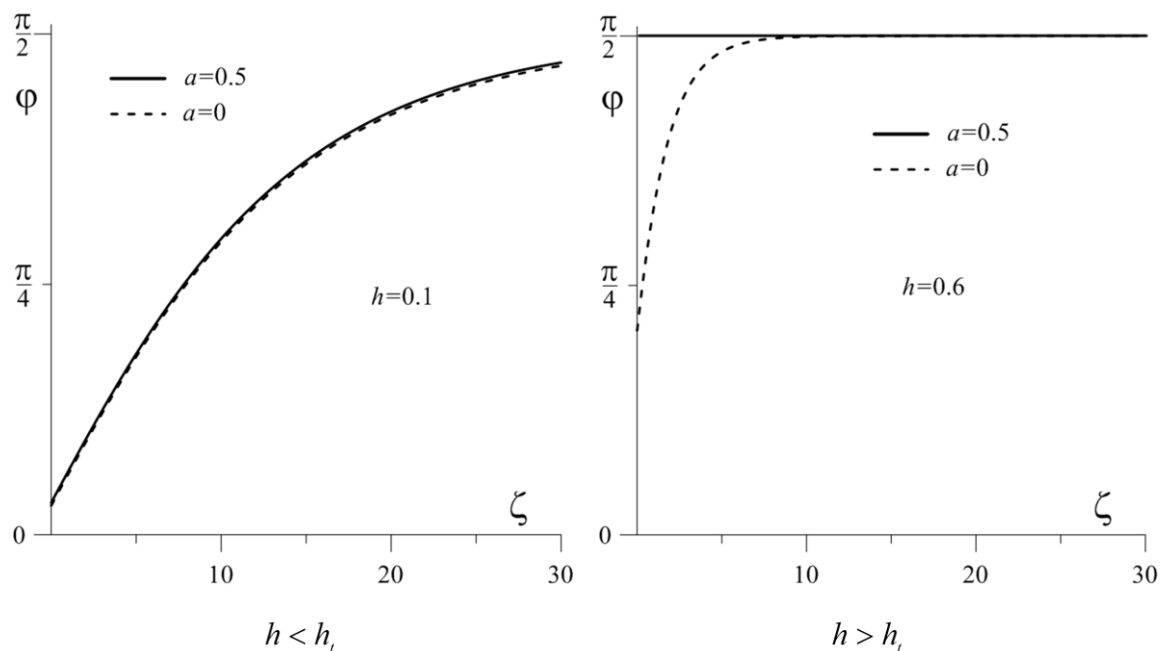


Рис. 4. Зависимость угла φ отклонения директора от оси легкого ориентирования как функция безразмерной координаты ζ ; поле равновесного перехода $h_i = 0.3$

Из рис. 4 видно, что при значении напряжённости магнитного поля $h < h_i$, зависимость угла директора $\varphi(\zeta)$ от координаты ζ в случае бистабильного потенциала практически не отличается от зависимости, полученной с использованием потенциала Рапини. При значении же $h > h_i$ директор во всем полупространстве уже ориентирован вдоль магнитного поля

Список литературы

1. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы: структура и свойства. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 480 с.
2. Rapini A., Papoular M. Distortion d'une lamelle nematique sous champ magnetique conditions d'ancrage aux parois // Journal de Physique. 1969. Vol. 30. C4-54 – 4-56.
3. Yang G., Ye W., Xing H., Yang Y. Equivalent anchoring energy formula of a NLC on a grating surface and VCT effect // Liquid Crystals. 2007. Vol. 34. P. 457–465.
4. Barberi R., Giocondo M., Li J., Bartolino R., Dozov I., Durand G. Fast bistable nematic display with grey scale // Applied Physics Letters. 1997. Vol. 71. P. 3495–3497.