

УДК 03, 07

О. А. Денисова, **А. Н. Чувывров***

**АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛОГ ПЕРЕХОДА ФРЕДЕРИКСА
В БЫСТРО ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ПОТОКАХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ**

**ACOUSTIC ANALOGUE OF FREEDERICKSZ TRANSITION
IN RAPIDLY OSCILLATING FLOWS OF LIQUID CRYSTALS**

Уфимская государственная академия экономики и сервиса, кафедра физики,
450078 Уфа, Россия, Чернышевского, д. 145. E-mail: denisovaolga@bk.ru

*Башкирский государственный университет, кафедра инженерной физики
и новых материалов, 450074 Уфа, ул. Валиди, д. 32

Исследовались тонкие слои (20—125 мкм) нематических жидких кристаллов (МББА). Использовалась ячейка типа «сэндвич». В результате воздействия низкочастотного периодического сдвига (частота сдвига $\omega \sim 100$ Гц.) экспериментально обнаружен и исследован акустический аналог перехода Фредерикса, который проявляется в виде образования стационарного угла наклона молекул жидкого кристалла. Этот эффект имеет пороговый характер возникновения. Экспериментально определено, что пороговая амплитуда не зависит от частоты воздействия, толщины ЖК-слоя и температуры нагрева образца.

Ключевые слова: нематические жидкие кристаллы, акустический эффект Фредерикса, ориентационная неустойчивость.

Thin layers (20—125 micron) of nematic liquid crystals (MBBA) were studied. The cell of «sandwich» type was used. The acoustic analogue of Freedericksz transition, which manifests itself in the form of formation of a stationary tilt angle of liquid crystal molecules was experimentally discovered and investigated as a result of the impact of low-frequency periodic shift (frequency shift about $\omega \sim 100$ Hz). This effect has a threshold character of origin. It was experimentally determined that the threshold amplitude does not depend on the frequency of exposure, the thickness of the LCD layer and the heating temperature of the sample.

Key words: nematic liquid crystal, acoustic Freedericksz effect, orientation instability.

Как известно, ориентационный переход Фредерикса под действием электрического и магнитного полей был открыт в 30-е годы прошлого столетия Фредериксом и его сотрудниками. Результаты исследований таких переходов используются в современных ЖК-дисплеях. Ими же была проведена серия экспериментов по поиску подобного фазового перехода в быстро осциллирующих потоках нематических жидких кристаллов, но результаты оказались отрицательными. Поэтому этот вопрос на сегодняшний день является открытым и совершенно не ясно, как он может быть решен в рамках теории вязкоупругого течения нематических жидких кристаллов. Вновь целенаправленно поиск структурного перехода в быстро осциллирующих потоках проведен в работах Крамера, Буки, Чувыврова, Крехова [1, 2]. В экспериментах использовали ячейку, в которой толщина ЖК-слоя задавалась полимерными шариками. Недостатком данной конструкции являлась невозможность контроля эллиптичности колебания подвижной пластины. Поэтому экспериментального подтверждения акустического аналога перехода Фредерикса получено не было.

В данной работе была произведена попытка экспериментально обнаружить и исследовать акустический аналог перехода Фредерикса. Одним из наиболее интересных случаев такого рода неустойчивости является предсказание важных эффектов – это образование стационарного угла наклона директора в поле сдвиговой волны выше критической амплитуды воздействия на тонкий ЖК-слой с гомеотропной ориентацией. Необычность этого явления состоит в том, что в результате такого перехода происходит нарушение симметрии в системе. Сначала под действием сдвиговой волны отклонение директора от первоначальной ориентации симметричное. Но при достижении критической амплитуды сдвиговой волны, директор перестает «отслеживать» фазу этой волны, в результате чего появляется стационарный угол наклона директора. При дальнейшем увеличении амплитуды сдвига наблюдается азимутальная неустойчивость директора, предсказанная в работе [2].

В представленной работе экспериментально исследовались тонкие (20—125 мкм) слои нематических жидких кристаллов (МББА) под действием низкочастотного периодического сдвига. Частота воздействия $\omega \sim 100$ Гц. Использовалась ячейка типа «сэндвич», которая представляла собой сборку из трех стеклянных пластин. Две массивные пластины из предметного стекла размером 30 мм × 20 мм × 2 мм, третья тонкая пластина располагалась между опорными пластинами, изготавливалась из покровного стекла. Толщина ЖК-слоя задавалась стеклянными прокладками. Гомеотропная ориентация молекул ЖК создавалась напылением хрома толщиной ~ 100 нм. Для возбуждения сдвиговых колебаний использовался метод фонера. Применялась система маятника, т. е. тонкая средняя пластинка совершала колебания в горизонтальной плоскости. Методика измерения подробно описана в работе [3].

В результате гармонического анализа оптического сигнала после прохождения светом ячейки НЖК был выбран критерий определения порога a_n образования стационарного угла наклона директора. Критерием служило появление переменного сигнала на частоте возбуждения. По данным амплитудных зависимостей постоянной компоненты и второй гармоники оптического сигнала рассчитаны средние квадраты стационарной $\langle \sin^2 \theta_c \rangle$ и переменной частей угла наклона директора $\langle \theta_o^2 \rangle$ в зависимости от амплитуды сдвига (рис. 1). Из них следует, что функция $\langle \sin^2 \theta_c \rangle(a)$ монотонно возрастает, стремясь к максимальному значению – к 1, а $\langle \theta_o^2 \rangle(a)$ достигает максимума при некотором значении амплитуды a , дальше начинает спадать. Это связано, по-видимому, с тем, что возрастание стационарного угла наклона директора приводит к уменьшению динамической восприимчивости слоя ЖК. Следует отметить, что при достижении некоторой амплитуды возникают периодические структуры типа «роллов», при этом осцилляционная часть директора почти зануляется. При дальнейшем росте амплитуды сдвига периодические структуры разрушаются, образуются макроскопические течения, и система переходит к режиму турбулентности и динамическому хаосу.

Вопрос об определении типа такого ориентационного перехода в поле сдвиговой волны сводится к изучению частотной зависимости величины порога a_n образования стационарного угла наклона директора, по аналогии с эффектом Фредерикса в электрическом поле [4]. Если $a_n(\omega) = const$, то в этом случае можно говорить об акустическом аналоге перехода Фредерикса. Факт независимости пороговой амплитуды от частоты воздействия представлен на рис. 2. Кроме того определялась зависимость порога a_n от температуры и толщины слоя ЖК. Было обнаружено, что порог образования стационарного угла наклона директора в исследуемом диапазоне температур $18 < T < 45^\circ\text{C}$ не зависит от температуры нагревания образца T и при толщинах образца $20 < h < 125$ мкм не зависит от толщины ЖК-слоя h_c , что согласуется с данными работ [2, 5]. Из ри-

сунков следует, что и порог a_n остается величиной постоянной ($a_n \approx 0,8$ мкм). На основании экспериментальных данных обнаруженный эффект можно идентифицировать как акустический аналог перехода Фредерикса.

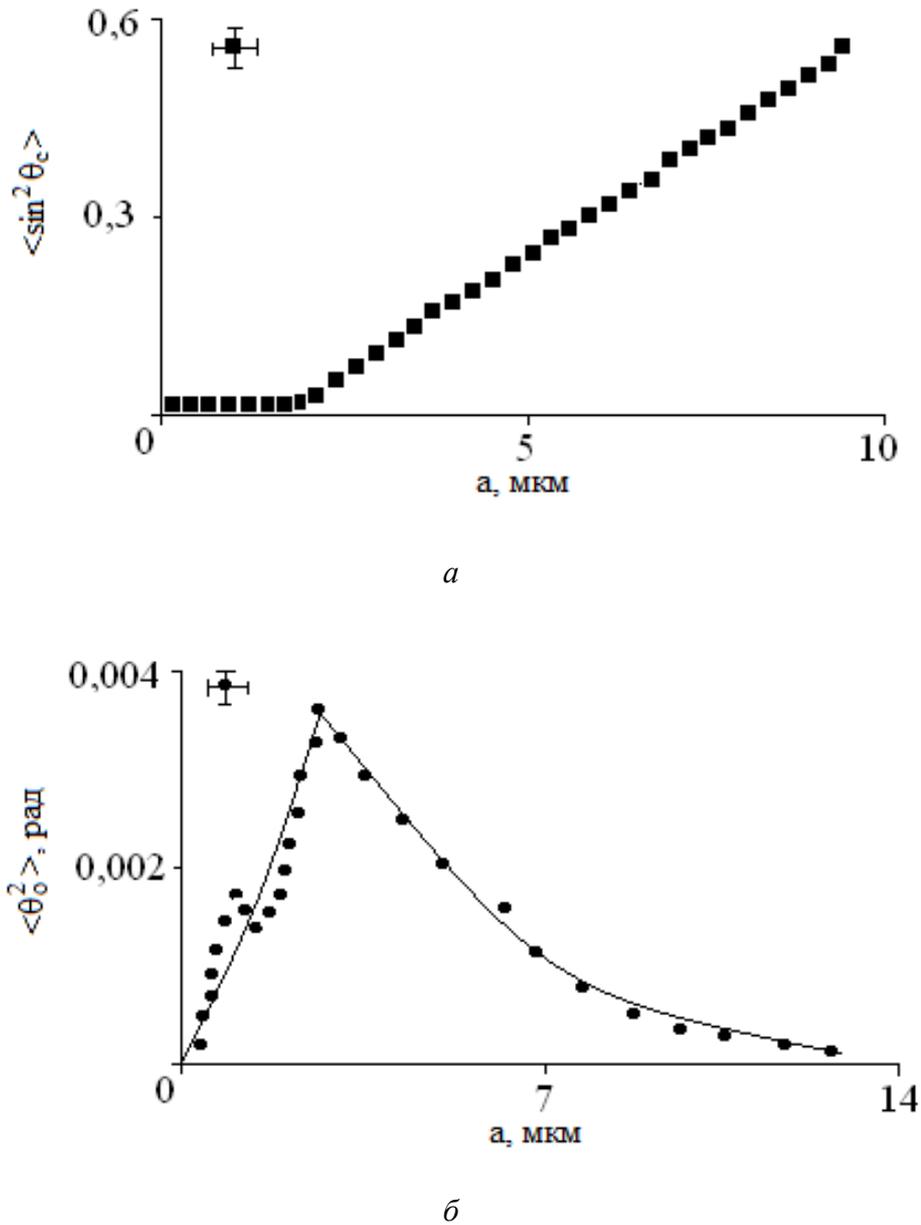


Рис. 1. Амплитудные зависимости: а – среднего квадрата синуса стационарного угла наклона $\langle \sin^2 \theta_c \rangle$, б – переменной части $\langle \theta_o^2 \rangle$ угла наклона директора

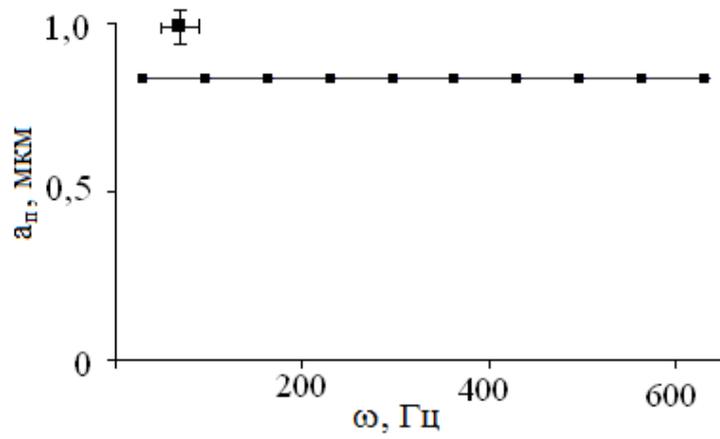
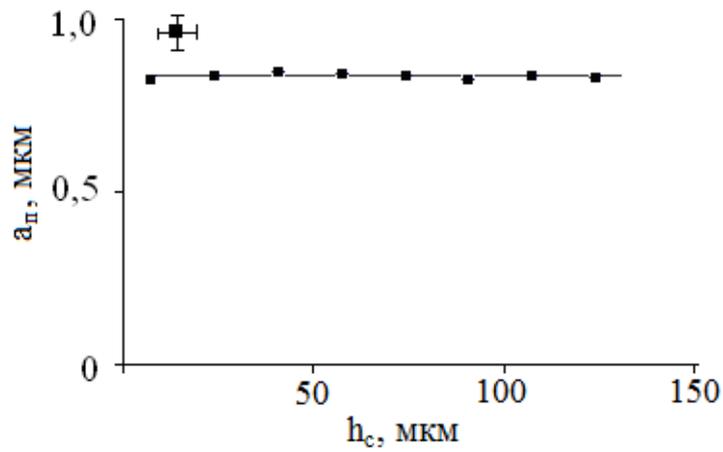
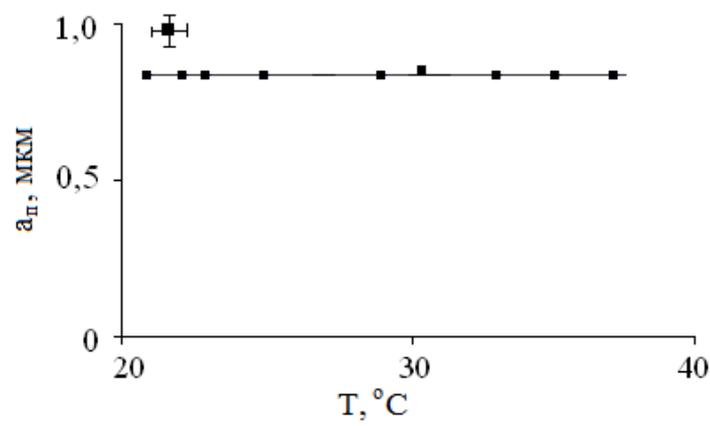
*a**б**в*

Рис. 2. Зависимости порога образования стационарного угла наклона директора a_n от :
a – частоты воздействия, *б* – толщины ЖК – слоя, *в* – температуры нагрева

Изучены релаксационные процессы реорганизации директора при отклонении периодического сдвига. Более подробно исследовался образец МББА толщиной 125 мкм на частоте возбуждения 190 Гц. Рассчитывались зависимости времен релаксации от амплитуды сдвига при фиксированном времени воздействия, от времени воздействия при фиксированной амплитуде и толщины ЖК-слоя. В этом случае представляется интересным сравнение наблюдаемых времен акустической релаксации и релаксации при классическом переходе Фредерикса, когда для данной толщины следует значение времени релаксации 30 с. Из сравнительного анализа величин времен релаксации следует, что эти процессы имеют тесную связь. Релаксационные процессы переориентации директора после отключения возмущения описываются экспоненциальной временной зависимостью, причем характерные времена релаксации составляют от 5 до 110 с. Зависимости времен релаксации от толщины ЖК при различных амплитудах воздействия квадратичные по толщине и хорошо описываются формулой, применимой для случая релаксации при эффекте Фредерикса в магнитном поле. Последнее указывает на глубокую связь между этими двумя явлениями [6].

Результаты представленных исследований могут быть использованы при разработке акустических низкочастотных преобразователей и сенсорных устройств, модуляторов и дефлекторов света с достаточно большой глубиной модуляции и большим углом дефлексии. На основе полученных исследований возможно создание сейсмодатчиков, а так же оптических датчиков вибрации, например, для зданий, конструкций, сооружений или для нефтегазовой отрасли.

Список используемой литературы

1. *Krekhov A. P., Kramer L., Buka A., Chuvyrov A. N.* // J. Phys. 1993. Vol. 3, № 9. P. 1387—1397.
2. *Krekhov A. P., Kramer L.* // J. Phys. 1994. Vol. 4, № 6. P. 677—688.
3. *Vaimakova O. A., Scaldin O. A., Chuvyrov A. N.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1995. Vol. 265. P. 299—314.
4. *Де Жен П.* Физика жидких кристаллов. М. : Мир, 1977. 367 с.
5. *Белова Г. Н., Ремизова Е. И.* // Акустический журнал. 1985. Т. 31, вып. 3. С. 289—299.
6. *Денисова О. А., Чувывров А. Н.* // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. Вып. 1 (39). С. 52—58.

Поступила в редакцию 25.09.2012 г.