

УДК 548.0:534

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ
НЕМАТИЧЕСКИЙ ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ $\rightleftharpoons$ ИЗОТРОПНАЯ
ЖИДКОСТЬ

Л. С. БЕЖАНОВА, А. З. ПЕПОЯН, А. Ц. САРКИСЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении

(Поступила в редакцию 20 октября 1993 г.)

Показано, что при фазовых переходах нематический жидкий кристалл $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость формирование фазовой границы в присутствии ультразвукового поля отличается от такого процесса в переменном электрическом поле. Ядра критических размеров новой фазы под влиянием ультразвука образуются в разных точках образца.

Несмотря на большое число публикаций, посвященных исследованию поведения жидких кристаллов в акустических полях (см., например, [1, 2]), практически отсутствуют работы о влиянии этих полей на процесс фазовых переходов нематический жидкий кристалл (НЖК) $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость (ИЖ). Пока что остался открытым вопрос о влиянии акустического поля на процесс формирования границы раздела фаз и на ее скорость продвижения при этих переходах.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния ультразвука частотой 3,77 МГц на кинетику образования границы раздела фаз при фазовых переходах НЖК $\rightleftharpoons$ ИЖ. Исследованы фазовые переходы в *n*-этоксибензильден-*n*¹-*n*-бутиланилине и в некоторых циан-бифениловых соединениях в ячейках различных конструкций сэндвичевого типа (акустически жесткие—жидкость не могла растекаться, акустически мягкие—жидкость могла растекаться только в одном направлении). Микроскопические наблюдения проводились в отраженном свете на микроскопе МБС—10. Эти исследования относятся ко второй стадии фазового перехода НЖК $\rightarrow$ ИЖ, когда определяющую роль приобретают «поедания» мелких островков изотропной фазы крупными, т. е. стадии коалесценции.

В одной серии экспериментов исследование проводилось с ячейками, одной из подложек которых служила пьезокварцевая пластинка *X*-среза толщиной 0,7 мм. Пьезоколебания этой пластинки создают ультразвуковое поле в исследуемом слое жидкого кристалла. Исследовалась также капля вещества, нанесенная на пьезокварц *X*-среза. Причем, в одном случае капля могла растекаться из-за акустических потоков, а в другом—капля исследовалась внутри металлической шайбы, положенной на пьезокварцевую пластинку.

Во второй серии экспериментов в ячейках кварцевая подложка была заменена тонкой лавсановой пленкой (толщиной 30—35 мкм).

Капля была нанесена на лавсановую пленку. Акустический контакт между пьезокварцем и лавсановой пленкой создавался тонким слоем вазелина или глицерина.

В ячейках толщиной 20, 50, 100 мкм исследовались жидкие кристаллы как планарной, так и гомеотропной ориентации (гомеотропную ориентацию получили добавлением лецитина ~2% по объему к жидкому кристаллу).

Следует отметить, что качественной разницы в кинетике образования границы раздела фаз между двумя сериями экспериментов нами не наблюдалось, за исключением того, что в экспериментах с лавсановой пленкой имели место потери акустической энергии из-за поглощения промежуточным между жидким кристаллом и пьезокварцем слоем.

Не наблюдается также разницы и в кинетике фазовых переходов в ячейках с акустически жесткими и мягкими границами, что аналогично оптическим свойствам этих ячеек, исследованным в [3, 4].

В связи с вышеизложенным ниже приводятся данные для ячейки с акустически мягкими границами, одной подложкой которой является пьезокварц.

На рис. 1 приведены типичные картины, наблюдаемые под микроскопом при различных толщинах жидкокристаллического слоя в ячейке и в капле.

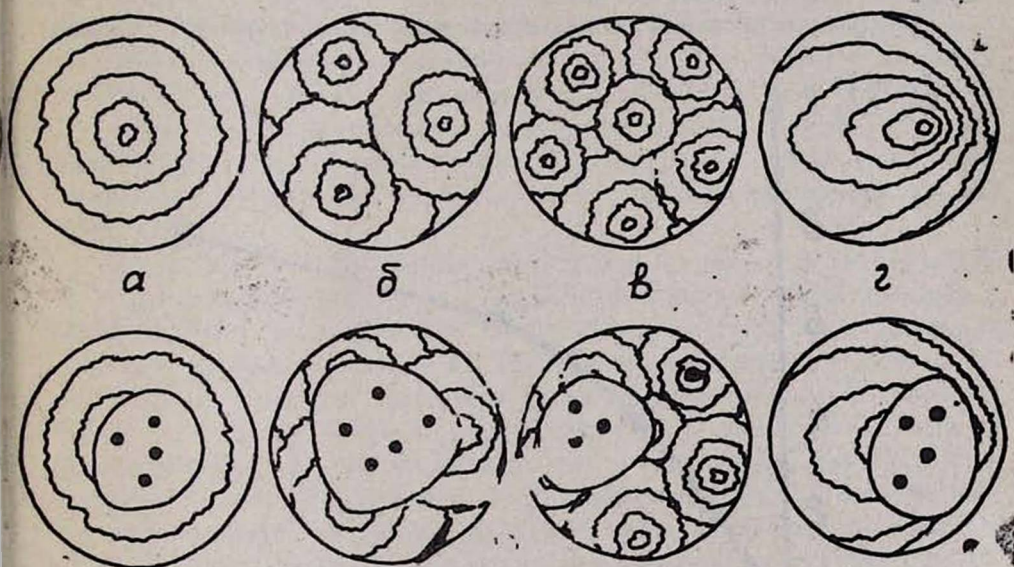


Рис. 1. Кинетика развития фазовой границы при переходе НЖК→ИЖ в ЖК-440 в ультразвуковом поле при толщине слоя: а—20 мкм, б—50 мкм, в—100 мкм, г—капля (внизу—начало фазового перехода).

Замкнутые линии на этих рисунках изображают линии тока в турбулентных акустических потоках, темные точки являются «центрами» начала фазового перехода нематический жидкий кристалл→изотроп-

ная жидкость. Наличие турбулентных движений жидкого кристалла в акустических потоках в наших исследованиях установлено смешиванием с жидким кристаллом незначительного количества красителя, плохо растворимого в исследуемых объектах. Скорость турбулентных движений увеличивается как с увеличением амплитуды ультразвуковых колебаний, так и с температурой. Во всех случаях движение вещества имеет направленность от центра ячейки или капли к краям, т. е. потоки уходят от центра к краям и возвращаются обратно к центру. Все это происходит в жидкокристаллической среде. В изотропной жидкости такие движения не наблюдаются. В окрестности точки, где начинается фазовый переход, турбулентность исчезает, возникает граница раздела фаз, которая быстро раздвигается. Скорость раздвижения при прочих идентичных условиях зависит от величины ультразвукового поля. Причем, фазовый переход начинается, как правило, на том участке образца (ближе к центру), где скорость турбулентного движения максимальна. Неоднородность распределения скорости связана с неоднородностью распределения интенсивности ультразвукового поля, которая имеет место в пьезокварцевой пластинке. С уменьшением амплитуды акустических колебаний уменьшается число линий тока, снижается скорость турбулентного движения и одновременно увеличивается время фазового перехода. Величина амплитуды колебания влияет также на температуру фазового перехода.

На рис. 2 приведена зависимость этой температуры от величины

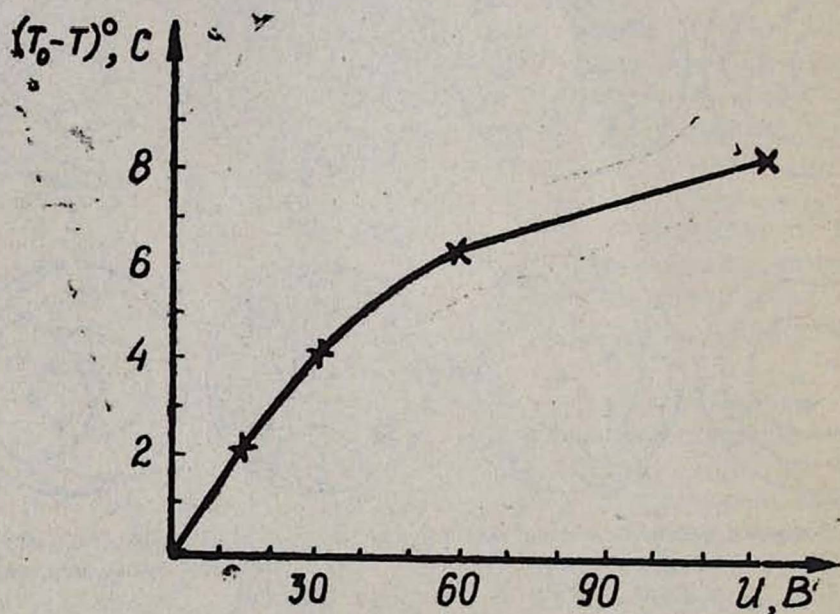


Рис. 2. Зависимость температуры фазового перехода НЖК→ИЖ в ЖК-440 от величины напряжения электрического поля на пьезокварце. T_0 —температура фазового перехода в отсутствие акустического поля.

напряжения электрического поля на пьезокварце для фазового перехода НЖК→ИЖ, у ЖК—440.

При охлаждении в ячейке толщиной 20 мкм фазовый переход ИЖ→ЖК начинается со всех краев ячейки и распространяется к центру.

В ячейках толщиной 50 или 100 мкм при нагреве возникают несколько центров фазового перехода (рис. 1). В процессе дальнейшего развития перехода границы раздела фаз этих отдельных участков сливаются и образуется единая граница раздела фаз. Аналогичная картина наблюдается и в том случае, когда рассматривается фазовый переход в жидкокристаллической капле. Капля под микроскопом наблюдается в виде приплюснутого шара, по поверхности которого двигаются отдельные акустические потоки.

Причины гидродинамической неустойчивости ЖК в акустическом поле и связанные с ней оптические особенности достаточно подробно обсуждены в литературе [1, 5, 6]. В частности, в [6] указывается на существование аналогии между акустогидродинамической неустойчивостью и высокочастотной электрогидродинамической неустойчивостью.

Однако с точки зрения кинетики фазовых переходов жидкокристаллическая среда по разному реагирует на воздействие электрических и акустических полей. Эта разница заключается в следующем.

Во-первых, согласно [7], электрическое поле на несколько градусов повышает температуру фазового перехода жидкий кристалл→изотропная жидкость, а как следует из рис. 2, ультразвуковое поле уменьшает температуру фазового перехода ЖК→ИЖ.

Во-вторых, электрическое поле, согласно [8], улучшает линейную форму границы раздела фаз ЖК→ИЖ, в то время как в ультразвуковом поле эта граница имеет форму замкнутой кривой (рис. 1).

С другой стороны, особенности фазовых переходов НЖК→ИЖ в ультразвуковом поле имеют некоторые общие характеристики с аналогичными переходами в эквимольных бинарных растворах сильно-и слабополярных НЖК. Наиболее существенным в этом отношении является тот факт, что вследствие специфических межмолекулярных взаимодействий, приводящих к уменьшению энергии взаимодействия внутри кластеров ЖК и облегчению процесса разрушения ближнего порядка, при фазовом переходе НЖК→ИЖ почти одновременно протекают процессы ориентационного «плавления» и разрушения ближнего порядка, в результате чего при фазовом переходе наблюдается одна граница раздела фаз. В индивидуальных веществах (без акустического поля) бинарной системы при переходах НЖК→ИЖ наблюдаются две границы раздела фаз, соответствующих процессам «плавления» дальнего ориентационного порядка и разрушению ближнего порядка.

Чтобы понять механизм взаимодействия акустического поля со средой, приводящий к вышеописанным особенностям кинетики фазо-

вых переходов, заметим, что согласно известной теории фазовых переходов первого рода в начальной стадии фазового перехода общий объем всех зародышей новой фазы настолько мал, что их возникновение и рост заметно не отражаются на «степени метастабильности» основной фазы. И поэтому этот объем может считаться постоянной величиной, определяемой критическими размерами зародышей. На этой стадии происходит флуктуационное образование зародышей новой фазы, а рост каждого из них не зависит от поведения остальных зародышей [9].

В системе жидкого кристалла, считая что зародыши изотропной фазы неподвижны, по аналогии с [9], можно утверждать, что эти зародыши растут лишь за счет диффузии из окружающей среды. Такой подход приводит к тому, что средний радиус изотропного зародыша увеличивается со временем по асимптотическому закону [9]

$$\bar{r} = (4\pi Dt/9)^{1/3},$$

где $\sigma = 2\alpha v' C_{0\infty}/T$, D — коэффициент самодиффузии в среде, α — коэффициент поверхностного натяжения, $C_{0\infty}$ — концентрация насыщенного раствора, v' — молекулярный объем вещества, t — время образования зародыша,

Акустическая волна, вызывая потоки в слое жидкого кристалла, приводит к изменению его степени упорядоченности и молекулярного поля. Эти изменения, в свою очередь, меняют коэффициенты вязкости среды, возможно, также и конформацию молекул жидкого кристалла, следовательно, и коэффициент диффузии. Такая сложная цепь взаимодействия ультразвукового поля со средой приводит к вышеприведенным явлениям.

В заключение обратим внимание на одну особенность фазового перехода жидкий кристалл → изотропная жидкость.

Поскольку при описании прохождения звуковой волны через жидкокристаллическую среду можно предположить, что система все время находится в квазитермодинамическом равновесии, т. е. вслед за изменениями внешних параметров она мгновенно приходит в новое равновесное состояние, то должно быть возможным регулирование кинетики фазового перехода.

Действительно, выбором температурного режима и акустического поля спустя некоторое время от начала фазового перехода нам удалось остановить на определенное время продвижение границы раздела фаз жидкий кристалл → изотропная жидкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Капустина. Акуст. журн., 20, 1 (1974).
2. А. П. Капустин, О. А. Капустина. Акустика жидких кристаллов. М., Наука, 1986, 248 с.
3. Ю. Н. Королев, Г. Н. Яковенко. Акуст. журн., 23, 783 (1977).

4. В. Д. Свет, Т. Н. Яковенко. Акуст. журн., 26, 151 (1980).
5. Е. Н. Кожевников. ЖЭТФ, 82, 161 (1982).
6. И. А., Чабан. Акуст. журн., 24, 260 (1978).
7. W. Helfrich. Phys. Rev. Lett., 24, 201 (1970).
8. А. Ц. Саркисян, А. З. Пепоян. Изв. АН Арм.ССР, Физика, 24, 78 (1989).
9. Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. Физическая кинетика. М., Наука, 1979, 527 с.

ULTRASOUND EFFECT ON THE NEMATIC LIQUID CRYSTAL $\rightleftharpoons$ ISOTROPIC LIQUID PHASE TRANSITION

L. S. BEZHANOVA, A. Z. PEPOYAN, A. TS. SARKISSYAN

It is shown that the interface formation in the presence of an ultrasonic field differs from the similar process in the presence of an electric alternating field at the nematic liquid crystal $\rightleftharpoons$ isotropic liquid phase transitions. Affected by ultrasound the new phase nuclei of critical dimensions are formed in different points of the sample.

ՀԱԳԵՑՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՈՒՆԻՍԻՏԻԱԿԱՆ ԵՎ ԻՍՏՈՒՄԱԿԱՆ ՖԱԶԱԿԱՆ ԲՅՈՒՐՆԵՂ $\rightleftharpoons$ ԻՋՈՏՐՈՊ ՀԵՂՈՒԿ ՓՈԽՈՒՄՆԵՐԻ ՎՐԱ

Լ. Ս. ԲԵԺԱՆՈՎԱ, Ա. Զ. ՓԵՓՈՅԱՆ, Ա. Ց. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Ցույց է տրված, որ նեմատիկ հեղուկ բյուրեղ $\rightleftharpoons$ իզոտրոպ հեղուկ փուլային անցումների ժամանակ փուլային սահմանի ձևավորումը ուլտրաձայնային դաշտի առկայության դեպքում տարբերվում է նույնատիպ պրոցեսից փոփոխական էլեկտրական դաշտում: Նոր փուլի կրիտիկական չափեր ունեցող միջուկները ուլտրաձայնի ազդեցության տակ ձևավորվում են նմուշի տարբեր կետերում: