

լուման եղանակով: Դիտարկված է իդեալիզացված համակարգ, որում պլազմայի և փնջի էլեկտրոնները կապված են որոշակի դորժակցով: Այդպիսի դիտարկումը հնարավորություն է տալիս հաշվի առնել փնջի սեփական տատանումները: Ստացված անալիտիկ արդյունքները որակապես ճիշտ են նկարագրում անկայունության զարգացման ընթացքը, երբ դաշտի ամպլիտուդան մեծագույն ամպլիտուդայի կարգի է, և լավ համընկնում են իվային մեթոդներով ստացված արդյունքներին հետ:

ON THE POWER EXPANSION IN FIELD AMPLITUDES IN NONLINEAR BEAM-PLASMA INTERACTION THEORY

N. I. KARBUSHEV, E. V. ROSTOMYAN, G. G. CHIGLADZE

Based on the power expansion of perturbations in field amplitudes, a theory of interaction of monoenergetic low-density electron beam with cold plasma is constructed. In the idealized system under consideration the beam and plasma electrons are coupled by a coefficient that allows one to take into account the proper oscillations of the beam. The obtained analytical results properly describe the beam-plasma instability development and well agree with results of numerical calculations.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 24, вып. 2, 72—78 (1989)

УДК 548.0:532.783

ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ ЛИОТРОПНОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

А. А. ШАГИНЯН, Г. Г. БАДАЛЯН, М. Х. МИНАСЯНЦ

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 15 февраля 1988 г.)

Рентгенографическим методом исследовано влияние статических электрических полей на структуру ламеллярной фазы лиотропного жидкого кристалла трех типов: с электронейтральными доменами; с доменами, обладающими остаточным дипольным моментом; с заряженными доменами. Установлено, что под влиянием поля в первом случае меняется только упаковка молекул внутри домена, во втором случае имеет место пространственная переориентация доменов, а в третьем случае происходит накопление и ориентация заряженных доменов на соответствующем электроде.

Влияние электрических полей на структуру термотропных жидких кристаллов интенсивно исследуется [1—3], чего нельзя сказать о лиотропных жидких кристаллах (ЛЖК). Имеющиеся малочисленные данные [4, 5] относятся главным образом к переменным полям и не дают непосредственной информации о структуре ЛЖК.

Отсутствие данных по влиянию статических электрических полей на ЛЖК, главным образом, обусловлено гидрадинамическими эффектами, возникающими при этом в жидком кристалле. По этой причине, во избежание возникновения гидродинамических эффектов, в настоящей работе исследовано влияние слабых электрических полей на структуру ЛЖК.

Исходя из характера используемого мезогенного вещества (дипольного или ионного), можно рассматривать следующие возможные механизмы влияния статического электрического поля на структуру ЛЖК: а) если молекулы мезогенного вещества имеют дипольные группы, то под влиянием поля, вероятно, должны иметь место — ориентация доменов в целом и изменение ориентации отдельных молекул внутри домена; б) если молекулы имеют ионные группы, то ориентация доменов может произойти за счет перемещения заряженных доменов в электрическом поле.

Можно полагать, что для дипольного мезогенного вещества ориентация доменов в электрическом поле возможна только в том случае, если домены обладают результирующим дипольным моментом. В том случае, если домены имеют высокую симметрию, их результирующий дипольный момент должен иметь величину, близкую к нулю, и в этом случае ориентация доменов в статическом электрическом поле невозможна. При этом можно ожидать ориентирующее влияние поля только на диполи отдельных молекул внутри домена.

В настоящей работе не учитывается возможность возникновения в молекулах индуцированных диполей, так как приложенные напряжения недостаточно высоки для этого.

В случае ионного мезогена ориентация доменов должна быть связана с обратным ионным током. При этом: а)двигающиеся в поле ионы должны ориентировать в направлении поля домены, расположенные приблизительно вдоль поля [4]; б)двигающиеся в поле ионы могут быть задержаны со стороны противоположно заряженных ламелл, что, вероятно, станет причиной возникновения сил электрострикции, которые могут вызвать ориентацию ламелл, а следовательно и доменов по направлению поля; в) наличие направленного движения противоионов приведет к заряджению ламелл (и доменов) и их ориентации на соответствующем электроде.

Вышеуказанные возможные механизмы ориентации ЛЖК в статическом электрическом поле были исследованы нами экспериментально.

В качестве дипольного мезогена был использован лецитин. Как известно, в системе лецитин-вода при нейтральных рН образуется ламеллярная фаза [6], которая стабилизирована как диполь-дипольными и вандерваальсовыми взаимодействиями молекул, так и взаимодействием ламелл с окружающей водной фазой.

В качестве ионного мезогенного вещества были использованы додецилсульфат натрия (ДДСН) и пентадецилсульфонат натрия (ПДСН).

Эксперименты проводились следующим образом. Жидкокристаллическая смесь основного вещества с водой вводилась в стеклянный капилляр с электродами на концах и снимались рентгенограммы в зависимости от напряженности и направления электрического поля. Во избежание контакта ЛЖК с металлическими электродами, последние покрывались тонким слоем эпоксидной смолы. Рентгенограммы снимались на рентгеновском аппарате с вращающимся анодом АРТВА-5 с $\text{Cu K}\alpha$ -излучением, с использованием камеры РКСО-2, переделанной для малоугловых исследований. Время экспозиции 2 часа.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. В качестве ЛЖК с дипольным мезогеном изучалась система лецитин-вода в ламеллярной фа-

зе (использовался лецитин бактериального происхождения Харьковского завода бактерицидных препаратов). В качестве ЛЖК с ионным мезогеном изучались системы додецилсульфат натрия—вода и пентадецилсульфонат натрия—вода. ДДСН производства фирмы Сигма, ПДСН—фирмы ВЕБ-Леуна (ГДР).

Эксперименты проводились для следующих трех случаев:

1. ЛЖК с электронейтральными доменами. Изучалась система лецитин-вода (концентрация 70—80%) при отсутствии третьего компонента. В этом случае дипольные моменты молекул лецитина располагаются на поверхности ламеллы таким образом, что происходит их практически полная взаимная компенсация [7].

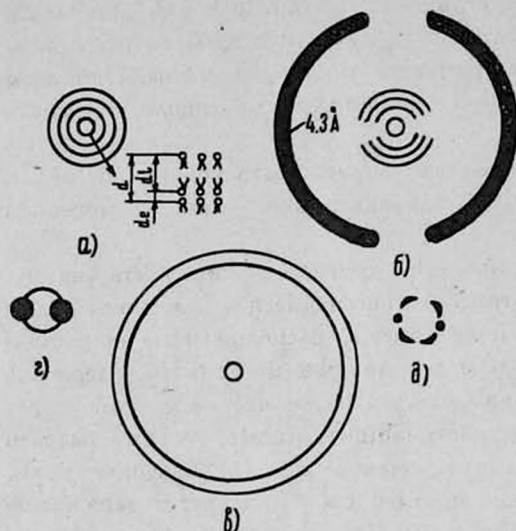


Рис. 1.

Рис. 1. Схема рентгенограмм системы лецитин-вода в отсутствие (а) и в присутствии статического электрического поля напряженности: 60 В/см — (б); 150 В/см — (в); системы лецитин-*L*-вал-вода в отсутствие поля — (г) и при напряжениях выше 6 В/см — (д).

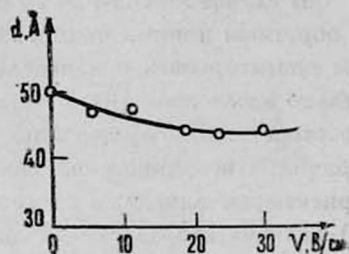


Рис. 2.

Рис. 2. Влияние напряжения электрического поля на межплоскостное расстояние малоуглового рефлекса системы лецитин-вода и на угол наклона доменов, ориентированных на стенках капилляра, к направлению поля для системы лецитин-*L*-вал-вода.

Из рентгенограмм (рис. 1) видно, что под воздействием статического электрического поля переориентация доменов не происходит. Начиная с напряжения 60 в/см имеет место изменение внутриламелярной структуры в доменах. Происходит пространственная переориентация дипольных головок молекул лецитина на поверхности ламеллы.

На рис. 2 представлено влияние напряжения поля на межплоскостное расстояние (d) малоуглового рефлекса ламелярной фазы. Как видно из рисунка, под влиянием поля происходит уменьшение d , представляющего из себя сумму собственной толщины ламеллы (d_L) и межламелярного водного прослоя (d_B): $d = d_L + d_B$ (см. рис. 1).

С другой стороны известно [8], что уменьшение d возможно лишь при увеличении степени упорядоченности ламелл. И действительно, уменьшение d (при увеличении напряжения поля) сопровождается появлением на рентгенограммах окружностей под большими углами (рис. 1б, в), свидетельствующими о возникновении внутриламеллярной кристаллической структуры. При этом, отсутствие диффузного гало, в отсутствие поля, свидетельствует о жидкой структуре ламелл (рис. 1а); его возникновение при 60 В/см на 4,3 А (рис. 1б) говорит о некоторой упорядоченности углеводородных цепочек молекул в ламелле; превращение гало в окружность при 150 В/см (рис. 1в), интенсивность которой в направлении поля несколько меньше, чем в других направлениях, свидетельствует о том, что внутренняя структура ламелл, расположенных приблизительно поперек поля, становится кристаллической. При этом, ориентирующее влияние поля на структуру ламелл наблюдается только для доменов, расположенных поперек направления поля под углом 60° . Превращение диффузного гало в окружность, по мере увеличения напряжения поля, сопровождается исчезновением отражений сначала 4-го, затем 3-го и, наконец, 2-го порядка (сравните рис. 1а, б и в). Причиной этого может стать эффект экранировки, возникающий при упорядочении углеводородных радикалов молекул в ламелле, если на углеводородных цепях происходит брэгговская дифракция рентгеновских лучей под большими углами.

Таким образом, в случае ЛЖК с дипольным веществом с электронейтральными доменами, под влиянием статического электрического поля пространственная переориентация доменов не происходит, однако при этом имеет место изменение внутренней структуры ламеллы. В этом случае при помощи напряжения электрического поля можно направленно менять структуру ламелл ЛЖК из хаотического в упорядоченное.

2. ЛЖК с доменами, имеющими результирующий дипольный момент. Для получения ЛЖК указанного типа на поверхности ламелл в жидкокристаллической системе лецитин-вода (концентрация 70—80%) было адсорбировано некоторое количество дипольных молекул другого типа. В данном случае в качестве такого вещества была использована аминокислота L-Вал. Молярное отношение лецитина к L-Вал поддерживалось постоянным, равным 8,5.

При адсорбции L-Вал на поверхность ламеллы должно иметь место нарушение взаимокompенсирующего взаимодействия дипольных фрагментов молекул лецитина, что приведет к возникновению результирующего дипольного момента у ламелл, а следовательно у домена в целом.

Рентгенограммы, полученные для этой системы при разных напряжениях электрического поля, приведены на рис. 1г и 1д. Как легко видеть эти рентгенограммы отличаются от предыдущих. На рентгенограмме 1г отсутствует гало — 4,3 А, свидетельствующее о том, что углеводородные цепочки молекул в ламеллах находятся в жидком состоянии независимо от поля. Уже при слабых электрических полях, начиная с напряжения ~ 6 В/см, имеет место пространственная переориентация доменов (рис. 1д), что выражается в расщеплении окружности малоуглового рефлекса на 6 пятен. Наблюдаемому эффекту значительно способствует наличие предварительной спонтанной ориентации доменов на стенках капилляра. Вероятно, это

обусловлено тем, что у доменов, ориентированных на стенках капилляра дипольные моменты должны быть больше, чем у доменов, хаотически движущихся в объеме системы. Исходя из этих соображений можно полагать, что большую чувствительность к электрическому полю должны проявлять домены, ориентированные на стенках капилляра. И действительно, из рентгенограммы (рис. 1д) видно, что под действием поля значительно больше смещаются те рефлексы, которые характеризуют домены, ориентированные на стенках капилляра.

Зависимость угла ориентации доменов на стенках капилляра от напряжения поля представлена на рис. 2. Угол ориентации доменов в зависимости от напряжения поля выражается в следующих величинах: 9° при

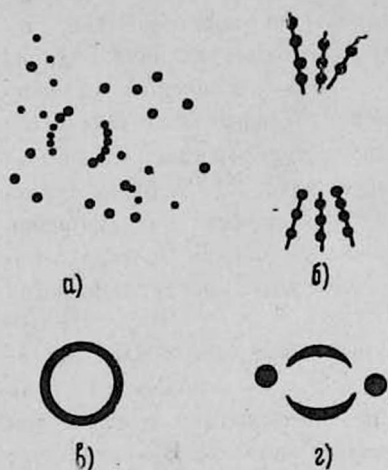


Рис. 3. Схема рентгенограммы системы додецилсульфат натрия (ДДСН) — вода в отсутствие (а) и в присутствии электрического поля напряженности 24 В/см (б); пентадецилсульфата натрия (ПДСП) — вода в отсутствие (в) и в присутствии электрического поля напряженности 24 В/см (г).

12 В/см; 12° — 18° В/см; 24° — 30° В/см, далее имеет место насыщение кривой и дальнейшее увеличение напряжения поля уже не влияет на угол ориентации доменов. Величина угла ориентации доменов не зависит от направления поля, что может иметь место либо при вращении доменов на 180° , либо же при наличии у доменов симметрии второго порядка.

Интересно отметить, что как в случае электронейтральных, так и дипольных доменов, при отключении электрического поля система значительное время сохраняет остаточную ориентацию. Однако при этом, величина остаточной ориентации значительно меньше наблюдаемого максимального значения.

3. ЛЖК с заряженными доменами. В качестве ЛЖК такого типа изучались системы ДДСН-вода и ПДСН-вода.

Для системы ДДСН-вода (концентрация 60%) как в присутствии, так и в отсутствие электрического поля характерна кристаллическая структура ламелл, что на рентгенограммах выражается наличием рефлексов под большими углами (рис. 3а, б).

Под влиянием электрического поля, начиная с напряжения 12 В/см, имеет место изменение дифракционных картин, свидетельствующее о наличии эффекта переориентации доменов в поле. Точечные рефлексы, хаотично расположенные на рентгенограмме в отсутствие поля, в присутствии поля располагаются вдоль прямых линий, направленных по полю. Все это

сопровождается разделением фаз—в капилляре у анода накапливается ДДСН, а у катода—вода, свидетельствующем о том, что в данном случае ориентирующим фактором является движение отрицательно заряженных доменов и диссоциированных от них ионов Na^+ в электрическом поле.

Влияние электрического поля на структуру системы ПДСН-вода (концентрация 60%), в отличие от системы ДДСН-вода, выражается в изменении формы малоуглового рефлекса (рис. 3в, г). Отсутствие рефлексов под большими углами свидетельствует об отсутствии внутриламеллярной упорядоченности.

При напряжении выше 12 В/см, окружность (под малым углом) в направлении поля превращается в два симметрично расположенных точечных рефлекса с межплоскостными расстояниями меньшими, чем у окружности в отсутствие поля. Угол смещения точечных рефлексов от горизонтального направления равняется $\sim 45^\circ$, что свидетельствует о том, что под воздействием поля подвергаются ориентации в основном те домены, которые расположены в пределах $\sim 45^\circ$ к направлению поля.

Под влиянием электрического поля имеет место также уменьшение количества воды внутри отдельных доменов, что, вероятно, связано с накоплением гидратированных ионов Na^+ у катода. И действительно, процесс сопровождается накоплением воды у катода.

Таким образом, в жидкокристаллической системе ПДСН-вода процесс переориентации доменов в статическом электрическом поле, также как и в системе ДДСН-вода, связан с накоплением и ориентацией доменов у анода. При этом, из-за имеющей в этом случае место дегидратации доменов, нарушается равновесие внутри доменов, что и приводит к наблюдаемому в эксперименте уменьшению толщины ламелл, межламеллярного водного прослоя, а следовательно межплоскостного расстояния малоугловых рефлексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков И. Г., Сушин И. В. Ученые записки Ив. ГУ, вып. 77, 3 (1966).
2. Блинов Л. М. Электро и магнитооптика жидких кристаллов, Изд. Наука, М., 1978.
3. Чигринов В. Г. Кристаллография, 27, 404 (1982).
4. Вальков С. В., Чумаков С. П. Кристаллография, 27, 1198 (1982).
5. Петров А. Г., Чумакова С. П. Кристаллография, 27, 1138 (1982).
6. Luzzati V. X-ray Diffraction Studies of Lipid-Water Systems: in Biological Membranes, Acad. Press, London, 1968, p. 71—123.
7. Hauser H. et al. BBA, 650, 21 (1981).
8. Бадалян Г. Г., Шагинян А. А. Биофизика, 33, 92 (1988).

ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼԻՈՏՐՈՊ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՎՐԱ

Ա. Ա. ՇԱՀԻՅԱՆ, Ն. Գ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Մ. Խ. ՄԻՆԱՅԱՆՑ

Ունեղենագրաֆիկ մեթոդով ուսումնասիրված է հաստատուն էլեկտրական դաշտերի ազդեցությունը երեք տիպի լամելյար հեղուկ բյուրեղների վրա, կազմված էլեկտրաչեզոք դոմեններից, դիպոլակիր դոմեններից և լիցքավորված դոմեններից: Ցույց է տրված, որ դաշտի ազդեցության տակ, առաջին դեպքում փոփոխվում է միայն մոլեկուլների փոխադարձ դասավորությունը դոմենի ներսում, երկրորդ դեպքում վերակոդմոնոշվում են դոմենները, իսկ երրորդ դեպքում տեղի է ունենում համապատասխան էլեկտրոդի մոտ դոմենների կուտակում: Ընդունություն:

THE INFLUENCE OF STATIC ELECTRICAL FIELDS ON THE STRUCTURE OF LYOTROPIC LIQUID CRYSTALS

A. A. SHAHINYAN, H. G. BADALYAN, M. Kh. MINASYANTS

The influence of static electrical fields on the structure of lamellar lyotropic liquid crystal with electro-neutral, dipole and charged domains was investigated by means of X-ray diffraction. It was established that in the first case only the internal structure of domains was changed, in the second case the reorientation of domains took place, and in the third case the concentration and orientation of domains on the corresponding electrode occurred.

Изв. АН Армянской ССР. Физика, т. 24, вып. 2, 78—81 (1989).

УДК 548.526

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ КИНЕТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

А. Ц. САРКИСЯН, А. З. ПЕПОЯН

Институт прикладных проблем физики АН АрмССР

(Поступила в редакцию 25 июня 1988 г.)

С помощью поляризационного микроскопа проведено исследование кинетики фазовых переходов нематических жидкий кристалл $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость в 4-этоксипбензилиден 4'-н-бутиланилине и 4-амилокси-4'-цианобифениле. Показано, что форма границы раздела фаз жидкий кристалл $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость зависит как от толщины, так и от скорости нагрева или охлаждения вещества.

Установлено, что фазовый переход жидкий кристалл $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость протекает двустадийно — при нагреве сначала разрушается дальний порядок по ориентации, а затем следует разрушение ближнего порядка.

Настоящая работа посвящена исследованию кинетики образования фазовой границы при фазовых переходах нематический жидкий кристалл (НЖК) $\rightleftharpoons$ изотропная жидкость (ИЖ) в 4-этоксипбензилиден-4'-н-бутиланилине (ЭББА) и 4-амилокси-4'-цианобифениле (АОЦБ).

За фазовым переходом следили в проходящем свете поляризационного микроскопа, на предметный столик которого поместили образец вместе с плоским нагревателем. Нагрев или охлаждение вещества проводился со скоростью 0,5 град/мин. Исследуемые образцы имели толщину 50, 100 мкм и клинообразную форму толщиной 100 мкм в широкой части и 20 мкм в узкой части клина.

При нагревании вещества во всех трех образцах наблюдается граница раздела фаз (рис. 1), которая движется с определенной скоростью в процессе фазового перехода. Причем в ячейке толщиной 100 мкм в окрестности фазовой границы, как видно из рис. 1, наблюдается оптически неоднородная полоса. Впереди фазовой границы эта полоса состоит из светлых, а за ней темных точек. Это связано с тем, что граница раздела фаз,