

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЯХ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА НЕМАТИК – ИЗОТРОПНАЯ ЖИДКОСТЬ

А.С.Золотько, В.Ф.Китаева

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

117924 Москва, Россия

Поступила в редакцию 1 июня 1995 г.

В многокомпонентных нематических жидких кристаллах в области фазового перехода нематик – изотропная жидкость обнаружено возникновение квазипериодических структур.

Специфическим свойством ориентированных жидких кристаллов, определяющим возможность наблюдения в них целого ряда эффектов (например, нелинейных оптических), является коллективность отклика на внешние воздействия. Коллективностью отклика на внешние воздействия определяются, в частности, и наблюдаемые в ориентированных жидких кристаллах периодические искажения поля директора (квадратные решетки) [1,2] и некоторые особенности фазового перехода в гомеотропно ориентированном кристалле ОЦБФ [3].

Наряду с однокомпонентными жидкими кристаллами внимание исследователей привлекают многокомпонентные смеси жидких кристаллов [1], которые по сути являются жидкокристаллическими веществами с новыми свойствами. Коллективность отклика на внешние воздействия в смесях может играть особую роль в изменении их строения и, прежде всего, вблизи фазового перехода, который, как известно, для смесей является размытым, то есть происходящим в некотором температурном интервале.

В настоящей работе наблюдались пространственные квазипериодические структуры в многокомпонентных смесях вблизи фазового перехода нематик – изотропная жидкость, в образовании которых определенную роль играет коллективность отклика гомеотропно ориентированного кристалла.

Условия эксперимента и экспериментальные результаты. Исследовались гомеотропно ориентированные нематические жидкие кристаллы ЖКМ-1277 (производство ГНЦ РФ НИОПИК, фазовый переход нематик – изотропная жидкость в области $\sim 60^\circ\text{C}$) и Е-63 (производство фирмы Мерк, фазовый переход в области $\sim 80^\circ\text{C}$), представляющие собой многокомпонентные смеси (в частности, ЖКМ-1277 – смесь из пяти компонент, 80% которой составляют цианобифенилы). Основная часть исследований выполнена с кристаллом ЖКМ-1277. Толщина L исследованных образцов составляла 40 мкм или 100 мкм. Кювета с кристаллом помещалась в термостатируемую камеру. Кристалл освещался пучком поляризованного света от аргон-криптонового лазера непрерывного действия небольшой мощности P (\sim нескольких мВт) с длиной волны 6471 или 5145 Å. За кристаллом на пути пучка помещался пленочный анализатор, а за ним экран, на котором наблюдались изменения, происходящие с пучком, прошедшим кристалл. С помощью микроскопической системы, обеспечивающей увеличение в ~ 400 раз, на экране можно было проследить и за изменениями, происходящими в самом кристалле.

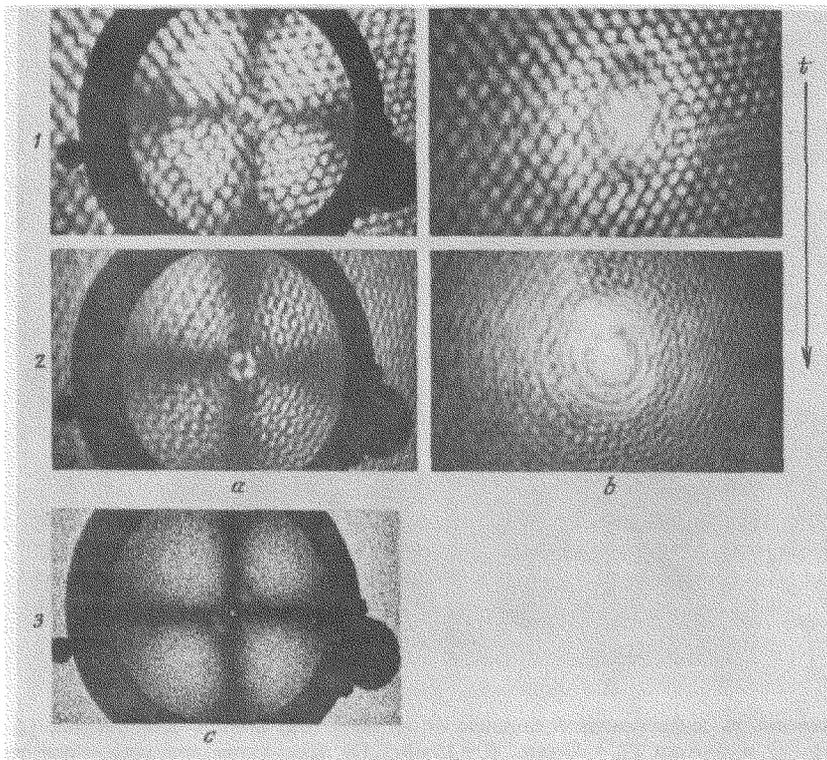


Рис.1. Дифракционная картина в зависимости от $\Delta t = t - t_0$: 1 - $\Delta t = 1,5^\circ$, 2, 3 - $\Delta t = 2^\circ$, 1, 2 - узкий световой пучок, 3 - широкий световой пучок; а, с - в скрещенных поляризаторах, б - без анализатора

Полученные результаты сводятся к следующему. 1. Структура светового пучка, прошедшего кристалл, при повышении температуры t НЖК и приближении ее к области фазового перехода начинает изменяться: при некоторой температуре $t_0 \sim 60^\circ\text{C}$ на экране за кристаллом появляется дифракционная картина. Дифракционная картина наблюдается в температурном интервале $\Delta t = t - t_0 = 1,5^\circ - 2^\circ$, ее иллюстрируют фотографии рис.1. Фотографии рис.1 (1 и 2) соответствуют узкому световому пучку ($\phi \sim 100 \text{ мкм}$), рис.1(3) - широкому ($\phi \sim 2000 \text{ мкм}$). Появление дифракционной картины свидетельствует о возникновении в кристалле анизотропных образований, приводящих к дифракции светового пучка, проходящего через кристалл. Различие дифракционных картин, наблюдаемых в узком и широком световых пучках, свидетельствует в пользу того, что анизотропные образования распределяются в кристалле не случайным образом, а квазипериодически.

2. Дифракционная картина при постоянной температуре t кристалла зависит от времени облучения T . Эта зависимость разная (см. рис.2) для толстых и тонких кристаллов (что особенно отчетливо наблюдается в скрещенных поляризаторах). При $T \leq 30 \text{ с}$ дифракционные картины для толстого ($L = 100 \text{ мкм}$) и тонкого ($L = 40 \text{ мкм}$) кристаллов практически идентичны. Но при $T > 30 \text{ с}$ наблюдается существенное различие, которое тем заметнее, чем больше T : на фоне креста и дифракционной сетки при $L = 100 \text{ мкм}$ появляется

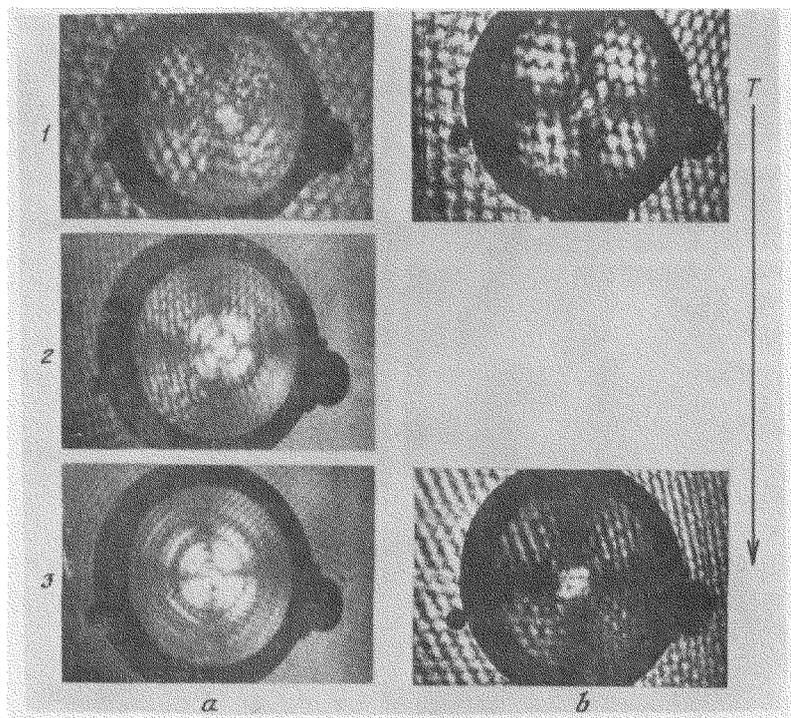


Рис.2. Зависимость дифракционной картины от времени облучения T для толстого ($L = 100 \mu\text{м}$, $P = 5 \text{ мВт}$) (а) и тонкого ($L = 40 \mu\text{м}$, $P = 10 \text{ мВт}$) (б) кристаллов при постоянной температуре кристалла в области фазового перехода в скрещенных поляризаторах. 1 - $T = 30 \text{ с}$, 2 - $T = 2 \text{ мин}$, 3 - $T = 10 \text{ мин}$

дополнительный яркий крест с дугами. Интенсивность креста из сетки при этом с ростом T быстро уменьшается.

Оценки размеров анизотропного образования, рассеяние светового пучка на котором может привести к появлению креста с дугами, из угловых размеров креста с дугами дают величину, составляющую $\sim 0,5$ диаметра светового пучка в зоне кристалла.

3. Текстура кристалла, наблюдаемая с помощью микроскопической системы, представлена на рис.3. При повышении температуры кристалла появляется система пятен (в скрещенных поляризаторах - кресты из пятен), расстояние между которыми характеризуется некоторым квазипериодом. Зависимость текстуры кристалла при постоянной температуре от времени аналогична зависимости от температуры: полное количество возникающих анизотропных образований уменьшается, а размеры их увеличиваются.

4. Квазипериод искажений поля директора зависит от температуры кристалла t , и, при постоянной t , от времени T . Чем выше t , тем квазипериод больше. В зависимости от t он составляет $30 - 100 \mu\text{м}$. Эти же значения получаются и из дифракционной картины. При постоянной температуре с течением времени T (минуты, десятки минут, в зависимости от t) квазипериод увеличивается.

5. Скорость уменьшения квазипериода с увеличением времени T при постоянной температуре кристалла сильно зависит от толщины кристалла L . Для

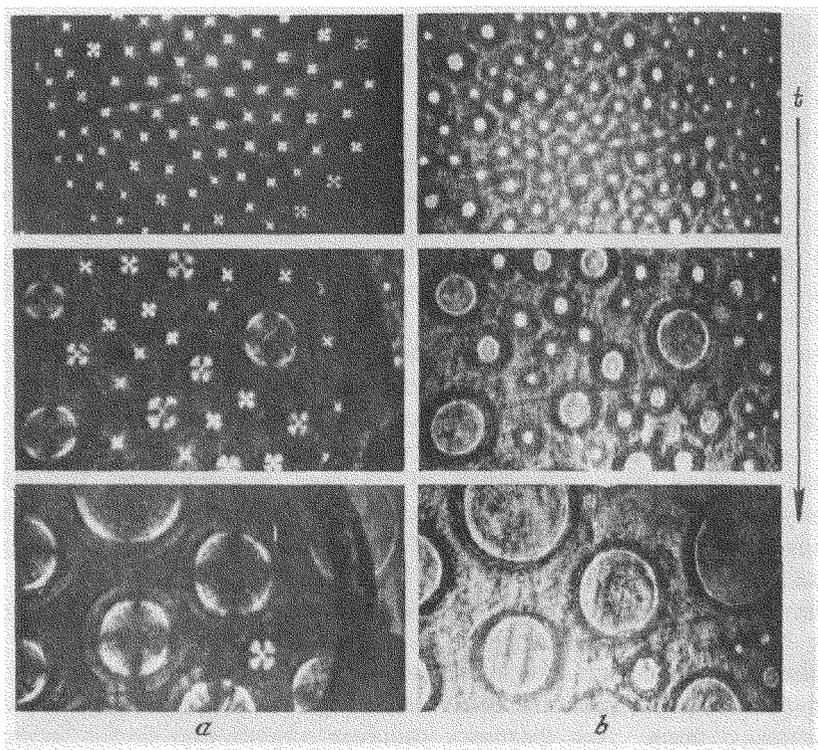


Рис.3. Зависимость текстуры кристалла от температуры в области фазового перехода нематик – изотропная жидкость; *a* – скрещенные поляризаторы, *b* – без анализатора

толстого кристалла ($L = 100 \mu\text{м}$) она значительно больше (~ 10 раз), чем для тонкого ($L = 40 \mu\text{м}$).

6. Динамика анизотропных образований, которую позволяет изучать микроскопическая система, сводится при постоянной температуре t к достаточно медленному (минуты) увеличению их размеров и уменьшению общего числа. С ростом температуры этот процесс протекает практически со скоростью прогрева кюветы.

7. Результаты, полученные с E-63, аналогичны результатам, полученным с пятикомпонентной смесью ЖКМ-1277.

Обсуждение полученных результатов. Известно, что при размытом фазовом переходе возможно расслоение фаз [4]. Анализируя полученные результаты, естественно предположить, что при температуре кристалла выше температуры нижней границы температурного интервала размытого фазового перехода в кристалле появляются капли изотропной жидкости (происходит расслоение фаз). Первоначальная гомеотропная ориентация директора под влиянием сил, действующих на границе раздела нематик – изотропная жидкость, вблизи капли искажается, возникают упругие моменты, стремящиеся восстановить первоначальное распределение. В конечном счете в кристалле появляется новое равновесное распределение поля директора с переходом от гомеотропной ориентации нематической фазы со степенью упорядоченности молекул, близкой к 1, к областям изотропной фазы со степенью упорядоченности 0. Деформации

поля директора к окрестности каждой капли являются осесимметричными, поэтому в скрещенных поляризаторах в микроскопической системе наблюдаются крестики.

Теперь о квазипериодичности в пространственном расположении капель. Упорядоченность в их распределении может возникать под влиянием сил, действующих между каплями в деформированном ими поле директора (на существование сил такой природы указано в [5]). Для идеального кристалла следует ожидать, как энергетически более выгодного, периодического распределения капель. Для реального кристалла, как следует из экспериментальных данных, оно квазипериодическое.

Времена установления нового равновесного распределения поля директора в силу коллективности процесса переориентации молекул в окрестности капель должны быть достаточно большими. Полученные результаты (десятки секунд, минуты) свидетельствуют о справедливости этого утверждения. Новое распределение поля директора в условиях эксперимента (нестабильность температуры кристалла, наличие дефектов в реальных кристаллах и др.) является квазиравновесным. Капли, хотя и медленно (минуты), увеличиваются в размерах.

В картине дифракции узкого светового пучка на квазирешетке, период которой в 1–3 раза меньше диаметра пучка, наблюдается много (~ 10) порядков дифракции примерно одинаковой интенсивности. Это можно связать с тем, что периодически деформированное поле директора осуществляет фазовую модуляцию светового поля. Для фазовых решеток характерно более медленное, по сравнению с амплитудными решетками, уменьшение интенсивностей высших порядков дифракции [6].

Зависимость временной эволюции дифракционной картины от толщины кристалла указывает на большую устойчивость квазипериодических структур к воздействию светового пучка в тонком кристалле. Эта устойчивость, очевидно, связана со стабилизирующим ориентационным влиянием стенок, которое эффективнее в тонком кристалле. В толстом кристалле даже воздействие малоинтенсивного светового излучения вызывает не только размазывание квазипериодической дифракционной картины, но и появление в рассеянии яркого креста с дугами, что свидетельствует о формировании в толстом кристалле дополнительного анизотропного осесимметричного образования.

Итак, в настоящей работе обнаружено возникновение пространственных квазипериодических структур в многокомпонентных смесях нематических жидких кристаллов в области фазового перехода нематик – изотропная жидкость.

Авторы статьи приносят благодарность М.И.Барнику и В.Г.Румянцеву за полезные дискуссии и М.П.Ермиловой за изготовление ориентированных образцов кристаллов.

Авторы благодарны ГНЦ РФ НИОПИК за предоставление жидкокристаллических веществ.

1. Л.М.Блинов, *Электро- и магнитооптика жидких кристаллов*, М.: Наука, 1978.
2. П. де Жен, *Физика жидких кристаллов*, М.: Мир, 1977.
3. V.F.Kitaeva, N.N.Sobolev, A.S.Zolot'ko et al., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 91, 137 (1983).
4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. *Статистическая физика*, ч.1, М.: Наука, 1976, гл.9.
5. С.Л.Лопатников, В.А.Намиот, *ЖЭТФ* 75, 361 (1978).
6. Дж.Гудмен, *Введение в Фурье-оптику*, М.: Мир, 1970, гл.4.