

Краткое сообщение

УДК 532.5:532.6

ВЛИЯНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО ПОТОКА НА САМООРГАНИЗАЦИЮ КАПЕЛЬ ВОДЫ В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

Анастасия Алексеевна Васильева*, Сергей Вениаминович Пасечник

РТУ МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

ИНФОРМАЦИЯ

История статьи:

Поступила 25.05.2023

Одобрена 23.06.2023

Принята 30.06.2023

Ключевые слова:

нематические жидкие
кристаллы,
эмульсии,
микрофлюидика

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследования движения капель изотропной жидкости в гомеотропном слое жидкого кристалла E7 с долгоживущими неустойчивостями, индуцированными затухающим сдвиговым течением. Интенсивный поток нематиков с исходной гомеотропной ориентацией приводит к возникновению ориентационных неустойчивостей. В экспериментах использовалась жидкокристаллическая ячейка с переменным зазором (от 60 до 100 мкм). Объектом исследования являлась эмульсия 10:1 «жидкий кристалл – изотропная жидкость». Было обнаружено образование каплями изотропной жидкости различных типов пространственных структур. В частности, наблюдали цепочки капель, в области сильных деформаций ориентации ЖК, например на границах существования долгоживущих областей с измененной ориентацией. Кроме того, повышенная концентрация изотропных капель отмечена в области, разделяющей участки жидкого кристалла, находящегося под действием электрического поля и вне этого действия. На основе анализа микроскопических изображений определена скорость взаимного движения двух изолированных капель. Это позволило оценить силу взаимодействия между каплями ($F_a = 5,6$ пН), вызванного искажениями ориентационной структуры в окрестности капель. Полученные результаты обсуждаются в рамках существующей теории жидких кристаллов.

DOI:

10.18083/LCAppl.2023.3.98

Для цитирования:

Васильева А. А., Пасечник С. В. Влияние капиллярного потока на самоорганизацию капель воды в нематическом жидком кристалле // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2023. Т. 23, № 3. С. 98–102.

*Адрес для переписки: barika@bk.ru

© Васильева А. А., Пасечник С. В., 2023

Brief messages

**INFLUENCE OF CAPILLARY FLOW ON SELF-ORGANIZATION OF WATER DROPLETS
IN NEMATIC LIQUID CRYSTAL**

Anastasiia A. Vasileva*, Sergey V. Pasechnik

MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

ARTICLE INFO:

Article history:

Received 25 May 2023

Approved 23 June 2023

Accepted 30 June 2023

Key words:

nematic liquid crystals,
emulsions,
microfluidics

ABSTRACT

The results of studying the motion of isotropic liquid drops in a homeotropic layer of liquid crystal E7 with long-lived instabilities induced by a damped shear flow that occurs when a flat capillary is filled due to the action of capillary forces (capillary flow). An intense flow of nematics with initial homeotropic orientation leads to the appearance of orientational instabilities. In the experiments, a liquid-crystal cell with a variable gap (from 60 to 100 μm) was used. The object of the study was a 10:1 emulsion "liquid crystal – isotropic liquid". It was found that drops of isotropic liquid form various types of spatial structures. In particular, chains of drops in the region of strong deformations of LC orientation (for example, at the boundaries of the existence of long-lived regions with a changed orientation) were observed. In addition, an increased concentration of isotropic droplets occurred in the region separating the sections of the liquid crystal under the action of an electric field and in the absence of its action. Based on the analysis of microscopic images, the velocity of mutual motion of two isolated drops was determined. It made possible to estimate the interaction force between the drops ($F_a = 5.6$ pN) that was caused by the distortions of orientational structure in the vicinity of the drops. The results obtained are discussed within the existing theory of liquid crystals.

DOI:

10.18083/LCAppl.2023.3.98

For citation:

Vasileva A. A., Pasechnik S. V. Influence of capillary flow on self-organization of water droplets in nematic liquid crystal. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2023, **23** (3), 98–102 (in Russ.).

*Correspondence address: barika@bk.ru

© Vasileva A. A., Pasechnik S. V., 2023

В работе представлены результаты исследования процессов самоорганизации капель изотропной жидкости в гомеотропных слоях нематического жидкого кристалла после воздействия капиллярного потока, приводящего к образованию дефектов разного типа при дополнительном воздействии электрического поля. Неустойчивости возникают при заполнении плоского капилляра за счет воздействия капиллярных сил (капиллярный поток). Данный тип течения отличается от исследованного ранее затухающего потока ЖК в полимерных пористых пленках, вызванного разностью гидростатических давлений [1]. Эмульсия создавалась с помощью ультразвукового эмульгирования смеси «жидкий кристалл E7 – деионизированная вода» в соотношении 10:1. В исследовании наблюдались различные виды агрегации капель изотропной жидкости. Одним из таких примеров является агрегация

капель на границе раздела долгоживущих неустойчивостей и гомеотропной ориентации ЖК. Интересным является не только образование агрегированных цепочек капель в области данных границ, но и эффект увлечения этих капель границами неустойчивости при уменьшении размеров неустойчивости (рис. 1). Данный эффект увлечения обнаружен впервые, он свидетельствует о сильном взаимодействии капель изотропной жидкости с областью высоких градиентов ориентации ЖК. Указанные явления в перспективе можно использовать для создания микрофлюидных устройств на основе жидких кристаллов. Интересным является то, что движения границ областей сопровождается движением капель различного размера. Это свидетельствует о достаточно сильном сцеплении капель с границей раздела неустойчивости.

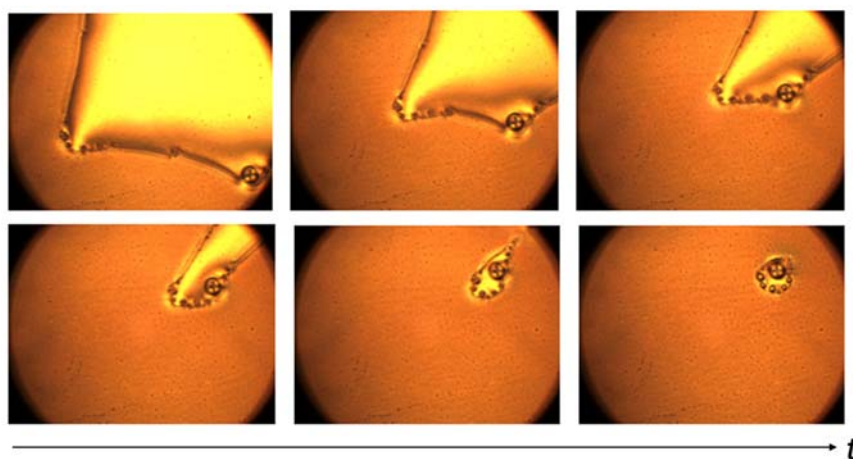


Рис. 1. Последовательность изображений, демонстрирующая динамику агрегации капель на границе долговременной неустойчивости в течение часа через одинаковые промежутки времени

Fig. 1. Sequence of images demonstrating the dynamics of droplet aggregation at the boundary of long-term instability for an hour at regular intervals

Следует отметить повышенную концентрацию капель относительно больших размеров в области неоднородного электрического поля, возникающего со стороны части ячейки, не подверженной воздействию поля. Кроме того, наблюдается процесс взаимодействия и слияния близкорасположенных капель. Данное взаимодействие обусловлено искажениями ориентационной структуры жидкого кристалла в окрестности капель, что приводит к появлению избыточной энергии Франка, связанной с градиентами ориентационной структуры. Это приводит к появлению силы притяжения

$F_a(r)$, действующей между каплями. Уравнение движения капель, определяющее зависимость расстояния между ними r от времени t , предложенное в работе [2], позволило рассчитать силу взаимодействия F_a при заданной эффективной вязкости $\eta_{\text{эфф}}$. Расчет данного параметра для двух капель радиусом 5,5 мкм, показанных на рис. 2, дает значение силы притяжения капель $F_a = 5,6 \cdot 10^{-12}$ Н. Это значение по порядку величины соответствует силе взаимодействия (порядка $F_a = 1 \cdot 10^{-12}$ Н) двух капель магнитной жидкости близкого размера (5 мкм) на основе воды, помещенных в магнитное поле [2].

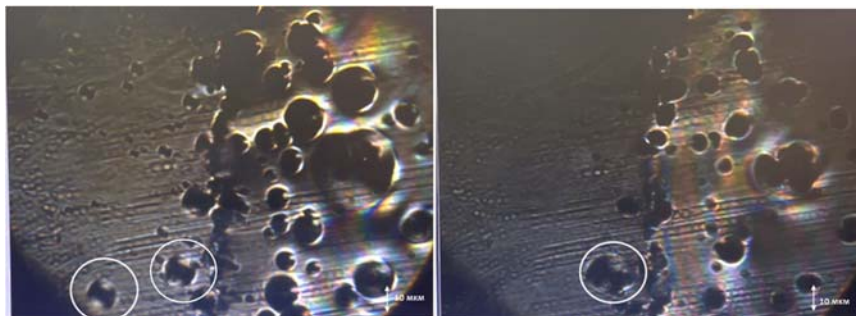


Рис. 2. Движение взаимодействующих капель радиусом 5,5 мкм после 60 секунд

Fig. 2. Movement of interacting drops with a radius of 5.5 μm after 60 seconds

Представленные результаты по скорости движения капель относятся к области воздействия электрического поля, которое стабилизирует гомеотропную ориентацию и позволяет использовать в расчетах максимальное значение коэффициента

вязкости η_1 в качестве значения эффективной вязкости. Вблизи капель приложение электрического поля вызывает искажения ориентационной структуры, что, по-видимому, связано с искажениями силовых линий электрического поля (рис. 3).

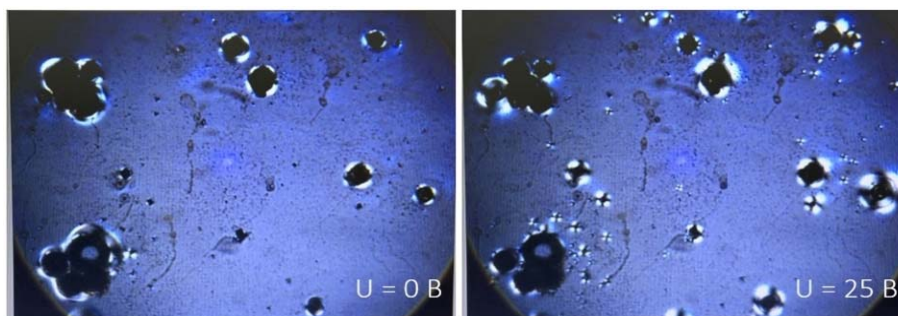


Рис. 3. Изображения капель изотропной жидкости в жидкокристаллической матрице с гомеотропной ориентацией в отсутствии и при наличии электрического поля

Fig. 3. Images of isotropic liquid drops in liquid crystal matrix with homeotropic orientation in the absence and presence of an electric field

Установленные процессы агрегации капель, захвата капель границами неустойчивостей и влияние электрического поля на структурообразование капель являются предметом детальных исследований, проводимых в настоящее время.

Благодарность: данная работа была выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант FSSFZ-2023-0004).

Acknowledgment: this work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant FSSFZ-2023-0004).

Список источников / References

1. Пасечник С. В., Шмелева Д. В., Торчинская А. В., Семина О. А., Дюкин А. А. Метод затухающего потока в реологии полимерных пористых пленок, заполненных жидкими кристаллами // *Российский технологический журнал*. 2017. Т. 5, №. 5. С. 25–39. [Pasechnik S.V., Shmeliova D.V., Torchinskaya A.V., Semina O.A., Dyukin A.A. Method of decaying flow in rheology of polymeric porous films filled by liquid crystals. *Russ. Technol. J.*, 2017, **5** (5), 25–39 (in Russ.).]

2. Poulin P., Cabuil V., Weitz D.A. Direct measurement of colloidal forces in an anisotropic solvent. *Phys. Rev. Lett.*, 1997, **79** (24), 4862.

Вклад авторов:

¹*Васильева А. А.* – подготовка экспериментальных жидкокристаллических ячеек, сборка экспериментальной установки, проведение эксперимента, написание текста статьи.

²*Пасечник С. В.* – руководство исследованием и анализ полученных изображений, написание текста статьи.

Contribution of the authors:

¹*Vasilieva A. A.* – preparation of experimental liquid-crystal cells, assembling of experimental setup, conducting experiments, writing the manuscript.

²*Pasechnik S. V.* – supervision the study, analyzing the resulting images, writing the manuscript.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interests.

¹<https://orcid.org/0000-0002-6050-2761>

²<https://orcid.org/0000-0002-6050-2761>

Поступила 25.05.2023, одобрена 23.06.2023, принята 30.06.2023
Received 25.05.2023, approved 23.06.2023, accepted 30.06.2023