

**Краткое сообщение**

УДК: 532.783

## ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРИЕНТАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ХИРАЛЬНОГО НЕМАТИКА С ПЛАНАРНО-КОНИЧЕСКИМ СЦЕПЛЕНИЕМ

Абылгазы Сабиралиевич Абдуллаев<sup>1\*</sup>, Михаил Николаевич Крахалев<sup>1,2</sup>, Виктор Яковлевич Зырянов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия

---

### ИНФОРМАЦИЯ

**История статьи:**

Поступила 15.11.2023

Одобрена 22.12.2023

Принята 9.01.2024

---

**Ключевые слова:**

хиральный нематик, фоточувствительная хиральная добавка, конические граничные условия, ориентационная структура, плавное изменение угла закрутки структуры

### АННОТАЦИЯ

Исследовано фотоиндуцированное изменение ориентационной структуры хирального нематика на основе ЛН-396, допированного хиральными добавками *S811* и *cChD*. Продемонстрировано, что использование планарно-конических граничных условий позволяет реализовать плавное изменение угла закрутки его структуры вследствие изменения шага спирали. Показано, что при коническом сцеплении, задаваемом полимером ПИБМА для исследуемого хирального нематика, закрутка структуры на угол более  $240^\circ$  приводит к появлению ондуляций структуры. Обнаружено, что полимер ПТБМА задает для исследуемого хирального нематика тангенциальные граничные условия, позволяющие директору легко поворачиваться в плоскости образца. Представленные результаты могут быть перспективными для разработки жидкокристаллических систем с тонко настраиваемыми и перестраиваемыми полярным и азимутальным углами директора.

---

**DOI:**

10.18083/LCAppl.2024.1.90

---

**Для цитирования:**

Абдуллаев А. С., Крахалев М. Н., Зырянов В. Я. Фотоиндуцированная трансформация ориентационной структуры хирального нематика с планарно-коническим сцеплением // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2024. Т. 24, № 1. С. 90–95.

---

\*Адрес для переписки: [aabdullaev@iph.krasn.ru](mailto:aabdullaev@iph.krasn.ru)

© Абдуллаев А. С., Крахалев М. Н., Зырянов В. Я., 2024

**Brief Communication**

**PHOTOINDUCED TRANSFORMATION OF THE ORIENTATIONAL STRUCTURE  
OF A CHIRAL NEMATIC UNDER PLANAR-CONICAL ANCHORING**

Abylgazy S. Abdullaev<sup>1\*</sup>, Mikhail N. Krakhalev<sup>1,2</sup>, Victor Ya. Zyryanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Engineering Physics and Radio Electronics, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

---

**ARTICLE INFO:**

**Article history:**

Received 15 November 2023

Approved 22 December 2023

Accepted 9 January 2024

---

**Key words:**

chiral nematic,  
photosensitive chiral dopant,  
conical boundary conditions,  
orientational structure,  
smooth variation of the  
structure twist angle

**ABSTRACT**

---

The photo-induced change in the orientation structure of the chiral nematic based on LN-396 doped with chiral dopants *S811* and *cChD* has been investigated. It is shown that the use of planar-conical boundary conditions makes it possible to realise a smooth variation of the structure twist angle by changing the helix pitch. It is shown that the twisting of the structure of the studied chiral nematic to an angle of more than 240° leads to undulations when the conical anchoring is specified by the PiBMA polymer. The PtBMA polymer, on the other hand, specifies tangential boundary conditions for the chiral nematic under study, allowing the director to rotate easily in the plane of the sample. The results presented may be promising for the development of liquid crystal systems with finely tunable polar and azimuthal angles of the director.

---

**DOI:**

10.18083/LCAppl.2024.1.90

---

**For citation:**

Abdullaev A. S., Krakhalev M. N., Zyryanov V. Ya. Photoinduced transformation of the orientational structure of a chiral nematic under planar-conical anchoring. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2024, **24** (1), 90–95 (in Russ.).

---

\*Corresponding author: aabdullaev@iph.krasn.ru

© Abdullaev A. S., Krakhalev M. N., Zyryanov V. Ya., 2024

## Введение

Ключевым фактором, определяющим свойства жидких кристаллов (ЖК), является конфигурация поля директора (единичного вектора, направленного вдоль преимущественной ориентации длинных осей молекул), которой можно управлять внешними воздействиями. На сегодняшний день одним из самых распространенных методов управления является приложение к слою ЖК электрического напряжения, под действием которого директор стремится сориентироваться параллельно (при положительной анизотропии диэлектрической проницаемости ЖК  $\Delta\epsilon > 0$ ) или перпендикулярно (при  $\Delta\epsilon < 0$ ) направлению прикладываемого поля [1]. Возвращение ориентационной структуры в исходное состояние после выключения поля происходит за счет ориентирующего влияния подложек, ограничивающих ЖК (граничных условий). Для стабильной работы ЖК-устройства граничные условия должны задавать сильное полярное и азимутальное сцепление [2], которое задают большинство используемых современных ориентантов ЖК.

В последние годы развиваются другие подходы к управлению структурой ЖК, имеющие ряд преимуществ по сравнению с применением электрического поля. Одним из таких методов является использование фоточувствительной хиральной добавки к нематиду, позволяющей получить хиральный нематик с изменяемым под действием светового излучения шагом спирали  $p$  – расстояния, на котором директор поворачивается на  $2\pi$  [3, 4]. В частности, это позволяет реализовать управление цветом холестерика во всем видимом спектральном диапазоне [5], получить вращающуюся дифракционную решетку [6], вращать микрообъекты, расположенные на поверхности пленки холестерика [7] и пр. При изменении под действием света шага спирали хирального нематика может происходить изменение азимутальной ориентации директора. Однако использование сильного азимутального сцепления директора на подложках, хорошо зарекомендовавшее себя в электрооптических ЖК-ячейках, будет мешать такому изменению директора. Как следствие, в ЖК-ячейках с жестким азимутальным сцеплением изменение шага спирали хирального нематика будет происходить скачкообразно, что особенно ярко

проявляется в ЖК-ячейках с шагом спирали, соизмеримым с толщиной  $d$  ЖК-слоя [8, 9]. В данной работе представлены результаты исследования ЖК-системы с плавно изменяющимся под действием света шагом спирали хирального нематика и соответствующим плавным азимутальным поворотом директора на одной из подложек ЖК-ячейки.

## Эксперимент

Исследовались ЖК-ячейки, состоящие из стеклянных подложек, покрытых ориентирующими полимерными пленками. Одна подложка покрывалась пленкой поливинилового спирта (ПВС) (*Sigma Aldrich*), которая после нанесения высушивалась и однонаправленно натиралась для задания жесткого планарного сцепления. Вторая подложка покрывалась пленкой полиизобутилметакрилата (ПиБМА) или полипретбутилметакрилата (ПтБМА) (*Sigma Aldrich*), которые после высушивания не подвергались дополнительной обработке. Подложки склеивались с использованием стеклянных микросфер диаметром  $17,3 \pm 1,4$  мкм (*Duke Scientific*) в качестве спейсеров. Нематическая смесь ЛН-396 (Белорусский государственный университет) допировалась левозакручивающей хиральной добавкой *S811* (ТСИ) и правозакручивающим хиральным допантом *cChD* (Институт химии новых материалов НАН Беларуси). Закручивающая способность добавки *cChD* уменьшается под действием ультрафиолетового (360–380 нм) излучения и увеличивается при облучении синим светом (420–460 нм) [10]. Для нематика ЛН-396 закручивающие способности добавок измерялись спектральным методом. Для добавки *S811* значение закручивающей способности  $\beta_{S811} = -11$  мкм<sup>-1</sup>, у допанта *cChD* закручивающая способность изменялась в зависимости от освещения УФ- или синим светом в диапазоне от +40,1 мкм<sup>-1</sup> до +43,6 мкм<sup>-1</sup>. Концентрации добавок *S811* и *cChD* составляли 8,4 % и 2,3 %, соответственно. Исследования ориентационных структур проводились на поляризационном микроскопе *Axio Imager A1.m* (*Zeiss*), перед наблюдениями ЖК-ячейки предварительно выдерживались под УФ-лампой в течение 30 мин. В процессе наблюдения происходило изменение шага спирали хирального нематика под действием освещения образца лампой микроскопа.

### Результаты и их обсуждение

Известно, что полимер ПиБМА задает конические граничные условия для нематика ЛН-396, а также хиральных нематиков на его основе [11]. В этом случае угол закрутки структуры может легко подстраиваться под соотношение  $d/p$ , которое в случае фоточувствительного хирального нематика

может изменяться под действием светового излучения. На рисунке 1 (верхний ряд) представлены фотографии образца с ориентирующей пленкой ПВС на одной подложке и пленкой ПиБМА на второй, сделанные в различные моменты времени после начала наблюдения (выключения УФ-лампы).

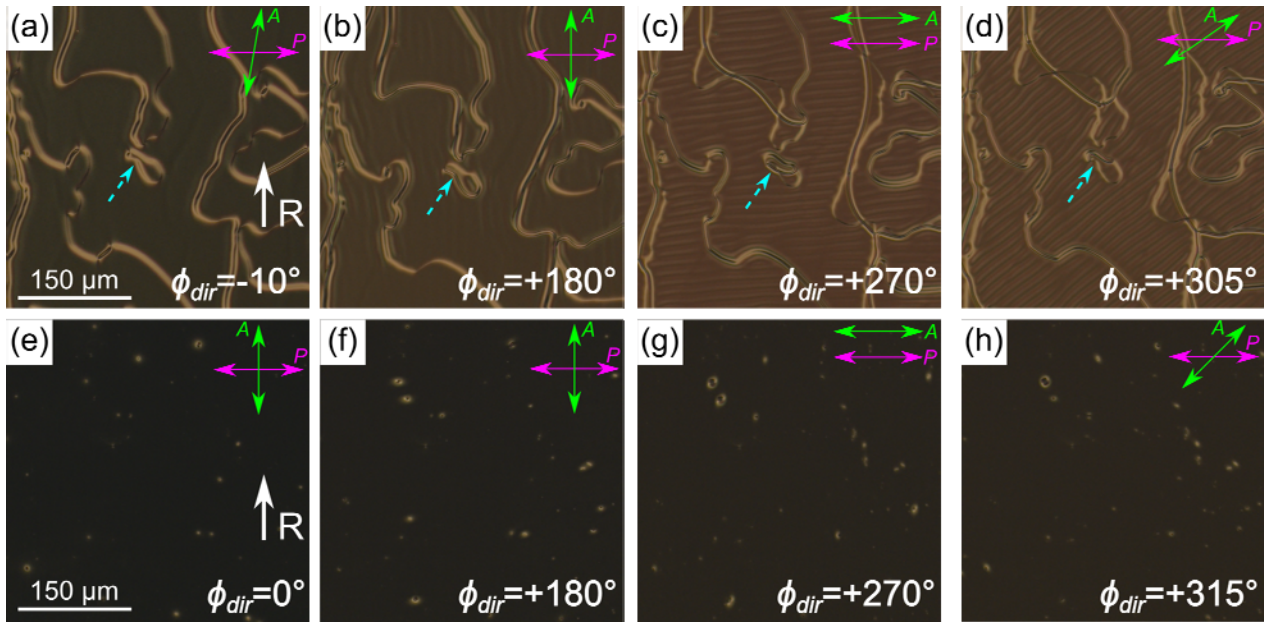


Рис. 1. Микрофотографии хирального нематика на основе ЛН-396 с ориентирующими пленками ПВС и ПиБМА (a)-(d) и ПВС и ПтБМА (e)-(h), полученные при углах закрутки структур  $\phi_{dir} = -10^\circ$  (a),  $\phi_{dir} = +180^\circ$  (b),  $\phi_{dir} = +270^\circ$  (c),  $\phi_{dir} = +305^\circ$  (d),  $\phi_{dir} = 0^\circ$  (e),  $\phi_{dir} = +180^\circ$  (f),  $\phi_{dir} = +270^\circ$  (g),  $\phi_{dir} = +315^\circ$  (h). Направление поляризатора  $P$  и анализатора  $A$  обозначены двойными стрелками, направление натирки  $R$  пленки ПВС – одинарной стрелкой, уменьшающийся в длине дефект – пунктирной одинарной стрелкой

Fig. 1. Microphotographs of the chiral nematic based on LN-396 with orienting films of PVA and PiBMA (top row) and PVA and PtBMA (bottom row) taken at twist angles  $\phi_{dir} = -10^\circ$  (a),  $\phi_{dir} = +180^\circ$  (b),  $\phi_{dir} = +270^\circ$  (c),  $\phi_{dir} = +305^\circ$  (d),  $\phi_{dir} = 0^\circ$  (e),  $\phi_{dir} = +180^\circ$  (f),  $\phi_{dir} = +270^\circ$  (g),  $\phi_{dir} = +315^\circ$  (h). The directions of polariser  $P$  and analyser  $A$  are indicated by double arrows, the rubbing direction of PVA film  $R$  is shown by a single arrow, defect decreasing in length is shown by a dotted single arrow

При наблюдении образец освещался со стороны подложки с пленкой ПВС, ориентация поляризатора была перпендикулярна направлению натирки, а ориентация анализатора выбиралась таким образом, чтобы наблюдаемая картина максимально затемнялась. В этом случае направление анализатора оказывается параллельным проекции директора на подложке с ПиБМА – метод вращающегося анализатора [12]. Таким образом можно измерять угол закрутки структуры. Из рисунка 1, a-d следует, что под действием света микроскопа происходит плавное изменение угла закрутки

структуры от примерно  $\phi_{dir} = -10^\circ$  до  $\phi_{dir} = +305^\circ$ . Помимо плавной перестройки угла закрутки в отклике структуры можно отметить две характерные особенности. Во-первых, в образце исходно имеются линейные дефекты, а изменение угла закрутки структуры не влияет на положение этих линий. Второй особенностью является возникновение периодической деформации структуры (ондуляций) при углах закрутки директора более  $\phi_{dir} = 240^\circ$  (рис. 1, c-d), ориентация которых практически параллельна азимутальной ориентации директора на подложке с коническим сцеплением.

Возникающие ондуляции способны взаимодействовать с имеющимися линейными дефектами, что приводит к незначительному уменьшению их длины. В образце, где одна из подложек покрыта натертой пленкой ПВС, а вторая – пленкой ПтБМА, исходно формируется однородная азимутальная ориентация без каких-либо линейных дефектов (рис. 1,  $e-h$ ). Под действием света от лампы микроскопа, вызывающего изменение шага спирали  $p$ , происходит плавное изменение угла закрутки структуры, не сопровождающееся появлением ондуляций или других дефектов даже при больших углах закрутки.

Наблюдаемые плавные изменения угла закрутки директора в обеих ЖК-ячейках объясняются легким скольжением директора на подложках с ПиБМА и ПтБМА, характерным для конического сцепления [12, 13]. Возникающие ондуляции в образце на основе ПиБМА обусловлены значительным полярным углом наклона директора в объеме и на подложке с коническим сцеплением, что может приводить к периодическим искажениям холестерических слоев [14]. Имеющиеся в данном образце исходные линейные дефекты соответствуют участкам, где директор меняет знак угла наклона директора [11], и, как следствие, изменение азимутальной ориентации без значительного изменения полярного угла наклона директора недостаточно для трансформации таких дефектов. Но при возникновении периодических искажений холестерических слоев возникающие изменения полярного угла директора способствуют трансформации линейных дефектов. Интересным является тот факт, что в образце на основе ПтБМА линейные дефекты и ондуляции не возникают, и, исходя из этого, уже можно предположить, что в этой структуре полярный угол наклона директора небольшой. Для проверки данного утверждения нами был изготовлен образец с ориентирующими пленками ПВС и ПтБМА, заполненный нематиком ЛН-396 без хиральных добавок, для которого методом наклонного падения света [15] измерен угол наклона директора на полимере ПтБМА. Полученное значение угла получилось равным  $0^\circ$ . Таким образом, можно говорить о том, что для нематика ЛН-396 и холестериков на его основе полимер ПтБМА задает тангенциальные граничные условия с возможностью легкого азимутального вращения директора.

## Выводы

Нами исследован процесс трансформации ориентационных структур хирального нематика, обусловленный фотоиндуцированным изменением шага спирали. Показано, что использование планарно-конических граничных условий позволяет реализовать плавное изменение угла закрутки структуры. В случае большого угла наклона директора на подложке с коническим сцеплением закрутка структуры на угол более  $\phi_{\text{dir}} = 240^\circ$  приводит к появлению ондуляций. Обнаружено, что полимер ПтБМА задает для нематика ЛН-396 тангенциальные граничные условия, позволяющие директору легко поворачиваться в плоскости образца. Продемонстрированное управление углом закрутки структуры позволяет расширить функционал и область применения ЖК-материалов [16], при этом возможность задания различного угла наклона директора на подложке, где происходит скольжение директора, может дать дополнительные возможности оптимизации ЖК-системы, например, увеличить диапазон изменения угла закрутки структуры без возникновения дефектов.

**Благодарность:** работа выполнена в рамках научной тематики Госзадания Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

**Acknowledgments:** the research was carried out within the state assignment of Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences».

## Список источников / References

1. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы: структура и свойства. М. : Книжный дом «Либроком», 2013. 480 с. [Blinov L.M. Liquid crystals: structure and properties. Moscow : Book house «Librokom», 2013. 480 p. (in Russ.)].
2. Takato K., Hasegawa M., Koden M., Itoh N., Hasegawa R. and Sakamoto M. Alignment technologies and applications of liquid crystal devices. New York : Taylor & Francis, 2005, 255 p.
3. Chen P., Ma L.L., Hu W., Shen Z.X., Bisoyi H.K., Wu S.B., Ge S.J., Li Q., Lu Y.Q. Chirality invertible superstructure mediated active planar optics. *Nat. Commun.*, 2019, **10**, 2518.  
DOI: 10.1038/s41467-019-10538-w.

4. Li Y., Wang M., White T.J., Bunning T.J., Li Q. Azoarenes with opposite chiral configurations: light-driven reversible handedness inversion in self-organized helical superstructures. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2013, **52** (34), 8925–8929. DOI: 10.1002/anie.201303786.
  5. Wang Y., Urbas A., Li Q. Reversible visible-light tuning of self-organized helical superstructures enabled by unprecedented light-driven axially chiral molecular switches. *J. Am. Chem. Soc.*, 2012, **134**, 3342–3345. DOI: 10.1021/ja211837f.
  6. Zola R.S., Bisoyi H.K., Wang H., Urbas A.M., Bunning T.J., Li Q. Dynamic control of light direction enabled by stimuli-responsive liquid crystal gratings. *Adv. Mater.*, 2018, **31**, 1806172 (34 p.). DOI: 10.1002/adma.201806172.
  7. Thomas R., Yoshida Y., Akasaka T. and Tamaoki N. Influence of a change in helical twisting power of photoresponsive chiral dopants on rotational manipulation of micro-objects on the surface of chiral nematic liquid crystalline films. *Chem. Eur. J.*, 2012, **18**, 12337–12348. DOI: 10.1002/chem.201200836.
  8. Liu C.K., Chiu C.Y., Morris S.M., Tsai M.C., Chen C.C., Cheng K.T. Optically controllable linear-polarization rotator using chiral-azobenzene-doped liquid crystals. *Materials*, 2017, **10**, 1299. DOI: 10.3390/ma10111299.
  9. Liu C.K., Tsai M.C., Morris S.M., Chiu C.Y., Chen C.C., Cheng K.T. Dynamics of pitch change in chiral azobenzene-doped liquid crystals. *J. Mol. Liq.*, 2018, **263**, 406–412. DOI: 10.1016/j.molliq.2018.04.104.
  10. Chepeleva D.S., Yakovleva A.S., Murauski A.A., Kukhta I.N., Muravsky A.A. Phototunable selective reflection of cholesteric liquid crystals. *Doklady BGUIR*, 2019, **7** (125), 28–31. DOI: 10.35596/1729-7648-2019-125-7-28-31.
  11. Krakhalev M.N., Bikbaev R.G., Sutormin V.S., Timofeev I.V., Zyryanov V.Ya. Nematic and cholesteric liquid crystal structures in cells with tangential-conical boundary conditions. *Crystals*, 2019, **9** (5), 249. DOI: 10.3390/cryst9050249.
  12. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Sutormin V.S., Bikbaev R.G., Timofeev I.V., Zyryanov V.Ya. Electrically induced transformations of defects in cholesteric layer with tangential-conical boundary conditions. *Sci. Rep.*, 2020, **10**, 4907. DOI: 10.1038/s41598-020-61713-9.
  13. Прищепа О. О., Сутормин В. С., Крахалев М. Н., Иваненко А. А., Шефер А. Д., Зырянов В. Я. Азимутальный поворот периодической структуры линейных дефектов в слое холестерика с планарно-коническими граничными условиями // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2022. Т. 22, № 3. С. 111–115. [Prishchepa O.O., Sutormin V.S., Krakhalev M.N., Ivanenko A.A., Shefer A.D., Zyryanov V.Ya. Azimuthal rotation of periodic structure of linear defects in cholesteric layer under planar-conical boundary conditions. *Liq. Cryst. and their Appl.*, 2022, **22** (3), 111–115 (in Russ.). DOI: 10.18083/LCAppl.2022.3.111].
  14. Ryabchun A., Bobrovsky A., Stumpe J., Shibaev V. Rotatable diffraction gratings based on cholesteric liquid crystals with phototunable helix pitch. *Adv. Opt. Mater.*, 2015, **3** (9), 1273–1279. DOI: 10.1002/adom.201500159.
  15. Kostikov D.A., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya. Nematic structures under conical anchoring at various director tilt angles specified by polymethacrylate compositions. *Polymers*, 2021, **13** (17), 2993. DOI: 10.3390/polym13172993.
  16. Abdullaev A.S., Kostikov D.A., Krakhalev M.N., Zyryanov V.Ya. Complete light polarization control using a chiral-nematic cell with tangential-conical boundary conditions. *Opt. Mater.*, 2023, **146**, 114521. DOI: 10.1016/j.optmat.2023.114521.
- Вклад авторов:**
- <sup>1</sup>Абдуллаев А. С. – проведение исследований, подготовка иллюстраций, редактирование текста статьи.  
<sup>2</sup>Крахалев М. Н. – разработка концепции научной работы, написание исходного текста статьи.  
<sup>3</sup>Зырянов В. Я. – научное руководство; концепция исследования; редактирование текста статьи.
- Contribution of the authors:**
- <sup>1</sup>Abdullaev A.S. – conducting research, preparing illustrations, editing the text of the article.  
<sup>2</sup>Krakhalev M.N. – development of the concept of scientific work, writing the original text of the article.  
<sup>3</sup>Zyryanov V.Ya. – scientific guidance; research concept; editing the text of the article.
- Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**
- <sup>1</sup>ORCID: 0009-0002-8899-4769  
<sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-3519-9497  
<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-7373-3342
- Поступила 15.11.2023; одобрена 22.12.2023; принята 9.01.2024.  
Received 15.11.2023; approved 22.12.2023; accepted 9.01.2024*