

Научная статья

1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки)

УДК 541.65.654

doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2024.02.007

ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Мухтор Хасанович Эгамов

Худжандский научный центр Национальной Академии наук Таджикистана, Северо-восточная пром. зона, 735714, Худжанд, Республика Таджикистан
egamov62@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2319-3677>

Аннотация. Мягким материям характерно существования эффекта двулучепреломления, который легко контролируется внешними факторами. Названный эффект позволяет моделировать светового излучение оптического диапазона по ряду волновых параметров, поскольку он непосредственно связан с анизотропией показателя преломления. Последний аргумент позволяет изменять ориентацию плоскости поляризации прошедшего через образец светового излучения. При введении последних в ЖК среде, анизотропия показателя преломления (Δn) сильно меняется. Для улучшения оптических характеристик жидкокристаллических ячеек, такие как: яркости, контраста и быстродействия, применяются специальные ориентирующие поверхности с заранее выбранной морфологии, а их объем заполняется наночастицами или поверхностно-активными веществами (ПАВ). Однако, введения таких частиц вызывает рассеяние светового излучения, сопровождающий снижения степени поляризации прошедших излучений. Поэтому с целью снижения нежелательных потерь интенсивности моделируемого светового излучения, необходимо решать задачу согласования ЖК элементов с оптической схемой устройства по положению плоскости поляризации. Нами исследовано влияние ПАВ в виде цетилтриметил аммоний бромида (ЦТАБ) в нематических жидкокристаллических ячейках типа 4-пентил-4'-цианобифенила 5СВ. В результате приложении электрического поля показали, что для исходного НЖК 5СВ и ячейки с концентрацией 0,05 % ЦТАБ-а световые излучения, прошедшие через ячейки, можно воспринимать как поляризованным, так как отношение I_{ox}/I_{oy} больше 100; в ячейках, содержащие НЖК 5СВ и концентрации 0,1 и 0,3 вес. % ЦТАБ-а, световые излучения можно считать линейно поляризованным, когда выполняется условия $10 < I_{ox}/I_{oy} < 100$; а ячейка с содержанием 0,5 вес. % ПАВ-а служит средством для получения эллиптической поляризации света. В последнем случае имеет место условия I_{ox}/I_{oy} меньше 100. Для интерпретации полученных результатов мы учитывали влияние ПАВ ЦТАБ на положения директора НЖК 5СВ Установлена взаимосвязь между концентрациями вводимого ПАВ и углом поворота плоскости поляризации. Указаны четкие границы линейной и эллиптической поляризации прошедшего через ячейку света в зависимости от концентрации ПАВ ЦТАБ. Предложены возможные применения таких материалов в полупроводниковой и твердотельной лазерной технике, и дисплейных технологиях.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, жидкий кристалл, светопропускания, ориентация, оптическая анизотропия, плоскость поляризации.

Благодарности: Работа выполнена в рамках проекта «Исследование структуры, механические и оптические свойства новых оптоэлектронных элементов на основе полимерно-жидкокристаллических композитов» на 2021-2025 гг., за № 0121TJ1107 от 10.03.2021 г. и финансируемой из госбюджета Республики Таджикистана.

Для цитирования: Эгамов М.Х. Вращения плоскости поляризации светового излучения в нематических жидких кристаллах // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2024. Т. 21, № 2. С. 199–204. doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2024.02.007.

Original article

ROTATION OF THE PLANE POLARIZATION OF LIGHT RADIATION IN NEMATIC LIQUID CRYSTALS

Mukhtor Kh. Egamov

Khujand Scientific Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Nord-East Prom. Zone, Khujand, 735714, Tajikistan
egamov62@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2319-3677>

Abstract. Soft materials are characterized by the existence of a birefringence effect, which is easily controlled by external factors. This effect makes it possible to simulate the light emission of the optical range by a number of wave parameters, since it is directly related to the anisotropy of the refractive index. The last argument allows you to change the orientation of the polarization plane of the light radiation transmitted through the sample. When the latter are introduced into the LCD medium, the anisotropy of the refractive index (Δn) varies greatly. To improve the optical characteristics of liquid crystal cells, such as brightness, contrast and speed, special orienting surfaces with a pre-selected morphology are used, and their volume is filled with nanoparticles or surfactants. However, the introduction of such particles causes scattering of light radiation, accompanying a decrease in the degree of polarization of the transmitted radiation. Therefore, in order to reduce undesirable intensity losses of the simulated light radiation, it is necessary to solve the problem of matching LCD elements with the optical circuit of the device according to the position of the polarization plane. We investigated the effect of surfactants in the form of cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) in nematic liquid crystal cells of type 4-pentyl-4'-cyanobiphenyl 5CB. As a result, the application of an electric field showed that for the initial 5CB NLC and cells with a concentration of 0.05 % CTAB-a, the light radiation passing through the cells can be perceived as polarized, since the I_{ox}/I_{oy} ratio is greater than 100; in cells containing 5CB NLC and concentrations of 0.1 and 0.3 wt. % CTAB-a, light emissions can be considered linearly polarized when the conditions $10 < I_{ox}/I_{oy} < 100$ are met; and a cell with a content of 0.5 wt. % surfactant-a serves as a means to obtain elliptical polarization of light. In the latter case, the I_{ox}/I_{oy} condition is less than 100. To interpret the results obtained, we took into account the effect of the CTAB surfactant on the positions of the director of the NLC 5CB, the relationship between the concentrations of the introduced surfactant and the angle of rotation of the polarization plane was established. The clear boundaries of the linear and elliptical polarization of the light transmitted through the cell are indicated, depending on the concentration of CTAB surfactants. Possible applications of such materials in semiconductor and solid-state laser technology and display technologies are proposed.

Keywords: surface-active substance, liquid crystal, light transmission, orientation, optical anisotropy, polarization plane.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the project «Study of the structure, mechanical and optical properties of new optoelectronic elements based on polymer-liquid crystalline composites» for 2021-2025 years, for No. state registration 0121TJ1107 dated 10.03.2021 and funded from the state budget of the Republic of Tajikistan.

For citation: Egamov, M. Kh. (2024). Rotation of the plane polarization of light radiation in nematic liquid crystals. *Fundamental'nye problemy sovremennoy materialovedeniya (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 21(2), 199–204. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2024.02.007.

Введение

Хотя за последние полувек достигнуты осязаемые успехи в исследовании структуры и свойства жидких кристаллов (ЖК), относящиеся к оптической электронике, голографии и информационной технологии [1-3], некоторые вопросы в этом аспекте все еще остаются до конца не решенными. К таким проблемам можно отнести взаимосвязи ориентационного порядка в нематиках в присутствии катионных поверхностно активных веществ (ПАВ). В сущности, данная задача довольно многогранна и ее решения во многом определяется разнообразностью введенных в объем нематика мик-

рочастицы в качестве примеси, их природой, а также ряда внешних дестабилизирующих факторов [4]. В мягких материях наблюдается эффект двулучепреломления, который легко контролируется внешними факторами (электрическим, магнитным, световым, звуковым или механическим полями). Такой эффект позволяет моделировать светового излучение оптического диапазона по ряду волновых параметров [5]. При исследовании нематических жидких кристаллах (НЖК) в отсутствие внешних сил, за счет анизотропии показателя преломления (Δn) можно изменять ориентацию плоскости поляризации светового излучения, перпендикулярно падающий на ЖК ячейку. Соответственно, они

могут применяться как среда для элементов оптического фазовращателя или служить как заменитель для жидких растворов на основе глюкозы или полупроводниковым элементам [5, 6].

Существует аналогичный способ разработки ЖК элементы, предназначенные для поляризации светового излучения под действием электрического поля, либо при их отсутствии. Для этого с целью улучшения ряда оптических характеристик, такие как: яркости, контраста и быстродействия, применяются специальные ориентирующие поверхности с заранее выбранной морфологии [7], а объем ячейки ЖК заполняется наночастицами или поверхностно-активными веществами (ПАВ). При введении последних в ЖК среде, анизотропия показателя преломления (Δn) сильно меняется. Следовательно, ПАВ или наночастица приводит к изменению положения плоскости поляризации между падающим и прямо прошедшим через ЖК-ячейку лучами

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \Delta n = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot (n_e - n_o), \quad (1)$$

где d – толщина жидкокристаллического слоя; n_o – показатель преломления для обыкновенного луча; n_e – показатель преломления для необыкновенного луча. В уравнении (1) величина n_o является постоянной величиной для исследуемого ЖК материала, а n_e строго зависит от степени ориентации директора (преимущественная направления ориентации молекул НЖК вдоль главной оптической оси). Изменения плоскости поляризации $\Delta\varphi$ в уравнении (1) отрицательно влияет на работу жидкокристаллических устройств как в отсутствии, так и в присутствии электрического поля. Поэтому с целью снижения нежелательных потерь интенсивности моделируемого светового излучения, необходимо решать задачу согласования ЖК элементов с оптической схемой устройства по положению плоскости поляризации. Данная работа посвящена решению именно такого рода задачи.

Методика исследования

Для решения указанной задачи исследовались влияния концентрации поверхностно-активных сред (ПАВ) в виде наночастиц из катионного сурфактанта – цетилтриметиламмоний бромида (ЦТАБ) на величину изменения плоскости поляризации света в нематическом жидком кристалле (НЖК) 4-пентил-4'-цианобифениле (5СВ). Это позволяет согласовывать по степени ориентации плоскости поляризации жидкокристаллическую ячейку и по-

ляризатор не только за счет толщины слоя, но и за счет концентрации ЦТАБ [8]. Жидкокристаллическая ячейка была создана в конфигурации твист-нематика, состоящая из двух параллельно расположенных стеклянных пластин, с одной стороны которых были нанесены проводящие металлические покрытия на основе оксидов индия-олова (ITO). Последние имели толщину ~ 200 мкм с тройным содержанием 74 % (In), 18 % (O₂) и 8 % (Sn) по весу. В тонких слоях покрытия ITO становится прозрачным и бесцветным, поэтому в ИК области спектра действует, как металлическое стекло. Тонкие пленки ITO осаждали на поверхности стеклянных подложек посредством физического осаждения из паровой фазы [9]. Для подготовки и перемешивания ЖК смеси использовали магнитную мешалку со скоростью вращения 3500 об/мин. Толщину ЖК слоя регулировали тефлоновыми прокладками. Для определения вращения плоскости поляризации использовался Ge-Ne лазер с длиной волны $\lambda = 0,633$ нм при комнатной температуре. Первоначальное положение поляризатора и анализатора выбирали таким способом, чтобы при размещении двух противоположно расположенных стеклянных пластинок с толщиной ЖК ячейки 8-10 мкм выполнялся максимальное пропускание света. Прошедший сигнал через ячейку регистрировались на фотоприемнике ФД-10-ГБ.

Результаты и их обсуждения

Результаты наблюдений показали, что конфигурации исследуемых нами ячеек при введении ПАВ, состоит из совокупности двух составляющих: за счет концентрации ПАВ и изменения плоскости поляризации в боковых ограничивающих плоскостях. Последнее почти не вносит вклад на исследуемый нами эффект, поэтому их можно не учитывать. На рис.1 иллюстрированы зависимости коэффициента светопропускания ЖК ячеек 5СВ с различными концентрациями ПАВ от угла поворота образцов по отношению к анализатору и поляризатору. Экспериментальная установка для определения зависимости коэффициента светопропускания ЖК ячеек с разными концентрациями от взаимного расположения между анализатором и поляризатором [6] собирали таким способом, чтобы максимальная пропускания наблюдалась между 0° и 180° , а минимальная пропускания наблюдали при 90° и 270° . Тогда можно выявить положение максимумов коэффициентов пропускания на основе закона Малюса. Эти сдвиги хорошо прослеживаются при анализе значений, приведенные в таблице 1.

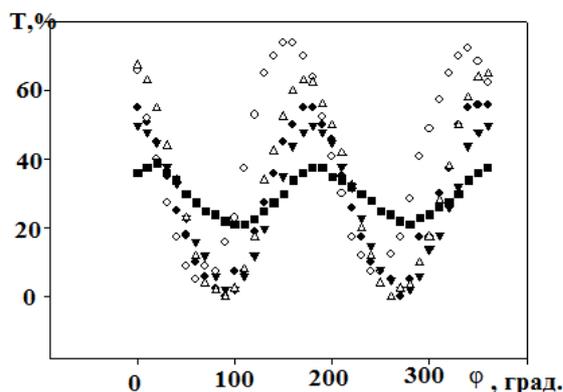


Рис.1. Зависимость светопропускания НЖК 5СВ ячеек от угла вращения поляризатора: (■) – исходный; (◆) – 0,05 вес. %; (○) – 0,1 вес. %; (▼) – 0,3 вес. %; (△) – 0,5 вес. %

Fig.1. The dependence of the light transmission of NLC 5CB cells on the angle of rotation of the polarizer: (■) – the original; (◆) – 0.05 wt. %; (○) – 0.1 wt. %; (▼) – 0.3 wt. %; (△) – 0.5 wt. %

Таблица 1. Изменения плоскости поляризации в ЖК ячейки

Table 1. Change in the plane of polarization in the LC of the cell

Положение экстремума коэффициента пропускания	Концентрация ЦТАБ в составе НЖК 5 СВ, вес. %				
	0	0,05	0,1	0,3	0,5
90°	86,1	85,7	66,4	94,8	101,5
180°	173,8	174,3	155,0	181,9	186,6
270°	266,1	266,0	245,4	172,1	279,8
360°	255,5	353,4	338,1	361,8	375,5

Как видно, с ростом концентрации ПАВ ЦТАБ наблюдается сдвиг всех максимумов, кроме образцов, содержащие 0, 1 % ЦТАБ, по отношению к максимуму коэффициента светопропускания для исходного НЖК 5СВ. Причем, среднее отклонение положения экстремумов по отношению к исходному НЖК 5СВ для концентрации 0,05 и 0,1 % отрицательно (соответственно на $-0,5^\circ$ и $-19,2^\circ$), а для концентраций 0,3 % и 0,5 % положительно (соответственно на $7,3^\circ$ и $15,5^\circ$). В [8] показано, что концентрация 0,1 % соответствует концентрационному условию, при котором выполняется переход из нематического состояния к смектическому. В нашем же случае такой переход проявляется в изменении поляризационных свойств исследуемых пленок.

Из рис.1 можно определить отношение амплитуд интенсивности излучения, прошедшие через ЖК ячейки относительно оси Ox и Oy . Основным условием для определения амплитуды интенсивности излучения по оси Ox коэффициент пропускания должен быть максимальным, а по оси Oy – наоборот, минимальным. Тогда, используя сдвиг экстремумов $\Delta\varphi$ и отношения I_{ox}/I_{oy} можно определить азимутальный угол α и эллиптический угол ε , которые

объясняют излучение при эллиптической поляризации [9]:

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2\sqrt{\frac{I_{ox}}{I_{oy}}}}{1 - \left(\frac{I_{ox}}{I_{oy}}\right)} \cdot \cos(\Delta\varphi) \quad (2)$$

$$\sin(2\varepsilon) = \frac{2\sqrt{\frac{I_{ox}}{I_{oy}}}}{1 + \left(\frac{I_{ox}}{I_{oy}}\right)} \cdot \sin(\Delta\varphi) \quad (3)$$

Оказалось, что для исходного НЖК 5СВ и ячейки с концентрацией 0,05 % ЦТАБ-а световые излучения, прошедшие через ячейки, можно воспринимать как поляризованным, так как отношение I_{ox}/I_{oy} больше 100; в ячейках, содержащие НЖК 5СВ и концентрации 0,1 и 0,3 вес. % ЦТАБ-а, световые излучения можно считать линейно поляризованным, ибо выполняется условия $10 < I_{ox}/I_{oy} < 100$; а ячейка с содержанием 0,5 вес. % ПАВ-а служит средством для получения эллиптической поляризации света. В последнем случае имеет место условия I_{ox}/I_{oy} меньше 100. Для интерпретации получен-

ных результатов мы учитывали влияние ПАВ ЦТАБ на положения директора НЖК 5СВ [10]. Для этого выбирали оси Oz так, чтобы выполнялась условия перпендикулярности к плоскости стеклянной подложки. В таком случае зависимость показателя преломления (n_e) от угла смещения θ экстремумов записывается выражением

$$n_e(\theta) = \frac{n_{\perp} n_{\parallel}}{\sqrt{n_{\perp}^2 (\cos \theta(z))^2 + n_{\parallel}^2 (\sin \theta(z))^2}}. \quad (4)$$

Здесь при пассивном режиме (при отсутствии внешнего поля) ячейки, где, а при активном режиме (т.е. при присутствии внешнего электрического поля) – $n_e = n_{\perp}$, где $\Delta n = n_{\perp} - n_0$. Это означает, что под действием внешнего электрического поля наблюдается переориентация директора НЖК 5СВ и локальные флуктуации диполей в объеме капли жидкого кристалла относительно вводимых ПАВ ЦТАБ [11, 12]. Полученные результаты также можно объяснить с изменением анизотропии показателя преломления (n_e) и находятся в хорошем согласии с результатами работ [9], где были исследованы аналогичные параметры по быстрдействию ЖК ячеек.

Выводы и рекомендации

Проанализировав экспериментальные данные по изменению состояния плоскости поляризации в ячейках из НЖК 5СВ и концентрацией ПАВ ЦТАБ выдвигаются следующие выводы.

При концентрациях ПАВ ЦТАБ 0,3 и 0,5 вес. % можно изменять положение плоскости поляризации по отношению к исходному ячейку НЖК 5СВ соответственно на 7,3 и 15,5°. Аналогичные результаты можно получить при концентрациях 0,1 вес. % на величину 19,2°, а для 0,05 вес. % всего лишь на 0,5°, которое мы связываем с погрешностью измерительных аппаратур и незначительным флуктуациям оптических свойств, концентрированных НЖК по отношению к исходным ячейкам.

Изменения концентрации ЦТАБ способствует не изменять толщины ЖК ячеек и не прибегать к применению дополнительных механизмов и устройств типа вращателей плоскости поляризации для согласования НЖК элементов с внешними оптическими схемами. Данный факт имеет ценный практический интерес для дисплейных технологий, так как можно интегрировать композит НЖК с добавкой ПАВ ЦТАБ, с улучшенными спектральными и дина-

мическими характеристиками, установить в корпус устройства фиксации толщины. Исследуемые ЖК композиты могут использоваться как пассивные вращатели плоскости поляризации, величина вращения которых перестраивается за счет изменения концентрации ПАВ ЦТАБ и толщины слоя ячейки [13]. Для лазерной техники данная взаимосвязь выгодно в тех условиях, когда не имеется возможности изменить толщину слоя или же невозможно изменения положения поляризатора.

Список литературы

1. Gennes de P.G., J. Prost. The Physics of Liquid Crystals. Clarendon Press, Oxford. 1993. 597 p.
2. Хасанов Т. Поляризующая способность линейных поляризаторов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2010. Т. 7, № 3. С. 57–63.
3. Вальков А.Ю., Романов В.П., Шалагинов А.Н. Флуктуации и рассеяния света в жидких кристаллах // *УФН*. 1994. Т. 164, Вып. 2. С. 149–193.
4. Egamov M.Kh. The structural transformation of polymer dispersed liquid crystalline films in external deformation field // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. P. 012013.
5. Попов В.А., Гилев В.Г., Захлевных А.Н. Влияние слабого сцепления на магнитный переход Фредерикса в ферронематическом жидком кристалле // *Физика твердого тела*. 2018. Т. 60, Вып. 7. С. 1445–1450.
6. Эгамов М.Х. Анизотропия светорассеяния полимерно-жидкокристаллических композиционных систем при одноосном растяжении // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2012. Т. 9, № 4–2. С. 675–680.
7. Krizhanovskii D.N., Sanvitto D., Shelykh I.A., Glazov M.M., Malpucchi G. et al. Rotation of the plane of polarization of light in a semiconductor microcavity // *Phys. Rev. B*. 2006. V. 93, N 7. P. 073303.
8. Egamov M.Kh., Gerasimov V.P., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya., Loiko V.A. Polarizing properties of a stretched film of a polymer-dispersed liquid crystal with a surfactant dopant // *Journal of Optical Technology*. 2014. V. 81, N 7. P. 414–417.
9. Chausov D.N., Kurilov A.D., Kucherov R.N., Simakin A.V., Gudkov S.V. Electro-optical performance of nematic liquid crystals doped with gold nanoparticles // *J. Phys.: Condens. Matter*. 2020. V. 32, N 39. P. 395102.

10. Egamov M.Kh., Maksudov B.I., Faizulloev I.Kh. Hysteresis phenomena and the effect reorientation in a polymer-liquid crystal system under the influence of laser radiation and uniaxial deformation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. V. 2270. P. 012011.

11. Калитаевский Н.И. Волновая оптика. Учеб. пособие для университетов. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Высшая школа, 1978. 383 с.

12. Хасанов Т. Измерение оптических постоянных подложек на основе отражения // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2011. Т. 8, № 3. С. 62–71.

13. Maksudov B.I., Egamov M.Kh., Faizulloev I.Kh. Optical hysteresis in composites based on polymer-nematic liquid crystal under uniaxial deformation // *Russian Physics Journal*. 2022. V. 65, N 3. P. 488–492.

Информация об авторах

М. Х. Эгамов – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики Худжандского научного центра Национальной Академии наук Таджикистана.

References

1. Gennes de P. G. & Prost J. (1993). *The Physics of Liquid Crystals*. Clarendon Press, Oxford. P. 597. (In Russ.).

2. Khasanov, T. (2010). Polarizing ability of linear polarizer's. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedenia (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 7(3), 57–63. (In Russ.).

3. Valkov, A. Yu., Romanov, V. P. & Shalaginov, A. N. (1994). Fluctuations and scattering of light in liquid crystals. *UFN*, 164(2), 149–193. (In Russ.).

4. Egamov, M. Kh. (2018). The structural transformation of polymer dispersed liquid crystal-line films in external deformation field. *Journal of Physics: Conference Series*, 012013.

5. Popov, V. A., Gilev, V. G. & Zakhlevnykh, A. N. (2018). Effect of weak coupling on the Fredericks magnetic transition in a ferro-nematic liquid crystal. *Solid State Physics*, 60(7), 1445–1450. (In Russ.).

6. Egamov, M. Kh. (2012). Anisotropy of light scattering of polymer-liquid crystal composite systems under uniaxial tension. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedenia (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 9(4–2), 675–680. (In Russ.).

7. Krizhanovskii, D. N., Sanvitto, D., Shelykh, I. A., Glazov, M. M. & Malpucchi, G. et al. (2006). Rotation of the plane of polarization of light in a semiconductor microcavity. *Phys. Rev. B*, 93(7), 073303.

8. Egamov, M. Ch., Gerasimov, V. P., Krakhalev, M. N., Prishchepa, O. O., Zyryanov, V. Ya. & Loiko, V. A. (2014). Polarizing properties of a stretched film of a polymer-dispersed liquid crystal with a surfactant dopant. *Journal of Optical Technology*, 81(7), 414–417.

9. Chausov, D. N., Kurilov, A. D., Kucherov, R. N., Simakin, A. V. & Gudkov, S. V. (2020). Electro-optical performance of nematic liquid crystals doped with gold nanoparticles. *J. Phys.: Condens. Matter.*, 32(39), 395102.

10. Maksudov, B. I., Faizulloev, I. Kh. & Egamov, M. Kh. (2022). Hysteresis phenomena and the effect reorientation in a polymer-liquid crystal system under the influence of laser radiation and uniaxial deformation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2270, 012011.

11. Kaliteevsky, N. I. (1978). *Wave optics. Study guide for universities*. Publ. 2-th, Corrected and expanded. M.: High School. P. 383. (In Russ.).

12. Khasanov, T. (2011). Measurement of optical permanent substrates based on reflection. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedenia (Basic Problems of Material Science (BPMS))*, 8(3), 62–71. (In Russ.).

13. Maksudov, B. I., Egamov, M. Kh. & Faizulloev, I. Kh. (2022). Optical hysteresis in composites based on polymer-nematic liquid crystal under uniaxial deformation. *Russian Physics Journal*, 65(3), 488–492.

Information about the authors

M. Kh. Egamov – candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher of the laboratory of Physics of the Khujand Scientific Center of the National Academy of Sciences of Tajikistan.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 03.04.2024; одобрена после рецензирования 22.04.2024; принята к публикации 06.05.2024.

The article was received by the editorial board on 03 Apr. 24; approved after reviewing 22 Apr. 24; accepted for publication 06 May 24.