

УДК 548.732

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА  
АНИЗОТРОПИЮ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ  
РЕНТГЕНОВСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Л.Г. Гаспарян\*, В.П. Мкртчян, Т.К. Дадалян

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

\*e-mail: laura@ysu.am

(Поступила в редакцию 20 марта 2017 г.)

Методом рентгеновской интерферометрии изучено влияние внешнего электрического поля на анизотропию слоя нематического жидкого кристалла – (НЖК). Показано, что НЖК типа E7 – положительная анизотропная среда в рентгеновской части спектра. Вычислены декременты слоя НЖК, находящегося под воздействием электрического поля. В результате переориентации молекул НЖК перпендикулярно к подложке ячейки декременты одинаковы для случаев, когда оптическая ось образца изначально перпендикулярна или параллельна вектору поляризации рентгеновского пучка.

## 1. Введение

Жидкие кристаллы (ЖК) представляют большой интерес, как с точки зрения их применений, так и фундаментальных исследований. Разработка новых методов исследований их физических свойств является одной из важных задач экспериментальной физики. Одной из мезофаз ЖК являются нематические жидкие кристаллы (НЖК), молекулы которых проявляют свойство ориентационного упорядочения и обладают большой оптической анизотропией. Молекулы имеют преимущественное направление ориентации, которое описывается вектором, называемым директором [1, 2]. Ориентация молекул НЖК чувствительна к внешним воздействиям таким, как электромагнитные, световые поля, температура, механические деформации и т. д. Благодаря этому стало возможным изготовление тонкослойных НЖК оптических элементов, позволяющих управлять параметрами оптических пучков [3].

Одним из самых распространенных методов переориентации молекул НЖК является воздействие электрическим полем [2]. Так как анизотропия диэлектрической проницаемости НЖК может быть как положительной, так и отрицательной, то в первом случае молекулы ориентируются параллельно полю, а во втором – перпендикулярно

полю. Такая переориентация приводит к изменению показателя преломления и поляризации света, проходящего сквозь слой НЖК. Изменение показателя преломления можно наблюдать в оптической части спектра с помощью скрещенных поляризаторов. Проведено множество исследований, связанных с изучением оптической анизотропии, однако более детальное изучение структуры возможно только с помощью ядерно-магнитной резонансной спектроскопии (для лиотропных ЖК) [4] и более распространенного метода интерференции рентгеновских лучей [5]. В работах [6, 7] рентгенооптический метод был успешно применен для изучения анизотропии некристаллических сред, в частности, НЖК типа 5СВ и полиэтиленовых пленок.

В настоящей работе предлагается метод исследования анизотропии показателя преломления ЖК в рентгеновском диапазоне спектра под действием внешнего электрического поля. Целью настоящей работы является экспериментальное изучение изменений рентгенооптической анизотропии слоя НЖК под воздействием внешнего электрического поля. Рентгеновским интерферометрическим методом измерено изменение показателя преломления планарно ориентированного тонкого слоя НЖК E7 под влиянием внешнего электрического поля.

## 2. Эксперимент

Проведено изучение рентгенооптической анизотропии слоя НЖК типа E7 толщиной 20 мкм. Слой ЖК помещался в ячейке, состоящей из двух прозрачных стеклянных подложек толщиной 1 мм, покрытых тонким электропроводящим слоем ИТО с помощью которых к НЖК было приложено электростатическое поле. Толщина слоя НЖК определялась зазором между двумя подложками, которые были параллельны друг другу, а зазор между ними задавался с помощью прокладок из тонких непроводящих пленок толщиной 20 мкм (рис.1). Для получения равномерной ориентации молекул НЖК поверх электропроводящего слоя ИТО с помощью центрифугирования подложки были покрыты изолирующим полимерным слоем. С помощью натирания полимерного слоя молекулам НЖК задавалась ориентация, параллельная подложкам ячейки. Для переориентации молекул НЖК на подложки с помощью генератора сигналов подавалось электрическое поле с разными значениями амплитуд напряжения и с частотой повторения 1кГц. Наилучшая переориентация молекул наблюдается при значении амплитуд напряжения  $U = 11$  В.

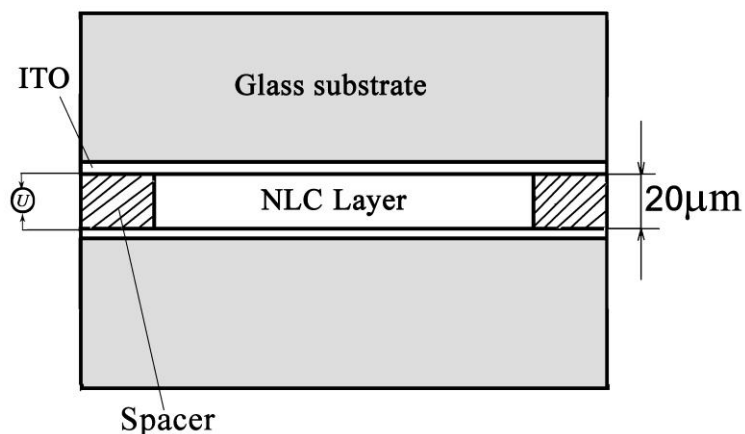


Рис.1. Вид ЖК ячейки.

Ячейка была заполнена НЖК капиллярным методом. В эксперименте был использован нематик E7, для которого обыкновенный и необыкновенный показатели преломления света, соответственно равны  $n_o = 1.52$  и  $n_e = 1.74$  на длине волны 587 нм [8]. На рис.2а приведена микрофотография образца, сделанная при помощи поляризационного микроскопа со скрещенными поляризаторами, из которой видно что ориентация НЖК довольно однородна. Оптическая ось образца, совпадающая с направлением ориентации молекул, перпендикулярна анализатору микроскопа, из-за чего мы видим минимум пропускания света. На рис.2b оптическая ось слоя НЖК повернута на  $45^\circ$  по отношению к анализатору микроскопа, и пропускание света максимально.

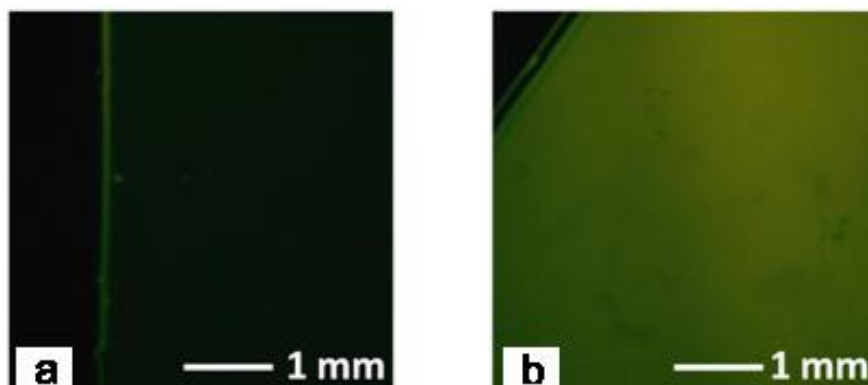


Рис.2. (а) Оптическая ось слоя НЖК перпендикулярна анализатору микроскопа, (б) оптическая ось слоя НЖК повернута на  $45^\circ$  по отношению к анализатору. Темная полоса на обеих фотографиях соответствует прокладкам, определяющим толщину ячейки.

Рентгенооптическая анизотропия среды исследовалась регистрацией разности фаз, возникающей при прохождении через среду рентгеновских волн с различными поляризациями. С этой целью использовался трехблочный рентгеновский Лауэ-интерферометр (LLL-интерферометр), состоящий из трех кристаллических блоков (рис.3), отражающие плоскости которых перпендикулярны их поверхностям. Толщина блоков удовлетворяла условию борманского прохождения  $\mu t \gg 1$ , где  $\mu$  — линейный коэффициент поглощения материала интерферометра и  $t$  — толщина блока. При неполяризованном падающем пучке после прохождения через блоки интерферометра остаются только волны с  $\sigma$ -поляризацией, вектор поляризации которых перпендикулярен плоскости дифракции. В рентгеновском интерферометре интерферируют пучки, накладывающиеся на третьем блоке — анализаторе, вследствие чего в двух пучках, выходящих из блока анализатора, наблюдаются интерференционные муаровые полосы. Если на пути одного из интерферирующих пучков поставить образец, то муаровые полосы будут смещены. Измеряя смещение линий муара относительно исходного положения, можно определить показатель преломления образца. Смещения муаровых полос зависят также от взаимного расположения вектора  $\sigma$ -поляризации рентгеновской волны и оптической оси исследуемого образца. Если оптическая ось ( $\mathbf{n}$ ) исследуемого образца перпендикулярна плоскости дифракции и нормали к волновому фронту рентгеновской волны, проходящей через образец, то вектор  $\sigma$ -поляризации поляризованной волны ( $\mathbf{N}$ ) будет параллелен главному сечению (плоскость, проходящая через нормаль к волновому фронту и оптическую ось), следовательно, и оптической оси. Волна будет себя вести как необыкновенная волна с показателем преломления  $n_e$ . Если образец повернуть на  $90^\circ$  относительно нормали к волновому фронту волны, то оптическая ось образца будет находиться в плоскости дифракции, и вектор  $\sigma$ -поляризации будет перпендикулярен главному сечению, а, следовательно, и оптической оси. Волна будет вести себя как обыкновенная волна с показателем преломления  $n_o$ . Следовательно, этим двум случаям будут соответствовать разные смещения муаровых полос.

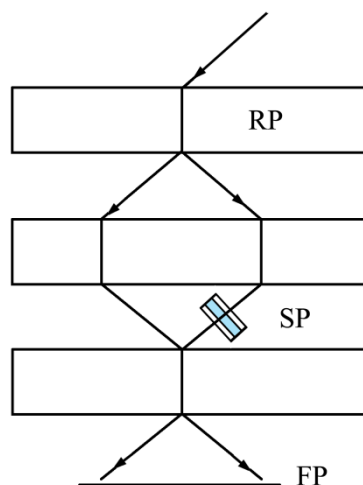


Рис.3. Ход лучей в LLL-интерферометре: RP – отражающие плоскости блоков, SP – исследуемый образец, FP – фотографическая пленка

Для исследования анизотропии НЖК-слоя были получены муаровые картины для следующих случаев: незаполненной НЖК-ячейки (рис.4b); оптической оси НЖК, параллельной  $\mathbf{N}$  (рис.4a); оптической оси НЖК, перпендикулярной  $\mathbf{N}$  (рис.4c); при воздействии электрического поля с напряжением 11 В для обеих начальных ориентаций образца (рис.4d). Во всех случаях смещения муаровых полос почти одинаковы: в случае ( $\mathbf{n} \perp \mathbf{N}$ ) и  $U = 11$  В смещение полос  $\Delta\Lambda = 0.48$  мм (рис.4d), а в случае ( $\mathbf{n} \parallel \mathbf{N}$ ) и  $U = 11$  В смещение полос  $\Delta\Lambda = 0.51$  мм.

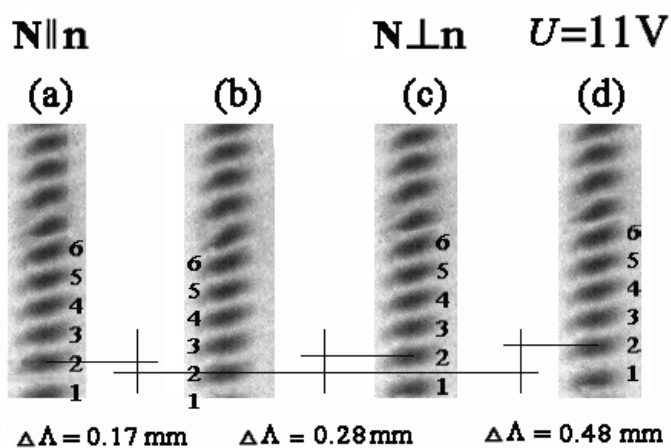


Рис.4. Муаровые картины: (а) оптическая ось НЖК параллельна  $\mathbf{N}$ , показатель преломления  $n_e$ ; (b) незаполненная НЖК ячейка; (с) оптическая ось НЖК перпендикулярна  $\mathbf{N}$ , показатель преломления  $n_o$ ; (d) при воздействии электрического поля с напряжением 11 В для обеих начальных ориентаций образца.

видно, что муаровые полосы на рис.4а, 4с и 4d сместились относительно муаровых полос на рис.4b вверх на разные величины (например, линия 2). Сравнивая относительное смещение максимумов на каждой из муаровых картин, можно утверждать, что ЖК является рентгенооптически анизотропной средой.

Измеряя период и смещение муаровых линий и используя значения параметров, приведенных в работе [9] ( $\delta = \lambda \Delta\Lambda / \Lambda t$ , где  $\lambda = 0.709 \text{ \AA}$  – длина волны  $\text{MoK}\alpha_1$ -излучения;  $\Delta\Lambda$  – относительное смещение муаровых полос;  $\Lambda = 700 \text{ мкм}$  – период муара;  $t = 20 \text{ мкм}$  – толщина слоя НЖК), можно определить декременты показателей преломления. В случае  $\mathbf{n} \perp \mathbf{N}$  и  $\Delta\Lambda = 0.28 \text{ мм}$ ,  $\delta n_o = 1.4 \times 10^{-6}$ ; в случае  $\mathbf{n} \parallel \mathbf{N}$  и  $\Delta\Lambda = 0.17 \text{ мм}$ ,  $\delta n_e = 0.85 \times 10^{-6}$ ; в случае  $\mathbf{n} \perp \mathbf{N}$ ,  $U = 11 \text{ В}$  и  $\Delta\Lambda = 0.48 \text{ мм}$ ,  $\delta n_o^{el} = 2.4 \times 10^{-6}$ ; в случае  $\mathbf{n} \parallel \mathbf{N}$  и  $U = 11 \text{ В}$ ,  $\Delta\Lambda = 0.51 \text{ мм}$ ,  $\delta n_e^{el} = 2.41 \times 10^{-6}$ .

Таким образом, разность средних значений показателей преломления  $n_o - n_e = -0.55 \times 10^{-6}$ , т. е. НЖК типа E7 является рентгенооптически положительной анизотропной средой. При воздействии электрического поля декремент слоя НЖК увеличивается для обеих ориентаций образца.

### 3. Заключение

Методом рентгеновской интерферометрии изучено влияние внешнего электрического поля на анизотропию слоя НЖК и показано, что можно эффективно изучать изменение анизотропии в тонких слоях НЖК. Установлено, что декременты слоя НЖК почти одинаковы для случаев, когда оптическая ось образца перпендикулярна или параллельна вектору поляризации рентгеновского пучка. Это указывает на то, что в обоих случаях молекулы НЖК переориентируются одинаково – перпендикулярно подложкам ячейки. Показано также, что НЖК типа E7 имеет положительную анизотропию в рентгеновской части спектра.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **P.De Gennes, J. Prost.** The Physics of Liquid Crystals. Oxford, Clarendon, 1993.
2. **I.C. Khoo.** Liquid Crystals. New Jersey, Wiley, 2007.

3. **S.J. Woltman, G.P. Crawford, G.D. Jay.** Liquid Crystals Frontiers in Biomedical Applications. World Scientific Publishing Company, New York, 2007.
4. **C. Schmidt.** Spectroscopy Europe , **26**, 11 (2014).
5. **D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill.** Handbook of Liquid Crystals, Structural Studies of Liquid Crystals by X-Ray Diffraction. Weinheim, Wiley-Vich. 1998.
6. **V.P. Mkrtychyan, L.G. Gasparyan, M.K. Balyan.** Proc. 20-th International Congress, X-ray Optics and Microanalysis, No.**1221**, 67 (2010).
7. **V.P. Mkrtychyan, L.G. Gasparyan, M.K. Balyan.** Заводская лаборатория. Диагностика материалов, **76**, 27 (2010).
8. **J. Li, C.H. Wen, S. Gauza, R. Lu, S.T. Wu.** J. Disp. Technol., **1**, 51 (2005).
9. **V.P. Mkrtychyan, L.G. Gasparyan, T.K. Dadalyan, M.K. Balyan, A.V. Kuyumchyan.** Proc. SPIE, **9207**, 920714 (2014).

ԱՐՏԱՔԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ ՆԵՄԱՏԻԿ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԻ  
ԱՆԻՋՈՏՐՈՊՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ՌԵՆՏԳԵՆԱԻՆՏԵՐՖԵՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ  
Լ.Գ.Գասպարյան, Վ.Պ.Մկրտչյան, Տ.Կ.Դադալյան

Ռենտգենյան ինտերֆերաչափական մեթոդով ուսումնասիրվել է արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը E7 տիպի նեմատիկ հեղուկ բյուրեղական (ՆՀԲ) շերտի անիզոտրոպության վրա: Ցույց է տրվել, որ E7 տիպի նեմատիկ հեղուկ բյուրեղը դրական անիզոտրոպությամբ միջավայր է ալիքների ռենտգենյան հաճախության տիրություն:

Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ չափվել են E7 տիպի ՆՀԲ շերտի դեկրեմենտները: Ցույց է տրվել, որ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ մոլեկուլների վերադասավորման հետևանքով, ՆՀԲ թաղանթի դեկրեմենտներն իրար հավասար են, երբ ՆՀԲ շերտի օպտիկական առանցքն, առանց կիրառված լարման, ուղղահայաց է կամ զուգահեռ է ռենտգենյան փնջի բևեռացման վեկտորին:

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE EXTERNAL ELECTRIC FIELD  
ON THE ANISOTROPY OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS BY  
X-RAY INTERFEROMETRY

L.G. Gasparyan, V.P. Mkrtchyan, T.K. Dadalyan

The influence of the external electric field on the E7 nematic liquid crystal layer (NLC) by X-ray interferometry has been studied. It is shown that NLC E7 is anisotropic medium with positive anisotropy in the X-ray region. The decrements of the NLC layer under the influence of external electric field were calculated. It is shown that due to reorientation caused by external field the decrements of the NLC layer are equal to each other when optical axis of initially unperturbed NLC layer is perpendicular or parallel to the polarization plane of the X-ray beam.