

ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Л.Г. ГАСПАРЯН*, В.П. МКРТЧЯН, Т.К. ДАДАЛЯН, П.С. ПЕТРОСЯН

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

*e-mail: laura@ysu.am

(Поступила в редакцию 3 июля 2019 г.)

Методом рентгеновской интерферометрии изучено влияние внешнего электрического поля на показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн. Вычислены декременты нематического жидкого кристалла типа E7 для разных значений напряженности внешнего электрического поля и установлено, что с увеличением напряженности электрического поля значения декрементов обыкновенной и необыкновенной волн увеличиваются, стремясь к одному и тому же значению.

1. Введение

В наших предыдущих работах рентгеноинтерферометрическим методом была исследована анизотропность нематических жидких кристаллов типа 5CB, определены показатели преломления обыкновенной (n_o) и необыкновенной (n_e) волн и установлено, что нематический жидкий кристалл типа 5CB является рентгенооптически положительной анизотропной средой [1–2]. В работе [3] изучено влияние внешнего электрического поля на анизотропию слоя нематического жидкого кристалла типа E7 и показано, что такой образец является положительной анизотропной средой. Вычислены декременты слоя НЖК для обыкновенного и необыкновенного лучей при определенном значении напряженности электрического поля ($E = 5.5 \times 10^5$ В/м). Установлено что эти декременты почти равны. В работе [4] исследовано влияние электрического поля на реориентацию молекул НЖК и измерено время релаксации молекул для длины волны 630 нм.

В настоящей работе рассматривается влияние электрического поля на показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей и изучена рентгенооптическая анизотропия НЖК типа E7. Для $\text{MoK}\alpha_1$ ($\lambda = 0.709 \text{ \AA}$) излучения измерена также зависимость коэффициента Керра от значения напряженности внешнего электрического поля.

2. Эксперимент

Для проведения эксперимента был использован рентгеновский трехблочный Лауэ LLL интерферометр (рис.1), отражающие плоскости которого перпендикулярны их поверхностям. Для всех блоков удовлетворялось условие $\mu t \gg 1$, где μ – линейный коэффициент поглощения материала интерферометра и t – толщина блока. При неполяризованном падающем пучке после прохождения через первый блок интерферометра остаются только волны с σ -поляризацией, вектор поляризации (σ) которых перпендикулярен плоскости дифракции. В LLL интерферометре пучки, накладываясь на третьем блоке-анализатора, образуют муаровые полосы. Если на пути одного из интерферирующих пучков поставить образец, то муаровые полосы будут смещены.

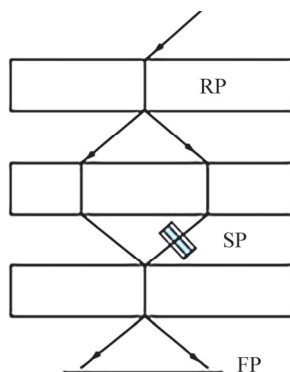


Рис.1. Ход лучей в LLL-интерферометре: RP – отражающие плоскости блоков, SP – исследуемый образец, FP – фотографическая пленка.

Измеряя смещение линий муара относительно исходного положения, можно определить показатель преломления образца. Смещения муаровых полос зависят также от взаимного расположения вектора σ -поляризации рентгеновской волны и оптической оси исследуемого образца. Если оптическая ось (N) перпендикулярна плоскости дифракции и нормали к волновому фронту (K) рентгеновской волны, проходящей через образец, то вектор σ -поляризованной волны (σ) будет параллелен главному сечению (плоскости, проходящей через нормаль к волновому фронту и оптическую ось) а, следовательно, и оптической оси. Волна будет себя вести как необыкновенная волна с показателем преломления n_e . Если образец повернуть на 90° относительно нормали к волновому фронту волны, то оптическая ось образца будет находиться в плоскости дифракции, и вектор σ -поляризованной волны (σ) 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 различные смещения муаровых полос.

Исследуемый образец НЖК толщиной 20 мкм помещался в ячейке, состоящей из двух прозрачных стеклянных подложек толщиной 1 мм, покрытых тонким электро-проводящим слоем ИТО (Indium Tin Oxide), с помощью которых к НЖК было приложено электрическое поле. Толщина слоя НЖК определялась зазором между двумя подложками, которые были параллельны друг другу, а зазор между ними задавался с помощью тонких непроводящих пленок толщиной 20 мкм. Для получения равномерной ориентации молекул НЖК верхние поверхности ИТО с помощью центрифугирования покрывались изолирующим полимерным слоем. С помощью натирания полимерного слоя молекулам НЖК задавалась ориентация, параллельная подложкам ячейки. Для реориентации молекул НЖК на подложки с помощью генератора сигналов прилагалось электрическое поле с частотой 1 кГц, вектор напряженности которого перпендикулярен вектору поляризации и волновому фронту. Для измерения n_o и n_e эксперименты проводились для двух случаев, указанных на рис.2 и рис.3. В первом случае начальная ориентация молекул, т.е. оптическая ось (**N**), перпендикулярна вектору поляризации и волновому вектору (**K**).

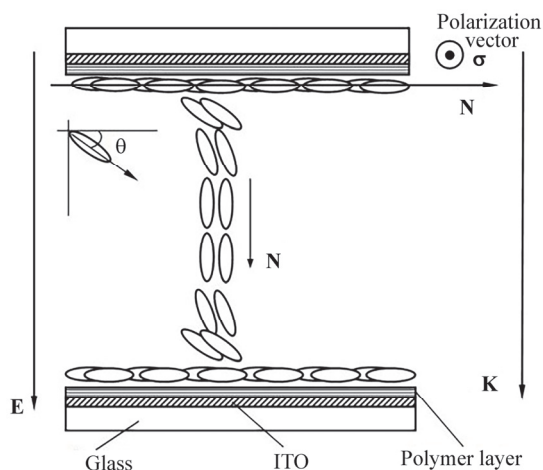


Рис.2. Схематическое изображение образца НЖК в случае, когда оптическая ось (**N**) перпендикулярна вектору поляризации (**σ**) и волновому вектору (**K**).

При приложении электрического поля, вектор напряженности которого перпендикулярен оптической оси, молекулы реориентируются параллельно вектору напряженности (**E**) и волновому вектору (**K**), оставаясь перпендикулярными вектору поляризации (**σ**).

Во втором случае начальная ориентация молекул (оптическая ось) параллельна вектору поляризации и перпендикулярна волновому вектору. Во время приложения электрического поля, вектор напряженности которого перпен-

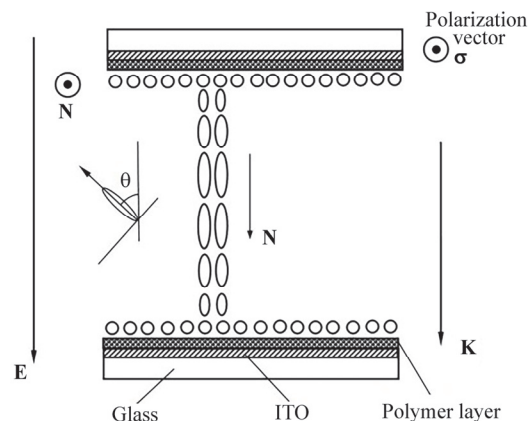


Рис.3. Схематическое изображение образца НЖК в случае, когда оптическая ось (N) параллельна вектору поляризации (σ) и перпендикулярна волновому вектору (K).

дикулярна оптической оси, молекулы реориентируются параллельно вектору напряженности и волновому вектору и перпендикулярно вектору поляризации, то есть под действием электрического поля в обоих случаях оптическая ось ЖК, в конечном счете, имеет одинаковую ориентацию ($N \parallel E \parallel K \perp \sigma$). Следовательно, с увеличением напряженности электрического поля в обоих случаях показатели преломления должны стремиться к одному и тому же значению.

3. Результаты эксперимента

Для исследования влияния внешнего электрического поля на показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн были получены муаровые

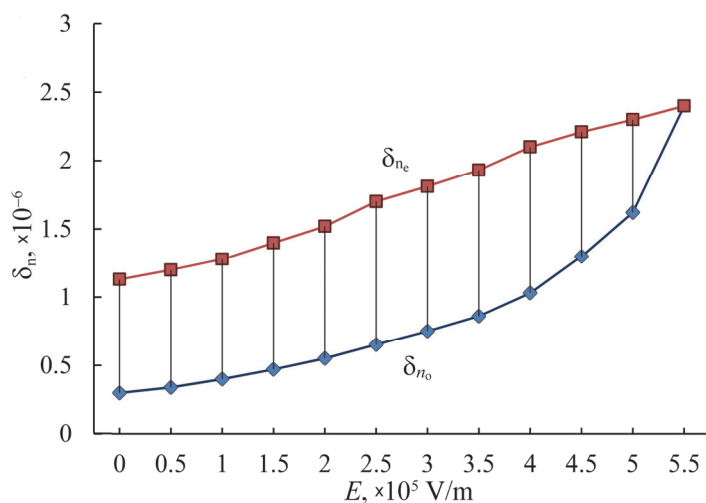


Рис.4. Зависимость значений декрементов обыкновенного и необыкновенного лучей от напряженности электрического поля.

картины для различных значений напряженности эл. поля. Периоды этих муаровых полос одинаковы, но величина смещения муаровых полос зависит от значения напряженности электрического поля, то есть от ориентации молекул НЖК.

Измеряя период и смещение муаровых линий при разных значениях напряженности электрического поля и используя формулы, приведенные в работах [1] и [5], можно определить декременты показателей преломления: $\delta = \lambda \Delta \Lambda / (t \Lambda)$, где $\lambda = 0.709 \text{ \AA}$ – длина волны $\text{MoK}\alpha_1$ -излучения; $\Delta \Lambda$ – относительное смещение муаровых полос; $\Lambda = 620 \text{ мкм}$ – период муара; $t = 20 \text{ мкм}$ – толщина слоя НЖК. Результаты измерений приведены в таблице и на рисунке 4.

Таблица

$E, \times 10^5 \text{ В/м}$	$\delta_{ne}, \times 10^{-6}$	$\delta_{no}, \times 10^{-6}$	$n_e - n_o, \times 10^{-6}$
0	0.3	1.13	0.83
0.5	0.34	1.2	0.86
1	0.4	1.28	0.88
1.5	0.47	1.4	0.93
2	0.55	1.52	0.97
2.5	0.65	1.7	1.05
3	0.75	1.81	1.06
3.5	0.86	1.93	1.07
4	1.03	2.1	1.07
4.5	1.3	2.21	0.91
5	1.62	2.3	0.98
5.5	2.4	2.4	0

Была измерена также зависимость коэффициента Керра (В) от значения напряженности электрического поля. Результаты приведены на рис.5.

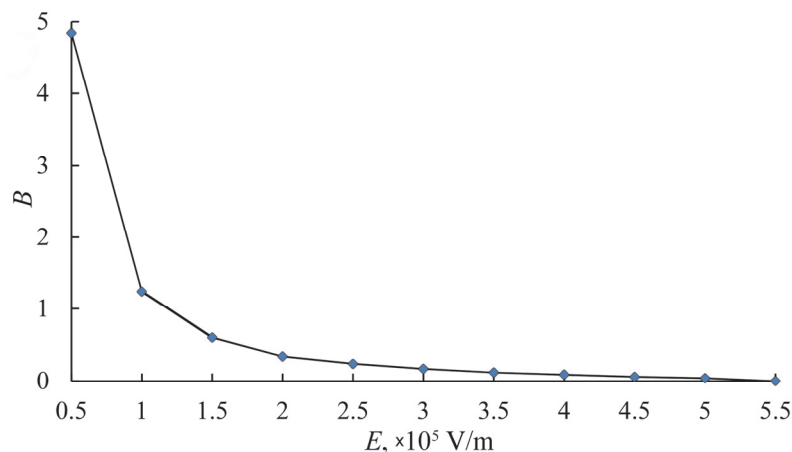


Рис.5. Зависимость значений коэффициента Керра от напряженности электрического поля.

4. Заключение

Двойное лучепреломление рентгеновских лучей в жидких кристаллах можно наблюдать методом рентгеновской интерферометрии. Используя этот метод, измерены показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей при разных значениях напряженности электрического поля и установлено, что с увеличением напряженности электрического поля значения декрементов обыкновенного и необыкновенного лучей увеличиваются, стремясь к одному и тому же значению. Это обусловлено тем, что под влиянием электрического поля молекулы НЖК постепенно переориентируются, и, начиная с определенного значения напряженности электрического поля, оптические оси молекул для случаев, когда оптическая ось образца изначально перпендикулярна или параллельна вектору поляризации рентгеновского пучка, имеют одинаковую ориентацию ($\mathbf{N} \parallel \mathbf{E} \parallel \mathbf{K} \perp \boldsymbol{\sigma}$).

Также показано, что разность средних значений показателей преломления $n_o - n_e > 0$, т. е. НЖК типа E7 является рентгенооптически положительной анизотропной средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.P.Mkrtchyan, L.G.Gasparyan, T.K.Dadalyan, M.K.Balyan, A.V.Kuyumchyan. Proc. SPIE, **9207**, 920714 (2014).
2. L.G. Gasparyan, V.P. Mkrtchyan. J. Contemp. Phys. (Armenian Ac. Sci.), **50**, 388 (2015).
3. L.G. Gasparyan, V.P. Mkrtchyan, T.K. Dadalyan. J. Contemp. Phys. (Armenian Ac. Sci.), **52**, 271 (2017).
4. P.D. Berezin, I.N. Kompanets, V.V. Nikitin, and S.A. Pikin, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **64**, 599 (1973).
5. В.П. Мкртчян, Л.Г. Гаспарян, М.К. Балян, Заводская лаборатория. Диагностика материалов, **11**, 27 (2010).

DOUBLE REFLECTION OF X-RAY IN NEMATIC LIQUID CRYSTALS UNDER INFLUENCE OF EXTERNAL ELECTRIC FIELD

L.G. GASPARYAN, V.P. MKRTCHYAN, T.K. DADALYAN, P.S. PETROSYAN

The effect of an external electric field on the refractive indices of ordinary and extraordinary waves is explored using method of the X-ray interferometer. The decrements of the nematic liquid crystal of type E7 were calculated for different values of the external electric field strength and it is established that with increasing electric field strength the values of the decrements of the ordinary and the extraordinary waves increases, tending to the same value.