

02;07;12

Наблюдение электростатических дефектов в жидком кристалле, индуцированных ионизирующим излучением

© Г.А. Поздняков, С.И. Трашкеев

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск
Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск
E-mail: sitrskv@mail.ru

Поступило в Редакцию 9 ноября 2006 г.

Сообщается о наблюдении генерации дефектов в нематическом жидком кристалле (НЖК) потоком α -частиц. Наблюдаемые с помощью поляризационного микроскопа объекты трактуются как наведенные в нематическом жидком кристалле электростатические дефекты дипольного характера. Этот эффект может быть использован для создания детекторов ионизирующего излучения.

PACS: 61.30.Jf, 29.90.+r

В работе зарегистрирован эффект взаимодействия альфа-частиц с нематическим жидким кристаллом (НЖК), помещенным в электрическое поле. Наблюдаемое взаимодействие может быть использовано для создания детекторов ионизирующего излучения и служить методом получения новой жидкокристаллической структуры (свойства которой будут изучены более подробно), насыщенной дипольными дефектами.

Опыты проводились по схеме, приведенной на рис. 1. Конструкция образца определялась использованием стандартного источника α -частиц с энергией порядка 4.5 MeV. Этот источник представлял собой металлический диск 3 с α -активным изотопом, покрытый тонким слоем лака. Интенсивность источника порядка 10 распадов/(с·см²). Альфа-частицы такой энергии имеют длину пробега в конденсированной среде порядка нескольких сотых долей миллиметра, поэтому НЖК наносился на поверхность источника и наблюдения проводились в отраженном свете. На расстоянии 300 μ m от поверхности источника α -частиц на диэлектрических прокладках 4 помещалась стеклянная пластина 1, покрытая прозрачным проводящим слоем 2, обращенная покрытием в

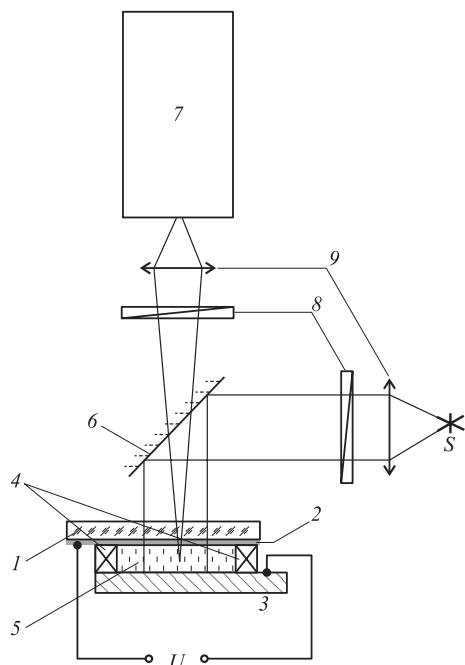


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — стеклянная подложка, 2 — прозрачный токопроводящий слой (ТТО), 3 — источник α -частиц, 4 — диэлектрические прокладки, 5 — НЖК-1289, 6 — полупрозрачное зеркало, 7 — CCD-камера, 8 — поляриды, 9 — объективы.

сторону источника. Поверхности источника и пластины обрабатывались для создания гометропной (нормальной) ориентации. Воздушный зазор заполнялся капиллярным способом НЖК 1289 5, находящимся в изотропном состоянии. Между металлическим диском и проводящим слоем, нанесенным на стеклянную подложку, прикладывалось постоянное напряжение U . Наблюдения проводились при комнатной температуре с помощью поляризационного микроскопа в отраженных лучах в режиме скрещенной поляризации. Объектив микроскопа фокусировался примерно на середину объема, занимаемого НЖК.

Визуализация образовавшихся дефектов происходила при подаче постоянного внешнего напряжения, превышающего пороговую величину

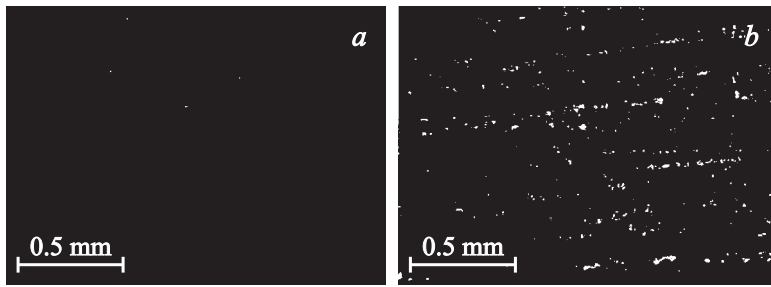


Рис. 2. Микрофотография образца НЖК в скрещенных поляризаторах при его облучении альфа-частицами: *a* — $U = 0$, *b* — $U = 40$ V.

$U_{th} \sim 10$ V. На рис. 2, *a* приведено изображение без электрического поля. Мутные полосы на фотографии — несфокусированные неоднородности толщины лакового покрытия источника. Фотография рис. 2, *b* получена при напряжении 40 V. Здесь наблюдаются яркие точечно-подобные объекты, находящиеся в движении. При приближении фокальной плоскости объектива микроскопа к поверхности источника в результате уменьшения поглощения α -частиц средней концентрация светящихся объектов увеличивается. Некоторые точки колеблются вокруг неподвижного центра, другие перемещаются через всю область наблюдения. Часть точек непрерывно исчезает и на смену им возникают новые. В целом процесс напоминает диффузию броуновских частиц в жидкости, если не учитывать происходящие при этом рождение и уничтожение объектов. Размер ярких точек, возникающих при облучении НЖК α -частицами, не превышает $5\text{--}10\ \mu\text{m}$. Резкая смена знака подаваемого напряжения не вызывала никаких качественных изменений в наблюдаемой картине. Это свидетельствует о нулевом суммарном заряде дефекта.

Известно, что внесение заряженных наночастиц в НЖК, находящийся в электростатическом поле, приводит к возникновению дефектов, размеры которых на много порядков превышают размеры частиц [1–3]. Возникает естественный вопрос, каков минимальный размер дефектообразующей частицы, способной внести в ЖК заметное ориентационное нарушение структуры. Предварительные теоретические оценки показали, что это могут быть объекты атомарного размера, а сама ЖК-среда при этом может приобрести новые физические свойства.

Различие в наблюдаемых картинах для заряженных наночастиц и дефектов, индуцированных α -частицами, связано, как считают авторы (теоретические оценки приведены в [3]), со следующими обстоятельствами. Вокруг заряженной наночастицы создается кулоновское электрическое поле, деформирующее директор НЖК. Радиус действия кулоновского потенциала в данном случае составляет величину порядка толщины кристалла. В работах других авторов [1,2], связанных с изучением коллоидных суспензий, размер видимых образований также составляет величину, сравнимую с толщиной образца НЖК. Наблюдаемая при этом картина исчезает и затем появляется вновь при смене знака подаваемого напряжения [3]. Во втором варианте размер наблюдаемых объектов на порядок меньше и получаемое изображение (рис. 2) не зависит от знака внешнего напряжения. На основе этого было сделано предположение о наличии в образовавшемся дефекте более короткодействующего потенциала — дипольного.

Степень влияния электростатического дефекта можно оценить из выражения для плотности свободной энергии f НЖК, находящегося в электрическом поле. Так, в общем случае имеем [4]

$$f = 1/2\{K_1(\operatorname{div} \mathbf{n})^2 + K_2(\mathbf{n} \operatorname{rot} \mathbf{n})^2 + K_3[\mathbf{n} \operatorname{rot} \mathbf{n}]^2\} - \varepsilon_a(\mathbf{E} \mathbf{n})^2/8\pi, \quad (1)$$

где \mathbf{n} — директор НЖК; $(\mathbf{nn}) = 1$; K_1, K_2, K_3 — упругие константы Франка; ε_a — анизотропная часть диэлектрической проницаемости. Для грубых оценок примем одноконстантный случай ($K_1 = K_2 = K_3 = K$) и уравнение для напряженности электрического поля рассмотрим в изотропном приближении ($\varepsilon_{\parallel} \sim \varepsilon_{\perp} \sim \varepsilon$), при этом сохранив $\varepsilon_a \neq 0$ в функционале (1). Тогда электрическое поле в среде с точечным источником можно представить одной из компонент (или их суперпозицией) следующего вида:

$$\mathbf{E}_0 = \text{const}, \quad \mathbf{E}_c = q\mathbf{r}/\varepsilon r^3, \quad \mathbf{E}_d = 3[(\mathbf{md})\mathbf{m} - \mathbf{d}]/\varepsilon r^3, \quad (2)$$

где \mathbf{E}_0 — внешнее постоянное электрическое поле; \mathbf{E}_c — кулоновское поле точечного заряда; q — величина заряда; $\mathbf{r} = (x, y, z)$ — радиус-вектор с центром в точке расположения заряда ($r = |\mathbf{r}|$); \mathbf{E}_d — поле точечного диполя; $\mathbf{m} = \mathbf{r}/r$ — единичный орт, направленный вдоль радиус-вектора \mathbf{r} с центром в точке диполя; \mathbf{d} — вектор дипольного момента.

На основе соотношений (1), (2) можно провести простой размерностный анализ [3] и получить характерные радиусы деформаций, вызываемых электрическими источниками (2) или их комбинациями.

Для этого (1) с учетом (2) необходимо разложить по степеням $1/r$. При наличии внешнего постоянного электрического поля и точечного заряда диаметр деформированной зоны L_{ce} определяется соотношением

$$L_{ce}^{-2} = R_{ce}^{-2} + L^{-2}, \quad R_{ce} \sim \sqrt{2q/\varepsilon E_0}, \quad (3)$$

где L — толщина слоя НЖК; R_{ce} — радиус действия кулоновского заряда, E_0 — модуль постоянного электрического поля; ε — среднее значение диэлектрической постоянной. Таким образом, размер действия кулоновских сил в первом приближении слабо зависит от типа НЖК и уменьшается с увеличением внешнего электрического поля.

Характерный размер действия дипольных сил из (1) определяется в виде

$$L_{de} \sim \varepsilon_a E_0 d / 2\pi \varepsilon K, \quad d = |\mathbf{d}|. \quad (4)$$

Аналогичные оценки для старших мультиполей дают величину области деформации НЖК на порядок меньше, чем для дипольного взаимодействия. Ионизирующее излучение наводит дефект с величиной дипольного момента, слабо зависящей от внешнего электрического поля, поэтому $L_{de} \sim E_0$.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов было доказано, что источником дефекта в НЖК может выступать частица, имеющая атомарный размер, и реализуемое ею нарушение ориентационной структуры НЖК может наблюдаться с помощью оптического микроскопа. Выявлен новый объект — ЖК, насыщенный предположительно дипольными дефектами, образующимися в поле ионизирующего α -излучения. Его свойства отличаются от свойств коллоидных композиций на основе ЖК и внедренных в них микро- и наночастиц.

Список литературы

- [1] *Jun-ichi Fukuda, Holder Stark, Makoto Yoneya* // J. Phys.: Condens. Matter. 2004. V. 16. P. S1957.
- [2] *Sang Youn Jeon, In-Su Baik, Ji Yeong Lee, Kay Hyeok An, Gyoou Lee, Seung Hee Lee, Young Hee Lee* // 8th European Conference on Liquid Crystals. Sesto (BZ)—Italy, 2005. P. 65.
- [3] *Трашкеев С.И., Грачев Г.Н., Поздняков Г.А.* // Тез. докл. III Всерос. конф. „Химия поверхности и нанотехнология“. С.-Петербург—Хилово, 24 сентября—1 октября 2006 г. С. 146.
- [4] *Де Жен П.* // Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977 (*de Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystals. Oxford: Clarendon Press, 1974).