

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ГОЛУБЫХ ФАЗАХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

В.К.Долганов, В.В.Коршунов

В голубых фазах в переменном электрическом поле обнаружены динамические эффекты, связанные с изменением интенсивности дифракционных полос и вращением плоскости поляризации света. Динамические эффекты приводят к модуляции интенсивности и плоскости поляризации света.

Локальная диэлектрическая анизотропия кубических голубых фаз<sup>1</sup> приводит к ряду уникальных физических свойств. Обнаружены нетривиальные электрооптические эффекты: гигантская электрострикция<sup>2,3</sup>, изменение ориентации монокристаллов<sup>4</sup>, фазовые переходы в электрическом поле<sup>3-5</sup>. Эффекты характеризуются временами релаксации  $\tau_1 \gg 1$ с<sup>6</sup>. Однако наряду с макроскопической перестройкой внешнее воздействие может приводить к локальному изменению упорядочения, которое должно характеризоваться существенно меньшими временами релаксации. Целью работы является изучение динамических эффектов в голубых фазах.

Измерения проведены в ВРІ и ВРІІ фазах<sup>1</sup> на смеси хирального нематика 4-циан-4 (2-метил)бутил-фенил (52 вес.%) и нематического жидкого кристалла 4-циан-гептилоксидифенила с положительной диэлектрической анизотропией. Монокристаллы голубых фаз выращивались в плоских кюветах с токопроводящим покрытием. Были получены монокристаллы с направлениями [110] в ВРІ и [100] в ВРІІ, перпендикулярными плоскости кюветы. Температурный интервал ВРІ составляет 27,30 - 27,67°С, ВРІІ 27,67-27,82°С.

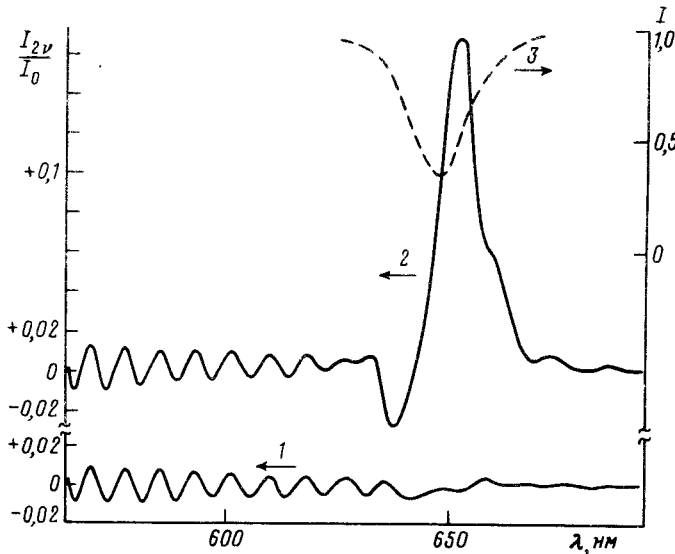


Рис. 1. 1,2 - спектры амплитудной модуляции  $I_{2\nu}/I_0$  право и лево поляризованного света, 3 - дифракционная полоса в спектре пропускания  $I$ . Толщина образца  $d = 12$ мк,  $U = 20$ В,  $\nu = 200$ Гц,  $T = 27,5^\circ$ С

Обнаружено, что приложение к голубой фазе переменного электрического поля приводит к модуляции интенсивности света, проходящего через образец. Основной сигнал переменной составляющей имеет удвоенную частоту по отношению к частоте  $\nu$  электрического поля. На рис.1 для двух круговых

поляризаций приведена спектральная зависимость отношения амплитуды переменной составляющей сигнала ( $I_{2\nu}$ ) к интенсивности постоянной составляющей ( $I_0$ ). Знак плюс соответствует увеличению сигнала с увеличением поля. При  $\lambda < 630$  нм  $I_{2\nu}(\lambda)$  двух круговых поляризаций схожи. В этой области длин волн модуляцию интенсивности во времени следует связать с уменьшением в электрическом поле показателя преломления, <sup>7</sup> изменением условий интерференции отраженного от поверхности образца света. Смещение по длинам волн, вследствие этого, интерференционного спектра <sup>7</sup> приводит к модуляции во времени интенсивности света. Амплитуда модуляции (рис.1) соответствует  $\Delta n/n \approx 3 \cdot 10^{-3}$  в поле  $E = 2,4 \cdot 10^4$  В/см.

В области дифракционной полосы обнаружен существенно более интенсивный пик переменной сигнала для собственной круговой поляризации (рис.1). Знак эффекта говорит об уменьшении интенсивности дифракционного пика в максимуме приложенного к образцу напряжения. В электрическом поле происходит смещение дифракционной полосы, характеризующееся временем установления равновесного значения параметра ячейки  $\tau_1 \gtrsim 1$ с <sup>6</sup>. Однако в масштабе времен  $t \sim 1/\nu$  интенсивность дифракции не остается постоянной. Максимум эффекта сдвинут в длинноволновую сторону от центра дифракционной линии. Величина эффекта квадратична по полю. Время релаксации  $\sim 10^{-4}$ с.

Для неполяризованного света или света круговых поляризаций интенсивность переменной составляющей (амплитудная модуляция) вне дифракционной полосы проходит через минимумы (рис.1). Обнаружено, что линейно поляризованный

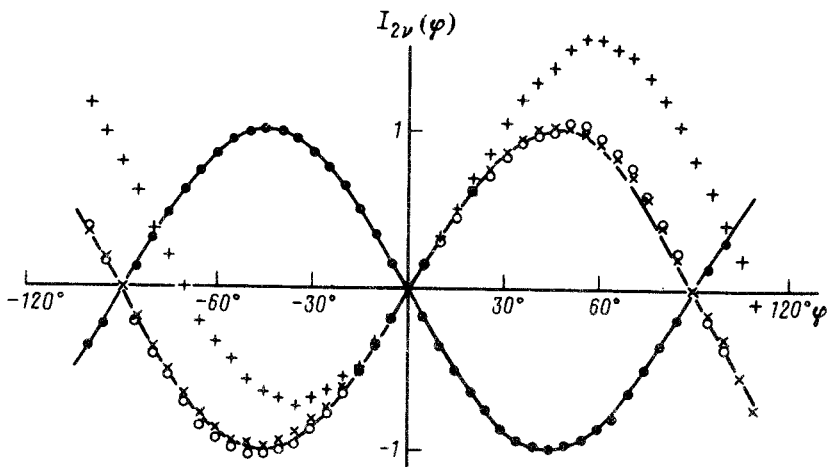


Рис. 2. Зависимость интенсивности переменной составляющей сигнала от в минимумах ( $x - I_{2\nu}^{min}(\varphi)$ , ВРІ,  $\lambda = 604$ нм;  $\circ - I_{2\nu}^{min}(\varphi)$ , ВРІІ,  $\lambda = 635$ нм) и максимуме ( $+ - I_{2\nu}^{max}(\varphi)$ , ВРІ,  $\lambda = 601$ нм) амплитудной модуляции (отн. ед.).  $\circ - (I_{2\nu}^{max}(\varphi) - b \sin^2(\varphi))$ ,  $d = 12$ мк,  $\nu = 200$ Гц. Сплошные кривые  $I = \pm \sin 2\varphi$

свет, прошедший через анализатор, оказывается модулированным в том числе и при длинах волн соответствующих минимумам амплитудной модуляции. На рис.2 приведена зависимость величины переменной составляющей интенсивности от угла поворота анализатора в минимумах амплитудной модуляции ( $I_{2\nu}^{min}(\varphi)$ ). Модуляция не связана с индуцированным электрическим полем двулучепреломлением <sup>4,8</sup>, поскольку фаза переменной составляющей изменяется на противоположную при повороте анализатора через положение наибольшего затемнения ( $\varphi = 0$ , рис.2). Зависимость величины переменной составляющей от  $\lambda$  (рис.3) существенно отличается от зависимости амплитудной модуляции (рис.1). Эффект (рис.2,3) связан с циклическим поворотом плоскости поляризации света. Величина эффекта пропорциональна  $\sin 2\varphi$ .

Вне минимума амплитудной модуляции наблюдается наложение двух эффектов, связанных с изменением показателя преломления и вращением плоскости поляризации. В этом случае зависимость несимметрична относительно  $\varphi = 0$  (рис.2) поскольку для модуляции плоскости поляризации фаза переменного сигнала изменяется на противоположную при переходе через  $\varphi = 0$  ( $I_{2\nu}(\varphi) \sim \sin 2\varphi$ ), для амплитудной модуляции не изменяется ( $I_{2\nu}(\varphi) \sim \sin^2 \varphi$ ). При вычете из суммарного эффекта модуляции, связанной с изменением показателя преломления, зависимость от  $\varphi$  становится аналогичной зависимости  $I_{2\nu}^{min}(\varphi)$  (рис.2).

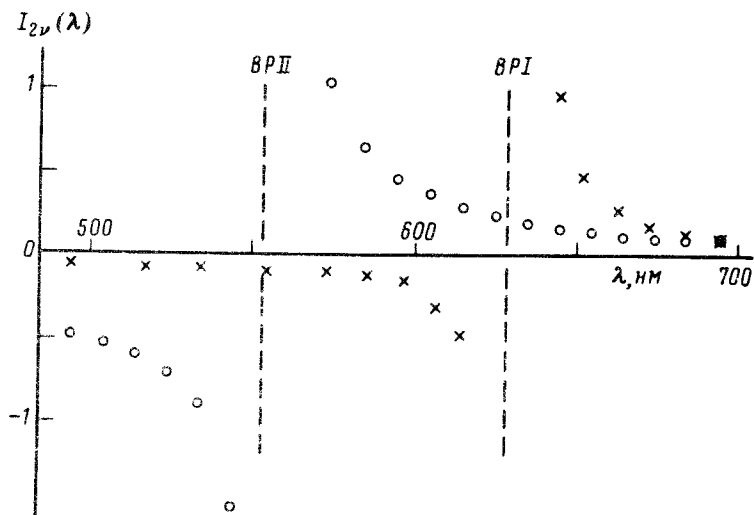


Рис. 3. Спектральная зависимость переменной составляющей сигнала при модуляции плоскости поляризации в ВРІ (x,  $T = 27,6^{\circ}\text{C}$ ) и ВРІІ (o,  $T = 27,7^{\circ}\text{C}$ ) фазах (отн. ед.). Пунктирными линиями показано положение дифракционных линий спектра пропускания.  $d = 12\text{мк}$ ,  $\nu = 200\text{Гц}$ .

Изменение в поле параметров ячейки  $a$  монокристаллического образца может происходить путем согласованной перестройки структуры всего образца или с образованием и аннигиляцией дефектов. Такого типа макроскопические перестройки характеризуются временами релаксации  $\tau_1 \geq 1\text{с}$ . Различие спектрального положения максимумов переменной составляющей сигнала и дифракционной полосы  $\lambda_{\text{ВР}}$  (рис.1) указывает на то, что наряду с изменением интенсивности дифракции происходит циклическое смещение полосы в переменном поле. Это смещение имеет аномальный знак (уменьшение  $\lambda_{\text{ВР}}$  в максимуме синусоидального электрического поля у веществ с положительной диэлектрической анизотропией для [110] и [100] рефлексов ВРІ и ВРІІ соответственно) и характеризуется коротким временем релаксации ( $\sim 10^{-4}\text{с}$ ). Периодическое изменение  $\lambda_{\text{ВР}}$  в переменном поле может быть связано с уменьшением в электрическом поле показателя преломления. Изменение  $n$  приводит к смещению  $\lambda_{\text{ВР}}$  при неизменном размере элементарной ячейки ( $\lambda_{\text{ВР}} = 2dn$ ). Оптические характеристики (интенсивность дифракции, вращение плоскости поляризации, показатель преломления) определяются квадратом модуля фурье-гармоники  $\epsilon_T$  параметра порядка голубых фаз  $^9$ . Изменение  $\epsilon_T$  при постоянных значениях векторов обратной решетки  $\vec{\tau}$  происходит на уровне элементарной ячейки и не требует макроскопической перестройки структуры всего образца. Время релаксации  $\epsilon_T$  в пределах элементарной ячейки можно оценить из соотношения  $^8 \tau_2 \sim \eta/Kq^2$ , где  $\eta$  - вязкость,  $K$  - модуль Франка,  $q = 2\pi/a$ . При  $\eta \sim 1\text{пз}$ ,  $K \sim 5 \cdot 10^{-7}\text{дин}$ ,  $q \sim 2 \cdot 10^5\text{см}^{-1}$  получим  $\tau_2 \sim 0,5 \cdot 10^{-4}\text{с}$ , что близко к измеренному времени релаксации.

Авторы благодарны В.А.Белякову, В.Е.Дмитриенко, Е.И.Демихову за полезные обсуждения.

## Литература

1. *Беляков В.А., Дмитриенко В.Е.* УФН, 1985, 146, 369.
2. *Heppke G., Kitzerow H.-S., Krumrey M.* Molec. Cryst. Liq. Cryst. Lett., 1985, 1, 117.
3. *Pieranski P., Cladis P.E.* Phys. Rev., A, 1987, 35, 355.
4. *Stegemeier Y., Blumel Th., Hiltrop K., Onusseit H., Porsch F.* Liquid Cryst., 1986, 1, 3.
5. *Cladis P.E., Garel T., Pieranski P.* Phys. Rev. Lett., 1986, 57, 2841.
6. *Kitzerow H.-S., Crooker P.P., Kwok S.L., Heppke G.* J. Phys. France, 1990, 51, 1303.
7. *Heppke G., Kitzerow H.-S., Kramrey M.* Mol. Cryst. Liq. Cryst. Lett., 1985, 2, 59.
8. *Gerber P.K.* Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1985, 116, 197.
9. *Беляков В.А., Демихов Е.И., Дмитриенко В.Е., Долганов В.К.* ЖЭТФ, 1985, 89, 2035.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
24 октября 1990 г.  
После переработки  
6 ноября 1990 г.