

УДК 532.783.535

ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА ЧЕРЕЗ ТРЕХСЛОЙНУЮ ПЛАСТИНКУ
СО СЛОЕМ ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОГО
ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

О. С. ЕРИЦЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 24 июня 1981 г.)

После переработки 15 марта 1983 г.

Рассмотрено прохождение света через трехслойную пластинку со слоем диспергирующего холестерического жидкого кристалла (ХЖК), граничащим с двух сторон с изотропными пластинками. Изучено влияние анизотропии поляризуемости на круговой дихроизм и интенсивность прошедшего света. Рассмотрено влияние анизотропии на поворот плоскости поляризации света, прошедшего через трехслойную пластинку со слоем ХЖК, а также через однородную анизотропную пластинку, представляющую собой предельный случай ХЖК с бесконечно большим шагом спирали.

1. Взаимодействие света с холестерическим жидким кристаллом имеет, как известно, дифракционный характер [1—3]. Поэтому часто можно пренебрегать наличием границ, обуславливающих френелевские отражения. В работе [4] был рассмотрен слой ХЖК между полубесконечными изотропными средами и было установлено, что френелевские отражения могут привести к заметным оптическим эффектам. Следующей ступенью в изучении взаимодействия света с ХЖК, подготовленной решением задачи о слое ХЖК между полупространствами [1, 4], является, естественно, задача взаимодействия света с трехслойной пластинкой, образованной слоем ХЖК, граничащим с двух сторон с изотропными пластинками. Такая задача, уже соответствующая реальной экспериментальной ситуации, была рассмотрена в [5] в отсутствие частотной дисперсии, которая, однако, как следует из [6], может привести к заметным качественным эффектам. Дисперсия и поглощение в [6] учтены в случае одной границы, когда свет нормально падает на полупространство ХЖК (такая задача без учета дисперсии решена в [7]). В настоящей работе дисперсия и поглощение в слое ХЖК учитываются в случае трехслойной пластинки, состоящей из слоя ХЖК между изотропными пластинками.

2. На рис. 1 приведены полученные с помощью ЭВМ графики зависимости величины кругового дихроизма D от длины волны λ при наличии частотной дисперсии диэлектрической проницаемости:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1(\omega) &= \varepsilon_1 + \Delta\varepsilon(\omega)u_1, \\ \varepsilon_2(\omega) &= \varepsilon_2 + \Delta\varepsilon(\omega)u_2,\end{aligned}\tag{1}$$

где $\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ — главные значения компонент тензора диэлектрической

проницаемости в плоскости $xу$. Сплошная линия соответствует случаю $u_1 = 0, u_2 = 1$, пунктир — случаю $u_1 = 1, u_2 = 0$. Величина $\Delta\epsilon(\omega)$ имеет вид

$$\Delta\epsilon(\omega) = A[(\omega_0^2 - \omega^2) - i\gamma\omega][(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2]^{-1}. \quad (2)$$

Свет падает вдоль оси z , которая перпендикулярна границам трехслойной пластинки, ось ХЖК параллельна оси z ; $\epsilon_1 = 2,29, \epsilon_2 = 2,143$; диэлектрическая проницаемость изотропных пластин равна 2,25, толщина каждой пластинки — 1 мм, шаг спирали — 0,42 мкм, толщина слоя ХЖК — 20 мкм

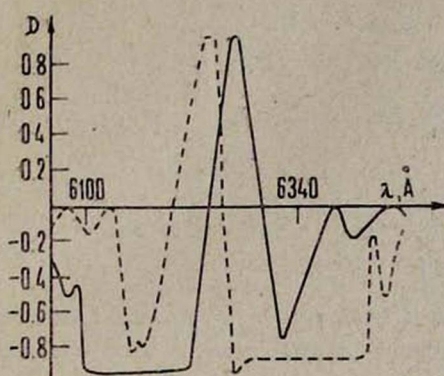


Рис. 1.

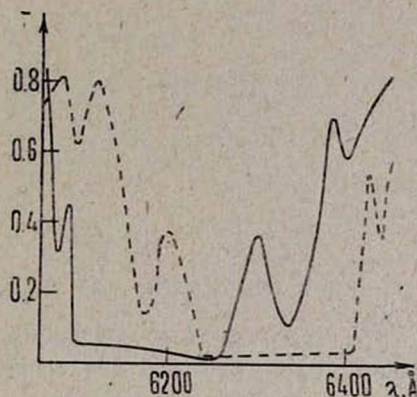


Рис. 2.

$\gamma = 4 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$, $A = 2 \cdot 10^{28} \text{ с}^{-2}$, частота поглощения $\omega_0 = 2,98 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ попадает в середину области дифракционного отражения. В случае $u_1 = 1, u_2 = 0$ поглощение целиком включено в $\epsilon_1(\omega)$, а в случае $u_1 = 0, u_2 = 1$ — в $\epsilon_2(\omega)$. Как следует из рис. 1, анизотропия сильно влияет на ход частотной зависимости кругового дихроизма.

На рис. 2 представлены графики зависимости коэффициента прохождения T (по интенсивности) от длины волны, соответствующие случаям $u_1 = 0, u_2 = 1$ (сплошная линия) и $u_1 = 1, u_2 = 0$ (пунктир). Анизотропия, как видно из графиков, сильно влияет и на частотный ход T .

Рассмотренные два предельных случая соответствуют ситуациям, когда молекулы ХЖК содержат дипольную линию поглощения, для которой дипольный момент перехода составляет с длинной осью молекул угол $\Phi = 0^\circ$ (при $u_1 = 1, u_2 = 0$) и угол $\Phi = 90^\circ$ (при $u_1 = 0, u_2 = 1$). В работе [8] вычислен круговой дихроизм при разных значениях Φ , и в этом отношении задача, поставленная в [8], аналогична нашей. Однако в [8] считалось, что ХЖК находится не между пластинками, а между двумя полупространствами.

3. Расчеты, выполненные нами на ЭВМ для трехслойной пластинки, показали, что производная η азимута поляризации ψ прошедшей волны по азимуту поляризации ϕ падающей волны отличается от 1 и сильно зависит от ϕ (ϕ и ψ отсчитываются от направления директора на входной границе слоя ХЖК). Это является следствием наличия анизотропии с учетом многократных отражений и не связано с вращательной способностью или закрученностью. Действительно, наши расчеты на ЭВМ, основанные на фор-

мулах [9], показали, что анизотропные однородные пластинки (соответствующие ХЖК с бесконечно большим шагом спирали, т. е. без закрученности) обладают таким же свойством как при наличии, так и в отсутствие магнитооптического вращения (φ и ψ для таких пластинок отсчитывались от оси x ; ось z перпендикулярна границам). При $|\eta| > 1$ имеет место усиление изменения азимута (т. е. поворота плоскости поляризации).

Зависимость между ψ и φ для неактивной пластинки имеет вид (штрихом и двумя штрихами обозначены действительная и мнимая части):

$$\operatorname{tg} \psi = -(a/2) \pm \sqrt{(a/2)^2 + 1}, \quad (3)$$

$$a = (E_{4x}'^2 + E_{4x}''^2 - E_{4y}'^2 - E_{4y}''^2) (E_{4x}' E_{4y}' + E_{4x}'' E_{4y}'')^{-1},$$

$$E_{4x} = A_x \cos \varphi \exp i\Phi_x, \quad E_{4y} = A_y \sin \varphi \exp i\Phi_y,$$

$$A_{x,y} = 4n_{x,y} E [16n_{x,y}^2 \cos^2 \alpha_{x,y} + 4(1 + n_{x,y}^2)^2 \sin^2 \alpha_{x,y}]^{-1/2},$$

$$\alpha_{x,y} = \omega c^{-1} n_{x,y} d, \quad n_x = \sqrt{\varepsilon_{xx}}, \quad n_y = \sqrt{\varepsilon_{yy}},$$

$$\Phi_{x,y} = \arctg [(1 + n_{x,y}^2) (2n_{x,y})^{-1} \operatorname{tg} \alpha_{x,y}],$$

E — модуль поля падающей волны, d — толщина пластинки. Один из знаков в (3) соответствует большой полуоси эллипса поляризации прошедшей волны, другой — малой полуоси.

Из сопоставления наших результатов, относящихся к упомянутым выше разным средам, следует, что усиление имеет место благодаря азимутальной неоднородности — неэквивалентности разных азимутов, обусловленной анизотропией. Отметим, что при неучете отражений на границах формулы (3) существенно меняются, т. е. границы играют существенную роль в формировании поляризации прошедшей волны.

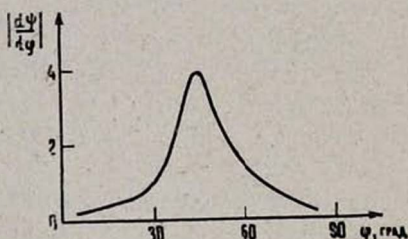


Рис. 3.

На рис. 3 приведен рассчитанный на ЭВМ график зависимости $|d\psi/d\varphi|$ от φ ($d = 1,0101$ мм, $\varepsilon_{xx} = 2,40684$, $\varepsilon_{yy} = 2,37869$, $\lambda = 643,8$ нм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляков В. А., Дмитриенко В. Е., Орлов В. П. УФН, 127, 221 (1979).
2. Де Жен П. Физика жидких кристаллов (пер. с англ. под ред. А. С. Сони́на). Изд. Мир, М., 1977.
3. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы (пер. с англ. под ред. А. А. Веденова и И. Г. Чистякова). Изд. Мир, М., 1980.
4. Толмачев А. В., Сонин А. С. ФТТ, 17, 3096 (1975).
5. Аракелян С. М. и др. Квантовая электроника, 7, 959 (1980).
6. Ерицян О. С. Изв. АН АрмССР, Физика, 16, 449 (1981).
7. Кац Е. И. ЖЭТФ, 59, 1854 (1970).
8. Holzwarth G., Holzwarth N. A. W. J. Opt. Soc. Amer., 63, 324 (1973).
9. Ерицян О. С. Кандидатская диссертация, Ереван, 1970.

Հ. Ս. ԵՐԻՑՅԱՆ

Քննարկված է լույսի անցումը դիսպերսիայով օժտված խոլեստերինային հեղուկ բյուրեղի (ԽՀԲ) շերտ պարունակող եռաշերտ թիթեղով: Ուսումնասիրված է անիզոտրոպիայի ազդեցությունը շրջանային դիրքորդմի և անցման գործակցի վրա: Ուսումնասիրված են ալիքի բևեռացման որոշ աննշտություններ համասեռ անիզոտրոպ թիթեղի համար, որը դիտված է որպես անվերջ մեծ բալլով ԽՀԲ-ի մասնավոր դեպք:

THE PASSAGE OF LIGHT THROUGH A THREE-LAYER SHEET INVOLVING A FREQUENCY-DISPERSING LAYER OF CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL

H. S. ERITSYAN

The passage of light through a three-layer sheet involving a frequency-dispersing layer of cholesteric liquid crystal has been considered. The wavelength dependence of the circular dichroism and of the intensity coefficient of the passing wave was calculated numerically. The dependence of the azimuth of passed wave polarization on that of the incident wave was also discussed.

