

УДК 53.03, 53.07

О. А. Денисова, А. Н. Чувывров\*

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТВИСТ-СТРУКТУРАХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

### ULTRASONIC WAVE PROPAGATION IN TWIST-STRUCTURES OF LIQUID CRYSTAL

Уфимская государственная академия экономики и сервиса, кафедра физики,  
450078 Уфа, ул. Чернышевского, д. 145

\*Башкирский государственный университет, кафедра инженерной физики,  
450074 Уфа, ул. Валиди, д. 32

*В твист-структурах нематических жидких кристаллов (НЖК) возможны два частных случая распространения упругих волн. В первом случае внутренняя структура НЖК не оказывает существенного влияния на распространение ультразвуковой волны, а скорость звука, фактически совпадает со скоростью звука изотропной фазы. Во втором случае появляется «второй» звук, для которого скорость  $c_{\perp}$  определяется волновым вектором  $\mathbf{q}_0$  спирали твист-структуры НЖК, причем  $c_{\perp} \sim \mathbf{q}_0$ . Так как в этой ситуации изменяются параметры спирали, то при распространении ультразвуковой волны должны изменяться оптические свойства НЖК.*

*Предложена экспериментальная методика, основанная на принципах модуляционной спектроскопии, которая позволяет точно измерять тонкие изменения в оптических спектрах, не регистрируемых обычными оптическими спектрометрами. Восстановленный спектр отражения позволяет получить информацию о влиянии закрутки НЖК на законы распространения ультразвуковой волны.*

**Ключевые слова:** нематические жидкие кристаллы.

*In twist structures of nematic liquid crystals (NLC) there are two special cases of elastic waves' propagation. In first case, internal NLC structure does not influence on the ultrasonic wave propagation, and the acoustic velocity, in fact, coincides with the acoustic velocity of isotope phase. In second case, the «second» sound, for which velocity  $c_{\perp}$  is defined by the wave vector  $\mathbf{q}_0$  of the twist NLC structure, where  $c_{\perp} \sim \mathbf{q}_0$ , appears. As the curve parameters are changed in this situation, the NLC optical properties must be changed at ultrasonic wave propagation.*

*The experimental method based on the modulation spectroscopy principles was suggested. It allows exact measuring of thin changes in optical spectra, that cannot be registered by usual optical spectrometers. The restored reflection spectrum allows getting information about the NLC spin influence on the ultrasonic wave propagation.*

**Key words:** nematic liquid crystal.

Разнообразные и весьма интересные для практического применения свойства жидких кристаллов зависят от равновесия в распределении молекул. Изменение ориен-

тации молекул, перестройка структуры, вызванные действием ультразвука, ведут к резким и заметным изменениям их физических свойств.

Ниже приведены результаты изучения оптических свойств холестерических жидких кристаллов при действии на них ультразвука. Для описания распространения ультразвуковой волны в ХЖК кроме функций плотности звуковой энергии, среды, момента количества движения, вводят переменную, связанную с шагом и углом наклона спирали. В первом случае внутренняя структура нематического жидкого кристалла не оказывает существенного влияния на распространение ультразвуковой волны, а скорость звука, фактически совпадает со скоростью звука изотропной фазы. Во втором случае появляется «второй» звук, для которого скорость  $c_{\perp}$  определяется волновым вектором  $q_{\circ}$  спирали твист-структуры НЖК, причем  $c_{\perp} \sim q_{\circ}$ . Поэтому в изотропной фазе  $c_{\perp} = 0$ . Так как в этой ситуации изменяются параметры спирали, то при распространении ультразвуковой волны должны изменяться оптические свойства НЖК.

Рассмотрим экспериментальную ситуацию, при которой длина поперечной волны больше шага спирали. Экспериментальное исследование распространения ультразвуковой волны в закрученных жидких кристаллах затруднено из-за ряда побочных факторов, связанных с изменением шага ХЖК-спирали. К этим факторам относятся нагревание кристалла, а также значительные ориентационные эффекты. В связи с этим экспериментальные исследования распространения ультразвуковой волны необходимо проводить при достаточно слабых интенсивностях действующего на ХЖК ультразвука и при непрерывном отводе тепла. С учетом этого обстоятельства была разработана специальная методика регистрации, в основу которой положены принципы модуляционной спектроскопии. Эта методика позволяет проводить точные измерения тонких изменений в спектрах, не регистрируемых обычными оптическими спектрометрами. Суть метода состоит в следующем: воздействие ультразвуковой волны периодически изменяет шаг ХЖК-спирали и соответственно длину волны при селективном рассеянии света, а при монохроматическом излучении – интенсивность рассеянного светового потока. Эти изменения регистрируются фотоприемником, выделяются из шумов и преобразуются к удобному для измерений виду системой фазочувствительного детектирования, например, представляются в виде отношения переменной  $\Delta R$  и постоянной  $R$  составляющих сигнала.

Измерение отношения  $\Delta R/R$  можно производить различными способами. Наиболее простой – регистрация только  $\Delta R$  при  $R = const$  во всем спектральном диапазоне. Для определения  $\Delta R/R$  в этом случае требуется ввести поправочный множитель в конечный результат, который определяется величиной  $R$ . Эта задача решалась поддержанием на выходе фотоэлектрического умножителя постоянного уровня сигнала путем изменения напряжения на диодах с помощью фазочувствительного усилителя, которым через цепь обратной связи в источнике высокого напряжения управлял компьютер. Переменный сигнал после предварительного усиления поступал на селективный усилитель У2-6, затем – на преобразователь напряжения В9-2. Опорное напряжение частотой 79 Гц на В9-2 подавалось с низкочастотного генератора Г3-33, которое использовалось также для модуляции высокочастотного сигнала генератора Г4-42, осуществляемой для удобства регистрации и выделения полезного сигнала на фоне шумов.

Холестерический жидкий кристалл помещался в плоский капилляр, в котором он образовывал планарную текстуру, состояние которой контролировалось микроскопом. Толщина капилляра задавалась слюдяными прокладками и составляла 10 – 15 мкм. Продольная ультразвуковая волна возбуждалась с помощью сдвигового преобразователя из кристалла селенита висмута с резонансной частотой 600 кГц. Акустиче-

ский контакт его с ячейкой осуществлялся путем склейки посредством канадского бальзама. Экспериментальная ячейка с пьезопреобразователем помещалась в термостатированную камеру, температура которой задавалась с точностью 0,1 °С и контролировалась с помощью хромель – алюмелевой термопары. Данные о температуре и о величине  $\Delta R/R$  выводились по двум каналам на компьютер.

Проведенные измерения позволили обнаружить модуляционные особенности в спектре отражения ХЖК в области селективного отражения света для данного типа кристалла. В качестве примера на рис. 1 приведен дифференциальный спектр холестерилпеларгоната. При длине световой волны 436 нм наблюдается положительный пик, а при 427 нм – отрицательный.

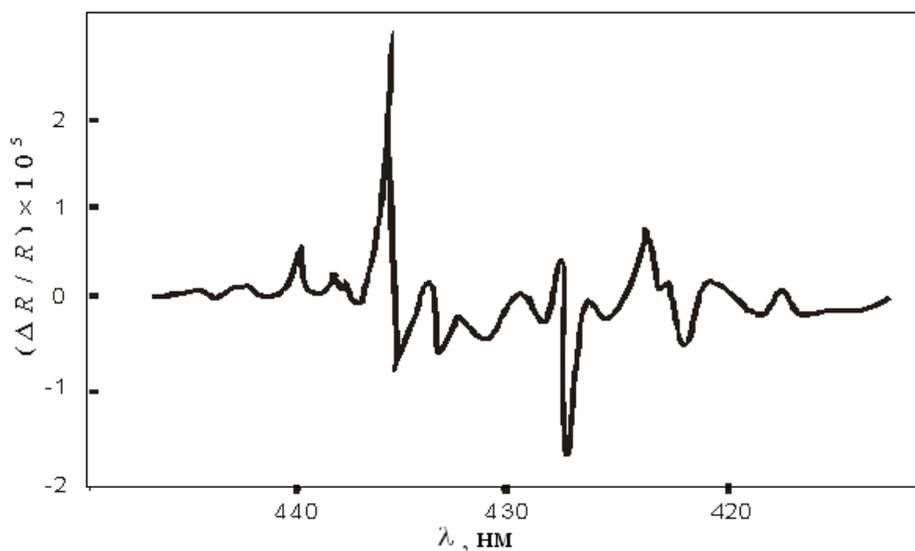


Рис. 1. Модуляционный спектр отражения света от слоя ХЖК в области селективного рассеяния ( $T = 345$  К)

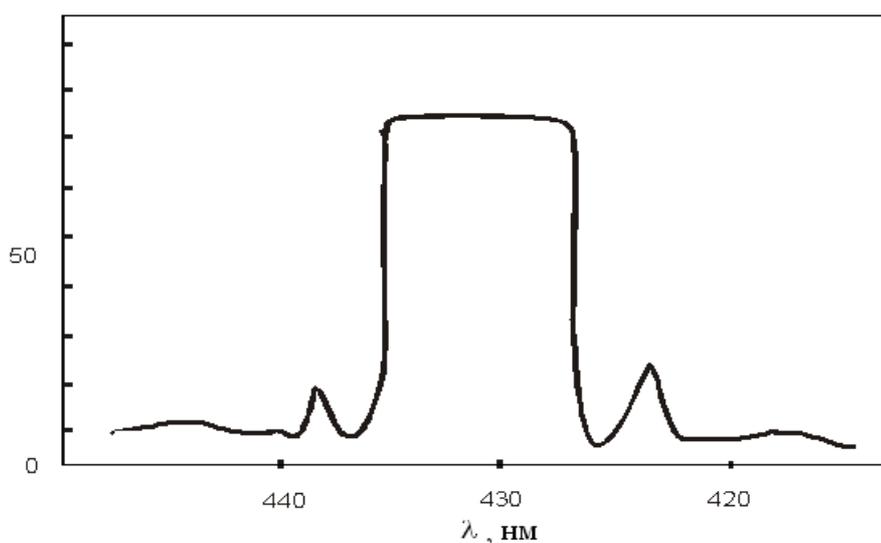


Рис. 2. Восстановленная форма линии селективного рассеяния слоя ХЖК

По условиям эксперимента это – дифференциальный спектр первой производной от  $R$ , так как амплитуда модулирующего поля была мала (давление  $P \approx 10^3$  дин/см<sup>2</sup>) и величина  $\Delta R/R$  сохранялась малой. Восстанавливая первоначальную форму линии селективного отражения по этому дифференциальному спектру, можно определить коэффициент фотоупругого эффекта. Восстановленный спектр отражения показал полное совпадение с формой линии селективного рассеяния, вид которой представлен на рис. 2.

Для оценки фотоупругого эффекта необходимо вначале оценить дифференциал коэффициента отражения света от ХЖК при углах падения, близких к нормальным [1]:

$$R \approx \frac{\sin^2(2\pi\delta Lq)}{\beta^2 + \sin^2(2\pi\beta\delta L\alpha)}, \quad (1)$$

$$\beta = \left[ \left( \frac{k^2 - q^2}{\delta k^2} \right)^2 - 1 \right]^{1/2},$$

где  $\alpha$  – угол рассеяния света,  $\delta = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$ ,  $L$  – толщина кристалла,  $q$  – волной вектор ХЖК структур,  $k$  – волновой вектор падающего света,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  диэлектрические проницаемости в направлении длинной и короткой оси молекул.

Из (1) имеем (при  $\vec{k} \approx \vec{q}$ )

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\text{ctg}(2\pi\beta\delta q)}{\beta\omega} \frac{\partial q}{\partial t}, \quad (2)$$

что качественно характеризует изменения дифференциального спектра. Кроме того, выражение (2) предсказывает при условии  $2\pi\beta\delta q \sim 2m\pi$  появление ряда дополнительных особенностей, которые проявляются в экспериментально регистрируемых спектрах (рис. 1). Следует также учесть, что формула (2) применима лишь в идеальном случае, поэтому конечность величины  $\Delta R/R$  объясняется несовершенством реального образца, представляющего поликристалл. В заключение необходимо отметить, что на основе описанных явлений путем увеличения числа отражений возможно создание модуляторов и дефлекторов света с достаточно большой глубиной модуляции и большим углом дефлексии.

### Список литературы

1. Беляков В. А., Дмитриенко В. Е., Орлов В. П. Оптические свойства холестерических жидких кристаллов // Холестерические жидкие кристаллы. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1976. С. 32 – 43.

Поступила в редакцию 11.02.2011 г.