

УДК 03, 07

О. А. Денисова, А. Н. Чувывров*

**РЕЗОНАНСНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ПОПЕРЕЧНЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ТВИСТ–СТРУКТУРАХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ**

**FLEXOELECTRIC EFFECT IN TWIST–STRUCTURES OF NEMATIC
LIQUID CRYSTALS**

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

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

Исследовано явление резонансного поглощения поперечных акустических волн в жидком кристалле. Считалось, что волновой вектор пространственной спирали параллелен оси OZ и перпендикулярен вектору скорости \mathbf{v}_0 , задаваемой подвижной пластиной. Длина поперечной волны сравнима с шагом спирали.

Проведены экспериментальные исследования скорости поперечных акустических волн в твистовых структурах нематических жидких кристаллах (НЖК). Полученная зависимость имеет резонансный вид, определяемый спиралью ЖК-структуры. Это возможно, когда длина волны, распространяющейся в НЖК, сравнима с шагом спирали. Изучались твист – структуры, полученные в ячейках с планарной ориентацией на поверхности пластин, повернутых относительно друг друга на 90° . Результаты экспериментов подтвердили, что наличие закрученности в ЖК приводит к резонансным явлениям при распространении поперечных акустических волн с длинами, сравнимыми с размерами образца ($d \sim 10 \div 15$ мкм).

Ключевые слова: нематические жидкие кристаллы, твист–структуры, планарная ориентация, акустическая волна.

The resonance absorption of the shear acoustic waves in liquid crystal was studied. It is considered that the phase vector of helix is parallel to the OZ axis and perpendicular to the velocity vector \mathbf{v}_0 , set by the moving plate. The length of the shear wave is comparable to the helix pitch distance.

The experiments on the velocity of shear acoustic waves in twist-structures of nematic liquid crystals (NLC) were carried out. The obtained dependency is of resonance type determined by the LC-structure helix. It is possible when the wave length distributed in NLC is comparable to the helix pitch distance. Twist-structures obtained in the cells with planar orientation on the plate surface, turned 90° against each other were studied. The experiment results proved that the presence of twist in LC led to the resonance at the expansion of shear acoustic waves with the length comparable to the example size ($d \sim 10 \div 15$ mkm).

Key words: nematic liquid crystals, twist–structures, planar orientation, acoustic wave.

В жидкости, ограниченной твердой поверхностью, при колебательном движении последней возникает поперечная волна с глубиной проникновения δ . Эта глубина падает с ростом частоты и растет с увеличением вязкости [1]. В жидком кристалле при низкочастотных колебаниях возникают еще и колебания, связанные с изменением ориентации молекул. Однако глубина проникания такой волны $\sim 10^{-3}\omega^{-1/2}$ и значительно меньше глубины проникания вязкой поперечной волны, имеющей величину порядка $10^{-1}\omega^{-1/2}$, где ω – частота колебаний ограничивающей пластины. В настоящей работе исследованы процессы распространения поперечной вязкой волны в твист – структурах нематических жидких кристаллов и холестерических жидких кристаллах с большим шагом спирали. Кроме того, были проведены экспериментальные измерения величин скоростей поперечных волн с помощью флексоэлектрического эффекта, индуцированного поперечной волной в этих молекулярных системах.

Для экспериментальной оценки величин сигналов флексоэлектрического отклика в окрестности q_0 можно использовать связь градиентов скоростей и величины пьезоэлектрической поляризации P_i , определяемых пьезокоэффициентами C_{ijk} и впервые предложенных еще в работе [2]:
$$P_i = C_{ijk} \frac{dv_j}{dx_k}.$$

Симметрии ХЖК и твист – структур НЖК допускают только два отличных от нуля пьезоэлектрических коэффициента C_{xyz} и C_{yxz} и соответственно для величин поляризации, возникающих вдоль осей OX и OY имеем

$$P_x = C_{xyz} \frac{dv_y}{dz}; \quad P_y = C_{yxz} \frac{dv_x}{dz}. \quad (1)$$

Эти соотношения позволяют сделать оценки коэффициентов C_{xyz} , C_{yxz} путем измерения P_x и P_y в зависимости от различных условий, например, величины волновых векторов ХЖК – спирали или частоты колебаний пластины.

Экспериментальные измерения флексоэлектрического эффекта, индуцированного поперечной волной в ХЖК, проводились на ячейке, собранной по симметричной схеме, которая представляла сборку их трех пластин. Причем верхняя и нижняя пластины были разделены прокладками заданной толщины, а центральная свободно плавала в ХЖК (рис. 1).

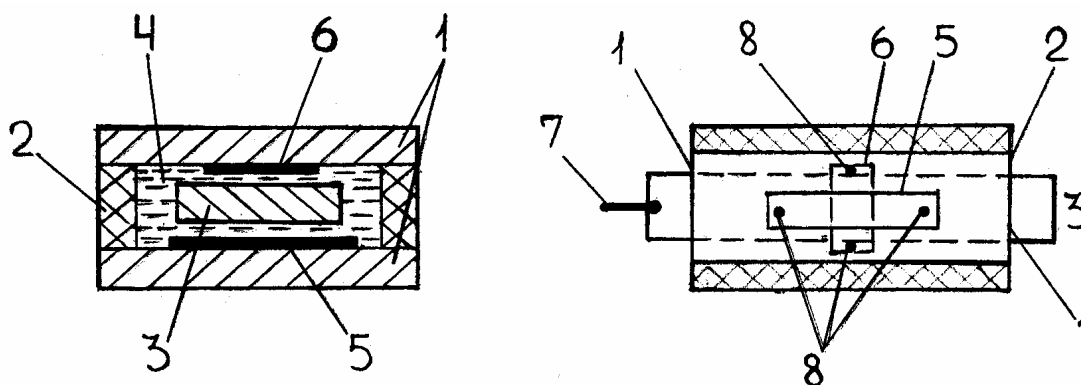


Рис. 1. Конструкция измерительной ячейки:

- 1 – опорная пластина, 2 – разделительные прокладки, 3 – подвижная пластина,
4 – жидкий кристалл, 5, 6 – резисторы, 7 – волновод, 8 – электроды

Такой выбор конструкции ячейки исключал трудности в юстировке и фиксации толщины образцов, т.к. центровка пластины осуществлялась за счет поверхностного давления на краях, появляющегося за счет сил поверхностного натяжения ЖК. ХЖК находился между первой и второй, а также между второй и третьей пластинами [3]. На неподвижные пластины ячейки наносились резисторы из окиси олова, сопротивление R_o которых составляло 1 кОм. При колебании центральной пластины возникающая флексоэлектрическая поляризация индуцировала ток в резисторах. Разность потенциалов на резисторе в такой ситуации равна $\frac{dP_{x,y}}{dt} R_o$. Для разделения x - и y -компонентов поляризации на

верхней пластине электроды для регистрации сигнала располагались вдоль оси x , а на нижней – вдоль оси y . Возбуждаемый при колебании пластины сигнал усиливался согласующим усилителем и селективным усилителем, с последнего он поступал на аналого-цифровой преобразователь компьютера. Сдвиговая волна, возбужденная электродинамическим вибратором, через волновод приводила в движение рабочую пластину. Вся ячейка помещалась в термостат, температура которого измерялась хромель-алюмелевой термопарой. Сигнал с термопары поступал на аналогово-цифровой преобразователь и обрабатывался на компьютере.

Кроме исследования разности потенциалов, индуцируемой сдвигом, проводились измерения ее фазы относительно сигнала, регистрируемого с датчика скорости движения пластины. Измерения разности фаз проводились следующим образом. Изучаемый сигнал с ЖК-ячейки усиливался селективным усилителем и через пробник поступал на вход измерителя разности фаз Ф2-13. Опорный сигнал поступал с датчика скорости, усиливался селективным усилителем и через пробник поступал на второй вход измерителя разности фаз. Сигнал, пропорциональный разности фаз, поступал на вход аналого-цифрового преобразователя и обрабатывался с помощью компьютера. Скорость перемещения подвижной пластины фиксировалась емкостным датчиком с зазором 0,1 мм. В этом случае изменение амплитуды определялось из меняющейся с частотой сдвига составляющей его емкостного сопротивления.

Для исследования эффектов резонансного изменения скорости поперечной вязкой волны был выбран наиболее известный жидкий кристалл *n*-метоксибензилиден - булинанилин (МББА), в который сделана добавка оптически активного вещества, холестерилхлорида ~2 %, так что величина волнового вектора ХЖК была $3 \cdot 10^{-6}$ м.

Рассмотрим величину флексоэлектрического сигнала и его изменение при постоянной скорости сдвига центральной пластины. Для получения различных волновых векторов k' поперечной вязкой волны при этом достаточно менять частоту сдвига. Поэтому рассмотрим более подробно частотную зависимость индуцированной сдвигом ЭДС на частоте первой гармоники, измеряемой на пленочном сопротивлении – электроде неподвижной верхней подложки. Полученная зависимость имеет типичный резонансный характер (рис. 2), определяется, по-видимому, спиральностью ЖК-структуры.

Эта ситуация возможна, когда длина волны, распространяющейся в НЖК, сравнима с шагом спирали. С уменьшением шага спирали резонансы зарегистрировать не удалось. С целью дальнейшего уточнения соотношения (1) изучались твист – структуры НЖК, полученные в ячейках с планарной ориентацией молекул на поверхности. Для получения твист – структур опорные пластины, поворачивались относительно друг друга на 90° . Однако здесь основной проблемой стало получение планарных слоев холестерического жидкого кристалла.

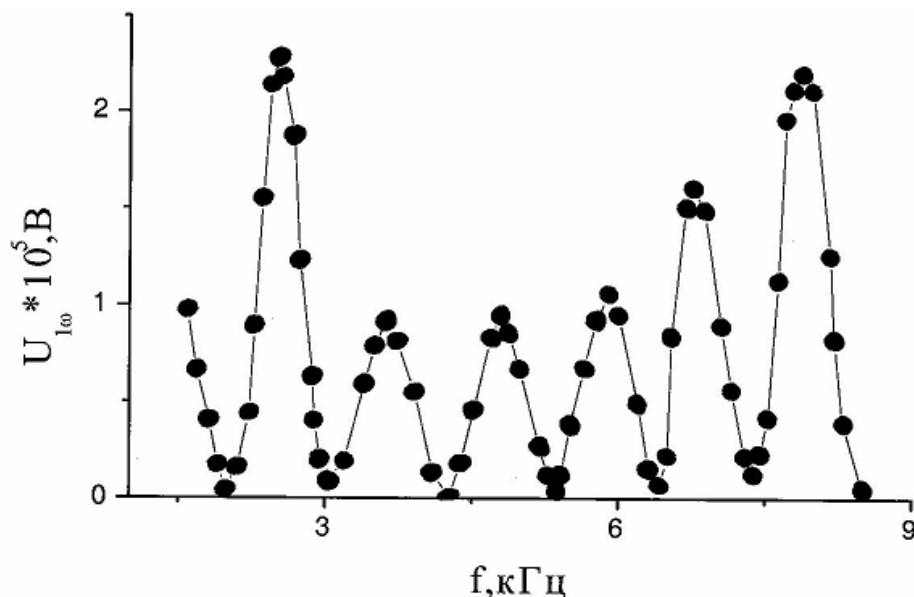


Рис. 2. Частотная зависимость первой гармоники $U_{1\omega}$ в холестерическом жидком кристалле с волновым вектором спирали $\sim 0,3 \text{ м}^{-1}$

Для решения этого вопроса применялся метод растяжения слоя с одновременной закруткой пластин. При полном повороте пластин на 360° возникала ориентация молекул холестерика с шагом спирали, кратной толщине исследуемого кристалла, с планарной ориентацией молекул на границах. Согласно соотношениям (1) при большом шаге спирали, т. е. когда $q_o^2 \ll \frac{\rho\omega}{\eta}$, резонансы должны возникать при более высокой частоте.

Результаты экспериментов полностью подтвердили этот факт: наличие закрученности в НЖК приводит к резонансным явлениям при распространении поперечных волн с длинами λ , сравнимыми с размерами образца ($h \sim 10 - 15 \text{ мкм}$), и получаемых при более высоких частотах колебаний. Явление резонанса весьма чувствительно к плоскопараллельности кюветы ячейки, в которую помещен НЖК. Появление клина приводит к исчезновению резонансов, однако флексоэлектрическая поляризация индуцируется поперечной волной в направлениях x и y и фиксируется вышеуказанным методом.

Как уже отмечалось, в нашем случае возможно изменение сдвига фаз $\Delta\varphi$ между сигналом, возбуждающим колебание, и регистрируемым сигналом $U_{1\omega}$. Установлено, что при изменении частоты колебаний подвижной пластины изменяется и разность фаз $\Delta\varphi$. Причем в окрестности резонансов скорости происходит смена разности фаз на 2π , т. к. разность фаз v_x и v_y компонент: $\Delta\varphi \sim \frac{v_x}{v_y} \sim \text{ctg}(k' - 2q_o)\sigma$. То есть в случае жид-

кокристаллических структур с пространственной дисперсией наблюдается резонансный характер изменения скорости Δv от частоты, причем, вблизи резонансов имеет место скачок фазы на 2π (рис. 3).

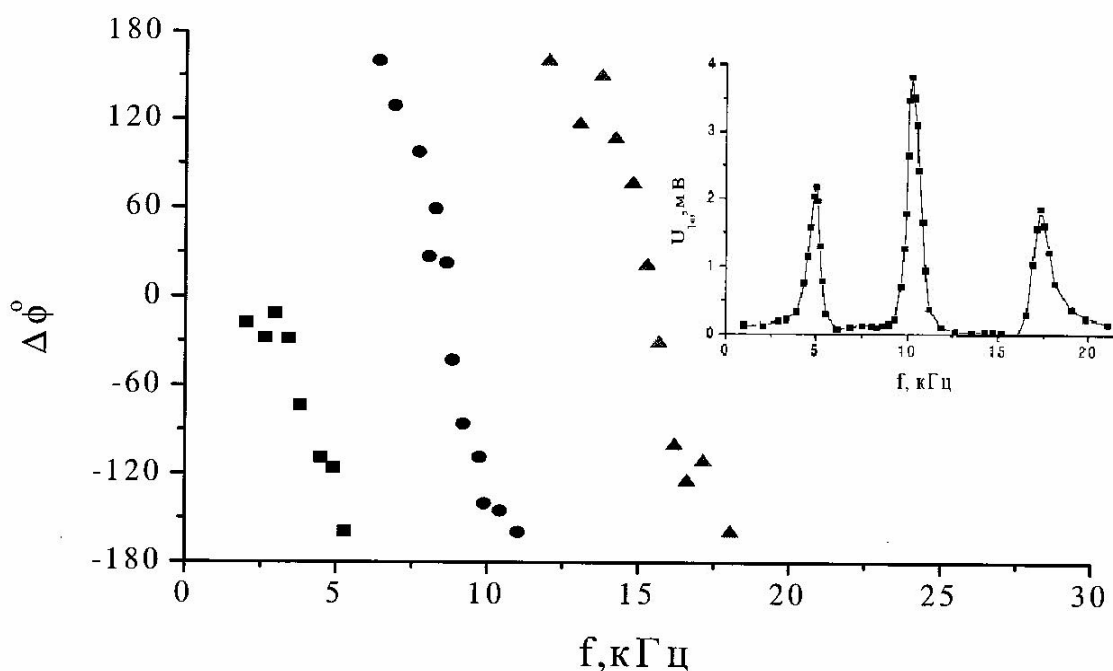


Рис. 3. Частотные зависимости флексоэлектрического сигнала $U_{1\omega}$ и сдвига фаз $\Delta\phi$ в закрученном нематике (МБАА, $t_N = 25^\circ\text{C}$)

Итак, при распространении поперечной вязкой волны в холестерическом жидком кристалле с большим шагом спирали возникает волна с малым волновым вектором ($k-2q$), что приводит к резонансному изменению скорости ориентационных волн при изменении частоты их генерации, что подтверждается экспериментальными данными при изучении закрученных твист-слоев нематиков.

Список литературы

1. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М. : Мир, 1980. 344 с.
2. Prost J., Marcerou J. P. // J. Physique. 1977. Vol. 38. P. 315.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М. : Мир, 1974. 463 с.

Поступила в редакцию 11.02.2011 г.