

08

Низкочастотный ультразвук и динамика смектиков

© Д.Л. Богданов, Э.В. Геворкян, Ю.Н. Обыденков

Московский государственный областной университет

E-mail: obydenkov@yandex.ru

Поступило в Редакцию 5 июля 2011 г.

Показано, что эффект возможного нарушения общепринятой гидродинамики смектических жидких кристаллов в килогерцевом частотном диапазоне экспериментально, как правило, не наблюдаем. В ультразвуковых экспериментах отклонения от квадратичной стоксовской частотной зависимости коэффициента поглощения определяются процессами акустической релаксации. Причем эта зависимость не является ни универсальной, ни характерной только для смектической А фазы. Характер частотной зависимости меняется при изменении ориентации волнового вектора относительно индукции магнитного поля.

Жидкие кристаллы — сложные органические соединения, образующие ряд ориентационно упорядоченных промежуточных фаз между обычными твердыми кристаллами (с трехмерной кристаллической решеткой) и изотропными жидкостями. Мезогенные молекулы имеют жесткое анизометричное ядро, которое в конечном счете определяет неполное трансляционное упорядочение многочисленных мезофаз и их необычные динамические свойства.

Смектические жидкие кристаллы (смектики или СЖК), имеющие слоистую структуру (частичный трансляционный порядок), приобретают гидродинамические переменные смещений и, следовательно, дополнительные акустические моды „второго звука“. Причем вследствие сильно развитых флуктуаций в смектиках А и С в килогерцевом частотном диапазоне возможно нарушение общепринятой гидродинамики смектиков, проявляющееся в переходе (кроссовере) к линейной зависимости $\alpha(\omega) \sim \omega$ коэффициента поглощения ультразвука от частоты. С другой стороны, к нарушению классической гидродинамической асимптотики $\alpha(\omega) \sim \omega^2$ приводит также явление акустической релаксации. В последнее время интенсивно обсуждается возможность нарушения гидродинамического поведения и его экспериментальной проверки в различных фазах эластомеров [1].

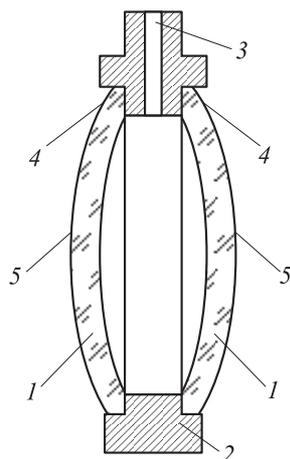


Рис. 1. Акустический резонатор.

Поэтому особую актуальность приобретают низкочастотные (ниже 1 МГц) ультразвуковые эксперименты в жидких кристаллах, имеющих смектические фазы. Причем принципиальный интерес представляет сравнение частотных зависимостей коэффициента поглощения различных фаз и веществ. Однако вследствие больших методических трудностей таких экспериментов практически нет. Имеющиеся недостаточно надежны и не позволяют однозначно решить указанные выше проблемы динамики мезофаз [2].

В данной работе исследовано поглощение ультразвука в жидком кристалле (4-бутоксипбензилиден-4'-октиланилин), имеющем нематическую, смектическую А и смектическую В мезофазы. В качестве метода акустических исследований в области частот от 96 до 760 кГц выбран резонаторный метод [3], позволяющий произвести измерения скорости и коэффициента поглощения ультразвука при постоянной геометрии акустической камеры в сочетании с малым объемом исследуемого образца (около 5 см^3).

Измерения проводились с помощью акустического резонатора с выпукло-вогнутыми пьезопреобразователями, обладающего рядом преимуществ по сравнению со стандартным резонатором с плоскими пьезопреобразователями. В частности, он имеет на порядок боль-

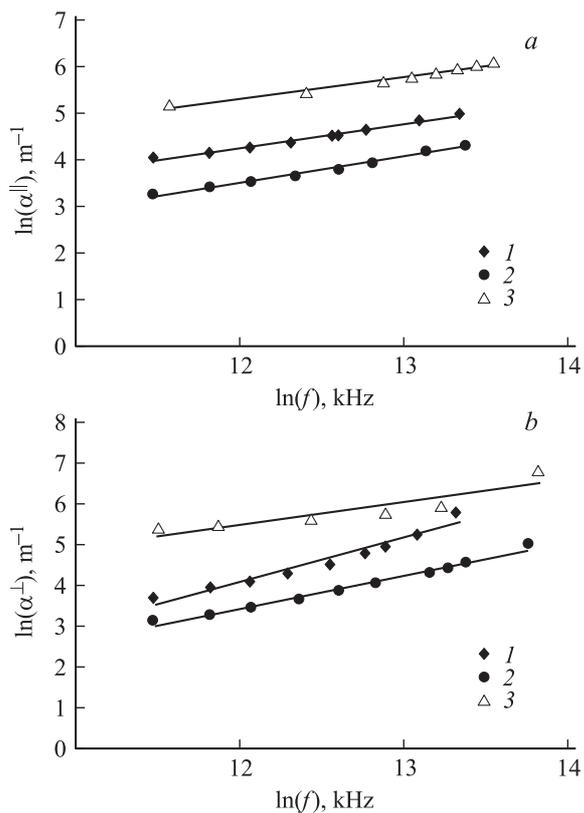


Рис. 2. Частотная зависимость $\alpha(f)$ в двойном логарифмическом масштабе: *a* — для параллельной ($\Theta = 0^\circ$) и *b* — для перпендикулярной ($\Theta = 90^\circ$) ориентации волнового вектора относительно магнитного поля, 1 — нематика, 2 — смектика А, 3 — смектика В.

шую добротность колебаний на низких частотах рабочего диапазона (до 96 kHz). Это позволяет провести измерения в низкочастотном ультразвуковом диапазоне и получить информацию о низкочастотных асимптотиках акустических параметров. Ориентация жидкого кристалла обеспечивалась внешним магнитным полем индукцией $B = 0.24$ Т.

Конструкция акустического резонатора приведена на рис. 1. Основу резонатора составляют два пьезопреобразователя 1, выполненные

из ниобата лития среза $\gamma + 36^\circ$. Диаметр обоих преобразователей $d = 0.03$ м, а радиусы кривизны каждого преобразователя соответственно $r_1 = +0.075$ м и $r_2 = -0.4$ м. Поверхности пьезопластин отшлифованы и на них химическим способом нанесены электроды 4 и 5 из серебра. Симметричное расположение пьезопластин, необходимое для получения высоких добротностей, достигается за счет размещения их в прецизионных проточках в титановом кольце при помощи малого количества эластичного клея, для этих целей применяется однокомпонентный герметик. Внешний диаметр кольца — 0.032 м, а внутренний — 0.029 м. Заполнение резонатора исследуемой жидкостью осуществляется через отверстие 3 в кольце 2. Для минимизации акустических потерь контакты с электродами осуществляются с помощью тонких упругих посеребренных проводников. Внутренний объем резонатора составляет около $4 \cdot 10^{-6}$ м³. Относительная погрешность определения скорости ультразвука не превышает 0.2%. Результирующая максимальная погрешность определения коэффициента поглощения и его анизотропии составляет около 10% при $f < 0.5$ МГц.

Приведенные на рис. 2, *a, b* экспериментальные результаты показывают, что эффекты, связанные с флуктуационным нарушением общепринятой гидродинамики смектиков А, как правило, экспериментально ненаблюдаемы и их следует отнести к разряду „призрачных“ („ghost“) эффектов. Имеющиеся значительные отклонения от классической частотной зависимости следует связывать с релаксационными процессами (акустическая релаксация), характерными для всех мезофаз, а не только для смектиков А. Низкочастотное поведение ультразвуковых параметров жидких кристаллов, по-видимому, не является универсальным и качественно различается для разных веществ. Кроме того, характер частотной зависимости меняется при изменении ориентации волнового вектора относительно индукции магнитного поля. Для окончательного решения проблемы нужны дальнейшие эксперименты в килгерцевом частотном диапазоне на широком круге веществ (жидких кристаллов и эластомеров), имеющих различные смектические фазы.

Список литературы

- [1] *Stenull O., Lubensky T.C.* // Physical Review E. 2007. V. 75. P. 031711.
- [2] *Базаров И.П., Геворкян Э.В.* Статистическая физика жидких кристаллов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992.
- [3] *Конonenko B.C.* // Акустич. журнал. 1987. Т. 33. № 4. С. 683–694.