

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА МББА
НА ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЧАСТОТАХ

В. С. Вертоградов, В. Ф. Китаева, Н. Н. Соболев, И. Л. Чистый,
Н. Кроо *), Л. Чыллаг **)

УДК 535.36

Исследованы спектры мандельштам-бриллюэновского рассеяния света как в изотропной, так и нематической фазе МББА. Получены скорости распространения и затухания гиперзвука в МББА и их зависимости от температуры. Рассчитано время гиперзвуковой релаксации.

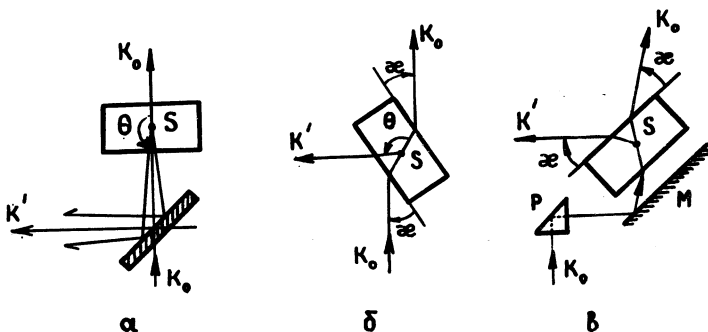
Целью настоящей работы явилось исследование методом спектров Мандельштама-Бриллюэна особенностей распространения и затухания гиперзвука в изотропной и нематической фазе жидкого кристалла МББА (р-метоксibenзолиден-р-п-бутиланилин).

Исследуемый образец имел толщину 40 мкм. Он помещался в термостатируемую с точностью ~ 0.1 °C медную камеру с окнами, через которые проходили падающий и рассеянный свет. Во всех опытах оптическая ось образца была перпендикулярна направлению электрического поля в падающей световой волне, чтобы исключить влияние двулучепреломления на рассеяние света в нематической фазе МББА.

Источником возбуждения рассеянного света служил одночастотный Ar^+ лазер (модель I7I-03 "Спектра Физикс"). Излучение лазера на длине волны 5145 \AA фокусировалось в исследуемый образец жидкого кристалла МББА. Светящаяся точка жидкого кристалла фокусировалась на входную щель коллиматора Фабри-Перо, которая отделяла ее от светящихся точек, образовавшихся на входе и на выходе из стеклянных окошек, между которыми был заключен жидкий кристалл, а также от вторичных светящихся точек, образовавшихся в кристалле при многократных отражениях луча от стеклянных пластин. Линии комбинационного рассеяния света убирались интерференционным светофильтром, который имел ширину полосы пропускания $\sim 40 \text{ см}^{-1}$.

*) Центральный институт физических исследований Венгерской Академии Наук, Будапешт.

Использовался трехпроходный интерферометр фирмы "Берли" с контрастом 10^9 и пропусканием в максимуме полосы до 50% падающего на него света. Благодаря высокому контрасту интерферометра



Р и с. 1. Геометрии экспериментов для наблюдения рассеяния света: S - объем рассеяния, θ - угол рассеяния, α - угол наклона луча, M - плоское зеркало, параллельное образцу, P - 90° поворотная призма; а) $q = 2nk_0$, $\theta \approx 180^\circ$; б) $q = 2nk_0 \sin(\theta/2)$, $\theta = 180^\circ - \arcsin(\sin \alpha/n) - \arcsin(\cos \alpha/n)$; в) $q = 2k_0 \cos \alpha$, $\theta = 2 \arcsin(\cos \alpha/n)$

мощное паразитное рассеяние на несмещенной частоте не мешало наблюдению компонент Манделштама-Бриллюэна (МБ) даже в жидкокристаллической фазе МББА, представляющей собой оптически мутную среду.

Регистрация спектров рассеянного света осуществлялась ФЭУ с магнитной дефокусировкой и с охлаждением фотокатода парами жидкого азота, который работал в режиме счета фотонов. Сигнал с ФЭУ через усилитель-дискриминатор поступал на многоканальный анализатор "Сигма". Работа велась в режиме поканального счета с использованием 862 каналов памяти анализатора. Длительность нахождения в канале составляла 0,2 с. Запуск анализатора осуществлялся интенсивной компонентой исследуемого спектра по схеме, описанной в /1/. Стабильность интерферометра позволяла копить информацию в течение 3-7 циклов сканирования. После накопления информация из памяти анализатора выводилась на самописец ЭПП-09.

При установке кристалла относительно луча лазера использовалась одна из трех геометрий (рис. 1). В случае а) рассеянный свет

наблюдался под углом 180° . Эта геометрия обеспечивает наибольший частотный сдвиг наблюдаемых компонент МБ и наименьшую погрешность измерений, вызванную неточностью установки угла. В случае б) рассеянный свет мог наблюдаться в интервале углов от 127° до 138° . Для исследований скоростей гиперзвука на малых частотах использовалась геометрия в), которая удобна еще и тем, что для определения волнового вектора фонона, участвующего в рассеянии света, не требуется знание показателя преломления и, естественно, уменьшаются погрешности, связанные с неточным знанием температурной зависимости показателя преломления исследуемого образца. В последнем случае угол θ мог изменяться от 6° до 77° .

При всех геометриях эксперимента была зарегистрирована одна пара компонент Мандельштама-Бриллюэна. Было установлено, что эти компоненты обусловлены рассеянием света на продольных (L) звуковых волнах. Компоненты наблюдаются только в VV-спектре, то есть, в том случае, если вектор электрического поля падающего (\vec{E}) и рассеянного света (\vec{E}') перпендикулярны плоскости рассеяния. Интенсивность несмещенной компоненты, особенно для нематической фазы МББА была так велика, что память многоканального анализатора "Сигма" в каналах, относящихся к несмещенной компоненте, многократно переполнялась. В области температур t от 20 до 60°C характер спектров существенно не менялся.

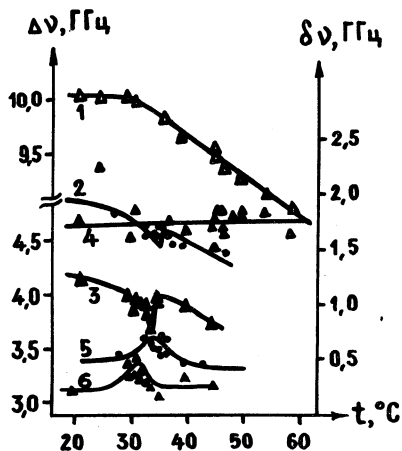
Температура t_c (температура фазового перехода из нематической в изотропную фазу) нашего образца толщиной 40 мкм оказалась равной $33,5^\circ\text{C}$, в то время как для образца жидкого кристалла в лювете толщиной 10 мм t_c была равна 46°C , а свежеприготовленный образец толщиной 40 мкм имел $t_c \sim 40^\circ\text{C}$. Это, видимо, связано с тем, что в тонком слое жидкокристаллическое состояние разрушается с ростом температуры и стареет быстрее, чем в толстом слое.

Обработка спектров заключалась в измерении частотных сдвигов компонент МБ относительно несмещенной компоненты и в измерении ширины компонент МБ. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Из частотных сдвигов $\Delta\nu$ компонент МБ в пренебрежении анизотропией ^{*)} были рассчитаны скорости v продольных гиперзвуковых

^{*)} Малая анизотропия скорости звука в кристалле МББА была установлена в работах /2,3/ при исследовании МББА на ультразвуковых частотах.

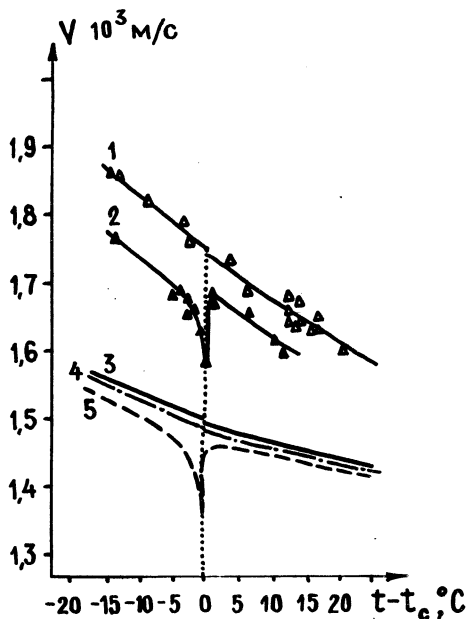
волн. Значения показателей преломления, необходимые для расчета в геометриях а) и б), брались из работы /4/. Они интерполировались к длине волны 5145 Å. Из ширины $\delta\gamma$ компонент оценивалось



Р и с. 2. Зависимость частотных сдвигов $\Delta\nu$ (1,2,3) компонент МБ и их ширины $\delta\nu$ (4,5,6) от температуры МББА, 1,4 - угол рассеяния $\theta = 132^\circ$; 2,5 - $\theta = 54^\circ$, 3,6 - $\theta = 46^\circ$

затухание гиперзвука в кристалле МББА. Оно составляет $\sim 3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ на частотах 10,0+9,1 ГГц и $\sim (0,5+1) \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ на частотах 4,1+3,8 ГГц. Результаты расчета скоростей и их зависимость от $t - t_c$ для двух существенно разных областей гиперзвуковых частот представлены на рис. 3. На этом же рисунке приведены результаты ультразвуковых измерений /5/. Измеренные нами на частотах 10,0+9,1 ГГц значения скорости звука для изотропной фазы МББА близки к скоростям, измеренным для этой фазы в /6/ на частотах 7,3+6,5 ГГц. Это указывает на то, что в интервале частот 10,0+6,5 ГГц скорость звука в изотропной фазе МББА не зависит от частоты. На частотах 10,0+9,1 ГГц скорость гиперзвука не претерпевает заметных изменений вблизи t_c . Она монотонно уменьшается с увеличением температуры. Совсем иной характер изменения скорости гиперзвука с темпера-

турой наблюдался нами на частотах 4,1+3,8 ГГц. В области температуры фазового перехода скорость звука резко падает. Абсолютное значение скорости звука на этих частотах и в нематической, и в изотропной фазе значительно ниже, чем на частотах 10,0+9,1 ГГц.



Р и с. 3. Температурные зависимости скорости продольных звуковых волн в кристалле МББА: 1,2 - зависимости, полученные в настоящей работе для: гиперзвуковых частот (1 - 10,9,1 ГГц, 2 - 4,1+3,8 ГГц); 3,4,5 - результаты работы /5/ для ультразвуковых частот (3 - 23 МГц, 4 - 9 МГц, 5 - 0,3 МГц)

Из рис. 3 следует, что в температурной зависимости скорости гиперзвука и ультразвука имеются общие особенности: Существуют частоты, на которых скорость с температурой меняется немонотонно, претерпевая провал в области температуры фазового перехода t_c . С увеличением частоты скорость звука возрастает до некоторого предельного значения, а провал в области t_c исчезает.

Для анализа результатов настоящей работы мы, как и в /5/, воспользовались релаксационной теорией /7,8/. Было рассчитано время релаксации τ_2 на гиперзвуковых частотах и его зависимость от температуры. Оказалось, что зависимость времени релаксации от температуры немонотонная, вблизи t_c время релаксации резко убывает. Полученное нами время релаксации τ_2 для изотропной фазы ($\sim 5,6 \cdot 10^{-11}$ с) согласуется с величиной τ_2 , измеренной для этой фазы в работе /6/. Значение τ_2 для мезофазы несколько ниже, чем для изотропной фазы. Оно составляет $\sim 5 \cdot 10^{-11}$ с. Уменьшение τ_2 (до $2,5 \cdot 10^{-11}$ с) вблизи t_c на частотах $\sim 4+5$ ГГц связано, по нашему мнению, с процессами структурной релаксации мезофаза - изотропная фаза МББА.

В заключение авторы считают своим долгом принести благодарность проф. И. Л. Фабелинскому за обсуждение результатов эксперимента и многократные дискуссии, а также И. Тодду за изготовление образцов МББА и С. Н. Ранову за помощь в работе.

Поступила в редакцию
2 сентября 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. Н. Ранов, А. А. Майер, Д. М. Маштаков, И. Л. Чистый, ЖПС, 24, в. 2, 303 (1976).
2. A. E. Lord, M. M. Labes, Phys. Rev. Lett., 25, 570 (1970).
3. А. В. Белоусов, А. П. Капустин, А. С. Лагунов, Физическая химия, 47, в. 6, 1564 (1973).
4. M. Brunet-Germain, Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 271B, 1075 (1970).
5. D. Eden, C. W. Gerland, R. C. Williamson, J. Chem. Phys., 58, 1861 (1973).
6. N. A. Clark, Y. Liao, J. Chem. Phys., 63, 4133 (1975).
7. Л. И. Мандельштам, М. А. Леонтович, ЖЭТФ, 7, 438 (1937);
Л. И. Мандельштам, Полное собрание трудов, т. 2, М. изд. АН СССР, 1947 г, стр. 176.
8. K. F. Herzfeld, T. A. Litovitz, Absorption and Dispersion of Ultrasonic Waves, New York-London, Acad. Press, 1959.