

УДК 535.36. 536.4

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ГИПЕРЗВУКА В РАСТВОРЕ С ОБЛАСТЬЮ РАССЛАИВАНИЯ

К. В. Коваленко, С. В. Кривохижа

В деполаризованном спектре крыла линии Рэлея в критическом растворе с замкнутой областью расслаивания при низких температурах обнаружена тонкая структура в виде триплета, обусловленная рассеянием света на поперечных гиперзвуковых волнах. Измерена скорость распространения поперечного гиперзвука и его коэффициент поглощения. Вычислена температурная зависимость модуля сдвига в растворе. Температурная зависимость модуля сдвига сопоставлена с температурными зависимостями предельных объемных модулей упругости. Полученные результаты указывают на изменение структуры раствора при переходе по температуре через область расслаивания.

Обнаруженная в спектре крыла линии Рэлея тонкая структура при вертикальной (V) поляризации падающего света и горизонтальной (H) поляризации рассеянного света (VH рассеяние), проявляющаяся при малых вязкостях в виде дублета на вершине центральной линии рассеянного света и в виде триплета при больших вязкостях [1, 2], вызвала целый поток экспериментальных и теоретических работ [3 – 5].

Спектр крыла линии Рэлея в виде дублета можно представить как две широкие линии с минимумом на частоте возбуждающего света. Такой спектр наблюдается в ряде жидкостей с анизотропными молекулами при вязкостях в несколько $cПз$. Структура крыла линии Рэлея в виде дублета объяснялась тем, что свет, рассеянный флуктуациями анизотропии, взаимодействующими с флуктуациями сдвиговых деформаций, модулируется соответствующей фурье-компонентой сдвиговой деформации. Ожидалось, что при увеличении вязкости среды расстояние между максимумами дублета должно

возрастать. Эксперимент показал, что при понижении температуры расстояние между максимумами не только не растет, но даже несколько уменьшается, затем при дальнейшем понижении температуры структура исчезает вообще. Такая картина явления получила количественное объяснение в теории Рытова [6], использовавшей для объяснения явления два времени релаксации флуктуаций анизотропии и их связь с модулем сдвига.

При более низких температурах и больших вязкостях в спектре деполяризованного рассеяния в вязких стеклюющихся жидкостях (например, в салоле) наблюдался триплет, как и при рассеянии Мандельштама-Бриллюэна на продольных гиперзвуковых волнах. Существование такого триплета было объяснено как рассеяние света на поперечных гиперзвуковых волнах в области температур, где, согласно гидродинамике, поперечная гиперзвуковая волна уже может существовать. По смещению компонент триплета относительно центральной линии определяется скорость распространения поперечного гиперзвука, а по ширине компонент – коэффициент поглощения его.

Первоначально в салоле в интервале температур от $+60$ до -2.5°C тонкая структура крыла линии Рэлея ни в виде дублета, ни в виде триплета не наблюдалась. В нашей экспериментальной работе [7], выполненной в салоле, удалось существенно уменьшить этот интервал температур и наблюдать дублет в тонкой структуре крыла линии Рэлея вплоть до $+47^{\circ}\text{C}$, а триплет – от -70 до $+20^{\circ}\text{C}$. Так как измерения были выполнены до температуры 47°C , интервал температур, в котором тонкая структура не наблюдалась, уменьшился до 27° . В работе [7] также было изучено поглощение поперечного гиперзвука, максимум которого удалось наблюдать. Полученные экспериментальные данные дали хорошее согласие с расчетами по формулам теории Исаковича и Чабан [8]. Таким образом, исследование крыла линии Рэлея при низких температурах дает ценную информацию о распространении поперечного гиперзвука в жидкости и ее свойствах.

Исследования распространения продольного гиперзвука в критических растворах и в растворах с областью расслаивания выполнялись разными авторами и нами, и дали обширный материал об особенностях распространения гиперзвука в непосредственной близости к критической области и вне ее. Исследований распространения поперечного гиперзвука в критических растворах, насколько нам известно, пока нет.

Целью настоящей работы было попытаться наблюдать тонкую структуру крыла линии Рэлея в критическом растворе с областью расслаивания с двумя критическими точками гваякол-глицерин и изучить скорость распространения и поглощение поперечного гиперзвука в нем.

Исследования крыла линии Рэлея в растворе гваякол-глицерин выполнялись на установке с пятипроходным интерферометром Фабри–Перо производства фирмы “Burleigh” США, с одночастотным лазером ИЛА-120 на длине волны 514.5 нм. Спектр VH рассеяния регистрировался при помощи охлаждаемого ФЭУ, работающего в одноэлектронном режиме, и цифрового анализатора DAS-1, записанные спектры обрабатывались на РС. Установка позволяла параллельно изучаемому спектру регистрировать аппаратную функцию, которая затем исключалась из полезного спектра на РС с использованием специальной программы.

Измерения выполнялись в интервале температур от $+90$ до -40°C . В качестве исследуемого образца использовался раствор гваякол-глицерин с областью расслаивания 40°C с двумя критическими точками расслаивания: верхней – ВКТ и нижней – НКТ.

В результате эксперимента было обнаружено, что при высоких температурах выше ВКТ в спектре крыла линии Рэлея в данном растворе тонкой структуры в виде дублета не наблюдается, что возможно связано с присутствием в растворе глицерина, молекулы которого обладают малой анизотропией. Концентрация глицерина в критическом растворе составляет 47.05 объемных%. Вторая компонента – гваякол – обладает анизотропными молекулами и в растворе, хотя и с большими трудностями, нам ранее удалось изучить ширину крыла линии Рэлея в широком интервале температур [9].

Исследования спектра КЛР при низких температурах показали, что в интервале от -10 до -40°C существует тонкая структура в виде триплета. По смещению компонент спектра была определена скорость распространения поперечного гиперзвука V по формуле

$$V = \frac{\Delta\nu c}{2n\nu \sin \frac{\Theta}{2}}, \quad (1)$$

где V – скорость распространения поперечного гиперзвука, $\Delta\nu$ – смещение компонент, c – скорость света, n – показатель преломления в среде, ν – частота света, Θ – угол рассеяния. По ширине компонент определялся коэффициент поглощения поперечного гиперзвука α

$$\alpha = \frac{\delta\nu}{2V}, \quad (2)$$

где $\delta\nu$ – ширина смещенной компоненты. На рис. 1 представлены результаты этих первых измерений. Ошибка измерения скорости составляла 5%, а поглощения – 13%. Такие большие ошибки связаны с трудностями эксперимента. Так спектры рассеяния

при каждой температуре записывались 3–4 раза, причем длительность накопления каждого спектра составляла несколько часов. При этом температура образца поддерживалась в течение всего времени эксперимента с точностью до 0.5° при помощи продува газообразного азота, испаряемого из дьюара с жидким азотом, и специальной схемы термостатирования.

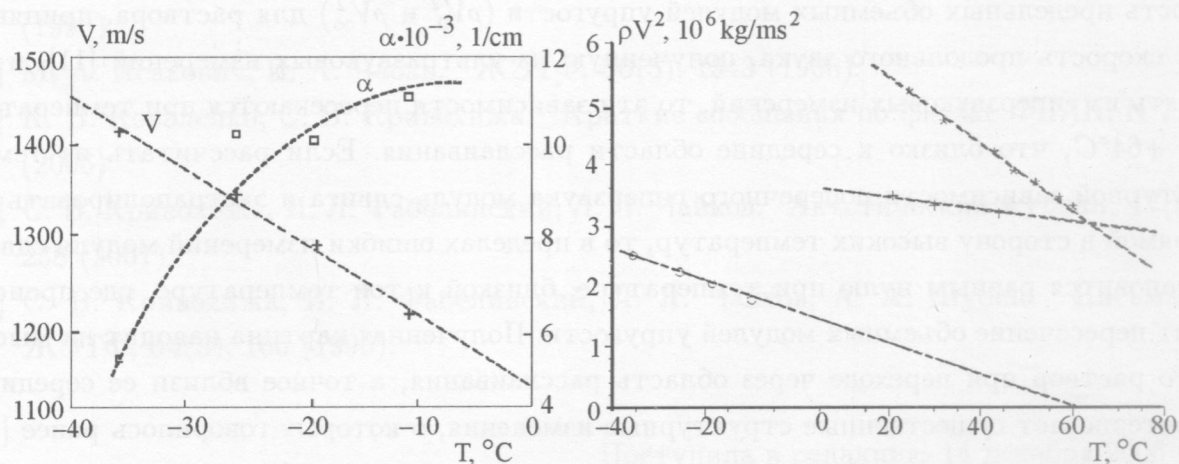


Рис. 1. Температурная зависимость скорости распространения и коэффициента поглощения поперечного гиперзвука в критическом растворе гваякол-глицерин с замкнутой областью расслаивания шириной 40°C .

Рис. 2. Температурная зависимость объемных модулей упругости ρV_0^2 – (+) и ρV_∞^2 – (*), и модуля сдвига ρV^2 – (o) в том же растворе гваякол-глицерин.

Из рисунка видно, что скорость распространения поперечного гиперзвука с понижением температуры растет от 1284 м/сек при -10.7°C до 1414 м/сек при -35.59°C , а поглощение в этом же интервале температуры растет от $6.3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$ до $11 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$. К сожалению, в настоящем эксперименте нам не удалось расширить температурный интервал изучения распространения поперечного гиперзвука в растворе и достичь максимума поглощения гиперзвука, как это было сделано в салоле. Для дальнейшего развития этих исследований необходимо выполнить еще ряд усовершенствований установки.

Исследования распространения поперечного гиперзвука в критических растворах и в критическом растворе с областью расслаивания, в частности, выполнены впервые и представляются особенно интересными. Дело в том, что изучение скорости распространения продольного гиперзвука в таких растворах со стороны ВКТ и НКТ показало,

что со стороны НКТ коэффициент температурной зависимости скорости продольного гиперзвука в два раза больше, чем со стороны ВКТ [10]. Такая особенность не имеет пока окончательного объяснения. Вместе с тем, так как с обеих сторон раствор остается гомогенным, то, по-видимому, после перехода через область расслаивания меняется уравнение состояния раствора. Другими словами раствор со стороны НКТ и ВКТ описывается разными уравнениями состояния. Если построить температурную зависимость предельных объемных модулей упругости (ρV_0^2 и ρV_∞^2) для раствора, приняв за V_0 скорость продольного звука, полученную из ультразвуковых измерений [11], и V_∞ взять из гиперзвуковых измерений, то эти зависимости пересекаются при температуре $\approx +64^\circ\text{C}$, что близко к середине области расслаивания. Если рассчитать из температурной зависимости поперечного гиперзвука модуль сдвига и экстраполировать его прямой в сторону высоких температур, то в пределах ошибки измерений модуль сдвига становится равным нулю при температуре, близкой к той температуре, где происходит пересечение объемных модулей упругости. Полученная картина наводит на мысль, что раствор при переходе через область расслаивания, а точнее вблизи ее середины, претерпевает существенные структурные изменения, о которых говорилось ранее [10]. Необходимо отметить, что для подтверждения этих заключений надо исследовать распространение поперечного гиперзвука в растворе с малой областью расслаивания и в более широком интервале температур, чем это было сделано в настоящей работе.

Продолжение таких исследований может объяснить природу существования НКТ. Дело в том, что если существование ВКТ можно описать минимизацией свободной энергии системы за счет роста температуры и энтропии, то такое объяснение для НКТ не подходит. В НКТ минимизация свободной энергии может быть достигнута за счет уменьшения полной энергии системы, которое может возникнуть как следствие образования структуры в среде. А полученные результаты как раз и указывают на возможность возникновения структуры в растворе. Поэтому дальнейшее развитие исследований распространения поперечного гиперзвука в растворах с малой областью расслаивания представляется интересным и перспективным.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект N 05-02-16381а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. С. Старунов, Е. В. Тиганов, И. Л. Фабелинский. Письма в ЖЭТФ, 5(9), 317 (1967).

- [2] В. С. Старунов, И. Л. Фабелинский. ЖЭТФ, **66**(5), 1740 (1974).
- [3] G. I. A. Stigman and V. P. Stoicheff. Phys. Rev. A, **7**, 1160 (1973).
- [4] С. М. Рытов. ЖЭТФ, **59**, 12 (1970).
- [5] И. Л. Фабелинский. УФН, **164**(9), 897 (1994).
- [6] С. М. Рытов. ЖЭТФ, **59**, 12 (1970).
- [7] К. В. Коваленко, С. В. Кривохижа, И. Л. Фабелинский, ДАН СССР, **333**(5), 603 (1993).
- [8] М. А. Исакович, И. А. Чабан. ЖЭТФ, **50**(5), 1343 (1966).
- [9] К. В. Коваленко, С. В. Кривохижа. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7, 9 (2006).
- [10] С. В. Кривохижа, И. Л. Фабелинский, Л. Л. Чайков. Акустический журнал, **47**(2), 238 (2001).
- [11] С. В. Кривохижа, И. Л. Фабелинский, Л. Л. Чайков, А. А. Шубин. Письма в ЖЭТФ, **64**(3), 166 (1996).

Поступила в редакцию 14 декабря 2006 г.