

КРИТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ПЕРВОГО ЗВУКА В ОКРЕСТНОСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА СМЕКТИК А – СМЕКТИК С

В.А.Баландин, Е.В.Гурович¹⁾, А.С.Кашицын,
С.В.Пасечник, О.Я.Шмелев

В интервале частот $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} - 3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ исследовалось поглощение первого звука в смектических А и С фазах. Изучено критическое поведение коэффициентов вязкости. Оценены критические динамические индексы. Определен вклад в затухание звука, связанный с флуктуациями смектических слоев. Экспериментально полученные результаты сопоставлены с теоретическими предсказаниями¹⁻³.

В интервале частот $3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} - 3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ исследовалось поглощение первого звука в смектических А- и С-фазах. Изучено критическое поведение коэффициентов вязкости в окрестности фазового перехода смектик А – смектик С. Оценены критические динамические индексы в гидродинамической и флуктуационной областях. Определен вклад в затухание звука, связанный с флуктуациями смектических слоев. Экспериментально полученные результаты сопоставлены с теоретическими предсказаниями¹⁻³.

Смектические жидкие кристаллы характеризуются наличием слоистой структуры. В смектической А-фазе среднее направление главных осей молекул, определяемое директором \mathbf{n} , совпадает с единичным вектором нормали к слою $\vec{\nu}$. В смектической С-фазе директор составляет некоторый угол с вектором $\vec{\nu}$. При этом межмолекулярные силы фиксируют только проекцию директора на нормаль к слою. Вектор

$$\vec{\psi} = [\mathbf{n} \cdot \vec{\nu}] \quad (1)$$

тождественно равен нулю в А-фазе и отличен от нуля в С-фазе.

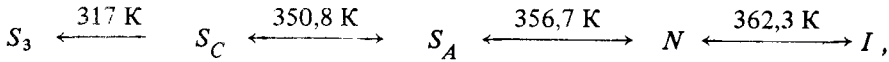
Фазовый переход смектик А – смектик С является фазовым переходом второго рода. Естественным параметром порядка является вектор (1). Широкая область развитых флуктуаций для этого перехода фиксируется экспериментально. До недавнего времени практически все экспериментальные работы были посвящены изучению критической термодинамики явления: исследование температурных зависимостей теплоемкости, восприимчивости,

¹⁾ Институт теоретической физики им. Л.Д.Ландау АН СССР

угла наклона молекул в смектической S -фазе. Вместе с тем, остаются малоизученными динамические эффекты, связанные с критическими флуктуациями смектических слоев.

В данной статье приведены оригинальные результаты экспериментального исследования коэффициента поглощения продольного (первого) звука в смектических A - и S -фазах n - (гексилокси) фенилового эфира n - (децилокси) бензойной кислоты. Температурно-частотные зависимости коэффициента поглощения ультразвука вблизи фазового перехода смектик A – смектик S получены впервые.

Исследуемое соединение имеет следующую схему фазовых превращений :



где S_3 – неидентифицированная смектическая фаза, наблюдаемая только при охлаждении; N – нематическая и I – изотропная фазы.

Образец ориентировался в режиме охлаждения из изотропной фазы в магнитном поле индукцией 0,3 Тл. Измерения коэффициента поглощения ультразвука α выполнены резонаторным методом в интервале частот 0,35 – 1,3 МГц и импульсно-фазовым методом в частотном диапазоне 3 – 27,7 МГц. Описание соответствующих методик можно найти в ^{4, 5}. Погрешность определения абсолютного значения α не превышала 10%, точность термостатирования – 0,01 К.

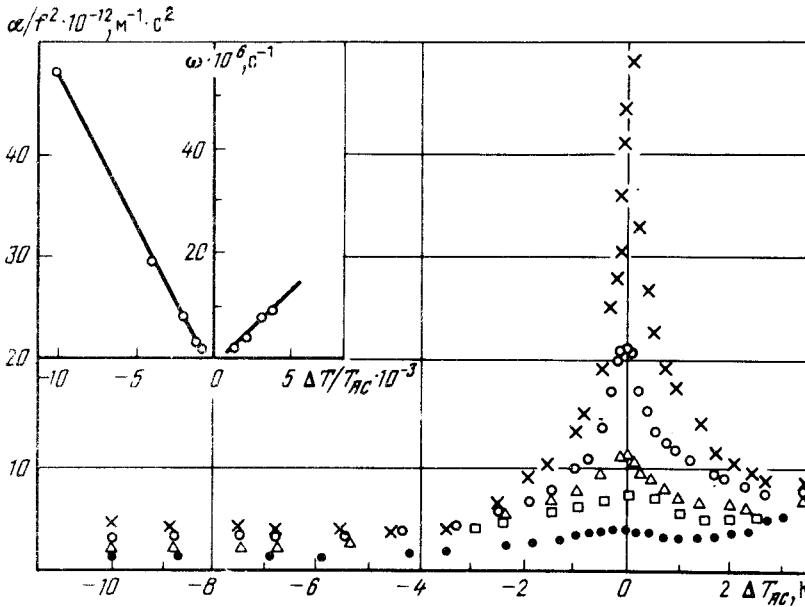


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента поглощения ультразвука: для волн распространяющихся вдоль нормали к смектическим слоям ($\theta = 0^\circ$) \times – 0,36 МГц, \circ – 0,69 МГц, Δ – 1,2 МГц, \square – 3 МГц, для волн распространяющихся перпендикулярно к нормали к смектическим слоям ($\theta = 90^\circ$) \bullet – 0,36 МГц

Результаты измерения коэффициента поглощения ультразвука в направлениях перпендикулярном и продольном плоскости смектических слоев представлены на рис. 1. Отметим, прежде всего, сильную зависимость величины критического поглощения звука от угла между волновым вектором и нормалью к слою \vec{v} . Традиционные для теории критических явлений универсальные модели, в которых параметр порядка задан в "изотропическом" пространстве, приводят к изотропному вкладу в поглощение ультразвука от критических флуктуаций.

Смектическим фазам присуща сильная анизотропия физических свойств. Поэтому, к фазовому переходу смектик A – смектик C универсальные модели неприменимы. Ориентационная зависимость критического поглощения первого звука наглядно подтверждает это.

В критической динамике фазового перехода смектик A – смектик C , построенной в ³, параметр порядка (1) был задан в реальном, а не изотопическом пространстве. Критические флуктуации такого параметра порядка приводят к анизотропным поправкам в коэффициенты объемной вязкости:

$$\delta\eta_2 = D_\rho^2 \mathcal{H}'(\omega, \tau) \quad (2)$$

$$\delta\eta_5 = (D_\rho + D_u)^2 \mathcal{H}'(\omega, \tau).$$

В обозначениях коэффициентов вязкости мы следовали книге ⁶. Коэффициенты вязкости η_2 и η_5 определяют поглощение ультразвука, распространяющегося соответственно перпендикулярно ($\theta = 90$) и параллельно ($\theta = 0$) к нормали к плоскости смектического слоя. Величины D_ρ и D_u , имеющие размерность плотности энергии, характеризуют вклад в свободную энергию от взаимодействия параметра порядка (1), соответственно с флуктуациями плотности и отклонениями смектических слоев от равновесного положения. Безразмерный параметр $\tau = \Delta T_{AC}/T_{AC}$, где $\Delta T_{AC} = T - T_{AC}$, T_{AC} – температура фазового перехода смектик A – смектик C .

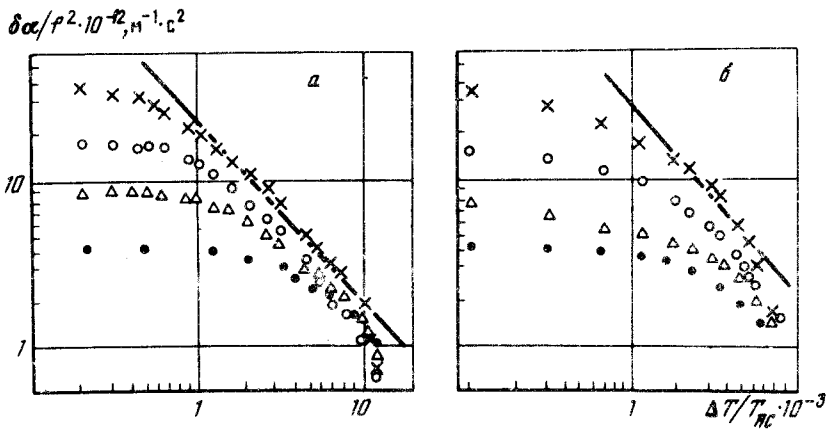


Рис. 2. Температурная зависимость критической части коэффициента поглощения ультразвука $\delta\alpha/f^2 \sim \eta_5$ в смектической C (а) и смектической A (б) фазах: \times – 0,36 МГц; \circ – 0,46 МГц; Δ – 1,2 МГц; \bullet – 3 МГц

Используя экспериментальные результаты рис. 1 вычислено отношение критических поправок к вязкости η_5 и η_2 . Оказалось, что $\delta\eta_5/\delta\eta_2 \approx 30$ и не зависит от τ и ω . Таким образом, экспериментально показано, что критические флуктуации параметра порядка взаимодействуют с колебаниями смектических слоев сильнее, чем с флуктуациями плотности. Качественно это выражается в том, что $D_u > D_\rho$.

В ³ показано, что величина $\mathcal{H}'(\omega, \tau)$ имеет вблизи исследуемого фазового перехода критические особенности $\mathcal{H}' \sim \tau^{-x}$ в гидродинамической и $\mathcal{H}' \sim \omega^{-y}$ во флуктуационной областях, причем $x \approx y \approx 1,1$. Анализ температурно-частотной зависимости критического вклада в коэффициент поглощения ультразвука $\delta\alpha$ ($\theta = 0^\circ$), в координатах, показанных на рис. 2 а, б, 3, позволил установить границу гидродинамической и флуктуационной областей (см. вставка рис. 1). Тангенс угла наклона проведенных на рис. 2, 3 прямых линий соответствует значениям $x = y = 1,1$, предсказанных теоретически ³.

Частотная зависимость коэффициента поглощения ультразвука, обусловленная вблизи фазового перехода критическими флуктуациями, существует и вне области фазового перехода рис. 1. Причина этого заключается в том, что флуктуации смектических слоев приводят³ к весьма нетривиальному вкладу в коэффициенты объемной вязкости

$$\delta\eta_{2,5} \sim B^{3/2} / \omega, \quad (3)$$

где B — модуль сжатия смектических слоев уменьшающийся с приближением к точке фазового перехода смектик A — смектик C ³.

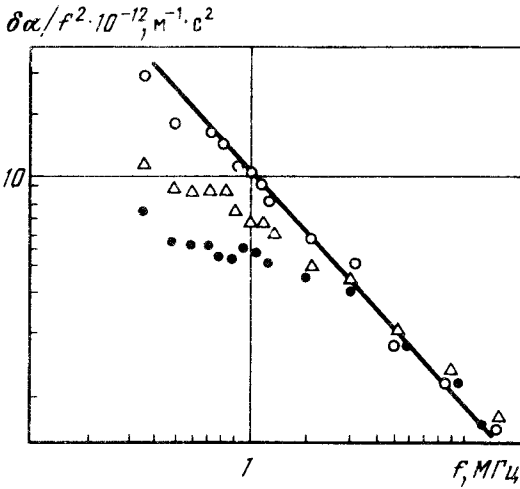


Рис. 3

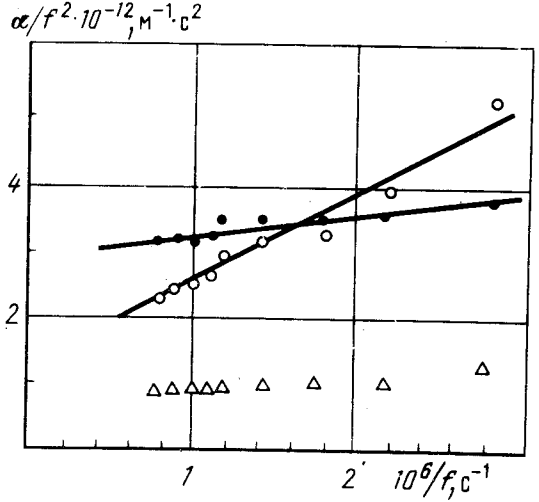


Рис. 4

Рис. 3. Частотная зависимость критической части коэффициента α/f^2 поглощения ультразвука в смектической C -фазе: \circ $\Delta T_{AC} = -0,2$ К, Δ — $\Delta T_{AC} = -0,5$ К, \bullet — $T = 2 - 1,2$ К

Рис. 4. Зависимость α/f^2 от обратной частоты в смектической C -фазе $\theta = 0^\circ$: \circ — $\Delta T_{AC} = -5,6$ К, \bullet — $\Delta T_{AC} = -13,5$ К $\theta = 90^\circ$: Δ — $\Delta T_{AC} = -5,6$ К

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента объемной вязкости $\eta_5 \sim \frac{\alpha(0)}{f^2}$ как функция обратной частоты. Из рисунка видно, что эта зависимость хорошо согласуется с выражением (3). Уменьшение тангенса угла наклона прямых с приближением к точке фазового перехода смектик A — смектик C соответствует уменьшению модуля B вследствие критических флуктуаций параметра порядка.

Авторы благодарят В.В.Лебедева и Е.И.Каца за обсуждение и ценные замечания при анализе экспериментальных результатов.

Литература

1. Mazenko G.F., Ramaswamy S., Toner J. Phys. Rev. A, 1983, 28, 1618.
2. Кац Е.И., Лебедев В.В. ЖЭТФ, 1983, 85, 2019.
3. Гурович Е.В., Кац Е.И., Лебедев В.В. ЖЭТФ, 1988, 94, 167.
4. Баландин В.А., Ноздрев В.Ф., Шмелев О.Я. Труды 10-й Всесоюзной акустической конференции, 6, Москва, 1983, с. 52.
5. Кононенко В.С. Применение ультразвука к исследованию вещества. М.: ВЗМИ, 1983, 35, 44.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987.

Поступила в редакцию

25 ноября 1988 г.