

**50-я научная конференция МФТИ**  
**Факультет проблем физики и энергетики**  
**Секция физики микроволн и наноматериалов**

---

УДК 538.951

*Ягафаров О.Ф.*

Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН  
Московский физико-технический институт (государственный университет)

**Ультразвуковое исследование упругих свойств  
под давлением**

Изучение влияния давления на упругие свойства вещества важно для понимания природы межатомных сил и проверки справедливости существующих теоретических представлений для исследуемых веществ. Под упругими свойствами изотропного твердого тела, модель которого применима в большинстве случаев к жидкому и поликристаллическому твёрдому состояниям вещества, подразумеваются модуль объёмной упругости  $B$ , модуль сдвига  $G$ , модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\sigma$ . Зная величины плотности  $\rho$  и скоростей распространения продольных  $v_l$  и поперечных  $v_t$  упругих волн, значения упругих характеристик можно вычислить из уравнений:

$$B = \rho v_l^2 - \frac{4}{3} \rho v_t^2, \quad G = \rho v_t^2, \quad E = \frac{9BG}{3B + G}, \quad \sigma = \frac{3B - G}{2(3B + G)}.$$

Примечательно, что упругие свойства, будучи макроскопическими характеристиками, определяются главным образом структурой и микроскопическим потенциалом межатомного взаимодействия [1], параметры которого в свою очередь в значительной степени зависят от типа химической связи.

Целью настоящей работы было изучение упругих свойств твёрдых и жидких фаз различных веществ с помощью импульсной ультразвуковой методики под давлением. В работе ставилась задача проследить на примере хорошо известных веществ — метанола (система с водородной связью), галлия (квазимолекулярный металл) и фуллерита  $C_{60}$  (молекулярный кристалл) — соотношения между характером межатомного взаимодействия в веществе и особенностями поведения упругих характеристик под давлением.

Измерения проводились на ультразвуковом пьезометре в диапазоне давлений 0–2 ГПа и температур 80–360 К по методике, описанной в работе [2]. В результате эксперимента в указанном  $p - T$  диапазоне на ультразвуковой установке были получены серии барических и температурных зависимостей скоростей продольных

и поперечных ультразвуковых волн. Также получены зависимости относительного изменения объёма (плотности), определявшиеся по смещению поршня. Комбинирование ультразвуковой методики и прямого измерения плотности вещества показало высокую эффективность для исследования фазовых превращений под давлением как в твёрдых телах, так и в расплавах.

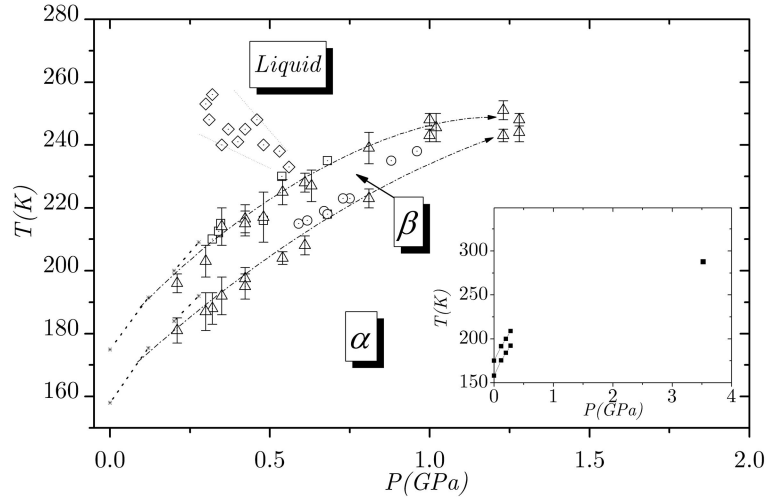


Рис. 1. Дополненная фазовая диаграмма метанола. Показана область существования аномалий в жидкости [3]. На вставке: известная ранее фазовая диаграмма метанола [4]

В результате экспериментов впервые получены значения упругих характеристик жидкого и кристаллического метанола. Точки фазовых переходов, четко идентифицируемые по зависимостям упругих свойств, позволили существенно дополнить фазовую диаграмму метанола (рис. 1). В ультразвуковом исследовании металлического галлия было обнаружено необычное поведение модулей объёмной упругости и сдвига: одновременное их резкое падение при переходе из Ga I в заметно более плотную структуру Ga II (рис. 2). Это можно объяснить переходом из «молекулярного» (частично квазиковалентного) металла в обычный «атомарный» металл. Для фуллерита  $C_{60}$  были впервые получены барические зависимости модуля сдвига. Наблюдаемые высокие производные модулей фуллерита по давлению обсуждаются в терминах центрального парного межмолекулярного взаимодействия и вклада нецентральных межмолекулярных сил, вызванных внутримолекулярными деформациями.

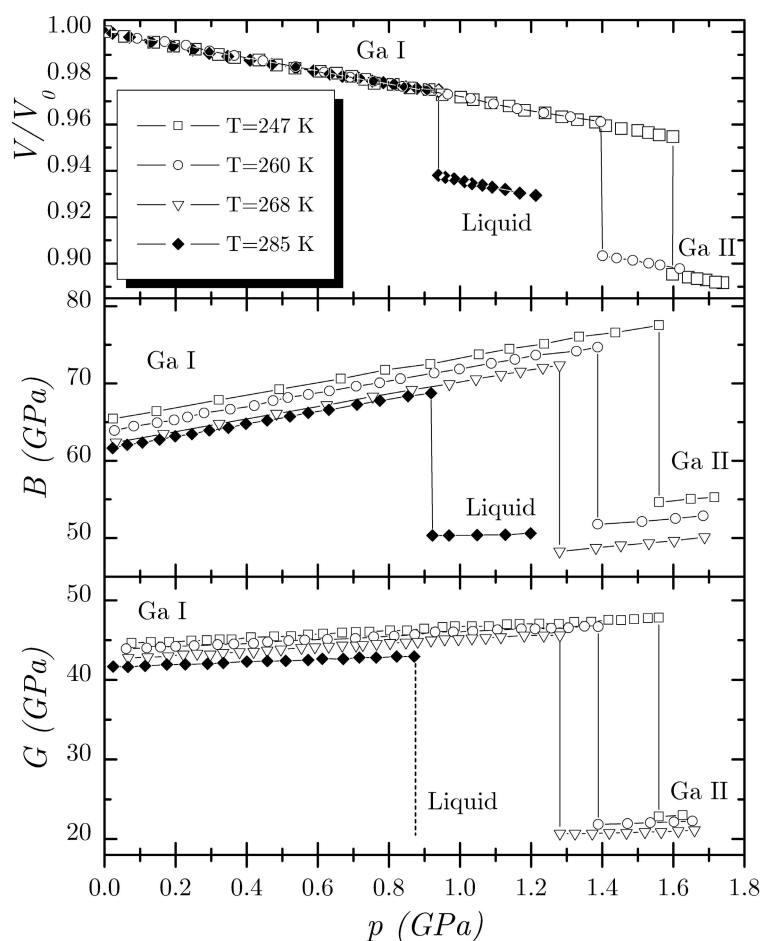


Рис. 2. Барические зависимости относительного объёма и модуля объёмного сжатия и модуля сдвига для галлия

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brazhkin V.V., Lyapin A.G., and Hemley R.J. Harder than diamond: dreams and reality // Philosophical Magazine A. — 2002. — V. 82. — P. 231–253.
2. Стальгорова О.В., Громницкая Е.Л., Дмитриев Д.Р., Воронов Ф.Ф. Ультразвуковой пьезометр для исследований под давлением от 0 до 2,0 ГПа и температурах 77–300 К // ПТЭ. — 1996. — Т. 39, вып. 6. — С. 101–104.
3. Громницкая Е.Л., Стальгорова О.В., Ягафаров О.Ф., Бражкин В.В., Ляпин А.Г., Попова С.В. Исследование фазовой диаграммы метанола ультразвуковым методом // Письма в ЖЭТФ. — 2004. — Т. 80, вып. 9. — С. 697–702.
4. Тонков Е.Ю. Фазовые превращения соединений при высоком давлении: Справочник. — М.: Металлургия, 1988. — Т. 1, 2.

---

Представленная выше версия доклада является ознакомительной.

Версию доклада, предназначенную для печати,  
можно найти в факультетском сборнике трудов конференции.  
Электронные материалы конференции публикуются по адресу  
[http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen\\_sections/](http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen_sections/)