

Р и с. 2. Температурная зависимость наклона $\Delta s^H/\Delta \lambda$:
 ○ — жидкий бензол; △ — пар бензола; × — пар воды [9];
 — — и --- — расчет [8] для бензола и воды соответственно

Данные для пара воды при небольшом давлении (≤ 10 бар) свидетельствуют об удовлетворительном описании движения молекул при $T \geq 450$ К [8,9].

Связанность молекул в жидком бензоле больше, чем в паре, что приводит к несколько меньшим зна-

удк 539.21

Сжимаемость пористых материалов

БАЛАНКИН С. А., БУБНОВ А. С., СКОРОВ Д. М.

В связи с широким распространением методов порошковой металлургии при производстве высоко-температурного ядерного топлива возникает задача изучения влияния пористости на его физико-механические свойства. Зависимость характеристик упругости от пористости была рассмотрена в ряде теоретических и экспериментальных работ [1,2]. Однако предложенные ранее соотношения содержат известные допущения (равномерное распределение и сферичность пор, размеры пор много меньше расстояния между ними и др.), что затрудняет их использование для реальных порошковых материалов. Так как формулы, связывающие упругие свойства с пористостью, обычно используются для экстраполяции измеренных значений к нулевой пористости, то выражения, содержащие эмпирические константы, становятся практически бесполезными при наличии одного или нескольких образцов с мало различающейся плотностью. Однако выражение, описывающее зависимость сжимаемости от

чениям сечения и наклона и более резкой их температурной зависимости для жидкости при $T \leq 520$ К. Однако данные рис. 1 и 2 характеризуют более сложные изменения структуры и динамики в жидкости, особенно при приближении к критической точке. Здесь уже трудно усмотреть простую качественную связь между сечением рассеяния и наклоном его, с одной стороны, и характером вращательного и поступательного движений молекул — с другой.

Результаты данной работы показывают, что измерение полного сечения взаимодействия для нейтронов $\lambda > 10 \text{ \AA}$ в сочетании с соответствующими расчетно-теоретическими исследованиями может дать весьма ценную дополнительную информацию о структуре и динамике рассеивающей системы.

Поступило в Редакцию 14.X.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов С. Б. и др. В кн.: Труды конф. «Нейтронная физика». Ч. 4. Обнинск, изд. ФЭИ, 1974, с. 257.
2. Степанов С. Б. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 37, вып. 4, с. 351.
3. Heinloth K. «Z. Phys.», 1961, Bd 163, H. 2, S. 218.
4. Rush J. «J. Chem. Phys.», 1962, v. 37, N 2, p. 234.
5. Antonini B. e.a. «Physica», 1966, v. 32, N 1, p. 119.
6. Fischer C. «Phys. Letters», 1969, v. A30, N 7, p. 393.
7. Sefidvash F. In: Proc. 3rd Conf. on Neutron Cross Sections and Technology. Knoxville, 15—17 March 1974, p. 695.
8. Krieger T., Nelkin M. «Phys. Rev.», 1957, v. 106, N 2, p. 290.
9. Степанов С. Б., Житарев В. Е. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 2, с. 130.

пористости, может быть получено и без упомянутых допущений и эмпирических постоянных.

Согласно определению температурного коэффициента изменения сжимаемости

$$\delta = \kappa^{-1} (\partial \kappa / \partial T)_P = (\partial \ln \kappa / \partial \ln V)_P (\partial \ln V / \partial T)_P = \alpha (\partial \ln \kappa / \partial \ln V)_P, \quad (1)$$

где κ — сжимаемость; α — объемный коэффициент термического расширения; V — объем.

Подставляя в выражение (1)

$$V = V_0 / (1 - P),$$

где V_0 — объем компактного материала, P — пористость, получаем

$$[\partial \ln \kappa / \partial \ln (1 - P)]_P = -\delta / \alpha. \quad (2)$$

Коэффициент расширения, как известно, не зависит от пористости [3]; на ход температурной зависи-

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений сжимаемости беспористых материалов

Материал	$\delta \cdot 10^4$, град ⁻¹	$\alpha_t^* \cdot 10^6$, град ⁻¹	$\delta/3\alpha_t$	$\kappa_0 \cdot 10^{12}$, м ² /Н	
				Расчет по (3)	Опубликованные данные
UN	0,75	6,1 [6]	4,10	4,98	5,18 [10]
UC	1,13	9,4 [6]	4,01	5,93	6,10 [11]
UO ₂ [6]	—	—	4,74**	4,65	4,70 [12]
Fe [8]	—	—	4,20**	6,25	6,2 [13]
Cu [9]	1,87 [14]	16,8 [15]	3,71	7,66	7,7 [13]

* Линейный коэффициент термического расширения.
 ** Получено расчетом по формуле $\delta/3\alpha_t = 2\gamma$ [16], где γ — константа Грюнайзена; $\gamma_{UO_2} = 2,37$ [6]; $\gamma_{Fe} = 2,10$ [17].

ности характеристик упругости пористость также не оказывает существенного влияния [4], поэтому после интегрирования выражения (2) с учетом граничного условия $\kappa = \kappa_0$ при $P = 0$, где κ_0 — сжимаемость компактного материала, окончательно находим

$$\kappa = \kappa_0 (1 - P)^{-\delta/\alpha} \quad (3)$$

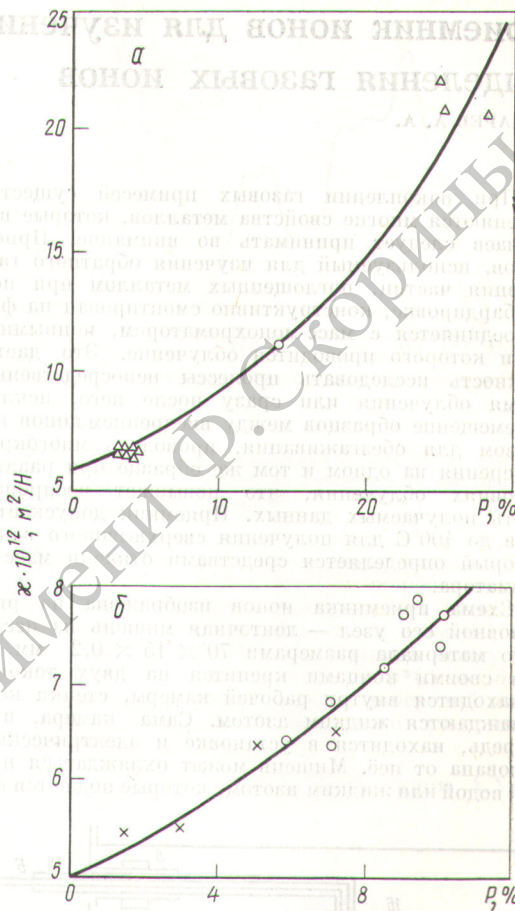
Для проверки выведенного соотношения были использованы результаты определения по известной методике [5] сжимаемости монокарбида и монокрида урана, а также и другие данные [6—9]. Формула (3) была проверена для керамических топливных материалов и для некоторых металлов, приготовленных методами порошковой металлургии (см. таблицу). Для проверки сравнивали рассчитанные значения сжимаемости беспористых материалов с достаточно надежными экспериментальными данными для монокристаллов UN, UC и UO₂ [10—12] и справочными данными для Fe и Cu [13].

Из таблицы следует, что предложенная формула позволяет с достаточной точностью экстраполировать значения сжимаемости на нулевую пористость. На рисунке показана зависимость сжимаемости UN и UC от пористости (3). Расчетная кривая хорошо описывает экспериментальные данные, что позволяет рекомендовать предложенное выражение для экстраполяции сжимаемости пористых материалов к нулевой пористости.

Поступило в Редакцию 19.X.77

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wachtman W. In: Mechanical and Thermal Properties of Ceramics. N.Y., NBS, 1969, p. 139.
2. Гропянов В. М., Фишев В. Н., Августиник А. И. В кн.: Труды Всесоюз. ин-та огнеупоров. Вып. 40, Л., 1968, с. 299.
3. Букатов В. Г., Рымашевский Г. А., Федоров В. Б. «Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы», 1971, т. 7, № 3, с. 519.
4. Кашталян Ю. А. Характеристики упругости материалов при высоких температурах. Киев, «Наукова думка», 1970.
5. Баранов В. М. «Заводск. лаборатория», 1972, № 9, с. 1120.



Зависимость сжимаемости UC (а) и UN (б) от пористости: ○ — данные настоящей работы; △ — данные [6]; × — данные [7]

6. Padel A., De Novion Ch. «J. Nucl. Mater.», 1969, v. 33, p. 40.
7. Whaley H., Fulkerson W., Potter R. Ibid., v. 31, p. 345.
8. Артамонов А. Я., Даниленко В. А., Кашталян Ю. А. «Порошк. металлургия», 1964, № 1, с. 42.
9. Бальшин М. Ю., Федотов С. Г. «Изв. АН СССР. Металлы», 1965, № 1, с. 166.
10. Guinan M., Cline C. «J. Nucl. Mater.», 1972, v. 43, p. 205.
11. Андерсон О. Л. В кн.: Физическая акустика. Т. III, ч. Б. М., «Мир», 1968, с. 62.
12. Wachtman J. e.a. «J. Nucl. Mater.», 1965, v. 16, p. 39.
13. Физико-химические свойства элементов. Справочник под ред. Г. В. Самсонова. Киев, «Наукова думка», 1965.
14. Wawra H. «Metall.», 1974, Bd 28, N 12, S. 1168.
15. Шульце Г. Металлофизика. М., «Мир», 1971.
16. Удовский А. Л., Иванов О. С. В кн.: Физико-химический анализ сплавов урана, тория и циркония. М., «Наука», 1974, с. 54.
17. Вейсе Р. Физика твердого тела. М., Атомиздат, 1968, с. 181.