

УДК 533.21

D. S. Chiklis, V. Ya. Maslennikova, S. Ya. Gluvka
Д. С. ЦИКЛИС, В. Я. МАСЛЕННИКОВА, С. Я. ГЛУВКА

ФИЗИКА

СЖИМАЕМОСТЬ ГЕЛИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ
Szhimaemost' Geliya Pri V'sokits Davleniyats
(Представлено академиком И. В. Петряновым-Соколовым 13 VIII 1973)

Сжимаемость гелия измерена при давлениях только до 3 кбар⁽¹⁾ *. Это не удивительно, так как гелий разрушает сталь при высоких давлениях. Мы измерили *PVT* данные для гелия при давлениях до 7 кбар в интервале температур 20—150°С, применив и усовершенствовав метод пьезометра переменного объема^(3, 4).

Принцип метода состоит в том, что в металлический пьезометр, опущенный в стакан со ртутью и находящийся в сосуде высокого давления, подают газ под начальным давлением ~700 бар **. Устанавливают в сосуде, находящемся в термостате, температуру опыта и сжимают газ до нужного давления, вводя в сосуд передающую давление жидкость (здесь смесь керосина и трансформаторного масла) мультипликатором.

После установления термического и барического равновесия выпускают из пьезометра порцию сжатого газа в стеклянные калиброванные сосуды и измеряют его количество. Во время выпуска газа поддерживают давление в пьезометре строго постоянным, перемещая непрерывно поршни мультипликатора и измеряя это перемещение указателем положения поршня. Величина перемещения поршня и есть мера объема жидкости, перешедшей из цилиндра мультипликатора в сосуд высокого давления вместо выпущенного из пьезометра газа. Объем жидкости при давлении и температуре опыта, деленный на число молей выпущенного газа, и есть мольный объем гелия.

Для измерения был использован гелий чистотой 99,95%. Температуру термостата измеряли Pt—PtRh термопарой и поддерживали постоянной с точностью 0,1°С. Давление измеряли манганиновым манометром, откалиброванным по поршневому манометру класса 0,1% во Всесоюзном научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений. Диаметр поршня измеряли с точностью 0,04%, перемещение его с точностью 0,17%. Учитывали поправку на всестороннее сжатие поршня⁽⁵⁾, изменение объема жидкости, передающей давление, с температурой при переходе из мультипликатора в колонку⁽⁶⁾. По нашему расчету среднеквадратичная ошибка измерения мольного объема при давлениях ниже 1 кбар равна 0,5% и уменьшается до 0,3% при давлении 10 кбар.

Мольные объемы гелия измерены при температурах 20, 50, 100 и 150°С и давлениях от 1 до 7 кбар.

Интерполированные по графикам *PV—P* значения мольных объемов приведены в табл. 1.

Литературные данные⁽⁷⁾ до давлений 1 кбар ложатся на продолжение наших кривых в пределах точности эксперимента, данные⁽¹⁾ отличаются от наших на 1,5—2%.

Сжимаемость гелия, как и ряда других изученных ранее газов передается (с максимальным отклонением в 0,5%) уравнением Тейта⁽⁸⁾

$$V = V_0 \left[1 - C \ln \frac{B+P}{B+P_0} \right],$$

* Бриджмен⁽²⁾ в 1924 г. опубликовал данные об объемах гелия при давлениях от 3 до 15 кбар, но его измерения неточны.

** Таким образом, сжатый гелий соприкасается только с головкой затвора.

Значения мольных объемов гелия V , см³/моль

Таблица 1

P, кбар	T = 20°		T = 50°		T = 100°		T = 150°	
	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.
1,0	35,4 ₄		37,9 ₄		42,0 ₇		46,2 ₄	
1,5	27,0 ₂		28,6 ₆		31,3 ₉		34,1 ₆	
2,0	22,5 ₆		23,8 ₅		25,9 ₁		28,0 ₀	
2,5	19,3 ₀		20,8 ₇		22,5 ₄		24,1 ₆	
3,0	17,9 ₆	17,9 ₆	18,8 ₂	18,8 ₂	20,2 ₂	20,2 ₂	21,6 ₇	21,6 ₇
3,5	16,5 ₈	16,4 ₆	17,3 ₂	17,2 ₃	18,5 ₅	18,4 ₂	19,7 ₈	19,6 ₄
4,0	15,4 ₀	15,3 ₉	16,1 ₂	16,0 ₈	17,2 ₀	17,1 ₄	18,3 ₃	18,2 ₂
4,5	14,6 ₀	14,5 ₆	15,1 ₂	15,1 ₈	16,1 ₆	16,1 ₃	17,1 ₆	17,1 ₁
5,0	13,8 ₈	13,8 ₈	14,4 ₄	14,4 ₄	15,3 ₁	15,3 ₁	16,2 ₀	16,2 ₀
5,5	13,2 ₉	13,3 ₁	13,7 ₈	13,8 ₁	14,5 ₉	14,6 ₁	15,4 ₀	15,4 ₃
6,0	12,7 ₈	12,8 ₁	13,2 ₃	13,2 ₆	13,9 ₉	14,0 ₁	14,7 ₆	14,7 ₇
6,5	12,3 ₄	12,3 ₇	12,7 ₆	12,7 ₈	13,4 ₅	13,4 ₈	14,1 ₅	14,1 ₈
7,0	11,9 ₈	11,9 ₈	12,3 ₅	12,3 ₅	13,0 ₀	13,0 ₀	13,6 ₆	13,6 ₆
8,0		11,3 ₀		11,6 ₀		12,1 ₇		12,7 ₅
9,0		10,7 ₃		10,9 ₆		11,4 ₇		11,9 ₉
10,0		10,2 ₃		10,4 ₁		10,8 ₆		11,3 ₂
12,0		9,4 ₀		9,4 ₉		9,8 ₅		10,2 ₁
15,0		8,4 ₂		8,4 ₉		8,6 ₆		8,9 ₁

Таблица 2
Коэффициенты уравнения Тейта

	T = 20°	T = 50°	T = 100°	T = 150°
B, бар	-1995	-1925	-1965	-2005
C	0,2074	0,2215	0,2257	0,2291
V ₀ , см ³ /моль	17,96	18,82	20,22	21,67

где V — мольный объем гелия при условиях опыта, V_0 — мольный объем гелия, принятый за нуль отсчета, P — давление в опыте, $P_0 = 3000$ бар — давление, принятое за нуль отсчета, B и C — коэффициенты уравнения, значения которых приведены в табл. 2.

Поведение коэффициентов этого уравнения для гелия отличается от обычного, когда значение коэффициента B заметно изменяется с температурой, а значение коэффициента C мало или совсем не зависит от температуры и одинаково для некоторых веществ (например, для азота и аргона (°)). Из табл. 2 видно, что значение коэффициента B меняется всего на 3,5%, а C — на 10%. Такое поведение этих коэффициентов требует объяснения.

По уравнению Тейта мы вычислили также объемы гелия при давлениях до 15 кбар (табл. 1).

Государственный научно-исследовательский
и проектный институт азотной промышленности
и продуктов органического синтеза
Москва

Поступило
11 VI 1973

Институт физической химии
Академии наук Польской народной республики

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Билевич, Л. А. Пигаевская, ЖФХ, т. 45, 2907 (1974). ² W Bridgmen, Proc. Am. Acad. Arts and Sci., v. 59, 173 (1924). ³ И. Р. Кричевский, Д. С. Циклис, ДАН, т. 78, 1169 (1951). ⁴ Д. С. Циклис, В. Я. Масленникова и др., ЖФХ, т. 48, № 1, 216 (1974). ⁵ П. В. Бриджмен, Физика высоких давлений, 1935. ⁶ Д. С. Циклис, В. Я. Масленникова, С. Я. Глуква, ЖФХ, т. 48, № 4 (1974). ⁷ R. Wiebe, W. Gaddy, H. Heins, J. Am. Chem. Soc., v. 53, 172 (1931). ⁸ P. C. Tart, Report on some of the Physical Properties of Water, 1888, p. 47. ⁹ Д. С. Циклис, Е. В. Поляков, ЖФХ, т. 41, 2370, 3145 (1967).