

# Д О К Л А Д Ы

АКАДЕМИИ НАУК СССР

---

1974

т. 216, № 4

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 <sup>(1)</sup> \*. 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 <sup>(3, 4)</sup>.

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 <sup>(5)</sup>, изменение объема жидкости, передающей давление, с температурой при переходе из мультипликатора в колонку <sup>(6)</sup>. 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 <sup>(7)</sup> до давлений 1 кбар ложатся на продолжение наших кривых в пределах точности эксперимента, данные <sup>(1)</sup> 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 <sup>(8)</sup>

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

\* Бриджмен <sup>(2)</sup> 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  $V$ , см<sup>3</sup>/моль

Таблица 1

| $P$ ,<br>кбар | $T = 20^\circ$    |                   | $T = 50^\circ$    |                   | $T = 100^\circ$   |                   | $T = 150^\circ$   |                   |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|               | эксп.             | расч.             | эксп.             | расч.             | эксп.             | расч.             | эксп.             | расч.             |
| 1,0           | 35,4 <sub>4</sub> |                   | 37,9 <sub>4</sub> |                   | 42,0 <sub>7</sub> |                   | 46,2 <sub>4</sub> |                   |
| 1,5           | 27,0 <sub>2</sub> |                   | 28,6 <sub>6</sub> |                   | 31,3 <sub>9</sub> |                   | 34,1 <sub>6</sub> |                   |
| 2,0           | 22,5 <sub>6</sub> |                   | 23,8 <sub>5</sub> |                   | 25,9 <sub>1</sub> |                   | 28,0 <sub>0</sub> |                   |
| 2,5           | 19,3 <sub>0</sub> |                   | 20,8 <sub>7</sub> |                   | 22,5 <sub>4</sub> |                   | 24,1 <sub>6</sub> |                   |
| 3,0           | 17,9 <sub>6</sub> | 17,9 <sub>6</sub> | 18,8 <sub>2</sub> | 18,8 <sub>2</sub> | 20,2 <sub>2</sub> | 20,2 <sub>2</sub> | 21,6 <sub>7</sub> | 21,6 <sub>7</sub> |
| 3,5           | 16,5 <sub>8</sub> | 16,4 <sub>6</sub> | 17,3 <sub>2</sub> | 17,2 <sub>3</sub> | 18,5 <sub>5</sub> | 18,4 <sub>2</sub> | 19,7 <sub>8</sub> | 19,6 <sub>4</sub> |
| 4,0           | 15,4 <sub>0</sub> | 15,3 <sub>9</sub> | 16,1 <sub>2</sub> | 16,0 <sub>8</sub> | 17,2 <sub>0</sub> | 17,1 <sub>4</sub> | 18,3 <sub>3</sub> | 18,2 <sub>2</sub> |
| 4,5           | 14,6 <sub>0</sub> | 14,5 <sub>6</sub> | 15,1 <sub>2</sub> | 15,1 <sub>8</sub> | 16,1 <sub>6</sub> | 16,1 <sub>3</sub> | 17,1 <sub>6</sub> | 17,1 <sub>1</sub> |
| 5,0           | 13,8 <sub>8</sub> | 13,8 <sub>8</sub> | 14,4 <sub>4</sub> | 14,4 <sub>4</sub> | 15,3 <sub>1</sub> | 15,3 <sub>1</sub> | 16,2 <sub>0</sub> | 16,2 <sub>0</sub> |
| 5,5           | 13,2 <sub>9</sub> | 13,3 <sub>1</sub> | 13,7 <sub>8</sub> | 13,8 <sub>1</sub> | 14,5 <sub>9</sub> | 14,6 <sub>1</sub> | 15,4 <sub>0</sub> | 15,4 <sub>3</sub> |
| 6,0           | 12,7 <sub>8</sub> | 12,8 <sub>1</sub> | 13,2 <sub>3</sub> | 13,2 <sub>6</sub> | 13,9 <sub>9</sub> | 14,0 <sub>1</sub> | 14,7 <sub>6</sub> | 14,7 <sub>7</sub> |
| 6,5           | 12,3 <sub>4</sub> | 12,3 <sub>7</sub> | 12,7 <sub>6</sub> | 12,7 <sub>8</sub> | 13,4 <sub>5</sub> | 13,4 <sub>8</sub> | 14,1 <sub>5</sub> | 14,1 <sub>8</sub> |
| 7,0           | 11,9 <sub>8</sub> | 11,9 <sub>8</sub> | 12,3 <sub>5</sub> | 12,3 <sub>5</sub> | 13,0 <sub>0</sub> | 13,0 <sub>0</sub> | 13,6 <sub>6</sub> | 13,6 <sub>6</sub> |
| 8,0           |                   | 11,3 <sub>0</sub> |                   | 11,6 <sub>0</sub> |                   | 12,1 <sub>7</sub> |                   | 12,7 <sub>5</sub> |
| 9,0           |                   | 10,7 <sub>3</sub> |                   | 10,9 <sub>6</sub> |                   | 11,4 <sub>7</sub> |                   | 11,9 <sub>9</sub> |
| 10,0          |                   | 10,2 <sub>3</sub> |                   | 10,4 <sub>1</sub> |                   | 10,8 <sub>6</sub> |                   | 11,3 <sub>2</sub> |
| 12,0          |                   | 9,4 <sub>0</sub>  |                   | 9,4 <sub>9</sub>  |                   | 9,8 <sub>5</sub>  |                   | 10,2 <sub>1</sub> |
| 15,0          |                   | 8,4 <sub>2</sub>  |                   | 8,4 <sub>9</sub>  |                   | 8,6 <sub>6</sub>  |                   | 8,9 <sub>1</sub>  |

Таблица 2  
Коэффициенты уравнения Тейта

|                               | $T = 20^\circ$ | $T = 50^\circ$ | $T = 100^\circ$ | $T = 150^\circ$ |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| $B$ , бар                     | -1995          | -1925          | -1965           | -2005           |
| $C$                           | 0,2074         | 0,2215         | 0,2257          | 0,2291          |
| $V_0$ , см <sup>3</sup> /моль | 17,96          | 18,82          | 20,22           | 21,67           |

где  $V$  — молярный объем гелия при условиях опыта,  $V_0$  — молярный 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 (<sup>6</sup>)). 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

- <sup>1</sup> А. В. Билевич, Л. А. Пугачевская, ЖФХ, т. 45, 2907 (1971). <sup>2</sup> W Bridgmen, Proc. Am. Acad. Arts and Sci., v. 59, 173 (1924). <sup>3</sup> И. Р. Кричевский, Д. С. Циклис, ДАН, т. 78, 1169 (1951). <sup>4</sup> Д. С. Циклис, В. Я. Масленникова и др., ЖФХ, т. 48, № 1, 216 (1974). <sup>5</sup> П. В. Бриджмен, Физика высоких давлений, 1935. <sup>6</sup> Д. С. Циклис, В. Я. Масленникова, С. Я. Глузика, ЖФХ, т. 48, № 4 (1974). <sup>7</sup> R. Wiebe, W. Gaddy, H. Heins, J. Am. Chem. Soc., v. 53, 172 (1931). <sup>8</sup> P. C. Tart, Report on some of the Physical Properties of Water, 1888, p. 47. <sup>9</sup> Д. С. Циклис, Е. В. Поляков, ЖФХ, т. 41, 2370, 3145 (1967).