

## Реальные газы. Уравнение Ван–дер–Ваальса.

1. Найти для ван–дер–ваальсовского газа уравнение адиабаты в переменных  $T, V$ , если его теплоёмкость при постоянном объёме равна  $C_v$ .
2. Найти для ван–дер–ваальсовского газа разность молярных теплоёмкостей  $C_p - C_v$ .
3. Два теплоизолированных баллона соединены между собой трубкой с краном. В одном баллоне объёмом  $V_1 = 10$  л находится  $\nu = 2,5$  моля углекислого газа. Второй баллон объёмом  $V_2 = 100$  л откачан до высокого вакуума. Кран открыли и газ расширился. Состояние газа определяется уравнением Ван–дер–Ваальса. Найти приращение температуры.
4. Какое количество теплоты нужно сообщить трём молям углекислого газа, чтобы при расширении в вакуум от объёма  $V_1 = 5$  л до  $V_2 = 10$  л температура его не изменилась? Состояние газа определяется уравнением Ван–дер–Ваальса.
5. Реализован эффект Джоуля–Томпсона. Если до расширения считать газ ван–дер–ваальсовским, а после расширения идеальным, то соответствующее приращение температуры:

$$\Delta T = \frac{1}{C_p} \left( \frac{RT_1 b}{V_1 - b} - \frac{2a}{V_1} \right)$$

Получить эту формулу, применив первое начало термодинамики к молю газа, проходящему через перегородку. Процесс считать адиабатическим.

6. В закрытом сосуде объёмом  $V = 0,5$  м<sup>3</sup> находится 0,6 кмоль углекислого газа при давлении  $3 \cdot 10^6$  Па. Пользуясь уравнением Ван–дер–Ваальса, найти, во сколько раз надо увеличить температуру газа, чтобы давление увеличилось вдвое.

Вещество	a, $\frac{Н \cdot М^2}{Моль^2}$	b, $10^{-6} \frac{М^3}{Моль}$
Водяной пар	0,5451	30,410
Углекислый газ	0,3609	42,840
Кислород	0,1358	31,671
Аргон	0,1344	32,213
Азот	0,1350	38,620
Водород	0,0242	26,451
Гелий	0,00338	23,606

7. (Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы вычислить, считая известными для углекислого газа критические температуру  $T_k$  и давление  $p_k$ .)
8. Для водорода силы взаимодействия между молекулами незначительны; преимущественную роль играют собственные размеры молекул. 1) Написать уравнение состояния такого «полуидеального» газа. 2) Найти, какую ошибку мы допустим при нахождении числа киломолей водорода, находящегося в некотором объёме при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 2,8 \cdot 10^7$  Па, не учитывая собственных размеров молекул.
9. Покажите, что если начальная температура  $T_1 > 6,75 T_{кр}$ , то эффект Джоуля – Томсона всегда отрицателен при  $V_1 \gg b$ . *Указание* Воспользуйтесь уравнением из задачи 5 и взаимосвязью критических параметров и постоянных Ван–дер–Ваальса.
10. Докажите, что адиабатическое расширение любого идеального газа в пустоту всегда сопровождается положительным эффектом Джоуля – Томсона. *Указание* Воспользуйтесь применением первого начала термодинамики к адиабатному процессу в идеальном газе. (см. лекции)