



Задание 2. Кислород и водород – методы охлаждения.

Йоханнес Дидерик Ван-дер-Ваальс — голландский физик. В первую очередь известен как автор уравнения Ван-дер-Ваальса, с хорошей точностью описывающего поведение реального газа. За открытие этого уравнения в 1910 году был удостоен Нобелевской премии.

При обычных условиях (при температурах близких к комнатным, давлениях близких к атмосферному) свойства газов хорошо описываются уравнением состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона

$$P = \frac{RT}{V}, \quad (1)$$

Здесь и далее рассматривается один моль газа, P - давление газа, T - абсолютная температура, V - объем, который занимает один моль газа (молярный объем), $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - универсальная газовая постоянная. В модели идеального газа пренебрегают:

- размерами молекул (которые рассматриваются как материальные точки);
- дистанционным взаимодействием молекул.

Эти приближения исключают описание процесса перехода газа в жидкое состояние.

В 1873 году голландский физик Ван-дер-Ваальс предложил модернизировать уравнение (1) посредством введения двух поправок:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}, \quad (2)$$

b - величина примерно равная собственному объему молекул, второе слагаемое описывает уменьшение давления газа вследствие взаимного притяжения молекул. Не сложно показать, что внутренняя энергия одного моля газа, описываемого уравнением Ван-дер-Ваальса (2), определяется по формуле

$$U = C_v T - \frac{a}{V}, \quad (3)$$

Где C_v - молярная теплоемкость газа в изохорном процессе. В данной задаче Вам необходимо рассмотреть некоторые процессы, которые приводят к охлаждению газа, которое является необходимым условием для последующего сжижения газов.

В задаче рассматриваются свойства двух газов: кислорода O_2 и водорода H_2 . Для этих газов

$C_v = \frac{5}{2} R$; поправки Ван-дер-Ваальса:

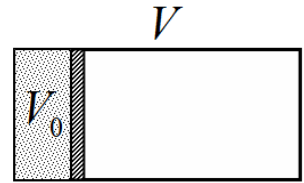
Для кислорода $a = 0,138 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^{-2}}$, $b = 31,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$;

Для водорода $a = 0,0245 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^{-2}}$, $b = 26,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$.

В своих расчетах используйте разумные приближения, обеспечивающие нужную точность результатов. Свои приближения обоснуйте.

Часть 1. Адиабатическое расширение «в пустоту»

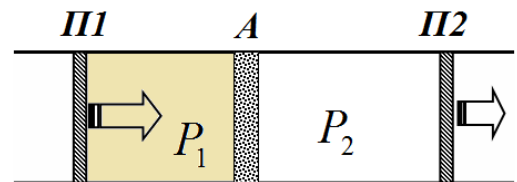
Одним из способов охлаждения газов является его адиабатическое (т.е. без теплообмена с окружающей средой) расширение. Эффект достигается и в том случае, когда газ расширяется без совершения работы. Такой процесс схематически реализуется следующим образом: теплоизолированный сосуд объема V разделен на две части перегородкой, в одной части объема V_0 сосуда находится газ, в другой – вакуум. В некоторый момент времени перегородку резко убирают, газ расширяется и занимает весь объем сосуда.



- 1.1** Один моль газа расширяется в пустоту, при этом его объем изменяется от V_0 до V . Найдите, чему равно изменение температуры газа, если
А) газ идеальный (т.е. подчиняется уравнению (1));
Б) газ подчиняется уравнению (2).
- 1.2** Рассчитайте численное значение изменения температуры газа в описанном процессе, если его давление изменяется от $P_0 = 10 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$ до $P_1 = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Начальная температура газа равна $T_0 = 300 \text{ К}$. Расчет проведите для кислорода и водорода.

Часть 2. Дросселирование.

Дросселирование – процесс перетекания газа через пористую перегородку под действие постоянного перепада давления и без теплообмена с окружающей средой.



Длинная цилиндрическая труба разделена пористой перегородкой A через которую газ может медленно просачиваться. Первоначально весь газ находится между подвижным поршнем $П1$ и перегородкой, поршень $П2$ примыкает к перегородке. Затем поршни начинают медленно передвигать, при этом газ просачивается через перегородку. Поршни передвигают так, что до перегородки давление газа поддерживается постоянным и равным P_1 , за перегородкой давление газа также поддерживается постоянным и равным P_2 . При реализации этого процесса $P_2 \ll P_1$, поэтому газ за перегородкой оказывается разряженным и его можно считать идеальным, подчиняющимся уравнению (1).

Обозначим начальную температуру газа T_1 , а температуру газа после того, как он весь просочится через перегородку - T_2 ; начальный объем газа V_1 , его объем после перетекания через перегородку - V_2 . Теплоемкостью трубы, поршней и перегородки можно пренебречь, потери теплоты в окружающую среду также пренебрежимо малы.

- 2.1** Найдите изменение температуры газа при его перетекании через пористую перегородку $\Delta T = T_2 - T_1$. Ответ выразите через начальную температуру газа T_1 и его начальный объем V_1 . Используйте указанное приближение: до перегородки газ подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса (2); после протекания через перегородку – уравнению идеального газа (1).
- 2.2** Найдите, при какой максимальной начальной температуре $T_{1\text{max}}$ газ в процессе дросселирования будет охлаждаться.
- 2.3** Рассчитайте численные значения температуры $T_{1\text{max}}$ для кислорода и для водорода.