

## Задание 10-2. Молекулярная физика с химией.

Многие химические реакции протекают в газовой фазе. При изменении химического состава газовых смесей (вследствие протекания химических реакций) зависимости параметров газов (давления, температуры) меняют свой привычный вид. В данном задании вам необходимо рассмотреть влияние простой обратимой химической реакции на параметры газов. Все газы можно считать идеальными.

Трехатомная молекула  $A_2B$  ( $A$  и  $B$  - символы химических элементов, например, молекула  $CO_2$ ) может самопроизвольно распасться под действием теплового движения на две молекулы:



Если в сосуде находится  $N_1$  молекул  $A_2B$ , то за малый промежуток времени  $\Delta t$  распадается

$$\Delta N_1 = aN_1\Delta t \quad (2)$$

молекул  $A_2B$ . Постоянная  $a$  называется скоростью распада (считайте ее известной). Возможна и обратная реакция рекомбинации (объединения) молекул:

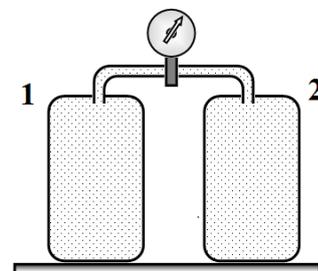


Если в сосуде находится  $N_2$  молекул  $AB$ , то за малый промежуток времени  $\Delta t$  в реакцию вступают

$$\Delta N_2 = bN_2n_3\Delta t \quad (4)$$

молекул  $AB$ . Постоянная  $b$  называется скоростью рекомбинации (эта величина также известна). В формуле (4)  $n_3$  - концентрация молекул  $B$ . При рекомбинации молекул выделяется теплота  $q$  (в расчете на одну образовавшуюся молекулу).

Для исследования этой реакции используется следующая установка. Два одинаковых герметических сосуда соединены трубкой, в которую вмонтирован манометр, позволяющий измерять малую разность давлений в сосудах  $\Delta P = P_1 - P_2$ . Также имеется возможность измерять температуры газов в сосудах. Объемы сосудов равны  $V$ . Первый сосуд заполняют одним молем исследуемого газа  $A_2B$ . Во втором сосуде содержится один моль идеального стабильного газа (т.е. никаких реакций в этом сосуде не происходит). Температура газа в этом сосуде поддерживается постоянной и равной  $T_0$ .



Считайте, что в начальный момент времени  $t = 0$  в сосуде содержится только трехатомный газ  $A_2B$ . Затем в этом сосуде начинаются описанные реакции (1) и (3). Обозначим: число молекул  $A_2B$ ,  $AB$ ,  $B$  в сосуде 1:  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ , соответственно, а концентрации этих молекул -  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ . Начальную концентрацию молекул  $A_2B$  (когда других молекул в сосуде нет) -  $n_0$ .

### Часть 1. Изотермический процесс.

В этой части задания будем считать, что температура газа в сосуде 1 поддерживается постоянной и равной  $T_0$ .

1.1 Выразите начальную концентрацию молекул в сосуде  $n_0$  через параметры, приведенные в условии задачи. Выразите концентрации молекул  $A_2B$  и  $B$   $n_1$ ,  $n_3$  через концентрацию молекул  $AB$  -  $n_2$ .

Так как все концентрации выражаются через концентрацию молекул  $AB$ , то далее эту концентрацию будем обозначать  $n_2 = n$ . Также можете использовать значение начальной концентрации  $n_0$  как известное.

1.2 Получите уравнение, описывающее скорость изменения концентрации молекул  $AB$  с течением времени  $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ .

По прошествии некоторого времени в сосуде устанавливается динамическое равновесие, при котором значения концентраций газов в сосуде не изменяются.

1.3 Рассчитайте равновесные концентрации всех газов в сосуде после достижения теплового равновесия  $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3$ .

Далее будем считать, что скорость распада молекул значительно меньше скорости их рекомбинации  $a \ll bn_0$ .

1.4 Получите приближенные формулы для равновесных концентраций всех газов в сосуде после достижения теплового равновесия  $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3$  при выполнении условия (5).

Далее используйте эти приближенные формулы для равновесных концентраций. Также используйте приближенные методы и формулы. Например, при  $x, y \ll 1$  можно использовать приближенную формулу

$$\frac{1+x}{1+y} \approx 1+x-y.$$

При наличии в формулах малого безразмерного параметра в разных степенях, оставляют слагаемые, в которых степень малого параметра минимальна.

1.5 Найдите разность давлений в сосудах  $\Delta P$  после достижения динамического равновесия.  
1.6 Оцените характерное время  $\tau$  достижения динамического равновесия.

## Часть 2. Процесс без теплообмена.

В этой части задания считайте, что сосуды являются теплоизолированными. Теплоемкостью сосудов можно пренебречь. По-прежнему, считайте, что в момент времени  $t=0$  в сосуде 1 содержится только газ  $A_2B$  при температуре  $T_0$  в количестве одного моля. Молярные теплоемкости двухатомного  $AB$  и данного трехатомного газов  $A_2B$  в изохорном процессе равны  $C_v = \frac{5}{2}R$ , а одноатомного газа  $C_v = \frac{3}{2}R$ .

2.1 Рассчитайте изменение температуры газа  $\Delta T = T - T_0$  при достижении динамического равновесия в сосуде.

2.2 Найдите разность давлений в сосудах  $\Delta P$  после достижения динамического равновесия в теплоизолированном сосуде 1.