

-2. Молекулярная физика с химией

Условие

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 Δt 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 Δt 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).

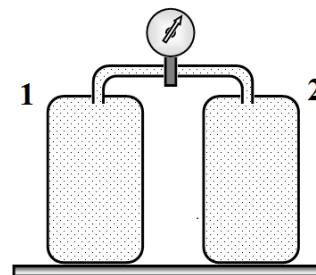
Для исследования этой реакции используется следующая установка. Два одинаковых герметических сосуда соединены трубкой, в которую вмонтирован манометр, позволяющий измерять малую разность давлений в сосудах $\Delta P = P_1 - P_2$. Также имеется возможность измерять температуры газов в сосудах. Объемы 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 .



4

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 ΔP после достижения динамического равновесия.

1.6 Оцените характерное время τ 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 ΔP после достижения динамического равновесия в теплоизолированном сосуде 1.

5

Решение

Задание 10-2. Теплоемкость и скорость остывания.

Часть 1. Подготовительная.

1.1 Для достижения наибольшего эффекта следует взять цилиндр с максимальной теплоемкостью.

1.2 Время установления показаний термометра составляет величину порядка 1 мин.

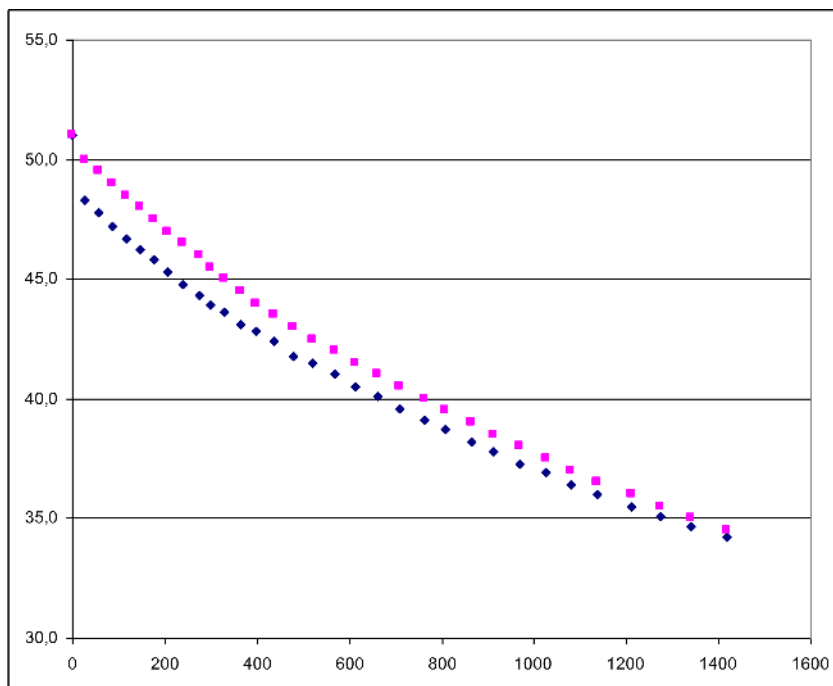
1.3 После опускания горячего цилиндра при начальной температуре 70° в воду при температуре 20° через минуту температура воды достигла максимального значения $36,1^\circ$, а потом стала опускаться. Это значит, что за это время температура цилиндра сравнялась с температурой воды.

1.4 Цилиндр остыл на 34° , а вода нагрелась на 16° . Это означает, что теплоемкость цилиндра в $\frac{34}{16} \approx 2$ раза меньше теплоемкости воды.

Часть 2. Остывание

2.1 Результаты измерений зависимости температур воды и воды с цилиндром показаны в таблице и на графиках.

T1	T2	t, c
51,0	51,0	0
50,5		5
50,0	48,3	28
49,5	47,8	56
49,0	47,2	86
48,5	46,7	118
48,0	46,2	146
47,5	45,8	175
47,0	45,3	205
46,5	44,8	238
46,0	44,3	274
45,5	43,9	298
45,0	43,6	330
44,5	43,1	365
44,0	42,8	399
43,5	42,4	438
43,0	41,8	479
42,5	41,5	521
42,0	41,0	568
41,5	40,5	614
41,0	40,1	662



2.2 По измеренным данным следует определить скорости остывания для двух случаев

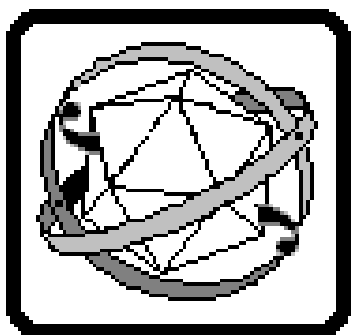
$$K_{1,2} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{1,2}$$

Тогда отношение теплоемкостей будет равно обратному отношению этих коэффициентов $\frac{C_1}{C_2} = \frac{K_2}{K_1}$.

2.3 Требуемый график строится в полулогарифмическом масштабе как зависимость $\ln(T - T_0)$ от времени. Анализ приведенных данных показывает, что необходимые условия выполняются в диапазоне температур 40-30°

Допустимо также построение графика зависимости скорости остывания $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)$ от разности температур воды и воздуха

2.4 Расчет показал, что теплоемкость цилиндра составляет 20% от теплоемкости воды и равна примерно $c = 80 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.



Республиканская физическая олимпиада 2022 года (3 этап)

Решения задач 11 класс (для жюри)

Задания экспериментального тура данной олимпиады предоставляют для участников большие возможности для самостоятельного выбора параметров установок, диапазонов исследования, методов измерений. Иными словами – проявить свои творческие способности. Кроме того, результаты измерений сильно зависят от предоставленного оборудования, которое может различаться в разных областях нашей Республики.

Поэтому, относитесь к приведенным ниже результатам, как к ориентировочным. Желательно (или даже обязательно) провести собственные измерения. Поэтому здесь приводятся только основные теоретические положения и результаты некоторых измерений, полученные авторами данных заданий. Методы обработки результатов измерений являются в большинстве своем, стандартными, поэтому подробно не описываются.

