

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ХИМИИ 2023–2024 уч. г.

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС.

Время выполнения 180 мин. Максимальное кол-во баллов – 100

Решение задания 10-1

1.1. В присутствии вольфрама при повышенной температуре в реакторе будет протекать процесс дегидрирования этана по реакции:



Считая этан идеальным газом, можно вычислить его молярную концентрацию в начальный момент времени по уравнению состояния:

$$c(\text{C}_2\text{H}_6) = P_1/RT = \frac{1,5 \text{ атм}}{0,082 \frac{\text{л}\cdot\text{атм}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \times 1000 \text{ К}} = 0.0183 \text{ моль/л}$$

Далее вычислим суммарную молярную концентрацию газов в реакторе после установления равновесия:

$$c(\text{всех газов}) = P_2/RT = \frac{(1,5+0,8) \text{ атм}}{0,082 \frac{\text{л}\cdot\text{атм}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \times 1000 \text{ К}} = 0.028 \text{ моль/л}$$

В начальный момент времени в реакторе был только этан, после установления равновесия остался этан, а также образовались этилен и водород. Суммарное давление в системе создают все три газа.

Вещество	C_2H_6	C_2H_4	H_2
В начальный момент времени	0.0183	0	0
Вступило в реакцию	X	X	X
По достижении равновесия	$0.0183 - X$	X	X

$$c(\text{суммарная}) = 0.0183 - X + X + X = 0.0183 + X, \text{ отсюда}$$

$$X = 0.028 - 0.0183 = 0.0097 \text{ моль/л}$$

Таким образом, в реакцию вступило 0.0097 моль/л этана и образовалось столько же этилена и водорода.

По достижении равновесия в системе будет $0.0183 - 0.0097 = 0.0086$ моль/л этана.

$$K = \frac{c(\text{C}_2\text{H}_4) \times c(\text{H}_2)}{c(\text{C}_2\text{H}_6)} = \frac{0,0097 \times 0,0097}{0,0086} = 0.01$$

1.2. Объем реактора вычисляется по формуле

$$V = n/c = 2.288 \text{ моль}/0.0183 \text{ моль/л} = 125 \text{ л} = 125 \text{ дм}^3.$$

Поскольку реактор правильной кубической формы, ребро куба найдем как $\sqrt[3]{125 \text{ дм}^3} = 5 \text{ дм}$. То есть реактор имеет размеры 50 см × 50 см × 50 см.

1.3. Поскольку реакция является эндотермической, то повышение температуры будет способствовать смещению равновесия в сторону продуктов реакции и, следовательно, константа равновесия будет увеличиваться.

Решение задания 10-2

По условию задачи смесь последовательно пропустили через раствор бромной воды и нейтральный раствор перманганата калия. С этими веществами реагирует только непредельный углеводород. Поскольку из условия задачи следует, что массы обеих колб увеличились, и на выходе осталась смесь газов, то можно сделать вывод о том, что бромная вода и перманганат калия были в

недостатке. Найдем молярную массу конечной смеси, используя уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = nRT, P = \frac{\rho RT}{M_{\text{ср}}}$$

$$M_{\text{ср}} = \frac{\rho RT}{P} = \frac{1.76 \cdot 0.082 \cdot 298}{0.86} = 50 \left(\frac{\text{г}}{\text{моль}} \right)$$

Поскольку смесь состоит из двух углеводородов, то молярная масса одного из них меньше, а другого больше 50 г/моль. Учитывая, что алкан и алкен содержат равное число атомов водорода, можно сделать вывод, что исходная и конечная смеси содержат пропан C_3H_8 ($M = 44$ г/моль) и бутен C_4H_8 ($M = 56$ г/моль).

3. Найдем молярные доли веществ в конечной смеси.

$$M_{\text{ср}} = \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot M_{\text{C}_3\text{H}_8} + \varphi_{\text{C}_4\text{H}_8} \cdot M_{\text{C}_4\text{H}_8} = \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot M_{\text{C}_3\text{H}_8} + (1 - \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8}) \cdot M_{\text{C}_4\text{H}_8}$$

$$50 = \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot 44 + (1 - \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8}) \cdot 56$$

$$\varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} = 0.5; \varphi_{\text{C}_4\text{H}_8} = 0.5$$

Конечная смесь содержит пропан и бутен в эквимольном соотношении.

4. Масса колб увеличилась на массу поглотившегося бутена. По условию задачи увеличение массы составило:

$$\Delta m = 0.84 + 1.68 = 2.52 \text{ г}, n(\text{C}_4\text{H}_8)_{\text{погл}} = m/M = 2.52/56 = 0.045 \text{ моль.}$$

Исходная смесь занимает объем 4.71 л. Отсюда находим, что количество веществ в исходной смеси равно $n_{\text{исх}} = 4.71/22.4 = 0.21$ моль.

Тогда количество веществ в конечной смеси:

$$n_{\text{кон}} = n_{\text{исх}} - n(\text{C}_4\text{H}_8)_{\text{погл}} = 0.21 - 0.045 = 0.165 \text{ моль, из них}$$

$$n(\text{C}_3\text{H}_8)_{\text{кон}} = 0.165 \cdot 0.5 = 0.0825 \text{ моль и } n(\text{C}_4\text{H}_8)_{\text{кон}} = 0.165 \cdot 0.5 = 0.0825 \text{ моль.}$$

5. С учетом полученных данных находим, что состав исходной смеси: 0.0825 моль пропана и $(0.0825 + 0.045) = 0.1275$ моль бутена.

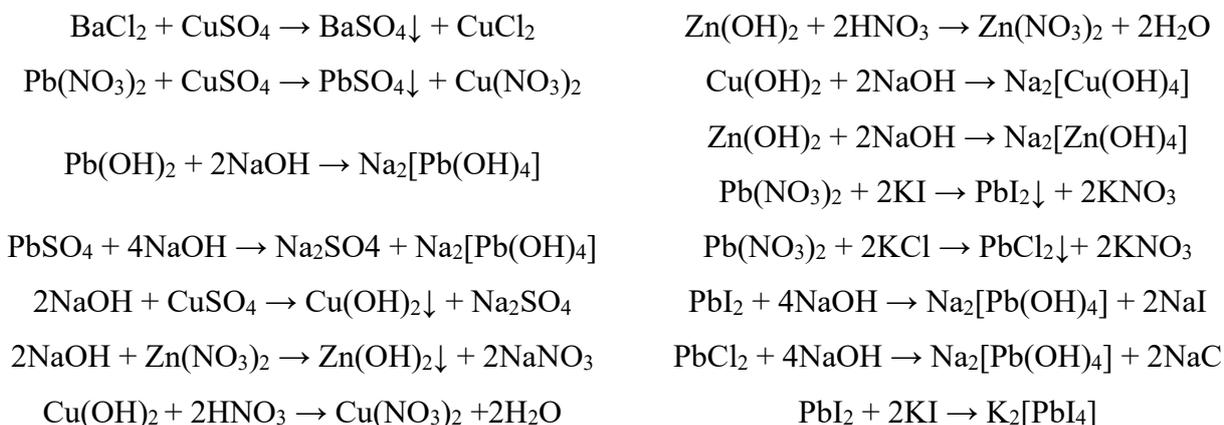
$$m(\text{C}_3\text{H}_8)_{\text{исх}} = 0.0825 \cdot 44 = 3.63 \text{ г}, m(\text{C}_4\text{H}_8)_{\text{исх}} = 0.1275 \cdot 56 = 7.14 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{3.63}{3.63 + 7.14} = \frac{3.63}{10.77} = 0.337 (33.7\%)$$

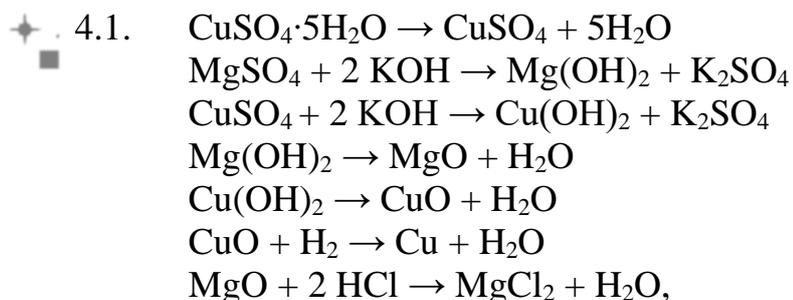
$$\omega(\text{C}_4\text{H}_8) = \frac{7.14}{3.63 + 7.14} = \frac{7.14}{10.77} = 0.663 (66.3\%)$$

Решение задания 10-3

3.1. № 1 – BaCl_2 , № 2 – $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, № 3 – NaOH , № 4 – CuSO_4 , № 5 – HNO_3 , № 6 – KI , № 7 – $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, № 8 – KCl .



Решение задания 10-4



медь не вступает в реакцию с соляной кислотой.

4.2. По условию задачи: $m(\text{CuSO}_4) = m(\text{MgSO}_4)$.

Пусть $n(\text{CuSO}_4) = x$ моль, $n(\text{MgSO}_4) = y$ моль, тогда $m(\text{CuSO}_4) = 160x$, $m(\text{MgSO}_4) = 120y$.

$$160x = 120y, x = 0.75y.$$

Масса смеси после прокаливания: $m_{\text{смеси}} = m(\text{MgO}) + m(\text{Cu}) = 1.76$ г; $64x + 40y = 1.76$.

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x = 0.75y \\ 64x + 40y = 1.76 \end{cases}$$

$$x = 0.015; y = 0.02$$

$n(\text{CuSO}_4) = 0.015$ моль, $n(\text{MgSO}_4) = 0.02$ моль.

Из уравнений (п.1) и (п.2) следует, что $n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0.015$ моль, тогда $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0.015 \cdot 250 = 3.75$ г.

4.3. По условию задачи известно, что исходное количество соляной кислоты: $m(\text{HCl}) = 10 \cdot 0.292 = 2.92$ г, $n(\text{HCl})_{\text{исх}} = 2.92/36.5 = 0.08$ моль.

Из уравнений (п.2), (п.3) и (п.4) следует, что количество кислоты, вступившей в реакцию: $n(\text{HCl})_{\text{реак}} = 2y = 0.02 \cdot 2 = 0.04$ моль.

Следовательно: $n(\text{HCl})_{\text{ост}} = 0.08 - 0.04 = 0.04$ моль.

Прореагировало 50 % соляной кислоты (от исходного количества).

Рекомендации по оценке решения

Задание 10-1	
Расчет общей исходной концентрации	4 балла
Расчет общей равновесной концентрации	4 балла
Таблица и расчет прореагировавшего пропилена	6 баллов
Расчет константы равновесия	8 баллов
Расчет размера реактора	5 баллов
Обоснование зависимости константы равновесия от температуры	5 баллов
Всего	32 балла
Задание 10-2	
Установление качественного состава исходной смеси	9 баллов
Расчет количеств веществ в конечной смеси	8 баллов
Определение количественного состава исходной смеси	8 баллов
Всего	25 баллов
Задание 10-3	
Установление веществ	8 баллов
Уравнения реакций	15 баллов
Всего	23 балла
Задание 10-4	
Уравнения реакций (по 1 баллу за уравнение, 0.5 балла – при отсутствии коэффициентов)	7 баллов
Расчет массы медного купороса	8 баллов
Расчет количества соляной кислоты	5 баллов
Всего	20 баллов
Максимальная оценка всего задания	100 баллов