



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

Задание 1.

Каждое из бинарных соединений А, Б и В имеет суммарный заряд электронов в молекуле, равный $1.6 \cdot 10^{-18}$ Кл. При 110°C все вещества являются газообразными, а при температуре 25°C вещество Б является жидкостью, вещества А и В представляют собой газы. Водный раствор А имеет $\text{pH} > 7$, а в растворе В $\text{pH} < 7$. Рассчитайте массовую долю вещества в растворе, образовавшемся при охлаждении эквимолярной смеси газов А, Б, В объёмом 16.8 л (н.у.) с 200 до 25°C , если при этом также образовалось 5.4 г осадка того же вещества.

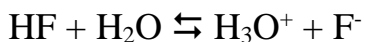
Решение:

Число электронов в каждом из соединений:

$$N_e = Z/e = 1.6 \cdot 10^{-18} / 1.6 \cdot 10^{-19} = 10$$

10 электронов имеют следующие соединения: CH_4 , NH_3 , H_2O , HF .

Только одно из них имеет в растворе $\text{pH} < 7$ – HF :



Таким образом, соединение В – HF .

Соединение А – NH_3 :



Жидкостью при 25°C из этих соединений является только вода H_2O (соединение Б).

Суммарное количество газов равно:

$$n = V(\text{смеси})/V_m = 16.8/22.4 = 0.75 \text{ моль.}$$

Так как газы были взяты в эквимолярных (то есть равных) количествах, то их количества равны:

$$n(\text{HF}) = n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{NH}_3) = n/3 = 0.75/3 = 0.25 \text{ моль.}$$

При охлаждении смеси газов до 25°C протекает реакция:



$$n(\text{NH}_4\text{F}) = n(\text{NH}_3) = n(\text{HF}) = 0.25 \text{ моль}$$

$$m(\text{NH}_4\text{F}) = n \cdot M = 0.25 \cdot 37 = 9.25 \text{ г.}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

Часть фторида аммония выпала в осадок (5.4 г), таким образом, в воде растворилось

$$m_1(\text{NH}_4\text{F}) = 9.25 - 5.4 = 3.85 \text{ г фторида аммония.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M = 0.25 \cdot 18 = 4.5 \text{ г.}$$

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{F}) = 3.85 + 4.5 = 8.35 \text{ г.}$$

$$w(\text{NH}_4\text{F}) = m(\text{NH}_4\text{F}) / m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 3.85 \cdot 100 / 8.35 = 46.1\%.$$

Примечание: кристаллогидрат $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{H}_2\text{O}$ образуется только при отрицательных температурах (ниже -27°C).

Ответ: 46.1 (10 баллов)

Задание 2.

Средняя температура на поверхности Венеры равна 467°C , а плотность венерианской атмосферы (96.5 об.% CO_2 и 3.5 об. % N_2) при данных условиях составляет 65900 г/м^3 . Рассчитайте, чему равно давление на поверхности Венеры. Ответ дайте в атмосферах, округлив до десятых. При расчётах примите $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$.

Решение:

Средняя молярная масса атмосферы Венеры:

$$\bar{M} = \sum_i (x_i \cdot M_i) = \sum_i (\varphi_i \cdot M_i) = 0.965 \cdot 44 + 0.035 \cdot 28 = 43.44 \text{ г/моль}$$

где x – мольная доля газа, φ – объёмная доля газа (для газов в силу закона Авогадро $x = \varphi$).

Плотность газа связана с его молярным объёмом и молярной массой соотношением:

$$\rho = M/V_m$$

Отсюда,

$V_m = M/\rho = 43.44 \text{ г/моль} / 65900 \text{ г/м}^3 = 6.59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{моль}$ – молярный объём газа на поверхности Венеры.

Давление найдём из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$p = RT/V = 8.31 \cdot (273 + 467) / 6.59 \cdot 10^{-4} = 9.33 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9330 \text{ кПа} = 93.3 \text{ атм.}$$

Ответ: 93.3 (20 баллов)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

Задание 3.

Рассчитайте массовую долю соли в растворе, полученном сливанием 150 мл 5%-го раствора ($\rho = 1023$ г/л) соляной кислоты и 25 мл 15% раствора гидроксида натрия ($\rho = 1164$ г/л). Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

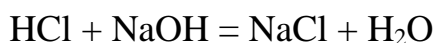
Решение:

$$m(\text{HCl}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.15 \cdot 0.05 \cdot 1023 = 7.67 \text{ г}$$

$$n(\text{HCl}) = m/M = 7.67/36.5 = 0.21 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.15 \cdot 0.025 \cdot 1164 = 4.365 \text{ г}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 4.365/40 = 0.11 \text{ моль}$$



В недостатке – NaOH ($n(\text{HCl}) > n(\text{NaOH})$), расчёт будем вести по нему.

$$n(\text{NaCl}) = n(\text{NaOH}) = 0.11 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaCl}) = n \cdot M = 0.11 \cdot 58.5 = 6.435 \text{ г.}$$

$$\begin{aligned} m(\text{p-ра}) &= m(\text{p-ра HCl}) + m(\text{p-ра NaOH}) = V(\text{HCl}) \cdot \rho(\text{HCl}) + \\ &V(\text{NaOH}) \cdot \rho(\text{NaOH}) = \\ &= 1023 \cdot 0.15 + 1164 \cdot 0.025 = 182.55 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$w = m(\text{NaCl})/m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 6.435 \cdot 100/182.55 = 3.5\%.$$

Ответ: 3.5 (10 баллов)

Задание 4.

2.4 г неизвестного металла растворили в 100 г серной кислоты при нагревании. При этом выделилось 0.56 л газа с плотностью по водороду, равной 17. Определите массовую долю соли в полученном растворе. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение:

Молярная масса газа равна:

$$M = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 17 \cdot 2 = 34.$$

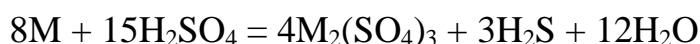
Следовательно, газ – H_2S .

$$n(\text{H}_2\text{S}) = V/V_m = 0.56/22.4 = 0.025 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

Возможны три варианта (в зависимости от степени окисления металла) реакции с серной кислотой:



Атомные массы металла для этих трёх случаев равны:

1) $A(M) = m(M) / 8n(H_2S) = 2.4 / (8 * 0.025) = 12$ – такого металла нет.

2) $A(M) = m(M) / 4n(NO_2) = 2.4 / (4 * 0.01) = 24$ – это магний.

3) $A(M) = 3m(M) / 8n(NO_2) = 36$ – такого металла нет.

Таким образом, неизвестный металл – магний.



$$n(MgSO_4) = n(Mg) = m/M = 2.4/24 = 0.1 \text{ моль.}$$

$$m(MgSO_4) = n * M = 0.1 * 120 = 12.0 \text{ г.}$$

$$m(p-pa) = m(H_2SO_4) + m(Mg) - m(H_2S) = m(H_2SO_4) + m(Mg) - n(H_2S) * M = 100 + 2.4 - 0.025 * 34 = 101.55 \text{ г.}$$

$$w(ZnSO_4) = m/m(p-pa) * 100\% = 12 * 100 / 101.55 = 11.8\%$$

Ответ: 11.8 (20 баллов)

Задание 5.

Рассчитайте массу нержавеющей стали, содержащей 70% железа, которую можно получить из 5 тонн породы, содержащей 40% магнетита и 40% гематита, если выход конечного продукта составляет 80% от теоретического. Ответ дайте в тоннах, округлив до десятых.

Решение:

Масса магнетита:

$$m(Fe_3O_4) = m(\text{породы}) * w(Fe_3O_4) = 5 * 0.4 = 2 \text{ т}$$

Масса гематита:

$$m(Fe_2O_3) = m(\text{породы}) * w(Fe_2O_3) = 5 * 0.4 = 2 \text{ т}$$

Уравнения реакций получения железа:

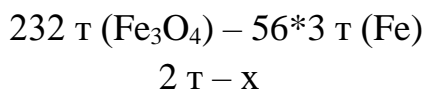




Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

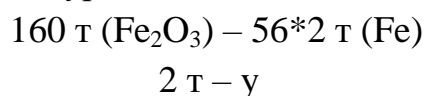
(восстановление руды в доменной печи происходит угарным газом, образующимся при окислении кокса кислородом воздуха).

По уравнению 1:



$$m_1(\text{Fe}) = x = 2 \cdot 56 \cdot 3 / 232 = 1.45 \text{ т.}$$

По уравнению 2:



$$m_2(\text{Fe}) = y = 2 \cdot 56 \cdot 2 / 160 = 1.40 \text{ т.}$$

Суммарная масса железа:

$$m_{\text{теор}}(\text{Fe}) = m_1(\text{Fe}) + m_2(\text{Fe}) = 1.45 + 1.40 = 2.85 \text{ т.}$$

С учётом выхода продукта:

$$m_{\text{практ}}(\text{Fe}) = m_{\text{теор}}(\text{Fe}) \cdot \eta = 2.85 \cdot 0.8 = 2.28 \text{ т.}$$

Масса стали:

$$m(\text{стали}) = m_{\text{практ}}(\text{Fe}) / w = 2.28 / 0.7 = 3.3 \text{ т}$$

Ответ: 3.3 (10 баллов)

Задание 6.

Навеску тетрабората натрия декагидрата массой 3.1587 г растворили и количественно перенесли в мерную колбу вместимостью 200 мл. В колбы для титрования отобрали аликвотные части приготовленного раствора, равные 9.8 мл и оттитровали хлористоводородной кислотой, затратив на титрование 11.2 мл титранта. Рассчитайте концентрацию хлористоводородной кислоты (моль/л). Ответ дайте с точностью до четвёртого знака после запятой.

Решение:



Протоны (H^+) в растворах существуют в виде ионов гидроксония H_3O^+ , то есть соединяются с молекулами воды.

$f_{\text{экв}} \text{ B}_4\text{O}_7^{2-} = 1/2$, эквивалентная частица $1/2 \text{ B}_4\text{O}_7^{2-}$ (одна частица соединяется с двумя протонами)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

$f_{\text{экв}} \text{H}_3\text{O}^+ = 1$, эквивалентная частица H_3O^+

$n(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = n(\text{H}_3\text{O}^+)$

$c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_{\text{а}} = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot V_{\text{т}}$

$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{HCl}) = c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_{\text{а}} / V_{\text{т}}$

$c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = c(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) =$

$= m(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) / (M_r(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot V_{\text{колбы}})$

$M_r(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2}M_r(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \cdot 381 \text{ г/моль} = 190,5$

г/моль

$c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = 3.1587 \text{ г} / (190,5 \text{ г/моль} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ л}) = 0,0829 \text{ моль/л}$

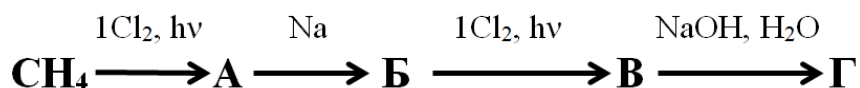
$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_{\text{а}} / V_{\text{т}} = 0,0829 \text{ моль/л} \cdot 9,8 \text{ мл} / 11,2 \text{ мл} = 0,0725$

моль/л

Ответ: 0.0725 (10 баллов)

Задание 7.

Осуществите цепочку следующих превращений:

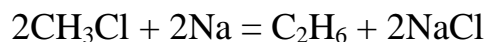


Определите органические вещества А – Г. В ответе укажите объём углекислого газа (л, н.у.), выделяющегося при сгорании 92 г вещества Г. Ответ округлите до десятых.

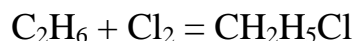
Решение:



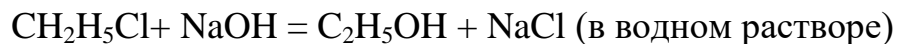
А – хлорметан CH_3Cl



Б – этан C_2H_6



В – хлорэтан $\text{CH}_2\text{H}_5\text{Cl}$

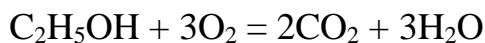


Г – этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m/M = 92/46 = 2.0 \text{ моль}$$



$$n(\text{CO}_2) = 2n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2.0 \cdot 2 = 4.0 \text{ моль}$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 4.0 \cdot 22.4 = 89.6 \text{ л.}$$

Ответ: 89.6 (10 баллов)

Задание 8.

Рассчитайте, сколько теплоты выделится при сгорании 37.5 г нитроэтана, если теплоты образования нитроэтана, воды и углекислого газа составляют 143.9, 393.5 и 241.8 кДж/моль соответственно. Ответ дайте в кДж, округлив до десятых.

NB! В условии задачи $Q_f(\text{H}_2\text{O})$ и $Q_f(\text{CO}_2)$ случайно поменялись местами. Должно быть так: $Q_f(\text{H}_2\text{O}) = 241.8$, $Q_f(\text{CO}_2) = 393.5$. Решение признано верным у всех, кто решал либо с исходными данными, либо с исправленными.

Решение:

$$Q_c(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = Q_r \cdot 2 = 623.8 \cdot 2 = 1247.6 \text{ кДж/моль}$$



$$Q_c(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = 2Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = \\ = 2 \cdot 393.5 + 5/2 \cdot 241.8 - 143.9 = 1247.6 \text{ кДж/моль}$$

(теплоты образования простых веществ равны нулю).

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = m/M = 37.5 / 75 = 0.5 \text{ моль}$$

$$Q_r = Q_c(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) \cdot n = 1247.6 \cdot 0.5 = 623.8 \text{ кДж}$$

Ответ: 623.8 (10 баллов)

Задание 9.

Выберите вещества, которые при растворении в воде дают щелочную среду. В ответе укажите номера этих соединений в порядке увеличения рН их раствора (при условии, что растворены одинаковые количества веществ) без пробелов (например, 5243).

1. хлорид натрия
2. сульфид натрия
3. нитрит натрия



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 9

4. гидроксид натрия
5. оксид бария
6. гидроксид бора

Решение:

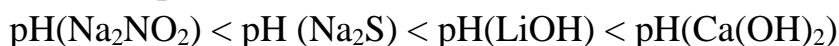
- 1) $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{pH} = 7$
- 2) $\text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaHS} + \text{NaOH} \quad \text{pH} > 7$
- 3) $\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{NaOH} \quad \text{pH} > 7$
- 4) $\text{NaOH} = \text{Na}^+ + \text{OH}^- \quad \text{pH} > 7$
- 5) $\text{BaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ba}(\text{OH})_2$
 $\text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- \quad \text{pH} > 7$
- 6) $\text{B}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2[\text{B}(\text{OH})_4]^- + \text{H}^+ \quad \text{pH} < 7$

Гидроксид натрия и гидроксид бария – сильные основания, в их растворах pH будет максимальным. Так как при диссоциации гидроксида бария образуется два гидроксид иона, а при диссоциации гидроксида натрия – один, pH раствора гидроксида бария будет больше при одинаковых концентрациях этих гидроксидов.

Протолиз сульфида и нитрита обратим. Константа гидролиза для сульфида

$(K_r = K_b/K_k(\text{HS}^-) = 10^{-14}/10^{-13} = 10^{-1})$ больше константы гидролиза для нитрита ($K_r = K_b/K_k(\text{HNO}_2) = 10^{-14}/5 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-11}$), поэтому pH в растворе сульфида будет больше, чем в растворе нитрита.

Таким образом,



Ответ: 3245 (10 баллов)