



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

Задание 1.

Каждое из бинарных соединений А, Б и В имеет суммарный заряд электронов в молекуле, равный $1.6 \cdot 10^{-18}$ Кл. При температуре 25°C все вещества являются газообразными. Водный раствор Б имеет $\text{pH} < 7$, pH водного раствора А > 7 , В в воде практически не растворимо. Эквимолярные количества трёх газов пропустили через 1 л воды, объём газа при этом уменьшился до 5.6 л. Рассчитайте массовую долю вещества в полученном растворе. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

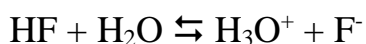
Решение:

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 Б – HF .

Соединение А – NH_3 :



В воде практически нерастворим метан CH_4 (соединение В). После пропускания газов через воду не растворился только метан, следовательно его объём равен 5.6 л.

$$n(\text{CH}_4) = V/V_m = 5.6/22.4 = 0.25 \text{ моль.}$$

Так как газы были взяты в эквимолярных количествах, то количества аммиака и фтороводорода так же равны 0.25 моль:

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

При пропускании газов через воду протекает реакция:



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

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

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{F}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{F}) = 1 \cdot 1000 + \\ &9.25 \\ &= 1009.25 \text{ г.} \end{aligned}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

$$w(\text{NH}_4\text{F}) = m(\text{NH}_4\text{F}) / m(\text{p-ра}) * 100\% = 9.25 * 100 / 1009.25 = 0.9\%.$$

Ответ: 0.9 (10 баллов)

Задание 2.

Средняя температура на поверхности Марса равна $-60\text{ }^\circ\text{C}$, а атмосферное давление при данной температуре составляет 0.6 кПа . Рассчитайте, какую плотность имела бы земная атмосфера ($78.1\text{ об.}\% \text{ N}_2$, $20.9\text{ об.}\% \text{ O}_2$ и $1\text{ об.}\% \text{ Ar}$) при данных условиях. Ответ дайте в г/м^3 , округлив до десятых.

Решение:

Средняя молярная масса атмосферы Земли:

$$\bar{M} = \sum_i (x_i * M_i) = \sum_i (\phi_i * M_i) = 0.781 * 28 + 0.209 * 32 + 0.01 * 40 = 28.96 \text{ г/моль}$$

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

Найдём молярный объём ($n = 1$) газа на поверхности Марса:

$$V_m = RT/p = 8.31 * (273 - 60) / (0.6 * 10^3) = 2.95 \text{ м}^3/\text{моль} = 2950 \text{ л/моль}.$$

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

$$\rho = M/V_m = 28.96 \text{ г/моль} / 2.95 \text{ м}^3/\text{моль} = 9.8 \text{ г/м}^3$$

Ответ: 9.8 (20 баллов)

Задание 3.

Рассчитайте массовую долю соли в растворе, полученном сливанием 150 мл 35% -го раствора соляной кислоты ($\rho = 1174\text{ г/л}$) и 350 мл 10% раствора гидроксида калия ($\rho = 1090\text{ г/л}$). Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение:

$$m(\text{HCl}) = w * V * \rho = 0.15 * 0.35 * 1174 = 61.635 \text{ г}$$

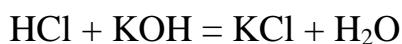
$$n(\text{HCl}) = m/M = 61.635 / 36.5 = 1.69 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

$$m(\text{KOH}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.35 \cdot 0.1 \cdot 1090 = 38.15 \text{ г}$$

$$n(\text{KOH}) = m/M = 38.15/56 = 0.68 \text{ моль}$$



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

$$n(\text{KCl}) = n(\text{KOH}) = 0.68 \text{ моль}$$

$$m(\text{KCl}) = n \cdot M = 0.68 \cdot 74.5 = 50.66 \text{ г.}$$

$$\begin{aligned} m(\text{p-ра}) &= m(\text{p-ра HCl}) + m(\text{p-ра KOH}) = V(\text{HCl}) \cdot \rho(\text{HCl}) + \\ &V(\text{KOH}) \cdot \rho(\text{KOH}) = \\ &= 1174 \cdot 0.15 + 1109 \cdot 0.35 = 557.6 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$w = m(\text{KCl})/m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 50.66 \cdot 100/557.6 = 9.1\%.$$

Ответ: 9.1 (10 баллов)

Задание 4.

5.4 г неизвестного металла растворили в 100 г азотной кислоты. При этом выделилось 1.12 л газа с плотностью по водороду, равной 23. Определите массовую долю соли в полученном растворе. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение:

Молярная масса газа равна:

$$M = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 23 \cdot 2 = 46.$$

Следовательно, газ – NO₂.

$$n(\text{NO}_2) = V/V_m = 1.12/22.4 = 0.05 \text{ моль}$$

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



Атомные массы металла для этих трёх случаев равны:

1) $A(\text{M}) = m(\text{M}) / n(\text{NO}_2) = 5.4/0.05 = 108$ – это серебро.

2) $A(\text{M}) = 2m(\text{M}) / n(\text{NO}_2) = 206$ – такого металла нет.

3) $A(\text{M}) = 3m(\text{M}) / n(\text{NO}_2) = 324$ – такого металла нет.



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

Таким образом, неизвестный металл – серебро.



$$n(\text{Ag}(\text{NO}_3)) = n(\text{Ag}) = m/M = 5.4/108 = 0.05 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Ag}(\text{NO}_3)) = n * M = 0.05 * 170 = 8.5 \text{ г.}$$

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{HNO}_3) + m(\text{Ag}) - m(\text{NO}_2) = m(\text{HNO}_3) + m(\text{Ag}) - n(\text{NO}_2) * M \\ = 100 + 5.4 - 0.05 * 46 = 103.1 \text{ г.}$$

$$w(\text{Ag}(\text{NO}_3)) = m/m(\text{p-ра}) * 100\% = 8.5 * 100 / 103.1 = 8.2\%$$

Ответ: 8.2 (20 баллов)

Задание 5.

Рассчитайте массу стали, содержащей 99% железа, которую можно получить из 10 тонн породы, содержащей 30% магнетита и 55% гематита, если выход конечного продукта составляет 85% от теоретического. Ответ дайте в тоннах, округлив до десятых.

Решение:

Масса магнетита:

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = m(\text{породы}) * w(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 10 * 0.3 = 3 \text{ т}$$

Масса гематита:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = m(\text{породы}) * w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 10 * 0.55 = 5.5 \text{ т}$$

Уравнения реакций получения железа:



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

По уравнению 1:

$$232 \text{ т } (\text{Fe}_3\text{O}_4) - 56 * 3 \text{ т } (\text{Fe})$$

$$3 \text{ т} - x$$

$$m_1(\text{Fe}) = x = 3 * 56 * 3 / 232 = 2.17 \text{ т.}$$

По уравнению 2:

$$160 \text{ т } (\text{Fe}_2\text{O}_3) - 56 * 2 \text{ т } (\text{Fe})$$

$$5.5 \text{ т} - y$$

$$m_2(\text{Fe}) = y = 5.5 * 56 * 2 / 160 = 3.85 \text{ т.}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

Суммарная масса железа:

$$m_{\text{теор}}(\text{Fe}) = m_1(\text{Fe}) + m_2(\text{Fe}) = 2.17 + 3.85 = 6.02 \text{ т.}$$

С учётом выхода продукта:

$$m_{\text{практ}}(\text{Fe}) = m_{\text{теор}}(\text{Fe}) \cdot \eta = 6.02 \cdot 0.85 = 5.12 \text{ т.}$$

Масса стали:

$$m(\text{стали}) = m_{\text{практ}}(\text{Fe})/w = 5.12/0.99 = 5.2 \text{ т}$$

Ответ: 5.2 (10 баллов)

Задание 6.

Навеску тетрабората натрия декагидрата массой 3.9147 г растворили и количественно перенесли в мерную колбу вместимостью 200 мл. В колбы для титрования отобрали аликвотные части приготовленного раствора, равные 9.3 мл и оттитровали хлористоводородной кислотой, затратив на титрование 11.8 мл титранта. Рассчитайте концентрацию хлористоводородной кислоты (моль/л). Ответ дайте с точностью до тысячных.

Решение:



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

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

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

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

$$c(1/2\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_a = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot V_t$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{HCl}) = c(1/2\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_a / V_t$$

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

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

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

г/моль

$$c(1/2\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = 3.9147 \text{ г} / (190,5 \text{ г/моль} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ л}) = 0,1027 \text{ моль/л}$$



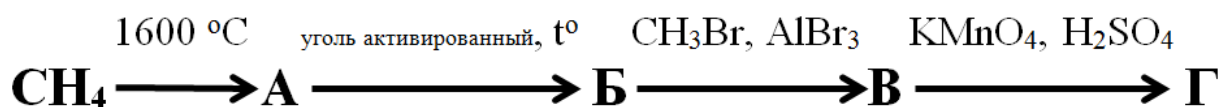
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_a / V_T = 0,1027 \text{ моль/л} \cdot 9,3 \text{ мл} / 11,8 \text{ мл} = 0,0810$
моль/л

Ответ: 0.081 (10 баллов)

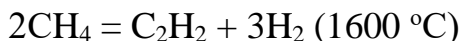
Задание 7.

Осуществите цепочку следующих превращений:

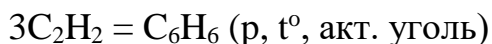


Определите органические вещества А – Г. В ответе укажите объём углекислого газа (л, н.у.), выделяющегося при сгорании 61 г вещества Г. Ответ округлите до десятых.

Решение:



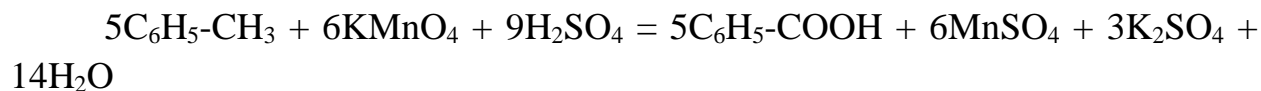
А – ацетилен (этин) C_2H_2



Б – бензол C_6H_6

$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{Br} = \text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$ (в присутствии кислот Льюиса, например AlBr_3)

В – толуол (метилбензол) $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$



Г – бензойная кислота $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}) = m/M = 61/122 = 0.5 \text{ моль}$$



$$n(\text{CO}_2) = 7n(\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}) = 0.5 \cdot 7 = 3.5 \text{ моль}$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 3.5 \cdot 22.4 = 78.4 \text{ л.}$$

Ответ: 78.4 (10 баллов)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4

Задание 8.

Рассчитайте теплоту образования нитроэтана, если при сгорании 37.5 г нитроэтана выделилось 623.8 кДж теплоты, а теплоты образования воды и углекислого газа составляют 393.5 и 241.8 кДж/моль соответственно. Ответ дайте в кДж, округлив до десятых.

Решение:

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

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



$$Q_C(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = 2Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2)$$

(теплоты образования простых веществ равны нулю).

$$Q_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) = 2Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_C(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2) =$$

$$= 2 * 393.5 + 5/2 * 241.8 - 1247.6 = 143.9 \text{ кДж/моль}$$

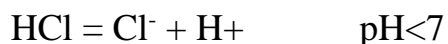
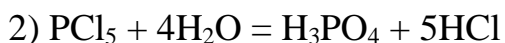
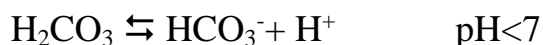
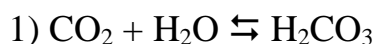
Ответ: 143.9 (10 баллов)

Задание 9.

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

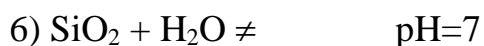
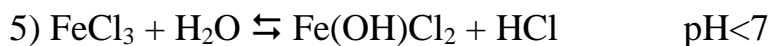
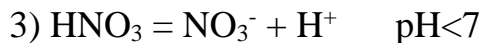
1. оксид азота (V)
2. хлороводород
3. оксид железа (III)
4. гидросульфит натрия
5. хлорид алюминия
6. гидрокарбонат натрия

Решение:





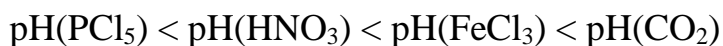
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 4



При гидролизе 1 моль пентахлорида фосфора образуется 5 моль сильной кислоты (HCl), поэтому pH раствора пентахлорида будет меньше, чем раствора другой сильной кислоты – HNO₃.

Углекислота и хлорид железа(III) – слабые кислоты, причём константа кислотности аквакатиона железа $K_{\text{к}}(\text{Fe}^{3+}) = 7 \cdot 10^{-3}$ больше константы кислотности угольной кислоты ($K_{\text{к}}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 10^{-7}$), поэтому при одинаковых концентрациях веществ pH в растворе FeCl₃ будет ниже, чем в растворе CO₂.

Таким образом,



Ответ: 2351 (10 баллов)