



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

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 А является жидкостью, вещества Б и В представляют собой газы. Водный раствор Б 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 67.2 л (н.у.) с 200 до 25°C , если при этом также образовалось 21.6 г осадка того же вещества.

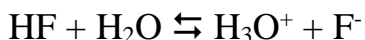
Решение:

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 Б – NH_3 :



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

Суммарное количество газов равно:

$$n = V(\text{смеси})/V_m = 67.2/22.4 = 3.$$

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

$$n(\text{HF}) = n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{NH}_3) = n/3 = 3/3 = 1 \text{ моль.}$$

При охлаждении смеси газов до 25°C протекает реакция:



$$n(\text{NH}_4\text{F}) = n(\text{NH}_3) = n(\text{HF}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{NH}_4\text{F}) = n \cdot M = 1 \cdot 37 = 37 \text{ г.}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

Часть фторида аммония выпала в осадок (21.6 г), таким образом, в воде растворилось

$$m_1(\text{NH}_4\text{F}) = 37 - 21.6 = 15.4 \text{ г фторида аммония.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M = 1 \cdot 18 = 18 \text{ г.}$$

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{F}) = 15.4 + 18 = 33.4 \text{ г.}$$

$$w(\text{NH}_4\text{F}) = m(\text{NH}_4\text{F}) / m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 15.4 \cdot 100 / 33.4 = 46.1\%.$$

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 атмосферное давление при данной температуре составляет 93.3 атм. Рассчитайте, какую плотность имела бы земная атмосфера (78.1 об.% N_2 , 20.9 об.% O_2 и 1 об. % Ar) при данных условиях. Ответ дайте в г/л, округлив до десятых. При расчётах примите $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$.

Решение:

Средняя молярная масса атмосферы Земли:

$$\begin{aligned} \bar{M} &= \sum_i (x_i \cdot M_i) = \sum_i (\varphi_i \cdot M_i) = 0.781 \cdot 28 + 0.209 \cdot 32 + 0.01 \cdot 40 = \\ &= 28.96 \text{ г/моль} \end{aligned}$$

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

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

$$V_m = RT/p = 8.31 \cdot (467 + 273) / (93.3 \cdot 10^5) = 6.59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{моль} = 0.659 \text{ л/моль.}$$

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

$$\rho = M/V_m = 28.96 \text{ г/моль} / 0.659 \text{ л/моль} = 43.9 \text{ г/л}$$

Ответ: 43.9 (20 баллов)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

Задание 3.

Рассчитайте массовую долю соли в растворе, полученном сливанием 150 мл 25%-го раствора серной кислоты ($\rho = 1178$ г/л) и 400 мл 10% раствора гидроксида натрия ($\rho = 1109$ г/л). Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

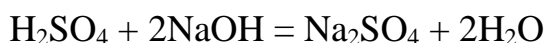
Решение:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = w \cdot V \cdot \rho = 0.25 \cdot 0.15 \cdot 1178 = 44.175 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m/M = 44.175/98 = 0.45 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.40 \cdot 0.1 \cdot 1109 = 44.36 \text{ г}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 44.36/40 = 1.109 \text{ моль}$$



В недостатке – H_2SO_4 ($n(\text{H}_2\text{SO}_4) < n(\text{NaOH})/2$), расчёт будем вести по нему.

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.45 \text{ моль}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n \cdot M = 0.45 \cdot 142 = 63.9 \text{ г.}$$

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{p-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{p-ра } \text{NaOH}) = V(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \rho(\text{H}_2\text{SO}_4) + V(\text{NaOH}) \cdot \rho(\text{NaOH}) = 1178 \cdot 0.15 + 1109 \cdot 0.4 = 620.3 \text{ г.}$$

$$w = m(\text{Na}_2\text{SO}_4)/m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 63.9 \cdot 100/620.3 = 10.3\%.$$

Ответ: 10.3 (10 баллов)

Задание 4.

19.2 г неизвестного металла растворили в 400 г азотной кислоты. При этом выделилось 4.48 л газа с плотностью по водороду, равной 15. Определите массовую долю соли в полученном растворе. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение:

Молярная масса газа равна:

$$M = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 15 \cdot 2 = 30.$$

Следовательно, газ – NO.

$$n(\text{NO}) = V/V_m = 4.48/22.4 = 0.2 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

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



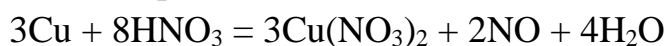
Атомные массы металла для этих трёх случаев равны:

1) $A(M) = m(M) / 3n(NO_2) = 19.2 / (0.2 * 3) = 32$ – такого металла нет.

2) $A(M) = 2m(M) / 3n(NO_2) = 2 * 19.2 / (0.2 * 3) = 64$ – это медь.

3) $A(M) = m(M) / n(NO_2) = 19.2 / 0.2 = 96$ – такого металла нет (молибден при взаимодействии с азотной кислотой нитратов не образует)

Таким образом, неизвестный металл – медь.



$$n(Cu(NO_3)_2) = n(Cu) = m/M = 19.2/64 = 0.3 \text{ моль.}$$

$$m(Cu(NO_3)_2) = n * M = 0.3 * 188 = 56.4 \text{ г.}$$

$$m(p-pa) = m(HNO_3) + m(Cu) - m(NO) = m(HNO_3) + m(Cu) - n(NO) * M = 400 + 19.2 - 0.2 * 30 = 413.2 \text{ г.}$$

$$w(Cu(NO_3)_2) = m/m(p-pa) * 100\% = 56.4 * 100 / 413.2 = 13.6\%$$

Ответ: 13.6 (20 баллов)

Задание 5.

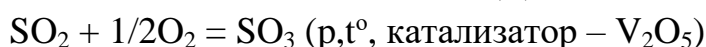
Рассчитайте массу породы, содержащей 85% пирита, необходимую для получения 1 т 98%-й серной кислоты, если выход продукта на первых двух стадиях синтеза составляет по 85%, а на третьей – 90% от теоретического. Ответ дайте в тоннах, округлив до десятых.

Решение:

Масса 100%-й серной кислоты:

$$m(H_2SO_4) = w * m(p-pa) = 1 * 0.98 = 0.98 \text{ т}$$

Стадии процесса синтеза серной кислоты:

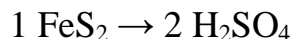




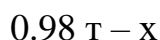
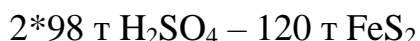
Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ (в реальном производстве триоксид серы поглощают раствором серной кислоты, получая олеум – смесь полисерных кислот).

Суммарная схема процесса:



Согласно схеме,



$$m_{\text{теор}}(\text{FeS}_2) = 0.98 \cdot 120 / (2 \cdot 98) = 0.60 \text{ т.}$$

С учётом выхода продукта:

$$m_{\text{практ}}(\text{FeS}_2) = m_{\text{теор}}(\text{FeS}_2) / (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3) = 0.6 / (0.85 \cdot 0.85 \cdot 0.9) = 0.92 \text{ т}$$

где η_1, η_2, η_3 – выход продукта по каждой из стадий.

Масса породы:

$$m(\text{породы}) = m_{\text{практ}}(\text{FeS}_2) / w = 0.92 / 0.85 = 1.1 \text{ т}$$

Ответ: 1.1 (10 баллов)

Задание 6.

Навеску тетрабората натрия декагидрата массой 4.8132 г растворили и количественно перенесли в мерную колбу вместимостью 200 мл. В колбы для титрования отобрали аликвотные части приготовленного раствора, равные 10.5 мл и оттитровали хлористоводородной кислотой, затратив на титрование 11.6 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.

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

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



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

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

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

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

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

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

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

г/моль

$$c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = 4,8132 \text{ г} / (190,5 \text{ г/моль} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ л}) = 0,1263 \text{ моль/л}$$

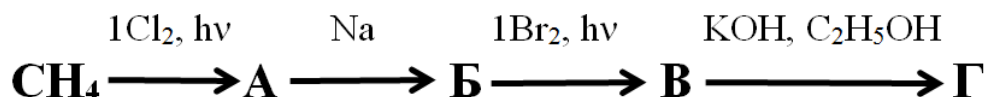
$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\frac{1}{2}\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_a / V_T = 0,1263 \text{ моль/л} \cdot 10,5 \text{ мл} / 11,6 \text{ мл} = 0,1144$$

моль/л

Ответ: 0.114 (10 баллов)

Задание 7.

Осуществите цепочку следующих превращений:

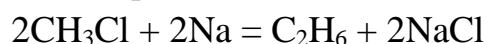


Определите органические вещества А – Г. В ответе укажите объём углекислого газа (л, н.у.), выделяющегося при сгорании 14 г вещества Г. Ответ округлите до десятых.

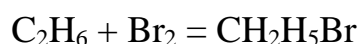
Решение:



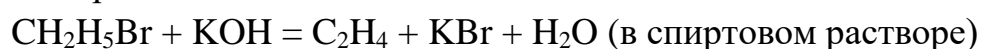
А – хлорметан CH_3Cl



Б – этан C_2H_6



В – бромэтан $\text{CH}_2\text{H}_5\text{Br}$

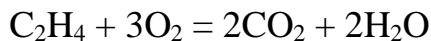


Г – этилен (этен) C_2H_4

$$n(\text{C}_2\text{H}_4) = m/M = 14/28 = 0,5 \text{ моль}$$



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3



$$n(\text{CO}_2) = 2n(\text{C}_2\text{H}_4) = 0.5 \cdot 2 = 1.0 \text{ моль}$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 1.0 \cdot 22.4 = 22.4 \text{ л.}$$

Ответ: 22.4 (10 баллов)

Задание 8.

Рассчитайте теплоту образования нитробензола, если при сгорании 61.5 г нитробензола выделилось 1488.35 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:

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = m/M = 61.5 / 123 = 0.5 \text{ моль}$$

$$Q_c(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = Q_r \cdot 2 = 1488.35 \cdot 2 = 2976.7 \text{ кДж/моль}$$



$$Q_c(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 6Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_f(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2)$$

(теплоты образования простых веществ равны нулю).

$$Q_f(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 6Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_c(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) =$$

$$= 6 \cdot 393.5 + 5/2 \cdot 241.8 - 2976.7 = -11.2 \text{ кДж/моль}$$

Ответ: -11.2 (10 баллов)

Задание 9.

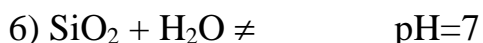
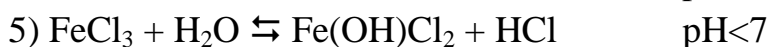
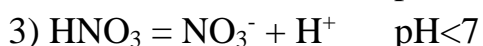
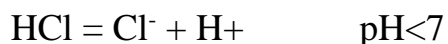
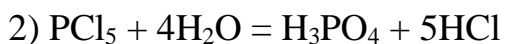
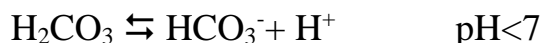
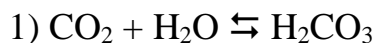
Выберите вещества, которые при растворении в воде дают кислотную среду. В ответе укажите номера этих соединений в порядке возрастания pH их раствора (при условии, что растворены одинаковые количества веществ) без пробелов (например, 5243).

1. оксид углерода (IV)
2. хлорид фосфора (V)
3. азотная кислота
4. карбонат натрия
5. хлорид железа (III)
6. оксид кремния (IV)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 3

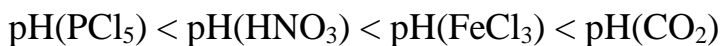
Решение:



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)