



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

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 вещество А является жидкостью, вещества Б и В представляют собой газы. Водный раствор В имеет $\text{pH} > 7$, Б в воде практически не растворимо. Газообразное вещество, образовавшееся при полном сжигании 5.6 л Б, пропустили в 500 г раствора, полученного растворением 5.6 л В в А. Рассчитайте массовую долю вещества в полученном растворе. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение:

Число электронов в каждом из соединений:

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

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

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

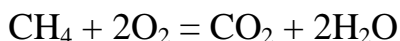
Только одно из них имеет в растворе $\text{pH} > 7$ – NH_3 :



Таким образом, соединение В – NH_3 .

В воде практически нерастворим метан CH_4 (соединение Б).

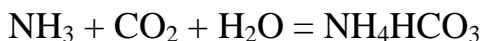
Уравнение реакции сгорания метана:



$$n(\text{CO}_2) = n(\text{CH}_4) = V(\text{CH}_4)/V_m = 5.6/22.4 = 0.25 \text{ моль.}$$

$$n(\text{NH}_3) = V(\text{NH}_3)/V_m = 11.2/22.4 = 0.25 \text{ моль.}$$

При взаимодействии равных количеств аммиака и углекислого газа в водном растворе образуется гидрокарбонат аммония:



$$n(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = n(\text{CO}_2) = n(\text{NH}_3) = 0.25 \text{ моль.}$$

$$m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = n \cdot M = 0.25 \cdot 79 = 19.75 \text{ г.}$$

$$m(\text{p-ра}) = m_1(\text{p-ра}) + m(\text{CO}_2) = m_1(\text{p-ра}) + n(\text{CO}_2) \cdot M = 500 + 0.25 \cdot 44 = 511 \text{ г.}$$

$$w(\text{NH}_4\text{HCO}_3) = m(\text{NH}_4\text{HCO}_3) / m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 19.75 \cdot 100 / 511 = 3.9\%.$$

Ответ: 3.9 (10 баллов)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

Задание 2.

Средняя температура на поверхности Венеры равна 467 °С, а атмосферное давление при данной температуре составляет 93.3 атм. Рассчитайте, во сколько раз плотность венерианской атмосферы (96.5 об.% CO₂ и 3.5 об. % N₂) при данных условиях больше плотности воздуха на Земле (1.2 г/л). Ответ округлите до десятых. При расчётах примите 1 атм = 10⁵ Па.

Решение:

Средняя молярная масса атмосферы Венеры:

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

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

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

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

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

$$\rho = M/V_m = 43.44 \text{ г/моль} / 0.659 \text{ л/моль} = 65.9 \text{ г/л}$$

Отношение плотностей:

$$\rho(\text{Венера})/\rho(\text{Земля}) = 65.9/1.2 = 54.9$$

Плотность венерианской атмосферы больше плотности земной в 54.9 раза.

Ответ: 54.9 (20 баллов)

Задание 3.

Рассчитайте массовую долю соли в растворе, полученном сливанием 100 мл 15%-го раствора соляной кислоты ($\rho = 1073$ г/л) и 200 мл 10% раствора гидроксида натрия ($\rho = 1109$ г/л). Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

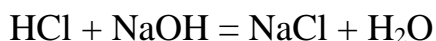
Решение:

$$m(\text{HCl}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.15 \cdot 0.1 \cdot 1073 = 16.095 \text{ г}$$

$$n(\text{HCl}) = m/M = 16,095/36.5 = 0,44 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaOH}) = w \cdot V \cdot \rho = 0.1 \cdot 0.2 \cdot 1109 = 22.18 \text{ г}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 22,18/40 = 0.55 \text{ моль}$$



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

$$n(\text{NaCl}) = n(\text{HCl}) = 0.44 \text{ моль}$$

$$m(\text{NaCl}) = n \cdot M = 0.44 \cdot 58.5 = 25.74 \text{ г.}$$

$$\begin{aligned} m(\text{p-ра}) &= m(\text{p-ра HCl}) + m(\text{p-ра NaOH}) = V(\text{HCl}) \cdot \rho(\text{HCl}) + \\ &V(\text{NaOH}) \cdot \rho(\text{NaOH}) = \\ &= 1073 \cdot 0.1 + 1109 \cdot 0.2 = 329.1 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$w = m(\text{NaCl})/m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 25.74 \cdot 100/329.1 = 7.8\%.$$

Ответ: 7.8 (10 баллов)

Задание 4.

3.24 г неизвестного металла растворили в 150 г азотной кислоты. При этом выделилось 0.224 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.

$$n(\text{NO}) = V/V_m = 0.224/22.4 = 0.01 \text{ моль}$$

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



Атомные массы металла для этих трёх случаев равны:



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

1) $A(M) = m(M) / 3n(\text{NO}_2) = 3,24 / (0,01 \cdot 3) = 108$ – это серебро.

2) $A(M) = 2m(M) / 3n(\text{NO}_2) = 2 \cdot 6,21 / (0,02 \cdot 3) = 216$ – такого металла нет.

3) $A(M) = m(M) / n(\text{NO}_2) = 6,21 / 0,02 = 310,5$ – такого металла нет.

Таким образом, неизвестный металл – серебро.



$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{Ag}) = m/M = 3,24 / 108 = 0,03$ моль.

$m(\text{AgNO}_3) = n \cdot M = 0,03 \cdot 170 = 5,1$ г.

$m(\text{p-ра}) = m(\text{HNO}_3) + m(\text{Ag}) - m(\text{NO}) = m(\text{HNO}_3) + m(\text{Ag}) - n(\text{NO}) \cdot M =$
 $= 150 + 3,24 - 0,01 \cdot 30 = 152,94$ г.

$w(\text{AgNO}_3) = m/m(\text{p-ра}) \cdot 100\% = 5,1 \cdot 100 / 152,94 = 3,3\%$

Ответ: 3.3 (20 баллов)

Задание 5.

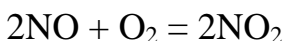
Рассчитайте объём аммиака, необходимый для получения 1 т 65%-го раствора азотной кислоты, если выход продукта на первых двух стадиях составляет по 85%, а на третьей – 90% от теоретического. Ответ дайте в кубометрах, округлив до целочисленного значения.

Решение:

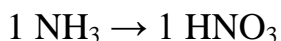
Масса 100%-й азотной кислоты:

$m(\text{HNO}_3) = m(\text{p-ра}) \cdot w = 1 \cdot 0,65 = 0,65$ т = 650 кг.

Стадии процесса синтеза азотной кислоты:



Суммарная схема процесса:



Согласно схеме,

22,4 л NH_3 – 63 г HNO_3 или

22,4 м³ NH_3 – 63 кг HNO_3

х – 650 кг HNO_3

$V_{\text{теор}}(\text{NH}_3) = x = 650 \cdot 22,4 / 63 = 231,1$ м³



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

$$V_{\text{практик}}(\text{NH}_3) = V_{\text{теор}}(\text{NH}_3) / (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3) = 231.1 / (0.85 \cdot 0.85 \cdot 0.9) = 355.4 = 355 \text{ м}^3$$

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

Ответ: 355 (10 баллов)

Задание 6.

Навеску тетрабората натрия декагидрата массой 4.1213 г растворили и количественно перенесли в мерную колбу вместимостью 200 мл. В колбы для титрования отобрали аликвотные части приготовленного раствора, равные 7.7 мл и оттитровали хлористоводородной кислотой, затратив на титрование 13.2 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

г/моль

$$c(1/2\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) = 4.1213 \text{ г} / (190,5 \text{ г/моль} \cdot 200 \cdot 10^{-3} \text{ л}) = 0,1082 \text{ моль/л}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(1/2\text{B}_4\text{O}_7^{2-}) \cdot V_a / V_T = 0,1082 \text{ моль/л} \cdot 7.7 \text{ мл} / 13.2 \text{ мл} = 0,0631$$

моль/л

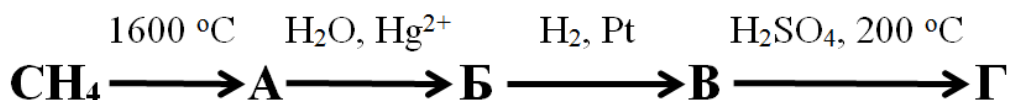
Ответ: 0.063 (10 баллов)



Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

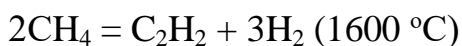
Задание 7.

Осуществите цепочку следующих превращений:



Определите органические вещества А – Г. В ответе укажите объём углекислого газа (л, н.у.), выделяющегося при сгорании 28 г вещества Г. Ответ округлите до десятых.

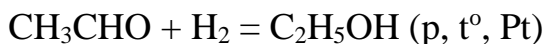
Решение:



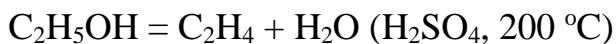
А – ацетилен (этин) C_2H_2



Б – ацетальдегид (этаналь) CH_3CHO

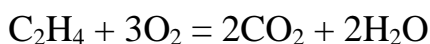


В – этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$



Г – этилен (этен) C_2H_4

$$n(\text{C}_2\text{H}_4) = m/M = 28/28 = 1.0 \text{ моль}$$



$$n(\text{CO}_2) = 2n(\text{C}_2\text{H}_4) = 1.0 \cdot 2 = 2.0 \text{ моль}$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 2.0 \cdot 22.4 = 44.8 \text{ л.}$$

Ответ: 44.8 (10 баллов)

Задание 8.

Рассчитайте теплоту образования аминокислотной кислоты, если при сгорании 37.5 г аминокислотной кислоты выделилось 431.5 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.

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.

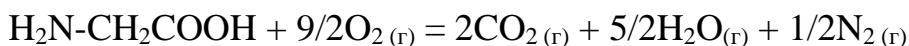


Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

Решение:

$$n(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}) = m/M = 37.5 / 75 = 0.5 \text{ моль}$$

$$Q_C(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}) = Q_f \cdot 2 = 431.5 \cdot 2 = 863 \text{ кДж/моль}$$



$$Q_C(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}) = 2Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_f(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH})$$

(теплоты образования простых веществ равны нулю).

$$Q_f(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}) = 2Q_f(\text{CO}_2) + 5/2 Q_f(\text{H}_2\text{O}) - Q_C(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}) = \\ = 2 \cdot 393.5 + 5/2 \cdot 241.8 - 863 = 528.5 \text{ кДж/моль}$$

Ответ: 528.5 (10 баллов)

Задание 9.

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

1. гидрокарбонат натрия
2. оксид бария
3. сульфид натрия
4. хлорид меди (II)
5. гидроксид бора
6. гидроксид лития

Решение:



Гидроксид лития и гидроксид бария – сильные основания, в их растворах рН будет максимальным. Так как при диссоциации гидроксида бария образуется два гидроксид иона, а при диссоциации гидроксида лития –

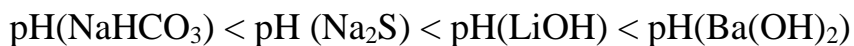


Многопрофильная
олимпиада РТУ МИРЭА
Отборочный этап
Химия 11 класс
Вариант № 5

один, рН раствора гидроксида бария будет больше при одинаковых концентрациях этих гидроксидов.

Протолиз сульфида и гидрокарбоната обратим. Константа гидролиза для сульфида ($K_r = K_b/K_k(\text{HS}^-) = 10^{-14}/10^{-13} = 10^{-1}$) больше константы гидролиза для гидрокарбоната ($K_r = K_b/K_k(\text{H}_2\text{CO}_3) = 10^{-14}/10^{-7} = 10^{-7}$), поэтому рН в растворе сульфида будет больше, чем в растворе гидрокарбоната. (Гидрокарбонат натрия – амфолит, протолиз по основному типу преобладает над протолизом по кислотному).

Таким образом,



Ответ: 2631 (10 баллов)