



МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

*олимпиады школьников
«ЛОМОНОСОВ»
по химии*

2015/2016 учебный год

**Олимпиада «Ломоносов»
по химии, 2016 год**

**Заочный (отборочный)
этап**

10-11 классы

I тур

Задание №1

1.1. Приведите по одному соединению, в которых азот проявляет высшую и низшую степени окисления, укажите степень окисления азота в этих соединениях. (4 балла)

Решение.

Один из возможных вариантов:

HNO_3 , степень окисления азота +5

NH_4 , степень окисления азота -3

1.2. Приведите по одному соединению, в которых сера проявляет высшую и низшую степени окисления, укажите степень окисления серы в этих соединениях. (4 балла)

Решение.

Один из возможных вариантов:

H_2SO_4 , степень окисления серы +6

H_2S , степень окисления серы -2

1.3. Приведите по одному соединению, в которых кислород проявляет высшую и низшую степени окисления, укажите степень окисления кислорода в этих соединениях. (4 балла)

Решение.

Один из возможных вариантов:

OF_2 , степень окисления кислорода +2

H_2O , степень окисления кислорода -2

1.4. Приведите по одному веществу, в которых хром проявляет высшую и низшую степени окисления, укажите степень окисления хрома в этих соединениях.

Решение.

Один из возможных вариантов:

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, степень окисления хрома +6

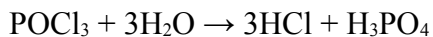
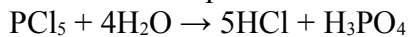
Cr , степень окисления хрома 0

Задание №2

2.1. Приведите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и фосфорная кислоты. (5 баллов)

Решение.

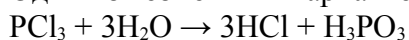
Возможные варианты:



2.2. Приведите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и фосфористая кислоты. (5 баллов)

Решение.

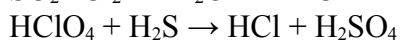
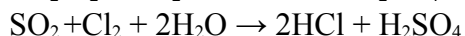
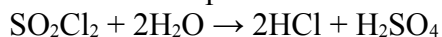
Один из возможных вариантов:



2.3. Приведите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и серная кислоты. (5 баллов)

Решение.

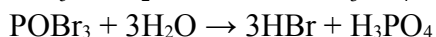
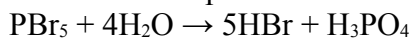
Возможные варианты:



2.4. Приведите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются фосфорная и бромоводородная кислоты. (5 баллов)

Решение.

Возможные варианты:



Задание №3

3.1. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого при одинаковых условиях больше, чем у первого члена гомологического ряда алканов, но меньше, чем у первого члена гомологического ряда алкинов. (6 баллов)

Решение. Плотность газа прямо пропорциональна его молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Первый член гомологического ряда алканов – метан CH_4 с молярной массой 16 г/моль, а первый член гомологического ряда алкинов – ацетилен C_2H_2 с молярной массой 26 г/моль. Подходящим простым веществом является неон Ne (20 г/моль).

Ответ: Ne .

3.2. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого при одинаковых условиях больше, чем у второго члена гомологического ряда предельных аминов, но меньше, чем у четвертого члена гомологического ряда алканов. (6 баллов)

Решение. Плотность газа прямо пропорциональна его молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Второй член гомологического ряда предельных аминов – этиламин $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ с молярной массой 45 г/моль, а четвертый член гомологического ряда алканов – бутан C_4H_{10} с молярной массой 58 г/моль. Подходящим простым веществом является озон O_3 (48 г/моль).

Ответ: O_3 .

3.3. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого при одинаковых условиях больше, чем у первого члена гомологического ряда предельных аминов, но меньше, чем у второго члена гомологического ряда алкинов. (6 баллов)

Решение. Плотность газа прямо пропорциональна его молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Первый член гомологического ряда предельных аминов – метиламин CH_3NH_2 с молярной массой 31 г/моль, а второй член гомологического ряда алкинов – пропин C_3H_4 с молярной массой 40 г/моль. Подходящими простыми веществами – газами являются кислород O_2 (32 г/моль) и фтор F_2 (38 г/моль).

Ответ: O_2 и F_2 .

3.4. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого при одинаковых условиях больше, чем у первого члена гомологического ряда алкинов, но меньше, чем у первого члена гомологического ряда циклоалканов. (6 баллов)

Решение. Плотность газа прямо пропорциональна его молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Первый член гомологического ряда алкинов – ацетилен C_2H_2 с молярной массой 26 г/моль, а первый член гомологического ряда циклоалканов – циклопропан C_3H_6 с

молярной массой 42 г/моль. Подходящими простыми веществами являются кислород O_2 (32 г/моль), фтор F_2 (38 г/моль) и аргон Ar (40 г/моль).

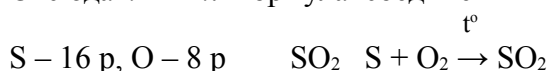
Ответ: O_3 , F_2 или Ar.

Задание №4

4.1. При реакции двух простых веществ, образованных элементами одной группы периодической системы, образуется соединение, в молекуле которого число протонов в атоме одного элемента в 2 раза больше, чем в атоме другого, но общее число протонов в атомах первого элемента равно общему числу протонов в атомах второго. Установите формулы веществ, напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Пусть элемент А содержит $2x$ протонов, тогда элемент В содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение A_mB_n , в котором $2xm = xn$.

Отсюда $n = 2m$. Формула соединения AB_2 .

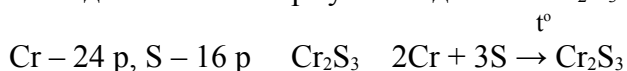


Ответ: SO_2 .

4.2. При реакции двух простых веществ, образованных элементами одной группы периодической системы, образуется соединение, в молекуле которого число протонов в атоме одного элемента в 1.5 раза больше, чем в атоме другого, но общее число протонов в атомах первого элемента равно общему числу протонов в атомах второго. Установите формулы веществ, напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Пусть элемент А содержит $1.5x$ протонов, тогда элемент В содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение A_mB_n , в котором $1.5xm = xn$.

Отсюда $n = 1.5m$. Формула соединения A_2B_3 .

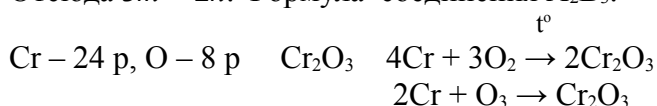


Ответ: Cr_2S_3 .

4.3. При реакции двух простых веществ, образованных элементами одной группы периодической системы, образуется соединение, в молекуле которого число протонов в атоме одного элемента в 3 раза больше, чем в атоме другого, но общее число протонов в атомах первого элемента в 2 раза больше общего числа протонов в атомах второго. Установите формулы веществ, напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Пусть элемент А содержит $3x$ протонов, тогда элемент В содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение A_mB_n , в котором $3xm / xn = 2$.

Отсюда $3m = 2n$. Формула соединения A_2B_3 .



Ответ: Cr_2O_3 .

4.4. При реакции двух простых веществ, образованных элементами одной группы периодической системы, образуется соединение, в молекуле которого число протонов в атоме одного элемента в 2 раза больше, чем в атоме другого, но общее число протонов в атомах первого элемента в 1.5 раза меньше общего числа протонов в атомах второго. Установите формулы веществ, напишите уравнение реакции. (6 баллов)

Решение. Пусть элемент А содержит $2x$ протонов, тогда элемент В содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение A_mB_n , в котором $xn/2xm = 1.5$.

Отсюда $n = 3m$. Формула соединения AB_3 .

S – 16 p, O – 8 p SO_3 $S + O_3 \rightarrow SO_3$

Ответ: SO_3 .

Задание №5

5.1. Порция некоторого газообразного углеводорода при 60°C и 735 мм рт. ст. занимает объем 21.2 л. В этой порции содержится $5.8695 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение данного углеводорода. **(8 баллов)**

Решение.

Количество углеводорода в этой порции:

$$n(C_xH_y) = PV/RT = (101.3 \text{ кПа} \cdot 735 \text{ мм} / 760 \text{ мм}) \cdot 21.2 \text{ л} / (8.314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot (273+60)) = 0.75 \text{ моль.}$$

Количество атомов:

$$n(\text{атомов}) = N / N_A = 5.8695 \cdot 10^{24} / 6.02 \cdot 10^{23} = 9.75 \text{ моль}$$

Таким образом, на 0.75 моль молекул C_xH_y приходится 9.75 моль атомов углерода и водорода, а на 1 моль молекул – $9.75 / 0.75 = 13$ моль атомов.

Возможные варианты.

Первое условие $x + y = 13$.

Если это алкан C_xH_{2x+2} , то $x = 3.67$ – такого быть не может (должно быть целое число)

если алкен C_xH_{2x} , то $x = 4.33$ такого быть не может

если алкин C_xH_{2x-2} , то $x = 5$ возможная формула C_5H_8 (пентин, пентадиен, циклопентен)

если C_xH_{2x-4} , то $x = 5.67$ такого быть не может

если C_xH_{2x-6} , то $x = 6.33$ такого быть не может

если C_xH_{2x-8} , то $x = 7$ возможная формула C_7H_6

5.2. Порция некоторого газообразного углеводорода при 70°C и 1.1 атм занимает объем 8.96 л. В этой порции содержится $2.5284 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение данного углеводорода. **(8 баллов)**

Решение.

Количество углеводорода в этой порции:

$$n(C_xH_y) = PV/RT = (101.3 \text{ кПа} \cdot 1,1 \text{ атм}) \cdot 8,96 \text{ л} / (8.314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot (273+70)) = 0.35 \text{ моль.}$$

Количество атомов:

$$n(\text{атомов}) = N / N_A = 2.5284 \cdot 10^{24} / 6.02 \cdot 10^{23} = 4.2 \text{ моль}$$

Таким образом, на 0.35 моль молекул C_xH_y приходится 4.2 моль атомов углерода и водорода, а на 1 моль молекул – $4.2 / 0.35 = 12$ моль атомов.

Возможные варианты.

Первое условие $x + y = 12$.

Если это алкан C_xH_{2x+2} , то $x = 3.33$ – такого быть не может (должно быть целое число)

если алкен C_xH_{2x} , то $x = 4$ возможная формула C_4H_{12} (бутен, циклобутан)

если алкин C_xH_{2x-2} , то $x = 4.67$

если C_xH_{2x-4} , то $x = 5.33$ такого быть не может

если C_xH_{2x-6} , то $x = 6$ возможная формула C_6H_6 (бензол)

если C_xH_{2x-8} , то $x = 6.67$ такого быть не может

5.3. Порция некоторого газообразного углеводорода при 80°C и 720 мм рт. ст. занимает объем 13.76 л. В этой порции содержится $4.0635 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение данного углеводорода. **(8 баллов)**

Решение

Количество углеводорода в этой порции:

$$n(C_xH_y) = PV/RT = (101.3 \text{ кПа} \cdot 720 \text{ мм} / 760 \text{ мм}) \cdot 13.76 \text{ л} / (8.314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot (273+80)) =$$

= 0.45 моль.

Количество атомов:

$$n(\text{атомов}) = N / N_A = 4.0635 \cdot 10^{24} / 6.02 \cdot 10^{23} = 6.75 \text{ моль}$$

Таким образом, на 0.45 моль молекул C_xH_y приходится 6.75 моль атомов углерода и водорода, а на 1 моль молекул – $6.75 / 0.45 = 15$ моль атомов.

Возможные варианты.

Первое условие $x + y = 15$.

Если это алкан C_xH_{2x+2} , то $x = 4.33$ – такого быть не может (должно быть целое число)

если алкен C_xH_{2x} , то $x = 5$ возможная формула C_5H_{10} (пентен, циклопентан)

если алкин C_xH_{2x-2} , то $x = 5.67$ такого быть не может

если C_xH_{2x-4} , то $x = 6.33$ такого быть не может

если C_xH_{2x-6} , то $x = 7$ возможная формула C_7H_8

5.4. Порция некоторого газообразного углеводорода при 30°C и 0.95 атм занимает объем 7.33 л. В этой порции содержится $1.6856 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение данного углеводорода. **(8 баллов)**

Решение

Найдем количество углеводорода в этой порции:

$$n(C_xH_y) = PV/RT = (101.3 \text{ кПа} \cdot 0.95 \text{ атм}) \cdot 7.33 \text{ л} / (8.314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot (273+30)) =$$

$$= 0.28 \text{ моль.}$$

Количество атомов:

$$n(\text{атомов}) = N / N_A = 1.6856 \cdot 10^{24} / 6.02 \cdot 10^{23} = 2.8 \text{ моль}$$

Таким образом, на 0.28 моль молекул C_xH_y приходится 2.8 моль атомов углерода и водорода, а на 1 моль молекул – $2.8 / 0.28 = 10$ моль атомов.

Возможные варианты.

Первое условие $x + y = 10$.

Если это алкан C_xH_{2x+2} , то $x = 2.67$ – такого быть не может (должно быть целое число)

если алкен C_xH_{2x} , то $x = 3.33$ такого быть не может

если алкин C_xH_{2x-2} , то $x = 4$ возможная формула C_4H_6 (бутин, бутадиен)

если C_xH_{2x-4} , то $x = 4.67$ такого быть не может

если C_xH_{2x-6} , то $x = 5.33$ такого быть не может

если C_xH_{2x-8} , то $x = 6$ возможная формула C_6H_4

Задание №6

6.1. В реакции $A + B = C$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 500 К и давлении 1 атм, установилось равновесие. Равновесные количества веществ А, В и С оказались равны 1.00 моль, 3.00 моль и 2.00 моль соответственно. При изменении давления в системе до 2 атм при постоянной температуре в системе снова установилось равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ А, В и С. (12 баллов)

Решение. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления веществ, равна

$$K_p = \frac{p_C}{p_A \cdot p_B}.$$

Парциальные давления веществ равны

$$p_A = x_A \cdot p, \quad p_B = x_B \cdot p, \quad p_C = x_C \cdot p,$$

где p – общее давление, x_A , x_B , x_C – мольные доли веществ, которые равны

$$x_A = \frac{n_A}{n}, \quad x_B = \frac{n_B}{n}, \quad x_C = \frac{n_C}{n},$$

где n – общее число молей веществ.

Подставляя в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{p_C}{p_A \cdot p_B} = \frac{x_C \cdot p}{x_A \cdot p \cdot x_B \cdot p} = \frac{\frac{n_C}{n} \cdot p}{\frac{n_A}{n} \cdot p \cdot \frac{n_B}{n} \cdot p} = \frac{n_C \cdot n}{n_A \cdot n_B \cdot p}.$$

Общее число молей веществ равно

$$n = n_A + n_B + n_C = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ моль.}$$

Подставляя числа, получаем:

$$K_p = \frac{n_C \cdot n}{n_A \cdot n_B \cdot p} = \frac{2 \cdot 6}{1 \cdot 3 \cdot 1} = 4 \text{ атм}^{-1}.$$

Пусть после изменения давления прореагировало x моль. Тогда равновесные числа молей веществ равны:

$$n_A = 1 - x, \quad n_B = 3 - x, \quad n_C = 2 + x,$$

а общее число молей веществ равно

$$n = n_A + n_B + n_C = 6 - x.$$

Подставляя эти значения в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{n_C \cdot n}{n_A \cdot n_B \cdot p} = \frac{(2+x) \cdot (6-x)}{(1-x) \cdot (3-x) \cdot 2} = 4.$$

Решая полученное квадратное уравнение, получаем $x = 0.367$ моль. Тогда равновесные количества веществ А, В и С равны:

$$n_A = 0.633 \text{ моль}, \quad n_B = 2.633 \text{ моль}, \quad n_C = 2.367 \text{ моль.}$$

Ответ: $n_A = 0.633$ моль, $n_B = 2.633$ моль, $n_C = 2.367$ моль.

6.2. В реакции $A = B + C$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 600 К и давлении 2 атм, установилось равновесие. Равновесные количества веществ А, В и С оказались равны 1.00 моль, 2.00 моль и 3.00 моль соответственно. При изменении давления в системе до 3 атм при постоянной температуре в системе снова установилось равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ А, В и С. (12 баллов)

Решение. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления веществ, равна

$$K_p = \frac{p_B \cdot p_C}{p_A}.$$

Парциальные давления веществ равны

$$p_A = x_A \cdot p, \quad p_B = x_B \cdot p, \quad p_C = x_C \cdot p,$$

где p – общее давление, x_A , x_B , x_C – мольные доли веществ, которые равны

$$x_A = \frac{n_A}{n}, \quad x_B = \frac{n_B}{n}, \quad x_C = \frac{n_C}{n},$$

где n – общее число молей веществ.

Подставляя в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{p_B \cdot p_C}{p_A} = \frac{x_B \cdot p \cdot x_C \cdot p}{x_A \cdot p} = \frac{\frac{n_B}{n} \cdot p \cdot \frac{n_C}{n} \cdot p}{\frac{n_A}{n} \cdot p} = \frac{n_B \cdot n_C \cdot p}{n_A \cdot n}.$$

Общее число молей веществ равно

$$n = n_A + n_B + n_C = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ моль.}$$

Подставляя числа, получаем:

$$K_p = \frac{n_B \cdot n_C \cdot p}{n_A \cdot n} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{1 \cdot 6} = 2 \text{ атм.}$$

Пусть после изменения давления прореагировало x моль. Тогда равновесные числа молей веществ равны:

$$n_A = 1 + x, \quad n_B = 2 - x, \quad n_C = 3 - x,$$

а общее число молей веществ равно

$$n = n_A + n_B + n_C = 6 - x.$$

Подставляя эти значения в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{n_B \cdot n_C \cdot p}{n_A \cdot n} = \frac{(2-x) \cdot (3-x) \cdot 3}{(1+x) \cdot (6-x)} = 2.$$

Решая полученное квадратное уравнение, получаем $x = 0.253$ моль. Тогда равновесные количества веществ А, В и С равны:

$$n_A = 1.253 \text{ моль, } n_B = 1.747 \text{ моль, } n_C = 2.747 \text{ моль.}$$

Ответ: $n_A = 1.253$ моль, $n_B = 1.747$ моль, $n_C = 2.747$ моль.

6.3. В реакции $D + E = F$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 700 К и давлении 3 атм, установилось равновесие. Равновесные количества веществ D, E и F оказались равны 2.00 моль, 3.00 моль и 4.00 моль соответственно. При изменении давления в системе до 5 атм при постоянной температуре в системе снова установилось равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ D, E и F. (12 баллов)

Решение. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления веществ, равна

$$K_p = \frac{p_F}{p_D \cdot p_E}.$$

Парциальные давления веществ равны

$$p_D = x_D \cdot p, \quad p_E = x_E \cdot p, \quad p_F = x_F \cdot p,$$

где p – общее давление, x_D , x_E , x_F – мольные доли веществ, которые равны

$$x_D = \frac{n_D}{n}, \quad x_E = \frac{n_E}{n}, \quad x_F = \frac{n_F}{n},$$

где n – общее число молей веществ.

Подставляя в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{p_F}{p_D \cdot p_E} = \frac{x_F \cdot p}{x_D \cdot p \cdot x_E \cdot p} = \frac{\frac{n_F}{n} \cdot p}{\frac{n_D}{n} \cdot p \cdot \frac{n_E}{n} \cdot p} = \frac{n_F \cdot n}{n_D \cdot n_E \cdot p}.$$

Общее число молей веществ равно

$$n = n_D + n_E + n_F = 2 + 3 + 4 = 9 \text{ моль.}$$

Подставляя числа, получаем:

$$K_p = \frac{n_C \cdot n}{n_A \cdot n_B \cdot p} = \frac{4 \cdot 9}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 2 \text{ атм}^{-1}.$$

Пусть после изменения давления прореагировало x моль. Тогда равновесные числа молей веществ равны:

$$n_A = 2 - x, \quad n_B = 3 - x, \quad n_C = 4 + x,$$

а общее число молей веществ равно

$$n = n_A + n_B + n_C = 9 - x.$$

Подставляя эти значения в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{n_F \cdot n}{n_D \cdot n_E \cdot p} = \frac{(4+x) \cdot (9-x)}{(2-x) \cdot (3-x) \cdot 5} = 2.$$

Решая полученное квадратное уравнение, получаем $x = 0.483$ моль. Тогда равновесные количества веществ D, E и F равны:

$$n_D = 1.517 \text{ моль}, \quad n_E = 2.517 \text{ моль}, \quad n_F = 4.483 \text{ моль.}$$

Ответ: $n_D = 1.517$ моль, $n_E = 2.517$ моль, $n_F = 4.483$ моль.

6.4. В реакции $D = E + F$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 800 К и давлении 6 атм, установилось равновесие. Равновесные количества веществ D, E и F оказались равны 2.00 моль, 3.00 моль и 4.00 моль соответственно. При изменении давления в системе до 9 атм при постоянной температуре в системе снова установилось равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ D, E и F. (12 баллов)

Решение. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления веществ, равна

$$K_p = \frac{p_E \cdot p_F}{p_D}.$$

Парциальные давления веществ равны

$$p_D = x_D \cdot p, \quad p_E = x_E \cdot p, \quad p_F = x_F \cdot p,$$

где p – общее давление, x_D , x_E , x_F – мольные доли веществ, которые равны

$$x_D = \frac{n_D}{n}, \quad x_E = \frac{n_E}{n}, \quad x_F = \frac{n_F}{n},$$

где n – общее число молей веществ.

Подставляя в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{p_E \cdot p_F}{p_D} = \frac{x_E \cdot p \cdot x_F \cdot p}{x_D \cdot p} = \frac{\frac{n_E}{n} \cdot p \cdot \frac{n_F}{n} \cdot p}{\frac{n_D}{n} \cdot p} = \frac{n_E \cdot n_F \cdot p}{n_D \cdot n}.$$

Общее число молей веществ равно

$$n = n_D + n_E + n_F = 2 + 3 + 4 = 9 \text{ моль.}$$

Подставляя числа, получаем:

$$K_p = \frac{n_E \cdot n_F \cdot p}{n_D \cdot n} = \frac{3 \cdot 4 \cdot 6}{2 \cdot 9} = 4 \text{ атм.}$$

Пусть после изменения давления прореагировало x моль. Тогда равновесные числа молей веществ равны:

$$n_D = 2 + x, \quad n_E = 3 - x, \quad n_F = 4 - x,$$

а общее число молей веществ равно

$$n = n_D + n_E + n_F = 9 - x.$$

Подставляя эти значения в выражение для константы равновесия, получаем:

$$K_p = \frac{n_E \cdot n_F \cdot p}{n_D \cdot n} = \frac{(3-x) \cdot (4-x) \cdot 9}{(2+x) \cdot (9-x)} = 4.$$

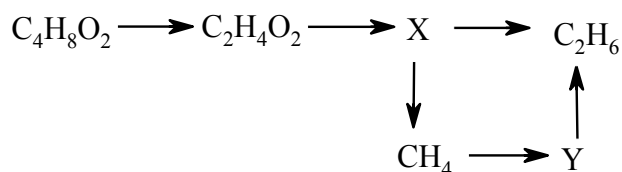
Решая полученное квадратное уравнение, получаем $x = 0.421$ моль. Тогда равновесные количества веществ D, E и F равны:

$$n_D = 2.421 \text{ моль, } n_E = 2.579 \text{ моль, } n_F = 3.579 \text{ моль.}$$

Ответ: $n_D = 2.421$ моль, $n_E = 2.579$ моль, $n_F = 3.579$ моль.

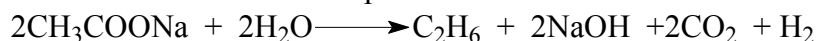
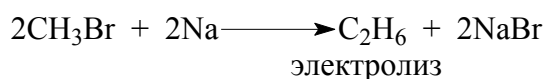
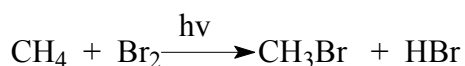
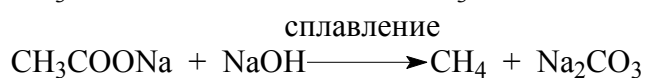
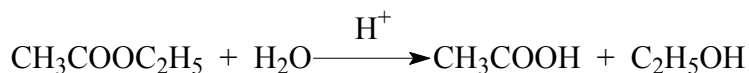
Задание №7

7.1. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующим превращениям, приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.

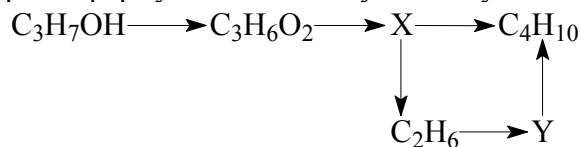


(12 баллов)

Решение. X = CH₃COONa, Y = CH₃Br

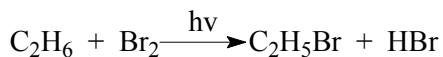
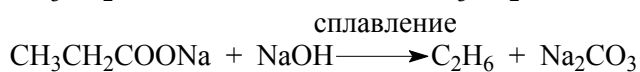
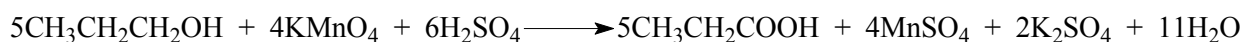


7.2. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующим превращениям, приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.

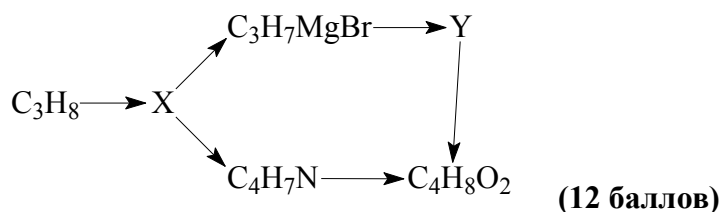


(12 баллов)

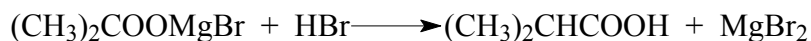
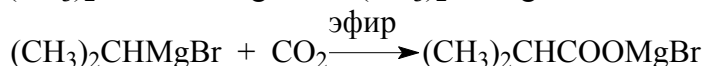
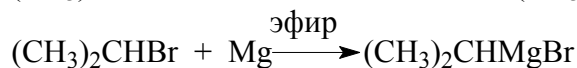
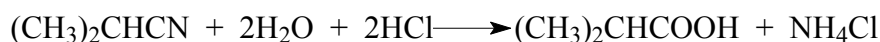
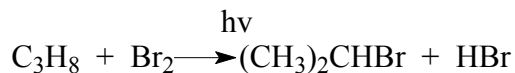
Решение: X = C₂H₅COONa, Y = C₂H₅Br



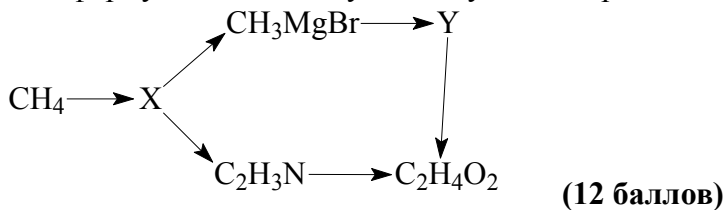
7.3. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующим превращениям, приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.



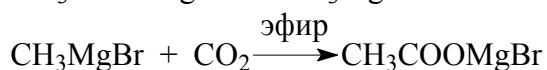
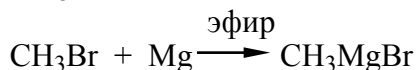
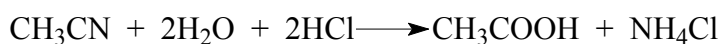
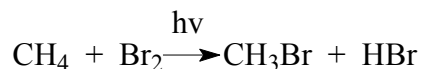
Решение. X = (CH₃)₂CHBr, Y = (CH₃)₂CHCOOMgBr



7.4. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующим превращениям, приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.



Решение. X=CH₃Br, Y=CH₃COOMgBr

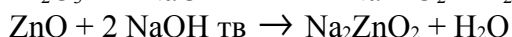
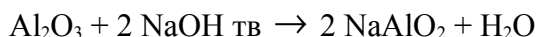


Задание №8

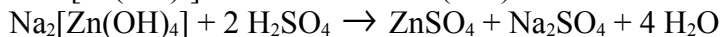
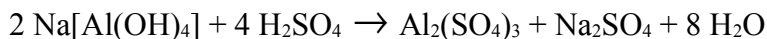
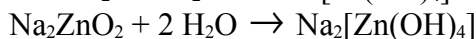
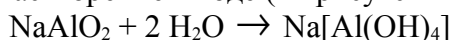
8.1. Разделение смеси оксидов алюминия и цинка на индивидуальные соединения проводилось по описанной ниже схеме. Смесь оксидов была сплавлена с избытком твердого гидроксида натрия. Полученный плав растворили в воде, затем обработали 20%-ной серной кислотой. К образовавшемуся раствору добавили избыток раствора аммиака. Выпавший при этом осадок X отделили. В оставшийся аммиачный раствор пропустили ток сероводорода, при этом выпал осадок Y. Напишите уравнения всех реакций, определите состав X и Y. Предложите способы получения из X и Y безводного хлорида алюминия и металлического цинка. **(15 баллов)**

Решение.

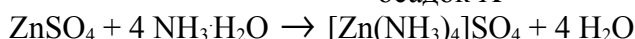
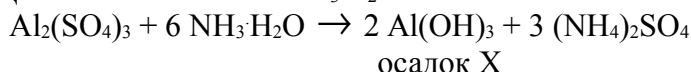
1) Сплавление:



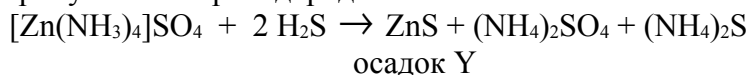
2) Растворение в воде (в присутствии щелочи) и последующая обработка 20%-ной H_2SO_4 :



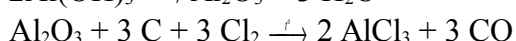
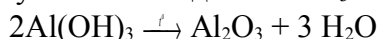
4) Добавление избытка $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$:



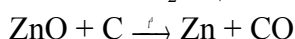
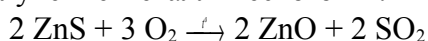
5) Пропускание сероводорода:



Получение безводного AlCl_3 :



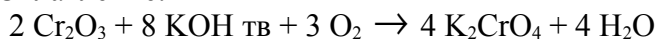
Получение металлического Zn:

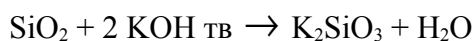


8.2. Разделение смеси оксидов кремния и хрома (III) на индивидуальные соединения проводилось по описанной ниже схеме. Смесь оксидов была сплавлена в токе кислорода с избытком твердого гидроксида калия. Полученный плав растворили в воде, а затем обработали 20%-ной серной кислотой. Выпавший при этом осадок X отделили. В оставшийся серноокислый раствор сначала пропустили ток оксида серы (IV), а затем добавили избыток раствора карбоната натрия, при этом выпал осадок Y. Напишите уравнения всех реакций, определите состав X и Y. Предложите способы получения из X и Y силана и безводного хлорида хрома (III). **(15 баллов)**

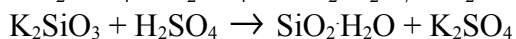
Решение.

1) Сплавление:



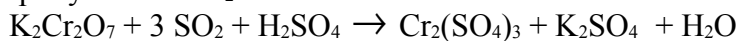


2) Растворение в воде (хром и кремний при этом остаются в виде K_2CrO_4 и K_2SiO_3 , т.к. раствор щелочной) и последующая обработка 20%-ной H_2SO_4 :

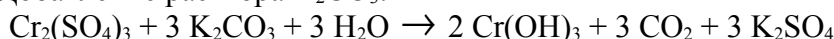


осадок X

3) Пропускание SO_2 :

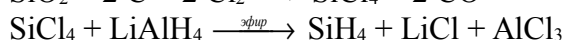
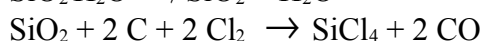
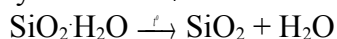


4) Добавление раствора K_2CO_3 :

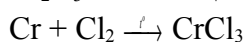
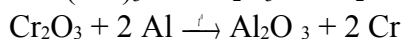
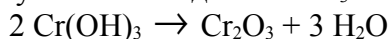


осадок Y

Получение SiH_4 :



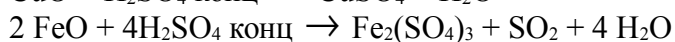
Получение безводного CrCl_3 :



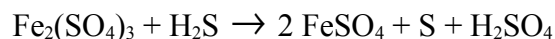
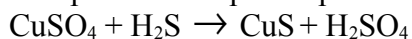
8.3. Разделение смеси оксидов меди (II) и железа (II) на индивидуальные соединения проводилось по описанной ниже схеме. Смесь оксидов была обработана при нагревании концентрированной серной кислотой. Полученный раствор разбавили водой (до концентрации кислоты ~ 1 моль/л) и пропустили в него ток сероводорода. Выпавший при этом осадок X отделили. В оставшийся раствор сначала пропустили ток хлора, а затем добавили избыток раствора карбоната натрия, при этом выпал осадок Y. Напишите уравнения всех реакций, определите состав X и Y. Предложите способы получения из X и Y металлической меди и безводного хлорида железа (III). **(15 баллов)**

Решение.

1) Обработка серной кислотой:



2) Разбавление водой (медь и железо(III) остаются при этом в том же виде) и пропускание H_2S в сернокислый раствор:

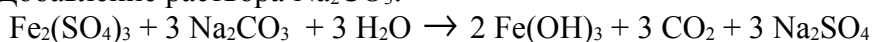


осадок X – смесь CuS и S

3) Пропускание Cl_2 :

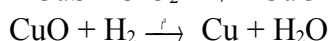
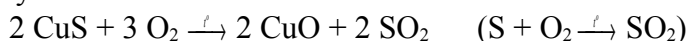


4) Добавление раствора Na_2CO_3 :

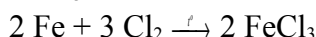
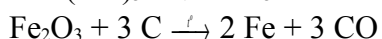
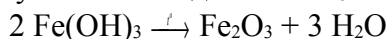


осадок Y

Получение Cu:



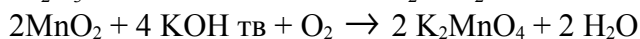
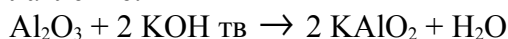
Получение безводного FeCl₃:



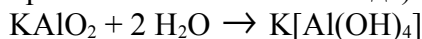
8.4. Разделение смеси оксидов алюминия и марганца (IV) на индивидуальные соединения проводилось по описанной ниже схеме. Смесь оксидов была сплавлена в токе кислорода с избытком твердого гидроксида калия. Полученный плав растворили в воде, а затем обработали 20%-ной серной кислотой. Выпавший при этом осадок X отделили. К сернокислому раствору добавили раствор карбоната калия, при этом выпал осадок Y. Затем в получившийся нейтральный раствор добавили раствор сульфита калия, при этом выпало еще некоторое количество осадка X. Напишите уравнения всех реакций, определите состав X и Y. Предложите способы получения из X и Y металлического алюминия и сульфида марганца. **(15 баллов)**

Решение.

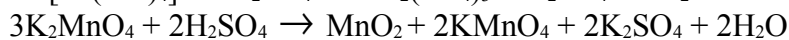
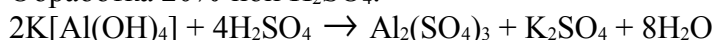
1) Сплавление:



2) Растворение плава в воде в присутствии щелочи (K₂MnO₄ устойчив в щелочном растворе и остается в том же виде):

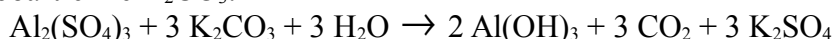


Обработка 20%-ной H₂SO₄:

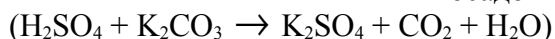


осадок X

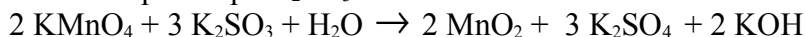
3) Добавление K₂CO₃:



осадок Y

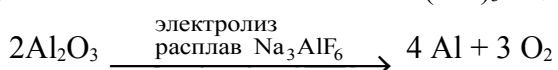


4) Добавление раствора K₂SO₃:

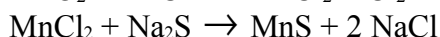


осадок X

Получение металлического Al: $2 \text{Al(OH)}_3 \xrightarrow{t} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$



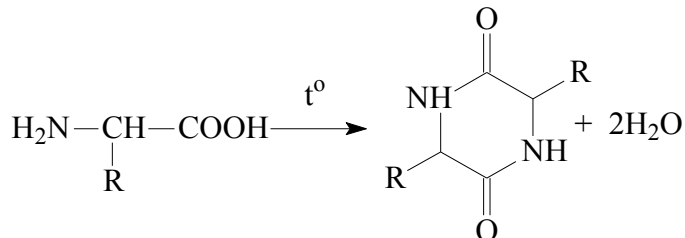
Получение MnS:



Задание №9

9.1. При нагревании 13.35 г неизвестной природной α -аминокислоты до 180°C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 5.58 л газа (измерено при 180°C и нормальном давлении). Определите строение неизвестной аминокислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

Решение. При нагревании неизвестной аминокислоты протекает следующая реакция:



Выделившейся при 180 градусах газ – пары воды. Количество вещества воды равно количеству вещества аминокислоты.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = PV/RT = 101.3 \cdot 5.58 / (8.31 \cdot 453) = 0.15 \text{ моль}$$

$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 13.35 / 0.15 = 89 \text{ г/моль}$$

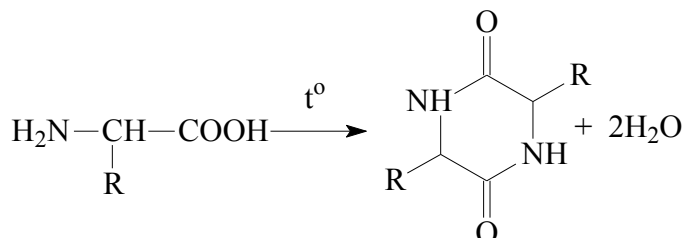
$$M(\text{R}) = 89 - 74 = 15 \text{ г/моль}$$

Следовательно, неизвестная аминокислота – аланин.

Ответ: аланин.

9.2. При нагревании 8.25 г неизвестной природной α -аминокислоты до 180°C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 1.86 л газа (измерено при 180°C и нормальном давлении). Определите строение неизвестной аминокислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

Решение. При нагревании неизвестной аминокислоты протекает следующая реакция:



Выделившейся при 180 градусах газ – пары воды. Количество вещества воды равно количеству вещества аминокислоты.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = PV/RT = 101.3 \cdot 1.86 / (8.31 \cdot 453) = 0.05 \text{ моль}$$

$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0.05 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 8.25 / 0.05 = 165 \text{ г/моль}$$

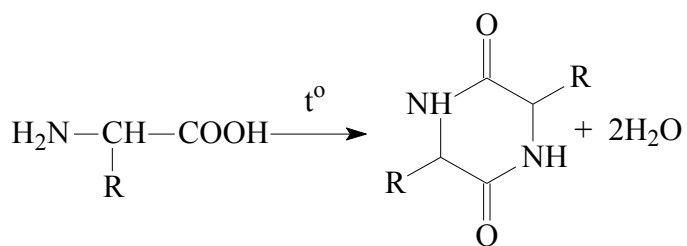
$$M(\text{R}) = 165 - 74 = 91 \text{ г/моль}$$

Следовательно, неизвестная аминокислота – фенилаланин.

Ответ: фенилаланин.

9.3. При нагревании 18.75 г неизвестной природной α -аминокислоты до 180°C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 9.3 л газа (измерено при 180°C и нормальном давлении). Определите строение неизвестной аминокислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (15 баллов)

Решение. При нагревании неизвестной аминокислоты протекает следующая реакция:



Выделившейся при 180 градусах газ – пары воды. Количество вещества воды равно количеству вещества аминокислоты.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = PV/RT = 101.3 \cdot 9.3 / (8.31 \cdot 453) = 0.25 \text{ моль}$$

$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0.25 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 18.75 / 0.25 = 75 \text{ г/моль}$$

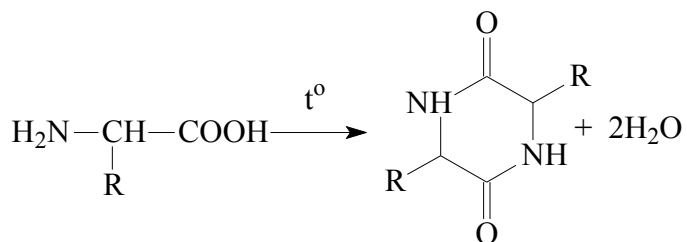
$$M(\text{R}) = 75 - 74 = 1 \text{ г/моль}$$

Следовательно, неизвестная аминокислота – глицин.

Ответ: глицин.

9.4. При нагревании 19.65 г неизвестной природной α -аминокислоты до 180°C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 5.58 л газа (измерено при 180°C и нормальном давлении). Определите строение неизвестной аминокислоты и напишите уравнения протекающих реакций. **(15 баллов)**

Решение. При нагревании неизвестной аминокислоты протекает следующая реакция:



Выделившейся при 180 градусах газ – пары воды. Количество вещества воды равно количеству вещества аминокислоты.

$$v(\text{H}_2\text{O}) = PV/RT = 101.3 \cdot 5.58 / (8.31 \cdot 453) = 0.15 \text{ моль}$$

$$v(\text{аминокислоты}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 19.65 / 0.15 = 131 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{R}) = 131 - 74 = 57 \text{ г/моль}$$

Следовательно, неизвестная аминокислота – лейцин или изолейцин.

Ответ: лейцин или изолейцин.

Задание №10

10.1. Сульфид серебра массой 24.8 г растворили при нагревании в 79.7 мл 63%-ной азотной кислоты (плотность 1.38 г/мл). К полученному раствору добавили 500 г воды и подвергли его электролизу. Электролиз продолжали до выделения на аноде 1.68 л газа (20°C, 1 атм). Определите массу серебра, выделившуюся на катоде и массовые доли веществ, оставшихся в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1.01 г/мл), считая, что второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь. **(16 баллов)**

Решение.



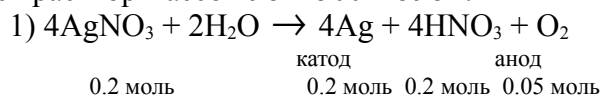
$\nu(\text{Ag}_2\text{S}) = 24.8/248 = 0.1$ моль, $\nu(\text{HNO}_3) = 79.7 \cdot 1.38 \cdot 0.63/63 = 1.1$ моль.

Азотная кислота была взята в избытке: 0.1 моль ее остается в растворе после реакции.

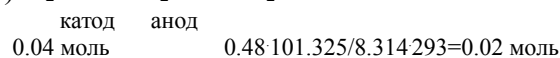
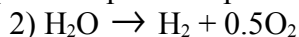
Еще в получившемся растворе – 0.2 моль нитрата серебра и 0.1 моль серной кислоты.

$$m_{\text{р-ра}} = 79.7 \cdot 1.38 + 24.8 - 0.846 = 98 \text{ г.}$$

Электролизу подвергается раствор массой $98 + 500 = 598$ г.



При полном электролитическом разложении 0.2 моль нитрата серебра на катоде выделяется $0.2 \cdot 108 = 21.6$ г серебра, на аноде $0.05 \cdot 8.314 \cdot 293/101.325 = 1.2$ л кислорода. По условию на аноде выделилось на $(1.68 - 1.2) = 0.48$ л кислорода больше. Значит, после полного разложения соли далее при электролизе происходило разложение воды:



$\nu(\text{O}_2) = 0.02$ моль, значит, $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0.04$ моль.

$$m_{\text{р-ра}} \text{ после электролиза} = 598 - 21.6 - 0.05 \cdot 32 - 0.04 \cdot 18 = 574.1 \text{ г.}$$

После электролиза в растворе содержится $(0.1 + 0.2) = 0.3$ моль азотной кислоты и 0.1 моль серной кислоты.

$$\omega(\text{HNO}_3) = 0.3 \cdot 63/574.1 = 0.0329 \text{ (~3.3\%)}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \cdot 98/574.1 = 0.0171 \text{ (~1.7\%)}$$

Считая, что азотная кислота сильная и диссоциирована полностью, а серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени, но в кислом растворе диссоциацией ее по второй ступени можно пренебречь, рассчитаем $\nu(\text{H}^+) = 0.3 + 0.1 = 0.4$ моль. Тогда $c(\text{H}^+) = 0.4 \cdot 1.01 \cdot 1000/574.1 = 0.70$ моль/л.

$$\text{pH} = -\lg(\text{H}^+) = 0.15.$$

Ответ: pH = 0.15.

10.2. Сульфид меди (II) массой 14.4 г растворили при нагревании в 123.2 мл 63%-ной азотной кислоты (плотность 1.38 г/мл). К полученному раствору добавили 550 г воды и подвергли его электролизу. Электролиз продолжали до тех, пор, пока объемы газов, выделившихся на электродах, не стали равны. Определите массу меди, выделившуюся на катоде и массовые доли веществ, оставшихся в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1.01 г/мл), считая, что второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь. **(16 баллов)**

Решение.



0.15 моль 1.5 моль 0.15 моль 0.15 моль 1.2 моль

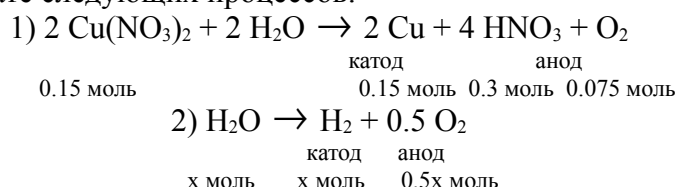
$\nu(\text{CuS}) = 14.4/96 = 0.15$ моль, $\nu(\text{HNO}_3) = 123.2 \cdot 1.38 \cdot 0.63/63 = 1.7$ моль.

Азотная кислота была взята в избытке: 0.2 моль ее остается в растворе после реакции.

Еще в получившемся растворе – 0.15 моль нитрата меди и 0.15 моль серной кислоты.

$$m_{\text{р-ра}} = 123.2 \cdot 1.38 + 14.4 - 1.2 \cdot 46 = 129.2 \text{ г.}$$

Электролизу подвергается раствор массой $129.2 + 550 = 679.2$ г. Газы на катоде и аноде выделяются в результате следующих процессов:



По условию $\nu(\text{O}_2) = \nu(\text{H}_2)$, тогда $(0.075 + 0.5x) = x$, отсюда $x = 0.15$ моль.

При полном электролитическом разложении 0.15 моль нитрата меди на катоде выделяется $0.15 \cdot 64 = 9.6$ г меди. На аноде при этом выделяется 0.075 моль O_2 . Далее разлагается 0.15 моль воды.

$$m_{\text{р-ра}} \text{ после электролиза} = 679.2 - 9.6 - 0.075 \cdot 32 - 0.15 \cdot 18 = 664.5 \text{ г.}$$

После электролиза в растворе содержится $(0.2 + 0.3) = 0.5$ моль азотной кислоты и 0.15 моль серной кислоты.

$$\omega(\text{HNO}_3) = 0.5 \cdot 63 / 664.5 = 0.0474 \text{ (~4.7\%)}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.15 \cdot 98 / 664.5 = 0.0221 \text{ (~2.2\%)}$$

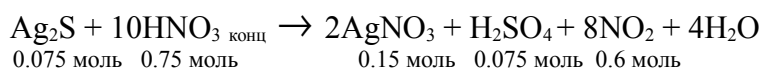
Считая, что азотная кислота сильная и диссоциирована полностью, а серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени, но в кислом растворе диссоциацией ее по второй ступени можно пренебречь, рассчитаем $\nu(\text{H}^+) = 0.5 + 0.15 = 0.65$ моль. Тогда $c(\text{H}^+) = 0.65 \cdot 1.01 \cdot 1000 / 664.5 = 0.99$ моль/л.

$$\text{pH} = -\lg(\text{H}^+) = 0.00.$$

Ответ: pH = 0.

10.3. Сульфид серебра массой 18.6 г растворили при нагревании в 72.5 мл 63%-ной азотной кислоты (плотность 1.38 г/мл). К полученному раствору добавили 450 г воды и подвергли его электролизу. Электролиз продолжали до выделения на катоде 1.20 л газа (20°C , 1 атм). Определите массу серебра, выделившуюся на катоде и массовые доли веществ, оставшихся в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1.01 г/мл), считая, что второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь. **(16 баллов)**

Решение.



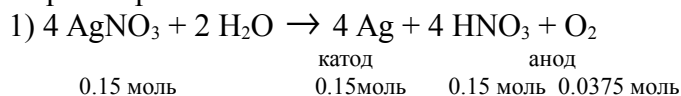
$\nu(\text{Ag}_2\text{S}) = 18.6/248 = 0.075$ моль, $\nu(\text{HNO}_3) = 72.5 \cdot 1.38 \cdot 0.63/63 = 1$ моль.

Азотная кислота была взята в избытке: 0.25 моль ее остается в растворе после реакции.

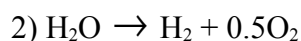
Еще в получившемся растворе – 0.15 моль нитрата серебра и 0.075 моль серной кислоты.

$$m_{\text{р-ра}} = 72.5 \cdot 1.38 + 18.6 - 0.6 \cdot 46 = 91.0 \text{ г.}$$

Электролизу подвергается раствор массой $91.0 + 450 = 541.0$ г.



При полном электролитическом разложении 0.15 моль нитрата серебра на катоде выделяется $0.15 \cdot 108 = 16.2$ г серебра. По условию газ выделялся и на катоде, значит, после полного разложения соли далее при электролизе происходило разложение воды:



катод анод

$v(\text{H}_2) = 1.2 \cdot 101.325 / 8.314 \cdot 293 = 0.05$ моль, значит, и $v(\text{H}_2\text{O}) = 0.05$ моль.

$m_{\text{р-ра}}$ после электролиза = $541 - 16.2 - 0.0375 \cdot 32 - 0.05 \cdot 18 = 522.7$ г.

После электролиза в растворе содержится $(0.25 + 0.15) = 0.4$ моль азотной кислоты и 0.075 моль серной кислоты.

$\omega(\text{HNO}_3) = 0.4 \cdot 63 / 522.7 = 0.0482$ (~4.8%)

$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.075 \cdot 98 / 522.7 = 0.0141$ (~1.4%)

Считая, что азотная кислота сильная и диссоциирована полностью, а серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени, но в кислом растворе диссоциацией ее по второй ступени можно пренебречь, рассчитаем

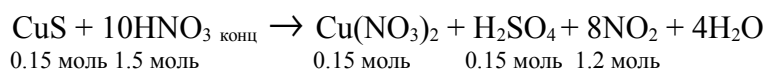
$v(\text{H}^+) = 0.4 + 0.075 = 0.475$ моль. Тогда $c(\text{H}^+) = 0.475 \cdot 1.01 \cdot 1000 / 522.7 = 0.92$ моль/л.

$\text{pH} = -\lg(\text{H}^+) = 0.04$.

Ответ: $\text{pH} = 0.04$.

10.4. Сульфид меди (II) массой 14.4 г растворили при нагревании в 115.9 мл 63%-ной азотной кислоты (плотность 1.38 г/мл). К полученному раствору добавили 450 г воды и подвергли его электролизу. Электролиз продолжали до тех пор, пока объем газа, выделившегося на катоде, не стал равен половине объема газа, выделившегося на аноде. Определите массу меди, выделившуюся на катоде и массовые доли веществ, оставшихся в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1.01 г/мл), считая, что второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь. **(16 баллов)**

Решение.



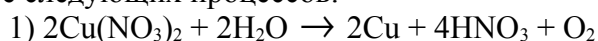
0.15 моль 1.5 моль 0.15 моль 0.15 моль 1.2 моль

$v(\text{CuS}) = 14.4 / 96 = 0.3$ моль. $v(\text{HNO}_3) = 115.9 \cdot 1.38 \cdot 0.63 / 63 = 1.6$ моль.

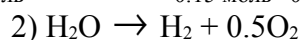
Азотная кислота была взята в избытке: 0.1 моль ее остается в растворе после реакции. Еще в получившемся растворе 0.15 моль нитрата меди и 0.15 моль серной кислоты.

$m_{\text{р-ра}} = 115.9 \cdot 1.38 + 14.4 - 1.2 \cdot 46 = 119.1$ г.

Электролизу подвергается раствор массой $119.1 + 450 = 569.1$ г. Газы на катоде и аноде выделяются в результате следующих процессов:



0.15 моль 0.15 моль 0.3 моль 0.075 моль



катод анод
x моль x моль 0.5x моль

По условию $v(\text{O}_2) = 2v(\text{H}_2)$, тогда $(0.075 + 0.5x) = 2x$, отсюда $x = 0.05$ моль.

При полном электролитическом разложении 0.15 моль нитрата меди на катоде выделяется $0.15 \cdot 64 = 9.6$ г меди. На аноде при этом выделяется 0.075 моль O_2 . Далее разлагается 0.05 моль воды.

$m_{\text{р-ра}}$ после электролиза = $569.1 - 9.6 - 0.075 \cdot 32 - 0.05 \cdot 18 = 556.2$ г.

После электролиза в растворе содержится $(0.1 + 0.3) = 0.4$ моль азотной кислоты и 0.15 моль серной кислоты.

$\omega(\text{HNO}_3) = 0.4 \cdot 63 / 556.2 = 0.0453$ (~4.5%)

$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.15 \cdot 98 / 556.2 = 0.0264$ (~2.6%)

Считая, что азотная кислота сильная и диссоциирована полностью, а серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени, но в кислом растворе диссоциацией ее по второй ступени можно пренебречь, рассчитаем $v(\text{H}^+) = 0.4 + 0.15 = 0.55$ моль. Тогда $c(\text{H}^+) = 0.55 \cdot 1.01 \cdot 1000 / 556.2 = 1.00$ моль/л.

$$\text{pH} = -\lg(\text{H}^+) = 0.0.$$

Ответ: $\text{pH} = 0.$



2015/2016 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ¹

олимпиады школьников

«ЛОМОНОСОВ»

по химии

10-11 классы

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

От 90 баллов включительно и выше.

ПРИЗЁР:

От 68 баллов до 89 баллов включительно.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ (диплом I степени):

От 92 баллов включительно и выше.

ПРИЗЁР (диплом II степени):

От 82 баллов до 91 баллов включительно.

ПРИЗЁР (диплом III степени):

От 75 баллов до 81 баллов включительно.

¹ Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по химии