

# LXXVIII Московская олимпиада школьников по химии

Отборочный этап

2021-2022 уч.год

11 класс

Каждое задание – 10 баллов

Всего за 10 заданий – 100 баллов

## Вариант 1

### Задание 1-1.

Установите соответствие между элементом и количеством неспаренных электронов в атоме этого элемента в основном состоянии.

Элемент:	Количество неспаренных электронов:
1) Калий	А) 0
2) Мышьяк	Б) 1
3) Хром	В) 2
4) Кислород	Г) 3
5) Барий	Д) 4
6) Железо	Е) 5
	Ж) 6

Ответ: 1Б, 2Г, 3Ж, 4В, 5А, 6Д

### Задание 1-2.

Выберите соединения азота, содержащие ковалентную связь между атомами азота:

- 1)  $N_2O$
- 2)  $N_2O_5$
- 3)  $N_2O_3$
- 4)  $NH_4NO_3$
- 5)  $N_2H_4$
- 6)  $HN_3$
- 7)  $N_2O_4$
- 8)  $Ca_3N_2$

Ответ: 13567

### Задание 1-3.

12,4% раствор хлорида кобальта массой 250г подвергли электролизу с инертными электродами в течение 12 часов. Сила тока в ходе процесса составляла 0,4А. Суммарный объем выделившихся газов 2,42л (при н.у.). Определите выход по току для процесса катодного восстановления кобальта. Анодный выход по току примите за 100%. Ответ приведите в процентах, округлите до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

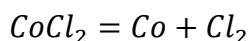
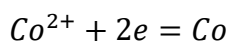
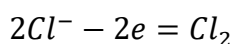
Ответ: 79 (засчитывать значения от 77 до 81)

#### Решение:

По формуле закона Фарадея можно рассчитать количество электронов, прошедших через электролизер:

$$n_{\text{электронов}} = \frac{I \times t}{F} = \frac{0,4 \times 12 \times 3600}{96485} = 0,179 \text{ моль}$$

Для прохождения электролиза хлорида кобальта требуется 2 электрона:



Таким образом, можно найти количество хлорида кобальта, которое может подвергнуться электролизу:

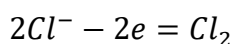
$$n_{CoCl_2 \text{ на электролиз}} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,179}{2} = 0,0895 \text{ моль}$$

А также количество хлорида кобальта, присутствующего изначально в растворе:

$$n_{CoCl_2 \text{ в растворе}} = \frac{m_{CoCl_2}}{M_{CoCl_2}} = \frac{m_{\text{раствора } CoCl_2} \times \omega_{CoCl_2}}{M_{CoCl_2}} = \frac{250 \times 0,124}{130} = 0,238 \text{ моль}$$

Так как количество хлорида кобальта в растворе больше, чем количество соли, которое может подвергнуться электролизу, то за это время электролиз не закончится и часть соли останется. Тогда последующие расчеты стоит вести по  $n_{\text{электронов}}$

Поскольку анодный выход по току равен 100%, то на аноде происходит только окисление хлорид-анионов, тогда можно найти количество вещества хлора:

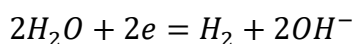
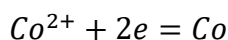


$$n_{Cl_2} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,179}{2} = 0,0895 \text{ моль}$$

Из объема выделившихся газов можно найти их суммарное количество:

$$n_{\text{газов}} = \frac{V_{\text{газов}}}{V_m} = \frac{2,42}{22,4} = 0,108 \text{ моль}$$

Так как выделяется смесь газов, значит также происходит электролиз воды, то есть в ходе электролиза на катоде происходит два процесса:



Количество водорода можно найти как разницу между суммарным количеством газов и количеством хлора:

$$n_{\text{H}_2} = n_{\text{газов}} - n_{\text{Cl}_2} = 0,108 - 0,0895 = 0,0185 \text{ моль}$$

Тогда количество кобальта равно:

$$n_{\text{Co}} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} - n_{\text{H}_2} = \frac{0,179}{2} - 0,0185 = 0,071 \text{ моль}$$

Выход по току для катодного восстановления кобальта рассчитывается как отношение количества образовавшегося кобальта к максимальному количеству соли, которое может подвергнуться электролизу:

$$B_Q = \frac{n_{\text{Co}}}{n_{\text{CoCl}_2 \text{ на электролиз}}} \times 100\% = \frac{0,071}{0,0895} \times 100\% = 79\%$$

#### Задание 1-4.

В 10 пробирок с дистиллированной водой поместили по 1 г следующих 10 солей и встряхнули. Затем определили среду в каждой пробирке. Установите соответствие между солью и средой:

Соль:	Среда:
1) хлорид диспрозия (III)	А) Кислотная
2) дигидроортофосфат бария	Б) Щелочная
3) сульфат олова (II)	В) Нейтральная
4) ацетат натрия	
5) нитрат рубидия	
6) цианид натрия	
7) гидроортофосфат калия	
8) сульфид меди (II)	
9) карбонат цезия	
10) сульфид лития	

Ответ: Среда полученного раствора зависит от растворимости соединения и процессов диссоциации (для кислых солей) и гидролиза.

1А, 2А, 3А, 4Б, 5В, 6Б, 7Б, 8В, 9Б, 10Б

### Задание 1-5.

Расположите следующие азотсодержащие органические соединения в порядке увеличения основности:

- 1) Этиламин
- 2) Диэтиламин
- 3) Пиррол
- 4) Анилин
- 5) Пиридин

Ответ: 34512

### Задание 1-6.

Сосуд объемом 10 л, содержащий 0,1 моль  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ , нагрели до  $80^\circ\text{C}$ . Константа равновесия  $K_p$  для разложения  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  при этой температуре равна 1,36. Определите степень диссоциации  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  в этих условиях. Ответ приведите в процентах с точностью до десятых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (Пример: 27,3)

Ответ: 84,6 (засчитывать варианты от 83 до 85, учесть другие варианты десятичного разделителя)

Решение:

после нагрева колбы по уравнению Менделеева-Клапейрона:  $p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}^0 = \frac{\nu_{\text{SO}_2\text{Cl}_2} RT}{V} =$

$$\frac{0,1 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 353 \text{ К}}{10 \text{ л}} = 29,35 \text{ кПа} = 0,2935 \text{ бар.}$$

Если обозначить за  $\Delta p$  изменение давления  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ , тогда  $p_{\text{SO}_2} = p_{\text{Cl}_2} = \Delta p$ ,  $p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2} = p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}^0 - \Delta p$ . Тогда константа равновесия запишется как:  $K_p = \frac{p_{\text{SO}_2} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}} = \frac{\Delta p^2}{p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}^0 - \Delta p} = \frac{\Delta p^2}{0,2935 - \Delta p} = 1,36 \Rightarrow \Delta p^2 + 1,36\Delta p - 0,399 = 0$ , откуда  $\Delta p = 0,2482 \text{ бар}$ , и степень диссоциации выразится как  $\alpha = \frac{\Delta p}{p_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}^0} =$

$$\frac{0,2482 \text{ бар}}{0,2935 \text{ бар}} = 0,846 = 84,6\%$$

### Задание 1-7.

При термическом разложении 20,2 г нонагидрата нитрата некоторого металла образовалась газовая смесь, занимающая после приведения к нормальным условиям объем 4,2 л. Определите неизвестный металл. В качестве ответа введите символ соответствующего химического элемента. (Пример: Ru)

Ответ: Fe

**Решение:** исходное вещество может быть представлено в виде формулы  $X(NO_3)_n \cdot 9H_2O$ .

Разложение может пойти по разным путям, рассмотрим их.

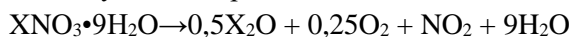
$n = 1$ :



$$n_{\text{газа}} = V/V_m = 4,2 \text{ л} / (22,4 \text{ л/моль}) = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = 2n_{\text{газа}} = 0,375 \text{ моль}$$

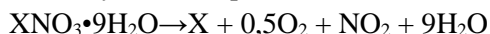
$$M_{\text{нитрата}} = m_{\text{нитрата}} / n_{\text{нитрата}} = 20,2 \text{ г} / 0,375 \text{ моль} = 53,7 \text{ г/моль. } M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -170,3 \text{ г/моль}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,25 = 0,15 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 134,7 \text{ г/моль.}$$

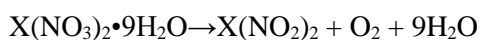
$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,5 = 0,125 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 161,6 \text{ г/моль.}$$

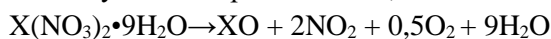
$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.

$n = 2$ :



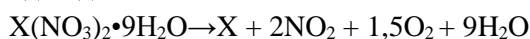
$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1 = 0,1875 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 107,7 \text{ г/моль.}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



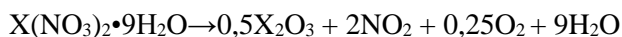
$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2,5 = 0,075 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 269,3 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -16,7 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 3,5 = 0,0536 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 377 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 91 \text{ г/моль. Адекватных совпадений нет (Zr?), значит идём дальше.}$$



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2,25 = 0,0833 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 242,4 \text{ г/моль.}$$

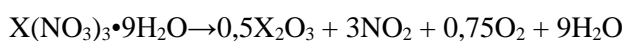
$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -43,6 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2 = 0,09375 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 215,5 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -70,5 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$

$n = 3$ :



$$n_{\text{газов}} = 0,1875 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 3,75 = 0,05 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 404 \text{ г/моль. } M_X$$

$$= M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 3 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 56 \text{ г/моль. Значит } X \text{ - железо (Fe). Остальные варианты не дают адекватных результатов.}$$

### Задание 1-8.

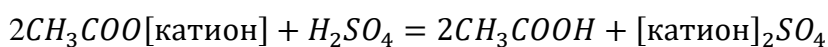
Органическую соль **A** смешали с серной кислотой в соотношении 2:1. При этом получили органические вещества **B** и **B**. Соединение **B** затем нагрели с избытком щелочи, получили горючее газообразное вещество **Г**, содержащее один атом углерода. Определите молярную массу вещества **A**, если известно, что молярная масса вещества **B** в 10 раз

больше молярной массы Г. Ответ приведите с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 91

Решение:

Можно предположить, что А является солью карбоновой кислоты, тогда при обработке серной кислотой образуется сама кислота и сульфат неизвестного катиона. При сплавлении с щелочью карбоновых кислот происходит декарбоксилирование и образуется углеводород. Горючее вещество, содержащее один атом углерода это метан, тогда декарбоксилированию подверглась уксусная кислота, а исходная соль – ацетат. Вещество Г –  $\text{CH}_4$ , молярная масса 16 г/моль, тогда молярная масса В = 160 г/моль. Поскольку на реакцию расходуется 0,5 эквивалента серной кислоты, то катион однозаряден:



Тогда можно найти молярную массу катиона:

$$M_{[\text{катион}]} = \frac{160 - M_{\text{SO}_4}}{2} = 32 \text{ г/моль}$$

Тогда молярная масса А это сумма молярных масс ацетат-аниона и катиона с  $M = 32$  г/моль, получается  $M_A = 32 + 60 = 91$  г/моль

Также можно предположить формулу катиона, поскольку молярная масса катиона четная, то вероятнее всего он содержит один атом азота, а катион образован из замещенного органическими радикалами амина.  $M = 32$  г/моль соответствует  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$  (катион метиламмония), получается вещество В это сульфат метиламмония, а вещество А – ацетат метиламмония.

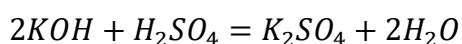
### Задание 1-9.

Определите, какую массу 12,5% раствора серной кислоты нейтрализовали 22,9% раствором гидроксида калия, если в результате охлаждения полученного раствора до  $0^\circ\text{C}$  выделилось 12г кристаллов сульфата калия, а массовая доля  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в оставшемся маточном растворе составила 6,38%. В ответе приведите массу в граммах, с точностью до десятых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 94,9 (засчитывать значения от 93 до 97)

Решение:

Уравнение нейтрализации:



Обозначим за  $x$  количество вещества сульфата калия, образовавшегося по реакции, тогда:

$$n_{K_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{H_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{KOH} = 2x \text{ моль}$$

Тогда масса образовавшегося сульфата калия:

$$m_{K_2SO_4} = n_{K_2SO_4} \times M_{K_2SO_4} = x \times 174 = 174x \text{ г}$$

Так как сульфат калия ограничено растворим в воде, то при охлаждении до  $0^\circ\text{C}$  часть соли выпадает в виде кристаллов, а часть остается в маточном растворе. Масса выпавшего  $K_2SO_4$  известна – 12г, получается масса сульфата калия, оставшегося в маточном растворе на 12г меньше, чем масса сульфата калия, образовавшегося по реакции нейтрализации:

$$m_{K_2SO_4 \text{ (в растворе)}} = m_{K_2SO_4} - m_{K_2SO_4 \text{ (в осадке)}} = 174x - 12 \text{ г}$$

Массовая доля  $K_2SO_4$  тогда:

$$\omega_{K_2SO_4} = \frac{m_{K_2SO_4 \text{ (в растворе)}}}{m_{\text{маточного раствора}}}$$

Массу маточного раствора можно найти как сумму масс растворов  $KOH$  и  $H_2SO_4$  и вычесть массу выпавших кристаллов:

$$m_{\text{маточного раствора}} = m_{\text{раствора } KOH} + m_{\text{раствора } H_2SO_4} - m_{K_2SO_4 \text{ (в осадке)}}$$

Массы растворов можно найти через количества веществ и массовые доли растворов:

$$m_{KOH} = n_{KOH} \times M_{KOH} = 2x \times 40 = 112x$$

$$m_{\text{раствора } KOH} = \frac{m_{KOH}}{\omega_{KOH}} = \frac{112x}{0,229} = 489x$$

$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} \times M_{H_2SO_4} = x \times 98 = 98x$$

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\omega_{H_2SO_4}} = \frac{98x}{0,125} = 784x$$

Тогда можно составить уравнение:

$$\omega_{K_2SO_4} = \frac{m_{K_2SO_4 \text{ (в растворе)}}}{m_{\text{маточного раствора}}} = \frac{174x - 12}{489x + 784x - 12} = 0,0638$$

Откуда  $x = 0,121$ , тогда:

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = 784x = 94,9 \text{ г}$$

### Задание 1-10.

Рассмотрим кинетическую схему  $P_1 \xleftarrow{k_1} A \xrightarrow{k_2} P_2$ . При температуре 50°C продукты  $P_1$  и  $P_2$  образуются в равных количествах. При добавлении катализатора энергия активации первой реакции уменьшается на 3,6 кДж/моль, второй - на 10,3 кДж/моль. Каким будет молярное соотношение продуктов (большого к меньшему) после добавления катализатора? Примите, что кинетика реакций описывается уравнением Аррениуса, а предэкспоненциальные множители остаются неизменными. Ответ приведите с точностью до десятых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (Пример: 75,6)

Ответ: 12,1 (засчитывать значения от 11,5 до 12,7)

**Решение:** запишем уравнения Аррениуса для реакций без катализатора:  $k_1 = A_1 e^{-\frac{Ea_1}{RT}}$ ,  $k_2 = A_2 e^{-\frac{Ea_2}{RT}}$ . Реакции параллельны, значит равенство количеств образующихся продуктов означает равенство соответствующих констант скорости. Значит, можно записать, что  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1 e^{-\frac{Ea_1}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{Ea_2}{RT}}} = 1$ . После добавления катализатора выражения для уравнения Аррениуса

изменяются - энергии активации уменьшатся:  $k'_1 = A_1 e^{-\frac{(Ea_1 - \Delta Ea_1)}{RT}}$ ,  $k'_2 = A_2 e^{-\frac{(Ea_2 - \Delta Ea_2)}{RT}}$ .

Отношение количеств продуктов будет такое же, как отношение констант:  $\frac{[P_2]}{[P_1]} = \frac{k'_2}{k'_1} =$

$$\frac{A_1 e^{-\frac{(Ea_1 - \Delta Ea_1)}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{(Ea_2 - \Delta Ea_2)}{RT}}} = \frac{A_1 e^{-\frac{Ea_1}{RT}} \cdot e^{\frac{\Delta Ea_1}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{Ea_2}{RT}} \cdot e^{\frac{\Delta Ea_2}{RT}}} = 1 \cdot e^{\frac{\Delta Ea_2 - \Delta Ea_1}{RT}} = e^{\frac{6700 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 323 \text{К}}} = 12,1$$



## Вариант 2

### Задание 2-1.

Установите соответствие между элементом и количеством неспаренных электронов в атоме этого элемента в основном состоянии.

Элемент:	Количество неспаренных электронов:
1) Аргон	А) 0
2) Титан	Б) 1
3) Фосфор	В) 2
4) Медь	Г) 3
5) Сера	Д) 4
6) Цинк	Е) 5
	Ж) 6

Ответ: 1А, 2В, 3Г, 4Б, 5В, 6А

### Задание 2-2.

Выберите соединения серы, содержащие ковалентную связь между атомами серы:

- 1)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$
- 2)  $\text{P}_4\text{S}_{10}$
- 3)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$
- 4)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$
- 5)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- 6)  $\text{FeS}_2$
- 7)  $\text{Na}_2\text{S}$
- 8)  $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$

Ответ: 4568

### Задание 2-3.

13,2% раствор хлорида никеля массой 200г подвергли электролизу с инертными электродами в течение 10 часов. Сила тока в ходе процесса составляла 0,34А. Суммарный объем выделившихся газов 1,94л (при н.у.). Определите выход по току для процесса

катодного восстановления никеля. Анодный выход по току примите за 100%. Ответ приведите в процентах, округлите до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

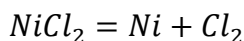
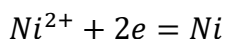
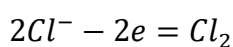
Ответ: 64 (засчитывать значения от 62 до 66)

Решение:

По формуле закона Фарадея можно рассчитать количество электронов, прошедших через электролизер:

$$n_{\text{электронов}} = \frac{I \times t}{F} = \frac{0,34 \times 10 \times 3600}{96485} = 0,127 \text{ моль}$$

Для прохождения электролиза хлорида никеля требуется 2 электрона:



Таким образом, можно найти количество хлорида никеля, которое может подвергнуться электролизу:

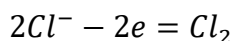
$$n_{NiCl_2 \text{ на электролиз}} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,127}{2} = 0,0635 \text{ моль}$$

А также количество хлорида никеля, присутствующего изначально в растворе:

$$n_{NiCl_2 \text{ в растворе}} = \frac{m_{NiCl_2}}{M_{NiCl_2}} = \frac{m_{\text{раствора } NiCl_2} \times \omega_{NiCl_2}}{M_{NiCl_2}} = \frac{200 \times 0,132}{130} = 0,203 \text{ моль}$$

Так как количество хлорида никеля в растворе больше, чем количество соли, которое может подвергнуться электролизу, то за это время электролиз не закончится и часть соли останется. Тогда последующие расчеты стоит вести по  $n_{\text{электронов}}$

Поскольку анодный выход по току равен 100%, то на аноде происходит только окисление хлорид-анионов, тогда можно найти количество вещества хлора:

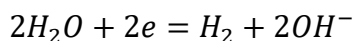
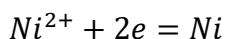


$$n_{Cl_2} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,127}{2} = 0,0635 \text{ моль}$$

Из объема выделившихся газов можно найти их суммарное количество:

$$n_{\text{газов}} = \frac{V_{\text{газов}}}{V_m} = \frac{1,94}{22,4} = 0,0866 \text{ моль}$$

Так как выделяется смесь газов, значит также происходит электролиз воды, то есть в ходе электролиза на катоде происходит два процесса:



Количество водорода можно найти как разницу между суммарным количеством газов и количеством хлора:

$$n_{H_2} = n_{\text{газов}} - n_{Cl_2} = 0,0866 - 0,0635 = 0,0231 \text{ моль}$$

Тогда количество никеля равно:

$$n_{Ni} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} - n_{H_2} = \frac{0,127}{2} - 0,0231 = 0,0404 \text{ моль}$$

Выход по току для катодного восстановления кобальта рассчитывается как отношение количества образовавшегося никеля к максимальному количеству соли, которое может подвергнуться электролизу:

$$B_Q = \frac{n_{Ni}}{n_{NiCl_2 \text{ на электролиз}}} \times 100\% = \frac{0,0404}{0,0635} \times 100\% = 64\%$$

#### Задание 2-4.

В 10 пробирок с дистиллированной водой поместили по 1 г следующих 10 солей и встряхнули. Затем определили среду в каждой пробирке. Установите соответствие между солью и средой:

Соль:	Среда:
1) хлорид скандия (III)	А) Кислотная
2) карбонат натрия	Б) Щелочная
3) селенид лития	В) Нейтральная
4) сульфид ртути (II)	
5) дигидроортофосфат стронция	
6) ацетат бария	
7) нитрат гадолия (III)	
8) бромид аммония	
9) гидроортофосфат натрия	
10) гидрокарбонат рубидия	

Ответ:

Среда полученного раствора зависит от растворимости соединения и процессов диссоциации (для кислых солей) и гидролиза.

1А, 2Б, 3Б, 4В, 5А, 6Б, 7А, 8А, 9Б, 10Б

### Задание 2-5.

Расположите следующие бензойные кислоты в порядке увеличения кислотности:

- 1) Бензойная кислота
- 2) 4-Хлорбензойная кислота
- 3) 3-Хлорбензойная кислота
- 4) 4-Метилбензойная кислота
- 5) 4-Нитробензойная кислота

Ответ: 41235

### Задание 2-6.

В сосуд объемом 5 л при пониженной температуре поместили 16 г  $N_2O_4$ , после чего его нагрели до  $25^\circ C$ . При этой температуре константа равновесия  $K_p$  для димеризации  $NO_2$  равна 8,7. Определите мольную долю  $N_2O_4$  в смеси  $N_2O_4$  —  $NO_2$  после установления равновесия. Ответ приведите в процентах с точностью до десятых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (Пример: 37,2)

Ответ: 71,4 (засчитывать значения от 70 до 73, учесть другие варианты десятичного разделителя)

**Решение:** найдём начальное число молей  $N_2O_4$ :  $v_{N_2O_4}^0 = \frac{m_{N_2O_4}}{M_{N_2O_4}} = \frac{16 \text{ г}}{2 \cdot 14 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + 4 \cdot 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} =$

$0,1739$  моль. Теперь можно найти начальное давление  $N_2O_4$ :  $p_{N_2O_4}^0 = \frac{v_{N_2O_4}^0 RT}{V} =$

$\frac{0,1739 \text{ моль} \cdot 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298 \text{ К}}{5 \text{ л}} = 86,17 \text{ кПа} = 0,8617 \text{ бар}$ . Если обозначить за  $\Delta p$  изменение

давления  $N_2O_4$ , то  $p_{NO_2} = 2\Delta p$ ;  $p_{N_2O_4} = p_{N_2O_4}^0 - \Delta p$ . Тогда константу равновесия димеризации

можно будет записать как:  $K_p = \frac{p_{N_2O_4}}{p_{NO_2}^2} = \frac{p_{N_2O_4}^0 - \Delta p}{4\Delta p^2} = \frac{0,8617 - \Delta p}{4\Delta p^2} = 8,7 \Rightarrow 34,8\Delta p^2 + \Delta p -$

$0,8617 = 0 \Rightarrow \Delta p = 0,1436 \text{ бар} \Rightarrow p_{NO_2} = 2\Delta p = 0,2873 \text{ бар}, p_{N_2O_4} = p_{N_2O_4}^0 - \Delta p =$

$0,8617 \text{ бар} - 0,1436 \text{ бар} = 0,7181 \text{ бар}; \chi_{N_2O_4} = \frac{v_{N_2O_4}}{v_{N_2O_4} + v_{NO_2}} = \frac{p_{N_2O_4}}{p_{N_2O_4} + p_{NO_2}} =$

$\frac{0,7181 \text{ бар}}{0,7181 \text{ бар} + 0,2873 \text{ бар}} = 0,714 = 71,4\%$

### Задание 2-7.

При термическом разложении 45,24 г нонагидрата нитрата некоторого металла образовалась газовая смесь, занимающая после приведения к нормальным условиям объем 9,5 л. Определите неизвестный металл. В качестве ответа введите символ соответствующего химического элемента. (Пример: Rh)

Ответ: Cr

**Решение:** исходное вещество может быть представлено в виде формулы  $X(NO_3)_n \cdot 9H_2O$ .

Разложение может пойти по разным путям, рассмотрим их.

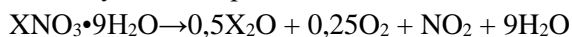
$n = 1$ :



$$n_{\text{газа}} = V/V_m = 9,5 \text{ л} / (22,4 \text{ л/моль}) = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = 2n_{\text{газа}} = 0,8482 \text{ моль}$$

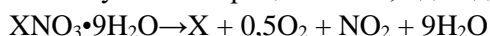
$$M_{\text{нитрата}} = m_{\text{нитрата}} / n_{\text{нитрата}} = 45,24 \text{ г} / 0,8482 \text{ моль} = 53,3 \text{ г/моль. } M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -170,7 \text{ г/моль}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,25 = 0,3393 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 133,3 \text{ г/моль.}$$

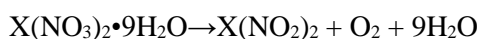
$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,5 = 0,2827 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 160 \text{ г/моль.}$$

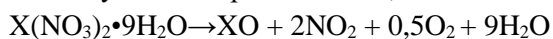
$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.

$n = 2$ :



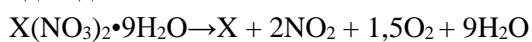
$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1 = 0,4241 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 106,7 \text{ г/моль.}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



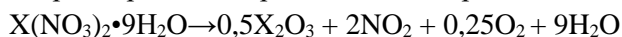
$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2,5 = 0,1696 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 266,7 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -19,3 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 3,5 = 0,1212 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 373,3 \text{ г/моль.}$$

$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 87,4 \text{ г/моль. Адекватных совпадений нет (нитрат стронция не разлагается с образованием свободного металла), значит идём дальше.}$



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2,25 = 0,0833 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 240 \text{ г/моль.}$$

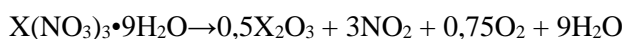
$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -46 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2 = 0,21205 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 213,3 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -72,7 \text{ г/моль. } M_X \text{ получается отрицательной, идём дальше.}$$

$n = 3$ :



$$n_{\text{газов}} = 0,4241 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 3,75 = 0,1131 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 400 \text{ г/моль.}$$

$$M_X = M_{\text{нитрата}} - 9 \cdot 18 \text{ г/моль} - 3 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 52 \text{ г/моль. Значит } X \text{ - хром (Cr). Остальные варианты не дают адекватных результатов.}$$

## Задание 2-8.

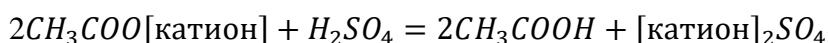
Органическую соль **A** смешали с серной кислотой в соотношении 2:1. При этом получили органические вещества **B** и **B**. Соединение **B** затем нагрели с избытком щелочи и получили горючее газообразное вещество **Г**, содержащее один атом углерода. Определите

молярную массу вещества **A**, если известно, что молярная масса вещества **B** в 13,5 раз больше молярной массы **Г**. Ответ приведите с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 119

Решение:

Можно предположить, что **A** является солью карбоновой кислоты, тогда при обработке серной кислотой образуется сама кислота и сульфат неизвестного катиона. При сплавлении с щелочью карбоновых кислот происходит декарбонирование и образуется углеводород. Горючее вещество, содержащее один атом углерода это метан, тогда декарбонированию подверглась уксусная кислота, а исходная соль – ацетат. Вещество **Г** –  $\text{CH}_4$ , молярная масса 16 г/моль, тогда молярная масса **B** = 216 г/моль. Поскольку на реакцию расходуется 0,5 эквивалента серной кислоты, то катион однозаряден:



Тогда можно найти молярную массу катиона:

$$M_{[\text{катион}]} = \frac{216 - M_{\text{SO}_4}}{2} = 60 \text{ г/моль}$$

Тогда молярная масса **A** это сумма молярных масс ацетат-аниона и катиона с  $M = 60$  г/моль, получается  $M_A = 59 + 60 = 119$  г/моль

Также можно предположить формулу катиона, поскольку молярная масса катиона четная, то вероятнее всего он содержит один атом азота, а катион образован из замещенного органическими радикалами амина.  $M = 60$  г/моль соответствует формуле  $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{N}^+$ , что может быть катионом триметиламмония, метилэтиламмония или пропиламмония, получается вещество **B** это соответствующий сульфат  $(\text{C}_3\text{H}_{10}\text{N})_2\text{SO}_4$ , а вещество **A** – ацетат с формулой  $\text{CH}_3\text{COO}^- \text{C}_3\text{H}_{10}\text{N}^+$ .

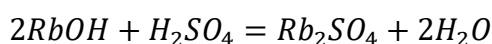
### Задание 2-9.

Определите, какую массу 14,3% раствора серной кислоты нейтрализовали 23,1% раствором гидроксида рубидия, если в результате охлаждения полученного раствора до 0°C выделилось 7 г кристаллов сульфата рубидия, а массовая доля  $\text{Rb}_2\text{SO}_4$  в оставшемся маточном растворе составила 16,4%. В ответе приведите массу в граммах с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 407 (засчитывать значения от 400 до 500)

Решение:

Уравнение нейтрализации:



Обозначим за  $x$  количество вещества сульфата рубидия, образовавшегося по реакции, тогда:

$$n_{Rb_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{H_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{RbOH} = 2x \text{ моль}$$

Тогда масса образовавшегося сульфата рубидия:

$$m_{Rb_2SO_4} = n_{Rb_2SO_4} \times M_{Rb_2SO_4} = x \times 267 = 267x \text{ г}$$

Так как сульфат рубидия ограниченно растворим в воде, то при охлаждении до  $0^\circ\text{C}$  часть соли выпадает в виде кристаллов, а часть остается в маточном растворе. Масса выпавшего  $Rb_2SO_4$  известна – 7г, получается масса сульфата рубидия, оставшегося в маточном растворе на 7г меньше, чем масса сульфата рубидия, образовавшегося по реакции нейтрализации:

$$m_{Rb_2SO_4} \text{ (в растворе)} = m_{Rb_2SO_4} - m_{Rb_2SO_4} \text{ (в осадке)} = 267x - 7 \text{ г}$$

Массовая доля  $Rb_2SO_4$  тогда:

$$\omega_{Rb_2SO_4} = \frac{m_{Rb_2SO_4} \text{ (в растворе)}}{m_{\text{маточного раствора}}}$$

Массу маточного раствора можно найти как сумму масс растворов  $RbOH$  и  $H_2SO_4$  и вычесть массу выпавших кристаллов:

$$m_{\text{маточного раствора}} = m_{\text{раствора } RbOH} + m_{\text{раствора } H_2SO_4} - m_{Rb_2SO_4} \text{ (в осадке)}$$

Массы растворов можно найти через количества веществ и массовые доли растворов:

$$m_{RbOH} = n_{RbOH} \times M_{RbOH} = 2x \times 102 = 204x$$

$$m_{\text{раствора } RbOH} = \frac{m_{RbOH}}{\omega_{RbOH}} = \frac{204x}{0,231} = 883x$$

$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} \times M_{H_2SO_4} = x \times 98 = 98x$$

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\omega_{H_2SO_4}} = \frac{98x}{0,143} = 685x$$

Тогда можно составить уравнение:

$$\omega_{Rb_2SO_4} = \frac{m_{Rb_2SO_4} \text{ (в растворе)}}{m_{\text{маточного раствора}}} = \frac{267x - 7}{883x + 685x - 7} = 0,164$$

Откуда  $x = 0,594$ , тогда:

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = 685x = 407 \text{ г}$$

### Задание 2-10.

Рассмотрим кинетическую схему  $P_1 \xleftarrow{k_1} A \xrightarrow{k_2} P_2$ . При температуре 20°C продукты  $P_1$  и  $P_2$  образуются в отношении 2:1 соответственно. Введение катализатора ускоряет протекание второй реакции, уменьшая её энергию активации, при этом продукты образуются в равных количествах. Насколько уменьшилась энергия активации второй реакции? Примите, что кинетика реакций описывается уравнением Аррениуса, а предэкспоненциальные множители остаются неизменными. Ответ приведите в кДж/моль с точностью до сотых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (Пример: 5,67)

Ответ: 1,67 (засчитывать значения от 1,5 до 1,8)

**Решение:** запишем уравнения Аррениуса для реакций без катализатора:  $k_1 = A_1 e^{-\frac{E_{a1}}{RT}}$ ,  $k_2 = A_2 e^{-\frac{E_{a2}}{RT}}$ . Реакции параллельны, значит отношения количеств образующихся продуктов будет равно отношению соответствующих констант скорости. Значит, можно записать, что  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1 e^{-\frac{E_{a1}}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{E_{a2}}{RT}}} = 2$ . После добавления катализатора энергия активации второй реакции

уменьшается, изменится запись уравнения Аррениуса:  $k'_2 = A_2 e^{-\frac{(E_{a2}-\Delta E_a)}{RT}}$ . Отношение количеств продуктов будет такое же, как отношение констант:  $\frac{[P_1]}{[P_2]} = 1 = \frac{k'_1}{k'_2} =$

$$\frac{A_1 e^{-\frac{E_{a1}}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{(E_{a2}-\Delta E_a)}{RT}}} = \frac{A_1 e^{-\frac{E_{a1}}{RT}}}{A_2 e^{-\frac{E_{a2}}{RT}}} \cdot e^{\frac{\Delta E_a}{RT}} = \frac{1}{2} \cdot e^{\frac{\Delta E_a}{RT}} \Rightarrow \Delta E_a = RT \ln 2 = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293\text{К} \cdot \ln 2 =$$
$$1688 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \approx 1,67 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$



### Вариант 3

#### Задание 3-1.

Установите соответствие между элементом и количеством неспаренных электронов в атоме этого элемента в основном состоянии.

Элемент:	Количество неспаренных электронов:
1) Ванадий	А) 0
2) Висмут	Б) 1
3) Ртуть	В) 2
4) Лантан	Г) 3
5) Кобальт	Д) 4
6) Бром	Е) 5
	Ж) 6

Ответ: 1Г, 2Г, 3А, 4Б, 5Г, 6Б

#### Задание 3-2.

Выберите соединения кислорода, содержащие ковалентную связь между атомами кислорода:

- 1)  $\text{TiO}_2$
- 2)  $\text{BaO}_2$
- 3)  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
- 4)  $\text{OsO}_4$
- 5)  $\text{CrO}_5$
- 6)  $\text{KO}_3$
- 7)  $\text{P}_4\text{O}_{10}$
- 8)  $\text{O}_2\text{F}_2$

Ответ: 23568

#### Задание 3-3.

11,4% раствор хлорида цинка массой 300 г подвергли электролизу с инертными электродами в течение 14 часов. Сила тока в ходе процесса составляла 0,32 А. Суммарный объем выделившихся газов 2,51 л (при н.у.). Определите выход по току для процесса катодного восстановления цинка. Анодный выход по току примите за 100%. Ответ приведите в процентах с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

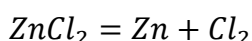
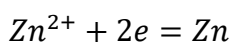
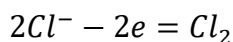
Ответ: 66 (засчитывать значения от 64 до 68)

**Решение:**

По формуле закона Фарадея можно рассчитать количество электронов, прошедших через электролизер:

$$n_{\text{электронов}} = \frac{I \times t}{F} = \frac{0,32 \times 14 \times 3600}{96485} = 0,167 \text{ моль}$$

Для прохождения электролиза хлорида цинка требуется 2 электрона:



Таким образом, можно найти количество хлорида цинка, которое может подвергнуться электролизу:

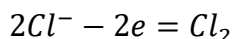
$$n_{ZnCl_2 \text{ на электролиз}} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,167}{2} = 0,0835 \text{ моль}$$

А также количество хлорида цинка, присутствующего изначально в растворе:

$$n_{ZnCl_2 \text{ в растворе}} = \frac{m_{ZnCl_2}}{M_{ZnCl_2}} = \frac{m_{\text{раствора ZnCl}_2} \times \omega_{ZnCl_2}}{M_{ZnCl_2}} = \frac{300 \times 0,114}{136} = 0,251 \text{ моль}$$

Так как количество хлорида цинка в растворе больше, чем количество соли, которое может подвергнуться электролизу, то за это время электролиз не закончится и часть соли останется. Тогда последующие расчеты стоит вести по  $n_{\text{электронов}}$

Поскольку анодный выход по току равен 100%, то на аноде происходит только окисление хлорид-анионов, тогда можно найти количество вещества хлора:

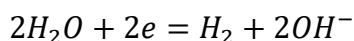
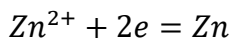


$$n_{Cl_2} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} = \frac{0,167}{2} = 0,0835 \text{ моль}$$

Из объема выделившихся газов можно найти их суммарное количество:

$$n_{\text{газов}} = \frac{V_{\text{газов}}}{V_m} = \frac{2,51}{22,4} = 0,112 \text{ моль}$$

Так как выделяется смесь газов, значит также происходит электролиз воды, то есть в ходе электролиза на катоде происходит два процесса:



Количество водорода можно найти как разницу между суммарным количеством газов и количеством хлора:

$$n_{H_2} = n_{\text{газов}} - n_{Cl_2} = 0,112 - 0,0835 = 0,0285 \text{ моль}$$

Тогда количество цинка равно:

$$n_{Zn} = \frac{n_{\text{электронов}}}{2} - n_{H_2} = \frac{0,167}{2} - 0,0285 = 0,055 \text{ моль}$$

Выход по току для катодного восстановления кобальта рассчитывается как отношение количества образовавшегося никеля к максимальному количеству соли, которое может подвергнуться электролизу:

$$B_Q = \frac{n_{Zn}}{n_{ZnCl_2 \text{ на электролиз}}} \times 100\% = \frac{0,055}{0,0835} \times 100\% = 66\%$$

#### Задание 3-4.

В 10 пробирок с дистиллированной водой поместили по 1 г следующих 10 солей и встряхнули. Затем определили среду в каждой пробирке. Установите соответствие между солью и средой:

Соль:	Среда:
1) гидроортофосфат рубидия	А) Кислотная
2) нитрат неодима (III)	Б) Щелочная
3) сульфат цезия	В) Нейтральная
4) бромид никеля (II)	
5) сульфид серебра	
6) дигидроортофосфат кальция	
7) хлорид цинка	
8) ацетат лития	
9) гидрокарбонат натрия	
10) цианид калия	

Ответ:

Среда полученного раствора зависит от растворимости соединения и процессов диссоциации (для кислых солей) и гидролиза.

1Б, 2А, 3В, 4А, 5В, 6А, 7А, 8Б, 9Б, 10Б

### Задание 3-5.

Расположите следующие производные уксусной кислоты в порядке увеличения скорости щелочного гидролиза ( $\text{Ac} = \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{—}$ ):

- 1)  $\text{AcOC}_2\text{H}_5$
- 2)  $\text{AcCl}$
- 3)  $\text{AcN}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
- 4)  $\text{AcOCH}_3$
- 5)  $\text{Ac}_2\text{O}$

Ответ: 31452

### Задание 3-6.

В сосуд постоянного объема при некоторой температуре поместили равные массы газообразных  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{NO}$ . Оказалось, что такая смесь является равновесной. Во сколько раз нужно увеличить массу  $\text{SO}_3$ , чтобы после установления равновесия масса  $\text{NO}$  уменьшилась в два раза? Ответ приведите с точностью до сотых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (Пример: 3,48)

Ответ: 8,64 (учесть другие варианты десятичного разделителя, принимать варианты от 8,20 до 8,80)

**Решение:** в сосуде устанавливается равновесие:  $\text{NO}_2 + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{SO}_3$

Заметим, что в уравнении реакции сумма коэффициентов перед газообразными веществами в правой и левой частях равны, а также объем сосуда постоянен, значит константа равновесия может быть выражена через любые единицы измерения: парциальные давления, молярные концентрации, число моль, молярные доли. Если обозначить за  $m$  г начальную массу  $\text{SO}_2$ , то количества всех веществ выразятся как:  $\nu_{\text{NO}_2} = \frac{m}{M_{\text{NO}_2}} = \frac{m}{46}$ ;  $\nu_{\text{SO}_2} = \frac{m}{M_{\text{SO}_2}} = \frac{m}{64}$ ;  $\nu_{\text{NO}} = \frac{m}{M_{\text{NO}}} =$

$$\frac{m}{30}; \nu_{\text{SO}_3} = \frac{m}{M_{\text{SO}_3}} = \frac{m}{80}. \text{ Тогда можно найти константу равновесия: } K_p = \frac{p_{\text{SO}_3} \cdot p_{\text{NO}}}{p_{\text{SO}_2} \cdot p_{\text{NO}_2}} = \frac{\nu_{\text{SO}_3} \cdot \nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{SO}_2} \cdot \nu_{\text{NO}_2}} =$$

$$\frac{\frac{m}{80} \cdot \frac{m}{30}}{\frac{m}{64} \cdot \frac{m}{46}} = \frac{92}{75}. \text{ Предположим, что новая масса } \text{SO}_3 \text{ равна } km, \text{ за } \Delta\nu \text{ обозначим изменение числа моль}$$

$\text{NO}$ . Из того условия, что масса  $\text{NO}$  должна уменьшиться в два раза, можно найти, что  $\Delta\nu = \frac{\nu_{\text{NO}}}{2} =$

$$\frac{m}{60}. \text{ Количества веществ после установления нового равновесия выразятся как: } \nu_{\text{NO}_2} = \frac{m}{46} + \Delta\nu =$$

$$\frac{m}{46} + \frac{m}{60} = \frac{53}{1380} m; \nu_{\text{SO}_2} = \frac{m}{64} + \Delta\nu = \frac{m}{64} + \frac{m}{60} = \frac{31}{960} m; \nu_{\text{SO}_3} = \frac{km}{80} - \Delta\nu = m \left( \frac{1}{80} k - \frac{1}{60} \right); \nu_{\text{NO}} = \frac{1}{60} m$$

$$\text{Подставим новые значения в константу равновесия: } K_p = \frac{\nu_{\text{SO}_3} \cdot \nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{SO}_2} \cdot \nu_{\text{NO}_2}} = \frac{m \left( \frac{1}{80} k - \frac{1}{60} \right) \cdot \frac{1}{60} m}{\frac{31}{960} m \cdot \frac{53}{1380} m} = 0,1680k -$$

$$0,2240 = \frac{92}{75} \Rightarrow k \approx 8,64. \text{ Значит, массу } \text{SO}_3 \text{ нужно увеличить в } 8,64 \text{ раз.}$$

### Задание 3-7.

При термическом разложении 33,3 г гексагидрата нитрата некоторого металла образовалась газовая смесь, занимающая после приведения к нормальным условиям объем 6,3 л. Определите неизвестный металл. В качестве ответа введите символ соответствующего химического элемента. (Пример: Sm)

Ответ: Cu

#### Решение:

исходное вещество может быть представлено в виде формулы  $X(NO_3)_n \cdot 9H_2O$ . Разложение может пойти по разным путям, рассмотрим их.

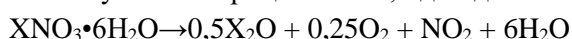
$n = 1$ :



$$n_{\text{газа}} = V/V_m = 6,3 \text{ л} / (22,4 \text{ л/моль}) = 0,28125 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = 2n_{\text{газа}} = 0,5625 \text{ моль}$$

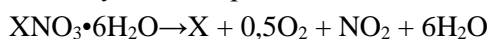
$$M_{\text{нитрата}} = m_{\text{нитрата}} / n_{\text{нитрата}} = 33,3 \text{ г} / 0,5625 \text{ моль} = 59,2 \text{ г/моль. } M_X = M_{\text{нитрата}} - 6 \cdot 18 \text{ г/моль} - (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = -110,8 \text{ г/моль}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,28125 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,25 = 0,225 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 148 \text{ г/моль.}$$

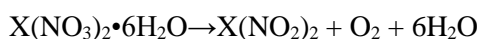
$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,28125 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1,5 = 0,1875 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 177,6 \text{ г/моль.}$$

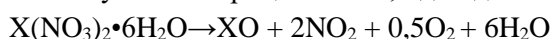
$M_X = M_{\text{нитрата}} - 6 \cdot 18 \text{ г/моль} - (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 7,6 \text{ г/моль}$ . Адекватных совпадений нет (нитрат лития при разложении не дает свободный металл), идём дальше.

$n = 2$ :



$$n_{\text{газов}} = 0,28125 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 1 = 0,28125 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 118,4 \text{ г/моль.}$$

$M_X$  получается отрицательной, идём дальше.



$$n_{\text{газов}} = 0,28125 \text{ моль. } n_{\text{нитрата}} = n_{\text{газов}} / 2,5 = 0,1125 \text{ моль. Аналогично находим } M_{\text{нитрата}} = 296 \text{ г/моль.}$$

$M_X = M_{\text{нитрата}} - 6 \cdot 18 \text{ г/моль} - 2 \cdot (14 + 16 \cdot 3) \text{ г/моль} = 64 \text{ г/моль}$ . Значит X - медь (Cu). Остальные варианты не дают адекватных результатов.

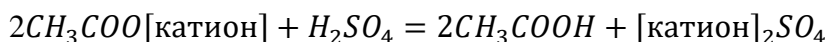
### Задание 3-8.

Органическую соль **A** смешали с серной кислотой в соотношении 2:1. При этом получили органические вещества **B** и **B**. Соединение **B** затем нагрели с избытком щелочи и получили горючее газообразное вещество **Г**, содержащее один атом углерода. Определите молярную массу вещества **A**, если известно, что молярная масса вещества **B** в 11,75 раз больше молярной массы **Г**. Ответ приведите с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 105

**Решение:**

Можно предположить, что А является солью карбоновой кислоты, тогда при обработке серной кислотой образуется сама кислота и сульфат неизвестного катиона. При сплавлении с щелочью карбоновых кислот происходит декарбоксилирование и образуется углеводород. Горючее вещество, содержащее один атом углерода это метан, тогда декарбоксилированию подверглась уксусная кислота, а исходная соль – ацетат. Вещество Г – СН<sub>4</sub>, молярная масса 16 г/моль, тогда молярная масса В = 188 г/моль. Поскольку на реакцию расходуется 0,5 эквивалента серной кислоты, то катион однозаряден:



Тогда можно найти молярную массу катиона:

$$M_{[\text{катион}]} = \frac{188 - M_{\text{SO}_4}}{2} = 46 \text{ г/моль}$$

Тогда молярная масса А это сумма молярных масс ацетат-аниона и катиона с  $M = 46$  г/моль, получается  $M_A = 59 + 46 = 105$  г/моль

Также можно предположить формулу катиона, поскольку молярная масса катиона четная, то вероятнее всего он содержит один атом азота, а катион образован из замещенного органическими радикалами амина.  $M = 46$  г/моль соответствует формуле  $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}^+$ , что может быть катионом диметиламмония или этиламмония, получается вещество В это соответствующий сульфат  $(\text{C}_2\text{H}_{10}\text{N})_2\text{SO}_4$ , а вещество А – ацетат с формулой  $\text{CH}_3\text{COO}^- \text{C}_2\text{H}_{10}\text{N}^+$ .

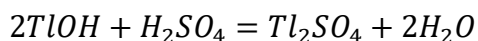
**Задание 3-9.**

Определите, какую массу 18,5% раствора серной кислоты нейтрализовали 21,7% раствором гидроксида таллия (I), если в результате охлаждения полученного раствора до 0°C выделилось 9 г кристаллов сульфата таллия (I), а массовая доля  $\text{Tl}_2\text{SO}_4$  в оставшемся маточном растворе составила 3,41%. В ответе приведите массу в граммах с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения.

Ответ: 11 (засчитывать значения от 10 до 12).

**Решение:**

Уравнение нейтрализации:



Обозначим за  $x$  количество вещества сульфата таллия (I), образовавшегося по реакции, тогда:

$$n_{Tl_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{H_2SO_4} = x \text{ моль}$$

$$n_{TlOH} = 2x \text{ моль}$$

Тогда масса образовавшегося сульфата таллия (I):

$$m_{Tl_2SO_4} = n_{Tl_2SO_4} \times M_{Tl_2SO_4} = x \times 505 = 505x \text{ г}$$

Так как сульфат таллия (I) ограничено растворим в воде, то при охлаждении до  $0^\circ\text{C}$  часть соли выпадает в виде кристаллов, а часть остается в маточном растворе. Масса выпавшего  $Tl_2SO_4$  известна – 9г, получается масса сульфата таллия (I), оставшегося в маточном растворе на 9г меньше, чем масса сульфата таллия (I), образовавшегося по реакции нейтрализации:

$$m_{Tl_2SO_4} (\text{в растворе}) = m_{Tl_2SO_4} - m_{Tl_2SO_4} (\text{в осадке}) = 505x - 9 \text{ г}$$

Массовая доля  $Tl_2SO_4$  тогда:

$$\omega_{Tl_2SO_4} = \frac{m_{Tl_2SO_4} (\text{в растворе})}{m_{\text{маточного раствора}}}$$

Массу маточного раствора можно найти как сумму масс растворов  $TlOH$  и  $H_2SO_4$  и вычесть массу выпавших кристаллов:

$$m_{\text{маточного раствора}} = m_{\text{раствора } TlOH} + m_{\text{раствора } H_2SO_4} - m_{Tl_2SO_4} (\text{в осадке})$$

Массы растворов можно найти через количества веществ и массовые доли растворов:

$$m_{TlOH} = n_{TlOH} \times M_{TlOH} = 2x \times 221 = 442x$$

$$m_{\text{раствора } TlOH} = \frac{m_{TlOH}}{\omega_{TlOH}} = \frac{442x}{0,217} = 2037x$$

$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} \times M_{H_2SO_4} = x \times 98 = 98x$$

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\omega_{H_2SO_4}} = \frac{98x}{0,185} = 530x$$

Тогда можно составить уравнение:

$$\omega_{Tl_2SO_4} = \frac{m_{Tl_2SO_4} (\text{в растворе})}{m_{\text{маточного раствора}}} = \frac{505x - 9}{2037x + 530x - 9} = 0,0341$$

Откуда  $x = 0,0208$ , тогда:

$$m_{\text{раствора } H_2SO_4} = 530x = 11 \text{ г}$$

### Задание 3-10.

Рассмотрим кинетическую схему  $P_1 \xleftarrow{k_1} A \xrightarrow{k_2} P_2$ . Для обеих реакций предэкспоненциальные множители и энергии активации равны. При добавлении ингибитора энергия активации первой реакции увеличивается на 5,7 кДж/моль, второй - на 14,3 кДж/моль. При какой температуре первого продукта образуется в 20 раз больше, чем второго? Примите, что кинетика реакций описывается уравнением Аррениуса, а предэкспоненциальные множители остаются неизменными. Ответ приведите в кельвинах с точностью до целых. В поле ответа введите только число, без единиц измерения. (пример: 298)

Ответ: 345 (засчитывать значения от 335 до 355)

### Решение:

обозначим начальные энергии активации и предэкспоненциальные множители за  $A$  и  $E_a$ . Тогда соотношение продуктов будет такое же, как соотношение соответствующих

$$\text{констант: } \frac{[P_1]}{[P_2]} = 20 = \frac{k_1}{k_2} = \frac{Ae^{-\frac{E_a + \Delta E_{a1}}{RT}}}{Ae^{-\frac{E_a + \Delta E_{a2}}{RT}}} = e^{\frac{\Delta E_{a2} - \Delta E_{a1}}{RT}} \Rightarrow T = \frac{\Delta E_{a2} - \Delta E_{a1}}{R \ln 20} = \frac{14300 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} - 5700 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \ln 20} =$$

345,3К