

**Решение заданий отборочного тура
олимпиады «Ломоносов» по химии (5-9 классы)**

Задача 1 (6 баллов)

1.1. Молекула бинарного соединения содержит 22 электрона, из которых 10 участвуют в образовании химических связей. Установите формулу соединения (подтвердите расчетом) и изобразите структурную формулу молекулы.

Решение: бинарное соединение – HN_3 (азид водорода).

Число электронов: $1 + 3 \cdot 7 = 22$, в молекуле $10 / 2 = 5$ химических связей.

Структурная формула: $\text{H}-\text{N}=\text{N}=\text{N}$ или $\text{H}-\text{N}-\text{N}\equiv\text{N}$

1.2. Молекула бинарного соединения содержит 18 электронов, из которых 10 участвуют в образовании химических связей. Установите формулу соединения (подтвердите расчетом) и изобразите структурную формулу молекулы.

Решение: бинарное соединение – N_2H_4 (гидразин).

Число электронов: $2 \cdot 7 + 4 = 18$, в молекуле $10 / 2 = 5$ химических связей.

Структурная формула: $\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$

1.3. Молекула бинарного соединения содержит 16 электронов, из которых 12 участвуют в образовании химических связей. Установите формулу соединения (подтвердите расчетом) и изобразите структурную формулу молекулы.

Решение: бинарное соединение – C_2H_4 (этилен).

Число электронов: $2 \cdot 6 + 4 = 16$, в молекуле $12 / 2 = 6$ химических связей (если считать, что двойная связь – это две связи).

Структурная формула: $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$

1.4. Молекула бинарного соединения содержит 26 электронов, из которых 14 участвуют в образовании химических связей. Установите формулу соединения (подтвердите расчетом) и изобразите структурную формулу молекулы.

Решение: бинарное соединение – C_2N_2 .

Число электронов: $2 \cdot 6 + 2 \cdot 7 = 26$, в молекуле $14 / 2 = 7$ химических связей (если считать, что тройная связь – это три связи).

Структурная формула: $\text{N}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$

Задача 2 (12 баллов)

2.1. Парниковые газы X_1 и X_2 состоят из одних и тех же элементов. Смесь этих газов в объемном соотношении 1:4 в 4 раза тяжелее кислорода, а в соотношении 4:1 – в 3.5 раза тяжелее азота. Определите формулы газов (обязательно приведите расчеты) и напишите уравнение получения более легкого газа из более тяжелого.

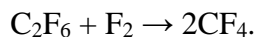
Решение. Система уравнений для молярных масс газов:

$$\begin{cases} \frac{M(X_1) + 4M(X_2)}{5} = 4 \cdot 32 \\ \frac{4M(X_1) + M(X_2)}{5} = 3.5 \cdot 28 \end{cases}$$

Отсюда находим $M(X_1) = 88$ г/моль, $M(X_2) = 138$ г/моль.

Этим массам соответствуют газы $X_1 - CF_4$, $X_2 - C_2F_6$.

Уравнение реакции получения более легкого газа из более тяжелого:



2.2. Парниковые газы X_1 и X_2 состоят из одних и тех же элементов. Смесь этих газов в объемном соотношении 1:4 в 6 раз тяжелее азота, а в соотношении 4:1 – в 6 раз тяжелее паров воды. Определите формулы газов (обязательно приведите расчеты) и напишите уравнение реакции более легкого газа с углекислым газом.

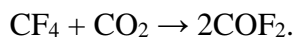
Решение. Система уравнений для молярных масс газов:

$$\begin{cases} \frac{M(X_1) + 4M(X_2)}{5} = 6 \cdot 28 \\ \frac{4M(X_1) + M(X_2)}{5} = 6 \cdot 18 \end{cases}$$

Отсюда находим $M(X_1) = 88$ г/моль, $M(X_2) = 188$ г/моль.

Этим массам соответствуют газы $X_1 - CF_4$, $X_2 - C_3F_8$.

Уравнение реакции более легкого газа с CO_2 :



2.3. Газы X_1 и X_2 являются очень сильными окислителями и состоят из одних и тех же элементов. Смесь этих газов в объемном соотношении 1:3 в 3.3 раза тяжелее воздуха, а в соотношении 3:1 – в 1.8 раза тяжелее углекислого газа. Определите формулы газов (обязательно приведите расчеты) и напишите уравнение реакции получения более тяжелого газа из более легкого.

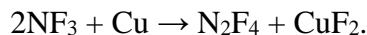
Решение. Система уравнений для молярных масс газов:

$$\begin{cases} \frac{M(X_1) + 3M(X_2)}{4} = 3.3 \cdot 29 \\ \frac{3M(X_1) + M(X_2)}{4} = 1.8 \cdot 44 \end{cases}$$

Отсюда находим $M(X_1) = 71$ г/моль, $M(X_2) = 104$ г/моль.

Этим массам соответствуют газы $X_1 - NF_3$, $X_2 - N_2F_4$.

Уравнение реакции получения более тяжелого из газов:



Принималось также любое разумное уравнение.

2.4. Газы X_1 и X_2 являются очень сильными восстановителями и состоят из одних и тех же элементов. Смесь этих газов в объемном соотношении 1:4 в 2 раза тяжелее азота, а в соотношении 4:1 имеет такую же плотность, как и фтор. Определите формулы газов (обязательно приведите расчеты) и напишите уравнение реакции более тяжелого газа с водой.

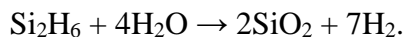
Решение. Система уравнений для молярных масс газов:

$$\begin{cases} \frac{M(X_1) + 4M(X_2)}{5} = 2 \cdot 28 \\ \frac{4M(X_1) + M(X_2)}{5} = 38 \end{cases}$$

Отсюда находим $M(X_1) = 32$ г/моль, $M(X_2) = 62$ г/моль.

Этим массам соответствуют газы $X_1 - SiH_4$, $X_2 - Si_2H_6$.

Уравнение реакции:



Принималось также уравнение с H_2SiO_3 в правой части.

Задача 3 (12 баллов)

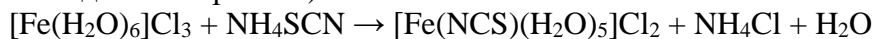
3.1. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного комплексным соединениям железа, кобальта и никеля. <https://youtu.be/IM5HLJ5ADz8>

Запишите уравнения всех проведенных реакций в молекулярной или ионной форме.

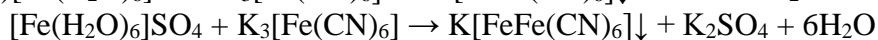
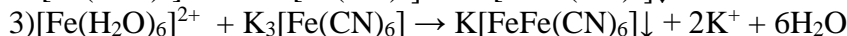
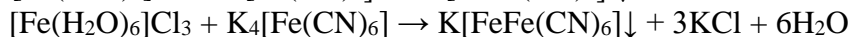
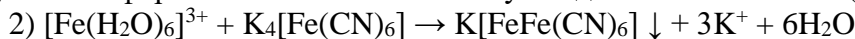
Решение. Уравнения реакций:



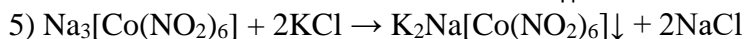
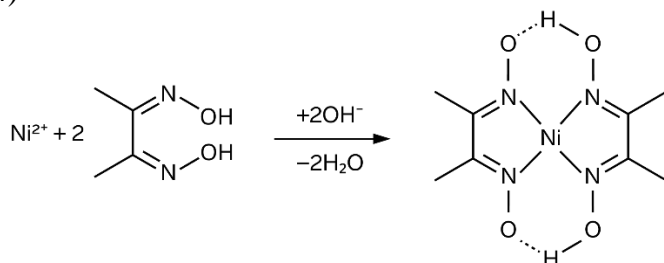
(согласно подписям в ролике)



(допускается форма с заменой всех молекул воды на ионы SCN^- – $(NH_4)_3[Fe(NCS)_6]$)



4)

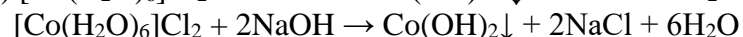


Принимались уравнения реакций без гидратных комплексов. Оценивались 4 лучшие реакции из пяти.

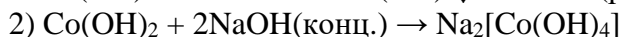
3.2. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного химическим свойствам гидроксида кобальта. <https://youtu.be/-O351kUvHyk>

Запишите уравнения всех проведенных реакций в молекулярной или ионной форме.

Решение. Уравнения реакций:



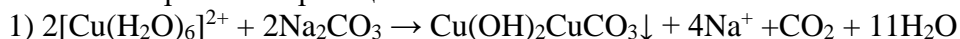
или $Co(OH)Cl + NaOH \rightarrow Co(OH)_2 \downarrow + 2NaCl$ (розовый осадок)



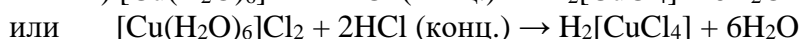
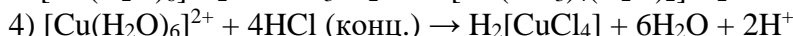
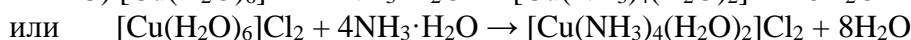
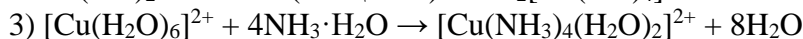
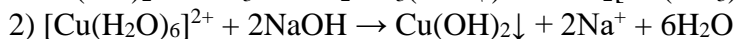
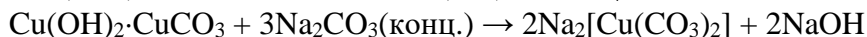
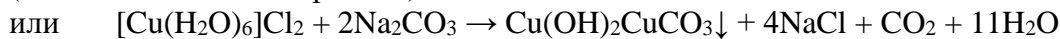
Принимались уравнения реакций без гидратных комплексов.

3.3. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного комплексным соединениям меди(II). <https://youtu.be/sXjTNMkp00I>
Запишите уравнения всех проведенных реакций в молекулярной или ионной форме.

Решение. Уравнения реакций:



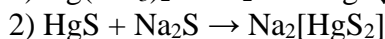
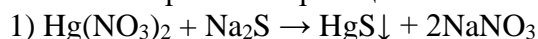
(согласно подписям в ролике)



Принимались уравнения реакций без гидратных комплексов.

3.4. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного комплексным соединениям ртути. <https://youtu.be/HBYqOG8mins>
Запишите уравнения всех проведенных реакций в молекулярной или ионной форме.

Решение. Уравнения реакций:

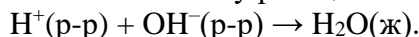


Задача 4 (14 баллов)

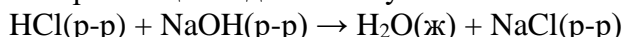
4.1. В таблице приведены значения теплот образования из простых веществ и теплот растворения в воде некоторых соединений ($Q > 0$ соответствует экзотермической реакции):

Вещество	NaOH(тв)	NaCl(тв)	HCl(г)	H ₂ O(ж)
$Q_{\text{обр}}$, кДж/моль	425.6	411.1	92.3	285.8
$Q_{\text{раств}}$, кДж/моль	44.5	-3.9	74.8	—

Используя эти данные, рассчитайте теплоту реакции нейтрализации



Решение. Реакцию нейтрализации в данном случае можно записать в виде:



Теплота образования вещества в растворе равна теплоте образования чистого вещества плюс теплота его растворения. Поэтому

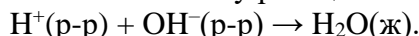
$$\begin{aligned} Q_{\text{реакции}} &= Q_{\text{обр}}(\text{NaCl}(\text{p-p})) + Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) - Q_{\text{обр}}(\text{NaOH}(\text{p-p})) - Q_{\text{обр}}(\text{HCl}(\text{p-p})) = \\ &= (411.1 - 3.9) + 285.8 - (425.6 + 44.5) - (92.3 + 74.8) = 55.8 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

Ответ: 55.8 кДж/моль.

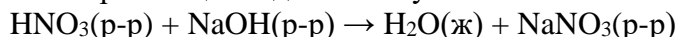
4.2. В таблице приведены значения теплот образования из простых веществ и теплот растворения в воде некоторых соединений ($Q > 0$ соответствует экзотермической реакции):

Вещество	NaOH(тв)	NaNO ₃ (тв)	HNO ₃ (ж)	H ₂ O(ж)
$Q_{\text{обр}}$, кДж/моль	425.6	466.7	174.1	285.8
$Q_{\text{раств}}$, кДж/моль	44.5	-19.0	33.3	—

Используя эти данные, рассчитайте теплоту реакции нейтрализации



Решение. Реакцию нейтрализации в данном случае можно записать в виде:



Теплота образования вещества в растворе равна теплоте образования чистого вещества плюс теплота его растворения. Поэтому

$$\begin{aligned} Q_{\text{реакции}} &= Q_{\text{обр}}(\text{NaNO}_3(\text{p-p})) + Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) - Q_{\text{обр}}(\text{NaOH}(\text{p-p})) - Q_{\text{обр}}(\text{HNO}_3(\text{p-p})) = \\ &= (466.7 - 19.0) + 285.8 - (425.6 + 44.5) - (174.1 + 33.3) = 56.0 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

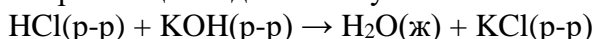
Ответ: 56.0 кДж/моль.

4.3. В таблице приведены значения теплот образования из простых веществ и теплот растворения в воде некоторых соединений ($Q > 0$ соответствует экзотермической реакции):

Вещество	KOH(тв)	KCl(тв)	HCl(г)	H ₂ O(ж)
$Q_{\text{обр}}$, кДж/моль	425.9	435.9	92.3	285.8
$Q_{\text{раств}}$, кДж/моль	55.3	?	74.8	—

Теплота реакции нейтрализации $\text{H}^+(\text{p-p}) + \text{OH}^-(\text{p-p}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ равна 56.2 кДж/моль. Используя эти данные, определите теплоту растворения KCl(тв).

Решение. Реакцию нейтрализации в данном случае можно записать в виде:



Теплота образования вещества в растворе равна теплоте образования чистого вещества плюс теплота его растворения. Поэтому

$$\begin{aligned} Q_{\text{реакции}} &= Q_{\text{обр}}(\text{KCl}(\text{p-p})) + Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) - Q_{\text{обр}}(\text{KOH}(\text{p-p})) - Q_{\text{обр}}(\text{HCl}(\text{p-p})) = \\ &= (435.9 + Q_{\text{раств}}(\text{KCl})) + 285.8 - (425.9 + 55.3) - (92.3 + 74.8) = 56.2 \text{ кДж/моль}, \\ Q_{\text{раств}}(\text{KCl}) &= -17.2 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

При растворении KCl в воде теплота поглощается.

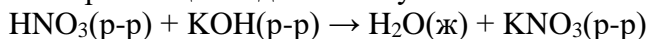
Ответ: -17.2 кДж/моль.

4.4. В таблице приведены значения теплот образования из простых веществ и теплот растворения в воде некоторых соединений ($Q > 0$ соответствует экзотермической реакции):

Вещество	KOH(тв)	KNO ₃ (тв)	HNO ₃ (ж)	H ₂ O(ж)
$Q_{\text{обр}}$, кДж/моль	425.9	492.7	174.1	285.8
$Q_{\text{раств}}$, кДж/моль	55.3	?	33.3	—

Теплота реакции нейтрализации $\text{H}^+(\text{p-p}) + \text{OH}^-(\text{p-p}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ равна 55.6 кДж/моль. Используя эти данные, определите теплоту растворения KNO₃(тв).

Решение. Реакцию нейтрализации в данном случае можно записать в виде:



Теплота образования вещества в растворе равна теплоте образования чистого вещества плюс теплота его растворения. Поэтому

$$\begin{aligned} Q_{\text{реакции}} &= Q_{\text{обр}}(\text{KNO}_3(\text{p-p})) + Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}(\text{ж})) - Q_{\text{обр}}(\text{KOH}(\text{p-p})) - Q_{\text{обр}}(\text{HNO}_3(\text{p-p})) = \\ &= (492.7 + Q_{\text{раств}}(\text{KNO}_3)) + 285.8 - (425.9 + 55.3) - (174.1 + 33.3) = 55.6 \text{ кДж/моль}, \\ Q_{\text{раств}}(\text{KNO}_3) &= -34.3 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

При растворении KNO₃ в воде теплота поглощается.

Ответ: -34.3 кДж/моль.

Задача 5 (18 баллов)

5.1. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем уравнения возможных реакций:

- 1) $2\text{P} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{PCl}_3$
- 2) $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$
- 3) $4\text{H}_3\text{PO}_3 \xrightarrow{t} 3\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{PH}_3\uparrow$
- 4) $2\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}_3\text{P}_2 \rightarrow 2\text{PH}_3\uparrow + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- 5) $\text{PH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4$

5.2. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем уравнения возможных реакций:

- 1) $\text{S} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SCl}_2$
- 2) $2\text{SCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S} + \text{SO}_2\uparrow + 4\text{HCl}$
- 3) $2\text{SO}_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 \xrightarrow{t} \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{SO}_2\uparrow$
- 5) $\text{SO}_2 + \text{BaO}_2 \rightarrow \text{BaSO}_4$
- 6) $\text{BaSO}_4 + 4\text{H}_2 \xrightarrow{t} \text{BaS} + 4\text{H}_2\text{O}$

5.3. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем уравнения возможных реакций:

- 1) $\text{Br}_2 + \text{BrF}_3 \rightarrow 3\text{BrF}$
- 2) $3\text{BrF} + 6\text{KOH} \rightarrow 2\text{KBr} + \text{KBrO}_3 + 3\text{KF} + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{KBrO}_3 + \text{XeF}_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{KBrO}_4 + \text{Xe} + 2\text{KF} + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{KBrO}_4 + 8\text{HBr} \rightarrow \text{KBr} + 4\text{Br}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{Br}_2 + 2\text{NaI} \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{NaBr}$
- 6) $\text{NaBr} + \text{H}_3\text{PO}_4 \xrightarrow{t} \text{HBr}\uparrow + \text{NaH}_2\text{PO}_4$

5.4. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем уравнения возможных реакций:

- 1) $3\text{S} + 2\text{AgF} \xrightarrow{t} \text{S}_2\text{F}_2 + \text{Ag}_2\text{S}$
- 2) $2\text{S}_2\text{F}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_2 + 3\text{S} + 4\text{HF}$
- 3) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- 4) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 5) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{H}_2\uparrow$ (электролиз раствора)
- 6) $5(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + 2\text{MnSO}_4 + 16\text{KOH} \xrightarrow{\text{Ag}^+} 2\text{KMnO}_4 + 5(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 7\text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$

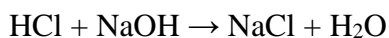
Задача 6 (18 баллов)

6.1. Даны два раствора: соляная кислота и раствор гидроксида натрия. Эти растворы смешивали в различных объемных соотношениях и измеряли pH полученных растворов. Результаты опытов представлены в таблице.

№ опыта	$V(\text{HCl}) : V(\text{NaOH})$	pH
1	1 : 1	7
2	2 : 1	1
3	1 : 2	?

Определите молярные концентрации веществ в исходных растворах и рассчитайте pH конечного раствора в третьем опыте. Примите, что при смешивании разбавленных водных растворов объемы складываются.

Решение. Уравнение реакции:



Пусть $c(\text{HCl}) = c_1$, $c(\text{NaOH}) = c_2$.

1) В первом опыте образуется нейтральный раствор, следовательно,

$$v(\text{HCl}) = v(\text{NaOH}),$$

$$c_1 V = c_2 V,$$

$$c_1 = c_2.$$

2) Во втором опыте $v(\text{HCl}) = 2c_1 V$, $v(\text{NaOH}) = c_1 V$. После реакции останется избыток $v_{\text{изб}}(\text{HCl}) = c_1 V$, $V(\text{р-ра}) = 3V$, $c(\text{HCl}) = c_1 V / (3V) = c_1 / 3$.

pH = 1 соответствует $c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ M}$, поэтому $c_1 / 3 = 0.1 \text{ M}$, $c_1 = 0.3 \text{ M}$.

3) Если смешать $V \text{ л } 0.3 \text{ M}$ раствора HCl и $2V \text{ л } 0.3 \text{ M}$ раствора NaOH, то в полученном растворе останется избыток $0.3V$ моль NaOH, а концентрация щелочи будет равна

$$c(\text{OH}^-) = 0.3V / (3V) = 0.1 \text{ M},$$

что соответствует pH = 13.

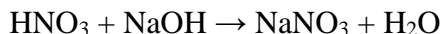
Ответ: 0.3 M HCl, 0.3 M NaOH; pH = 13.

6.2. Даны два раствора: азотной кислоты и гидроксида натрия. Эти растворы смешивали в различных объемных соотношениях и измеряли pH полученных растворов. Результаты опытов представлены в таблице.

№ опыта	$V(\text{HNO}_3) : V(\text{NaOH})$	pH
1	1 : 1	7
2	3 : 1	2
3	1 : 3	?

Определите молярные концентрации веществ в исходных растворах и рассчитайте pH конечного раствора в третьем опыте. Примите, что при смешивании разбавленных водных растворов объемы складываются.

Решение. Уравнение реакции:



Пусть $c(\text{HNO}_3) = c_1$, $c(\text{NaOH}) = c_2$.

1) В первом опыте образуется нейтральный раствор, следовательно,

$$v(\text{HNO}_3) = v(\text{NaOH}),$$

$$c_1 V = c_2 V,$$

$$c_1 = c_2.$$

2) Во втором опыте $v(\text{HNO}_3) = 3c_1V$, $v(\text{NaOH}) = c_1V$. После реакции останется избыток $v_{\text{изб}}(\text{HNO}_3) = 2c_1V$, $V(\text{p-ра}) = 4V$, $c(\text{HNO}_3) = 2c_1V / (4V) = c_1 / 2$.

$\text{pH} = 2$ соответствует $c(\text{H}^+) = 0.01 \text{ M}$, поэтому $c_1 / 2 = 0.01$, $c_1 = 0.02 \text{ M}$.

3) Если смешать V л 0.02 M раствора HNO_3 и $3V$ л 0.02 M раствора NaOH , то в полученном растворе останется избыток $0.04V$ моль NaOH , а концентрация щелочи будет равна

$$c(\text{OH}^-) = 0.04V / (4V) = 0.01 \text{ M},$$

что соответствует $\text{pH} = 12$.

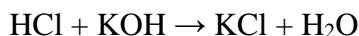
Ответ: 0.02 M HNO_3 , 0.02 M NaOH ; $\text{pH} = 12$.

6.3. Даны два раствора: соляная кислота и раствор гидроксида калия. Эти растворы смешивали в различных объемных соотношениях и измеряли pH полученных растворов. Результаты опытов представлены в таблице.

№ опыта	$V(\text{HCl}) : V(\text{KOH})$	pH
1	1 : 1	7
2	1 : 5	13
3	5 : 1	?

Определите молярные концентрации веществ в исходных растворах и рассчитайте pH конечного раствора в третьем опыте. Примите, что при смешивании разбавленных водных растворов объемы складываются.

Решение. Уравнение реакции:



Пусть $c(\text{HCl}) = c_1$, $c(\text{KOH}) = c_2$.

1) В первом опыте образуется нейтральный раствор, следовательно,

$$v(\text{HCl}) = v(\text{KOH}),$$

$$c_1V = c_2V,$$

$$c_1 = c_2.$$

2) Во втором опыте: $v(\text{HCl}) = c_1V$, $v(\text{KOH}) = 5c_1V$. После реакции останется избыток $v_{\text{изб}}(\text{KOH}) = 4c_1V$, $V(\text{p-ра}) = 6V$, $c(\text{KOH}) = 4c_1V / (6V) = 2c_1 / 3$.

$\text{pH} = 13$ соответствует $c(\text{OH}^-) = 0.1 \text{ M}$, поэтому $2c_1 / 3 = 0.1$, $c_1 = 0.15 \text{ M}$.

3) Если смешать $5V$ л 0.15 M раствора HCl и V л 0.15 M раствора KOH , то в полученном растворе останется избыток $0.6V$ моль HCl , а концентрация ионов водорода будет равна

$$c(\text{H}^+) = 0.6V / (6V) = 0.1 \text{ M},$$

что соответствует $\text{pH} = 1$.

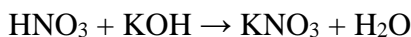
Ответ: 0.15 M HCl , 0.15 M KOH ; $\text{pH} = 1$.

6.4. Даны два раствора: азотной кислоты и гидроксида калия. Эти растворы смешивали в различных объемных соотношениях и измеряли pH полученных растворов. Результаты опытов представлены в таблице.

№ опыта	$V(\text{HNO}_3) : V(\text{KOH})$	pH
1	1 : 1	7
2	1 : 2	12
3	2 : 1	?

Определите молярные концентрации веществ в исходных растворах и рассчитайте pH конечного раствора в третьем опыте. Примите, что при смешивании разбавленных водных растворов объемы складываются.

Решение. Уравнение реакции:



Пусть $c(\text{HNO}_3) = c_1$, $c(\text{KOH}) = c_2$.

1) В первом опыте образуется нейтральный раствор, следовательно,

$$v(\text{HNO}_3) = v(\text{KOH}),$$

$$c_1 V = c_2 V,$$

$$c_1 = c_2.$$

2) Во втором опыте: $v(\text{HNO}_3) = c_1 V$, $v(\text{KOH}) = 2c_1 V$. После реакции останется избыток $v_{\text{изб}}(\text{KOH}) = c_1 V$, $V(\text{p-pa}) = 3V$, $c(\text{KOH}) = c_1 V / (3V) = c_1 / 3$.

$\text{pH} = 12$ соответствует $C(\text{OH}^-) = 0.01 \text{ M}$, поэтому $C_1/3 = 0.01$, $C_1 = 0.03 \text{ M}$.

3) Если смешать $2V$ л 0.03 M раствора HNO_3 и V л 0.03 M раствора KOH , то в полученном растворе останется избыток $0.03V$ моль HNO_3 , а концентрация ионов водорода будет равна

$$C(\text{H}^+) = 0.03V / (3V) = 0.01 \text{ M},$$

что соответствует $\text{pH} = 2$.

Ответ: 0.03 M HNO_3 , 0.03 M KOH ; $\text{pH} = 2$.

Задача 7 (20 баллов)

7.1. Твердое вещество **X** представляет собой желтые кристаллы, нерастворимые в воде. При небольшом нагревании в инертной атмосфере оно полностью разлагается на два вещества – простое (металл) и сложное, при этом масса твердого вещества уменьшается в 3.55 раза (*реакция 1*). При нагревании **X** в атмосфере кислорода (*реакция 2*) масса твердого вещества уменьшается всего в 2.24 раза. При растворении **X** в концентрированной серной кислоте (*реакция 3*) выделяется смесь двух газов, которая в 2 раза тяжелее аммиака, а при пропускании через раствор щелочи (*реакция 4*) теряет 1/6 объема. Установите формулу вещества **X**, приведите необходимые расчеты и запишите уравнения всех пронумерованных реакций.

Решение. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в $3.55 / 2.24 = 1.585$ раза больше массы металла. Пусть формула оксида – M_2O_n , тогда

$$\frac{2M(\text{M}) + 16n}{2M(\text{M})} = 1.585$$

$$M(\text{M}) = 13.7n.$$

При $n = 4$ $M(\text{M}) = 54.8$ – это марганец, оксид – MnO_2 .

При растворении **X** в концентрированной серной кислоте образуется смесь двух газов – SO_2 и неизвестного газа **Y** – в объемном соотношении 1 : 5. Уравнение для молярной массы смеси газов:

$$\frac{1 \cdot 64 + 5M(\text{Y})}{6} = 2 \cdot 17,$$

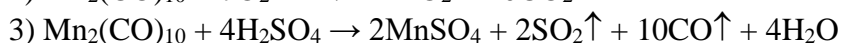
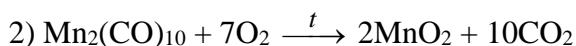
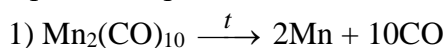
откуда $M(\text{Y}) = 28 \text{ г/моль}$. Нитриды металлов легко не разлагаются, поэтому газ **Y** – CO , тогда **X** – карбонил марганца, $\text{Mn}(\text{CO})_x$. Условие для потери массы при разложении в инертной атмосфере:

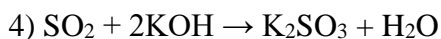
$$\frac{55 + 28x}{55} = 3.55,$$

$$x = 5.$$

Карбонил $\text{Mn}(\text{CO})_5$ не существует (хотя такой ответ засчитывался как правильный), устойчивым является его димер, $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$.

Уравнения реакций:





Ответ: **X** – $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$.

7.2. Твердое вещество **X** представляет собой красно-оранжевые кристаллы, нерастворимые в воде. При небольшом нагревании в инертной атмосфере оно полностью разлагается на два вещества – простое (металл) и сложное, при этом масса твердого вещества уменьшается в 2.90 раза (*реакция 1*). При нагревании **X** в атмосфере кислорода (*реакция 2*) масса твердого вещества уменьшается всего в 2.13 раза. При растворении **X** в концентрированной серной кислоте (*реакция 3*) выделяется смесь двух газов, которая в 1.1 раза тяжелее кислорода, а при пропускании через раствор щелочи (*реакция 4*) теряет 1/5 объема. Установите формулу вещества **X**, приведите необходимые расчеты и запишите уравнения всех пронумерованных реакций.

Решение. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в $2.90 / 2.13 = 1.36$ раза больше массы металла. Пусть формула оксида – M_2O_n , тогда

$$\frac{2M(\text{M}) + 16n}{2M(\text{M})} = 1.36$$

$$M(\text{M}) = 22.2n.$$

При целых n разумных значений молярной массы не получается. Пробуем смешанный оксид M_xO_y :

$$\frac{xM(\text{M}) + 16y}{xM(\text{M})} = 1.36$$

$M(\text{M}) = 44.4(y / x)$. При $y / x = 4 / 3$ получаем $M(\text{M}) = 59$ г/моль – кобальт, оксид – Co_3O_4 .

При растворении **X** в концентрированной серной кислоте образуется смесь двух газов – SO_2 и неизвестного газа **Y** – в объемном соотношении 1 : 4. Уравнение для молярной массы смеси газов:

$$\frac{1 \cdot 64 + 4M(\text{Y})}{5} = 1.1 \cdot 32,$$

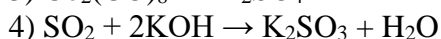
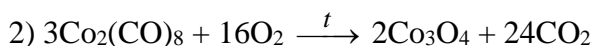
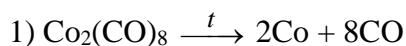
откуда $M(\text{Y}) = 28$ г/моль. Нитриды металлов легко не разлагаются, поэтому газ **Y** – CO , тогда **X** – карбонил кобальта, $\text{Co}(\text{CO})_x$. Условие для потери массы при разложении в инертной атмосфере:

$$\frac{59 + 28x}{59} = 2.90,$$

$$x = 4.$$

Карбонил $\text{Co}(\text{CO})_4$ не существует (хотя такой ответ засчитывался как правильный), устойчивым является его димер, $\text{Co}_2(\text{CO})_8$.

Уравнения реакций:



Ответ: **X** – $\text{Co}_2(\text{CO})_8$.

7.3. Твердое вещество **X** представляет собой оранжевые кристаллы, нерастворимые в воде. При нагревании в инертной атмосфере оно полностью разлагается на два вещества – простое (металл) и сложное, при этом масса твердого вещества уменьшается в 3.25 раза (*реакция 1*). При нагревании **X** в атмосфере кислорода (*реакция 2*) масса твердого вещества уменьшается всего в 2.275 раза. При растворении **X** в концентрированной серной кислоте (*реакция 3*) выделяется смесь двух газов, которая в 1.276 раза тяжелее воздуха, а при пропускании через раствор щелочи (*реакция 4*) теряет 1/4 объема. Установите формулу вещества **X**, приведите необходимые расчеты и запишите уравнения всех пронумерованных реакций.

Решение. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в $3.25 / 2.275 = 1.43$ раза больше массы металла. Пусть формула оксида – M_2O_n , тогда

$$\frac{2M(M) + 16n}{2M(M)} = 1.43$$

$$M(M) = 18.6n.$$

При $n = 3$ $M(M) = 55.8$ – это железо, оксид – Fe_2O_3 .

При растворении **X** в концентрированной серной кислоте образуется смесь двух газов – SO_2 и неизвестного газа **Y** – в объемном соотношении 1 : 3. Уравнение для молярной массы смеси газов:

$$\frac{1 \cdot 64 + 3M(Y)}{4} = 1.276 \cdot 29,$$

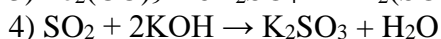
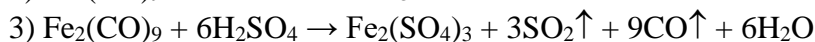
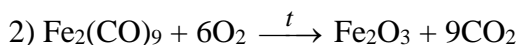
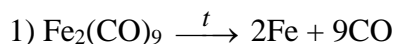
откуда $M(Y) = 28$ г/моль. Нитриды металлов легко не разлагаются, поэтому газ **Y** – CO , тогда **X** – карбонил железа, $Fe(CO)_x$. Условие для потери массы при разложении в инертной атмосфере:

$$\frac{55.8 + 28x}{55.8} = 3.25,$$

$$x = 4.5,$$

что соответствует $Fe_2(CO)_9$.

Уравнения реакций:



Ответ: **X** – $Fe_2(CO)_9$.

7.4. Твердое вещество **X** представляет собой бесцветные кристаллы, нерастворимые в воде. При нагревании в инертной атмосфере оно полностью разлагается на два вещества – простое (металл) и сложное, при этом масса твердого вещества уменьшается в 4.23 раза (*реакция 1*). При нагревании **X** в атмосфере кислорода (*реакция 2*) масса твердого вещества уменьшается всего в 2.895 раза. При растворении **X** в концентрированной серной кислоте (*реакция 3*) выделяется смесь двух газов, которая в 2.2 раза тяжелее метана, а при пропускании через раствор щелочи (*реакция 4*) теряет 1/5 объема. Установите формулу вещества **X**, приведите необходимые расчеты и запишите уравнения всех пронумерованных реакций.

Решение. При нагревании в атмосфере кислорода образуется оксид, масса которого в $4.23 / 2.895 = 1.46$ раза больше массы металла. Пусть формула оксида – M_2O_n , тогда

$$\frac{2M(M) + 16n}{2M(M)} = 1.46$$

$$M(M) = 17.4n.$$

При $n = 3$ $M(M) = 52$ – это хром, оксид – Cr_2O_3 .

При растворении **X** в концентрированной серной кислоте образуется смесь двух газов – SO_2 и неизвестного газа **Y** – в объемном соотношении 1 : 4. Уравнение для молярной массы смеси газов:

$$\frac{1 \cdot 64 + 4M(Y)}{5} = 2.2 \cdot 16,$$

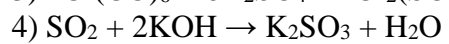
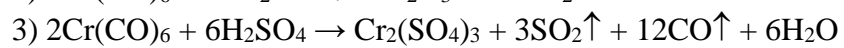
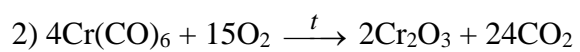
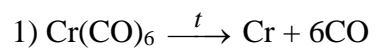
откуда $M(Y) = 28$ г/моль. Нитриды металлов легко не разлагаются, поэтому газ **Y** – CO , тогда **X** – карбонил хрома, $Cr(CO)_x$. Условие для потери массы при разложении в инертной атмосфере:

$$\frac{52 + 28x}{52} = 4.23,$$

$$x = 6,$$

формула **X** – $Cr(CO)_6$.

Уравнения реакций:



Ответ: **X** – $\text{Cr}(\text{CO})_6$.