

**9 класс**  
**Вариант 1**

**Задание 9-1**

Известный арабский алхимик Джабир ибн Хайян (Гебер), живший в VIII веке, в своих поисках «эликсира жизни» и алхимических преобразований впервые подробно описал способ получения кислоты (X) перегонкой смеси калийной селитры, медного купороса и алюмокалиевых квасцов. Эту кислоту он назвал «крепкой водкой» (*Aqua Fortis*) и открыл её способность растворять многие металлы, включая серебро. В XVII веке немецкий химик Иоганн Рудольф Глаубер получал кислоту X, нагревая калийную селитру с веществом Z.

Кислоту X можно получить, растворив в воде соответствующий ей кислотный оксид. Пусть это будет оксид Y, плотность его паров по гелию равна 27. Предположим, что была найдена закрытая колба объемом 0.5 литра, наполненная парами Y под давлением 0.15 атм при температуре 10 °С. Вам предлагается ответить на следующие вопросы:

- 1) Установите состав кислоты X и оксида Y. Рассчитайте количество вещества Y, содержащееся в колбе.
- 2) Рассчитайте значение pH раствора, который получится при растворении всего этого количества оксида Y в 200 мл воды. Считайте, что кислота X диссоциирует полностью.
- 3) Вычислите массу 4%-ного раствора гидроксида натрия, который потребуется для полной нейтрализации 120 мл полученного в п.2 раствора.
- 4) Напишите химические формулы веществ, которые были использованы Джабиром ибн Хайяном.
- 5) Напишите уравнение реакции получения кислоты X по Глауберу.

**Решение**

- 1) Установление состава:

Кислота X получена из селитры (нитрата калия,  $\text{KNO}_3$ ) и растворяет серебро. Это однозначно азотная кислота ( $\text{HNO}_3$ ). Кислотный оксид, соответствующий  $\text{HNO}_3$  — оксид азота(V),  $\text{N}_2\text{O}_5$ .

Проверка по плотности:  $D(\text{He}) = M(Y) / M(\text{He}) = 27$ .

$M(\text{He}) = 4$  г/моль.

Следовательно,  $M(Y) = 27 * 4$  г/моль = 108 г/моль.

Это точно соответствует молярной массе  $\text{N}_2\text{O}_5$  ( $2*14 + 5*16 = 108$  г/моль).

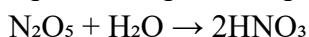
Расчёт количества вещества  $\text{N}_2\text{O}_5$ :

Используем уравнение Менделеева-Клапейрона:  $PV = nRT$

$n(\text{N}_2\text{O}_5) \approx (0,075) / (23,2343) \approx 0,003228$  моль.

- 2) Расчёт pH полученного раствора.

Уравнение реакции растворения оксида в воде:



Из уравнения:  $n(\text{HNO}_3) = 2 * n(\text{N}_2\text{O}_5) = 2 * 0,00322$  моль = 0,006456 моль.

Объём раствора: 200 мл = 0,2 л.

Концентрация  $\text{HNO}_3$ :  $C(\text{HNO}_3) = n / V = 0,006456$  моль / 0,2 л = 0,0322 М.

$\text{HNO}_3$  — сильная кислота, диссоциирует полностью:  $[\text{H}^+] = C(\text{HNO}_3) = 0,0322$  М.

$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(0,0322) \approx 1,49$ .

- 3) Расчёт массы раствора щёлочи для нейтрализации.

Объём взятого раствора кислоты: 120 мл = 0,12 л.

Количество  $\text{HNO}_3$  в этом объеме:  $n_1(\text{HNO}_3) = C * V = 0,00322 \text{ моль/л} * 0,12 \text{ л} = 0,00387$  моль.

Уравнение нейтрализации:  $\text{HNO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

По уравнению:  $n(\text{NaOH}) = n_1(\text{HNO}_3) = 0,00387$  моль.

Масса чистого NaOH:  $m(\text{NaOH}) = n * M = 0,00387 \text{ моль} * 40 \text{ г/моль} = 0,1549 \text{ г}$ .

Масса требуемого 4%-ного раствора:

$m(4\% \text{ р-ра NaOH}) = m(\text{NaOH}) / \omega = 0,1549 \text{ г} / 0,04 = 3,87 \text{ г}$ .

4. Химические формулы веществ, которые были использованы Джабиром ибн Хайяном.

Калийная селитра –  $\text{KNO}_3$

Медный купорос –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Алюмокалиевые квасцы –  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

5. Уравнение реакции получения кислоты по Глауберу

$\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) \rightarrow \text{KHSO}_4 + \text{HNO}_3 \uparrow$

### **Критерии оценивания**

- 1) Установлена формула кислоты – **1 балл**  
Установлена формула оксида – **2 балла**  
Рассчитано количество оксида в колбе – **2 балла**
- 2) Рассчитано количество pH раствора кислоты – **5 баллов**
- 3) Рассчитана масса раствора гидроксида натрия – **5 баллов**
- 4) Верно написаны формулы веществ – **4 балла** (по 1 баллу за селитру и медный купорос и 2 балла за алюмокалиевые квасцы)
- 5) Уравнение реакции получения кислоты по Глауберу – **1 балл**

### **Задание 9-2**

К раствору гидроксида натрия прилили раствор соляной кислоты (плотности всех растворов примите равными плотности воды). Для полученного раствора известно, что:

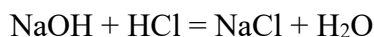
- концентрация ионов натрия в 2 раза ниже, чем в исходном;
- молярные концентрации ионов натрия и ионов хлора относятся как 5:4;
- концентрация гидроксид-ионов в конечном растворе составляла 0.01 моль/л.

На основе приведенных данных

- 1) Напишите уравнение реакции;
- 2) Вычислите массу NaOH в 1 л исходного раствора щелочи;
- 3) Вычислите массу HCl в 1 л исходного раствора кислоты.

### **Решение**

Пусть  $V_1$  - объем исходного раствора щелочи,  $V_2$  - объем раствора после добавления кислоты. Поскольку концентрация ионов натрия при добавлении раствора HCl уменьшилась в 2 раза, объем конечного раствора в 2 раза больше, чем исходного,  $V_2 = 2V_1$ , а объем раствора HCl равен объему раствора щелочи  $V_1$ .



Отношение исходных количеств вещества NaOH и HCl равно отношению концентраций ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , т.е. равно 5:4. Следовательно, 1/5 часть от исходного количества NaOH не прореагировала и осталась в растворе. Исходное число молей NaOH в 5 раз больше, чем число молей в конечном растворе.

Число молей NaOH в конечном р-ре:

$$\{n(\text{NaOH})\}_{\text{конечн.}} = 0,01 \cdot V_2$$

Число молей NaOH в исходном р-ре:

$$\{n(\text{NaOH})\}_{\text{исх.}} = 5 \cdot \{n(\text{NaOH})\}_{\text{кон.}} = 5 \cdot 0,01 \cdot V_2 = 0,05 V_2$$

Молярная концентрация NaOH в исходном р-ре:

$$\{c(\text{NaOH})\}_{\text{исх.}} = \{n(\text{NaOH})\}_{\text{исх.}} / V_1 = 0,05 V_2 / V_1 = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Объемы растворов кислоты и щелочи одинаковы, а количество вещества HCl равно 4/5 от количества вещества NaOH, следовательно

$$\{c(\text{HCl})\}_{\text{исх.}} = 0,1 \cdot 4/5 = 0,080 \text{ моль/л.}$$

Масса NaOH в 1 л раствора щелочи:

$$\{m(\text{NaOH})\}_{\text{исх.}} = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ г}$$

Масса HCl в 1 л раствора кислоты:

$$\{m(\text{HCl})\}_{\text{исх.}} = 0,080 \cdot 35,5 = 2,92 \text{ г}$$

### **Критерии оценивания**

- 1) Написано уравнение реакции – **1 балл.**
- 2) На основе изменения концентрации ионов натрия определено соотношение объемов для трех растворов – **4 балла.**
- 3) На основе соотношения концентраций ионов натрия и ионов хлора определено, во сколько раз число молей NaOH в исходном растворе больше, чем в конечном – **5 баллов.**
- 4) Найдена молярная концентрация NaOH в исходном р-ре щелочи – **4 балла.**
- 5) Найдена молярная концентрация HCl в исходном р-ре кислоты – **4 балла.**
- 6) Найдены массы NaOH и HCl в их исходных растворах – **2 балла.**

### **Задание 9-3**

Оксид некоторого элемента в кристаллическом состоянии имеет ионную кристаллическую решетку. Он используется в качестве катализатора и в процессе производства специальных стекол с высоким коэффициентом преломления. Установите формулу оксида, если в его кристалле число электронов у атомов элемента в 5,2 раза больше, чем число электронов у атомов кислорода.

### **Решение**

Перебирая формулы оксидов металла с ионной связью, определим число электронов у ионов металла в формульной единице (условной молекуле) оксида.

Формула оксида	Число эл-ов у ионов кислорода	Число эл-ов у всех ионов металла	Число эл-ов у одного иона металла	Число эл-ов у атома металла в осн. состоянии	Элемент
M <sub>2</sub> O	10	52	26	27	Co
MO	10	52	52	54	Xe
M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	156	78	81	Tl

Вероятная формула **Tl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** (формально также возможно указание формулы Co<sub>2</sub>O)

### **Критерии оценивания**

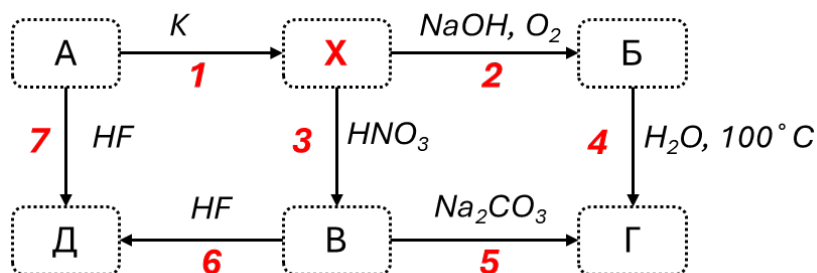
- 1) Определено число электронов у аниона O<sup>2-</sup> – **2 балла.**

2) Определено число электронов у катионов металла, приходящихся на один атом кислорода, или число электронов, приходящееся на все катионы в возможных предполагаемых формулах оксида ( $M_2O$ ,  $MO$ ,  $M_2O_3$ ) – **4 балла**.

3) На основе действий, описанных в пп. 1 и 2, установлено число электронов у одного катиона металла – **8 баллов**.

4) На основе действий, описанных в пп. 1–3, определен химический элемент и составлена формула оксида ( $Tl_2O_3$  и/или  $Co_2O$ ) – **6 баллов**.

#### Задание 9-4



Вам представлена схема превращения веществ, содержащих в своем составе неизвестный элемент  $X$ . Соединения этого элемента были известны с раннего средневековья и использовались при пайке металлов и в глазурях. Впервые простое вещество элемента  $X$  (вещество  $X$  на схеме) было получено в 1808 году независимо друг от друга французскими химиками Жозефом Луи Гей-Люссаком и Луи Жаком Тенаром, а также английским химиком Гемфри Дэви. Они проводили реакцию восстановления оксида элемента  $X$  (вещество  $A$ , процентное содержание  $X$  в оксиде – 31.43 %) металлическим калием (*реакция 1*). Элемент  $X$  по своей способности образовывать разветвлённые ковалентные связи очень похож на углерод. Известно, что простое вещество  $X$  может существовать в нескольких аллотропных модификациях – аморфной и кристаллической. Аморфная модификация представляет собой порошок бурого цвета и является более реакционноспособной. Может вступать в реакцию сплавления со щелочами в присутствии окислителей (*реакция 2*), а также с концентрированной азотной кислотой (*реакция 3*). В результате реакции 2 образуется соль (вещество  $B$ ), которую в 1930-е годы фирма Kodak начала вводить в состав проявителей под торговым именем Кодалк. В результате реакции 3 образуется слабая кислота, которая в водном растворе является одноосновной (вещество  $V$ ). По реакциям 4 и 5 образуется соль (вещество  $G$ ). Кристаллогидрат соли  $G$  является основным минералом элемента  $X$ . Содержание безводной соли в этом минерале соли 52.88 %. При обработке веществ  $A$  и  $V$  плавиковой кислотой (*реакция 6 и 7*) образуется сильная кислота  $D$ , которая широко используется в органическом синтезе.

пределите неизвестный элемент  $X$  и относящиеся к нему сложные вещества  $A$ – $D$ . оставьте уравнения описанных реакций 1-7.

акое тривиальное название имеет минерал, который соответствует веществу  $G$ . Установите формулу минерала. Вычислите массы (г) кальцинированной соды, содержащей 10 % примесей, и вещества  $V$ , которые потребуются для получения 76.4 г этого минерала.

одтвердите, что кислота  $V$  в водном растворе является одноосновной. Объясните, почему кислота  $D$  более сильная.

## Решение

1.

Х	А	Б	В	Г	Д
В	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaBO <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	HBF <sub>4</sub>

2. Уравнения реакций:

- 1)  $B_2O_3 + 6K \rightarrow 2B + 3K_2O$
- 2)  $4B + 4NaOH + 3O_2 \rightarrow 4NaBO_2 + 2H_2O$
- 3)  $B + 3HNO_3 \rightarrow H_3BO_3 + 3NO_2$
- 4)  $4NaBO_2 + H_2O \rightarrow Na_2B_4O_7 + 2NaOH$
- 5)  $4H_3BO_3 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2B_4O_7 + CO_2 + 6H_2O$
- 6)  $H_3BO_3 + 4HF \rightarrow HBF_4 + 3H_2O$
- 7)  $B_2O_3 + 8HF \rightarrow 2HBF_4 + 3H_2O$

3. Название минерала – бура, формула Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O.

Расчет нужного количества кальцинированной соды:

Молярная масса буры 381 г/моль, тогда количества вещества буры (кристаллогидрат)  $76,2/381=0,2$  моль

По уравнению реакции:



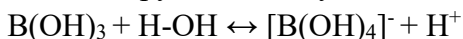
Количество кальцинированной соды 0,2 моль

Количество борной кислоты 0,8 моль

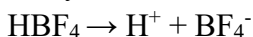
Масса соды с учетом примесей  $0,2 \cdot 106/0,9=23,6$  г

Масса борной кислоты  $0,8 \cdot 62=49,6$  г.

4. В отличие от обычных кислот кислотные свойства борной кислоты в водном растворе обусловлены не процессом отщепления иона водорода, а присоединением гидроксильной группы молекулы воды, выступающей в роли основания Льюиса:



HBF<sub>4</sub> – более сильная кислота, так как это комплексное соединение, в котором ион BF<sub>4</sub><sup>-</sup> очень устойчив, поэтому диссоциация этой кислоты происходит полностью.



### Критерии оценивания

- 1) Определен неизвестный элемент и вещества А-Д – **6 баллов**
- 2) Составленные уравнения реакций 1-7 – **7 баллов**
- 3) Тривиальное название минерала – **1 балл**  
Установленная формула минерала – **1 балл**  
Вычисленная масса кальцинированной соды, которая необходима для получения минерала – **2 балла**
- 4) Доказательство того, что кислота В одноосновная – **1,5 балла**  
Объяснение силы кислот – **1,5 балла**

### Задание 9-5

Щелочной электролиз является наиболее перспективным способом крупномасштабного производства чистых водорода и кислорода. Для его ускорения синтезируют оксидные катализаторы, например, оксид кобальта, в котором содержание кобальта составляет 73,44 %. Этот материал обладает высокой активностью и стабильностью при работе в водных растворах. Его получают термическим разложением гидроксокарбоната кобальта(II) в присутствии кислорода при температуре 300–400 °С.

Для оценки активности синтезированный порошок наносили на никелевую сетку и использовали как анод в электролизёре с 1 М раствором гидроксида калия. Вторая ячейка с таким же никелевым анодом, но без катализатора, была контрольной. Электролиз в обеих ячейках проводили при постоянном токе 0,1 А в течение 1 часа, собирая выделяющийся кислород. Эксперимент проводили при температуре 25 °С и атмосферном давлении 740 мм рт. ст. Объем выделившегося кислорода в первой ячейке составил 18 мл. На основании приведенных данных:

- 1) Приведите необходимые вычисления и определите формулу оксида кобальта;
- 2) Напишите уравнение реакции разложения гидроксокарбоната кобальта в присутствии кислорода;
- 3) Рассчитайте массу оксидного катализатора, которую можно получить из основной соли кобальта массой 6,36 г;
- 4) Напишите уравнение анодного процесса при электролизе в растворе гидроксида калия;
- 5) Вычислите теоретическое количество вещества кислорода при электролизе (постоянную Фарадея примите равной 96500 Кл/моль);
- 6) Рассчитайте выход по току (%) для кислородвыделяющей реакции в присутствии катализатора. Определите объем кислорода, образовавшегося во второй ячейке, если известно, что выход по току в ней в 1,8 раз меньше, чем в первой.

#### Решение

- 1) Установление формулы оксида  $\text{Co}_x\text{O}_y$

$$x:y = \frac{w(\text{Co})}{Ar(\text{Co})} : \frac{w(\text{O})}{Ar(\text{O})} = \frac{73,44}{59} : \frac{26,56}{16} = 1,245 : 1,66 = 1 : 1,333 = 3 : 4$$

Формула оксида:  $\text{Co}_3\text{O}_4$

- 2) Уравнение реакции разложения гидроксокарбоната кобальта в присутствии кислорода  
$$3(\text{CoOH})_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Co}_3\text{O}_4 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$$

- 3) Расчет массы оксида:

$$n((\text{CoOH})_2\text{CO}_3) = 6,36 / 212 = 0,03 \text{ моль.}$$

$$n(\text{Co}_3\text{O}_4) = 2/3 n((\text{CoOH})_2\text{CO}_3) = (2/3) \times 0,03 = 0,02 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Co}_3\text{O}_4) = 0,02 \times 241 = \mathbf{4,82 \text{ г.}}$$

- 4) Электролиз щелочного раствора, анодная реакция:  $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ .

- 5) Расчет теоретического количества вещества кислорода

$$I = 0,1 \text{ А, } t = 1 \text{ час} = 3600 \text{ с.}$$

$$Q = I \cdot t = 0,10 \times 3600 = 360 \text{ Кл.}$$

$$n(e^-) = Q / F = 360 / 96500 = 0,00373 \text{ моль } e^- = 3,73 \cdot 10^{-3} \text{ моль } e^-$$

На 1 моль  $O_2$  нужно 4 моль  $e^-$ , значит  $n_{\text{теор}}(O_2) = 0,00373 / 4 = 0,933 \cdot 10^{-3} \text{ моль } O_2$ .

б) Объём кислорода в первой ячейке при нормальных условиях:

$$V_0 = V \times (P/P_0) \times (T_0/T) = 18 \times (740/760) \times (273/298) = 16 \text{ мл.}$$

$$n_1(O_2) = 0.016 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0.000717 \text{ моль (для катализатора).}$$

$$\text{Выход по току в первой ячейке: } \eta_1 = (0.000717 / 0,000933) \times 100\% = \mathbf{76,8\%}$$

$$\text{По условию } \eta_1 / \eta_2 = V_1 / V_2 = 1,8$$

$$\text{Следовательно объём кислорода во второй ячейке: } V_2 = 18/1,8 = 10 \text{ мл.}$$

***Критерии оценивания:***

- 1) Установление формулы оксида – **2 балла.**
- 2) Запись уравнения химической реакции – **2 балла.**
- 3) Расчет массы оксида – **3 балла.**
- 4) Уравнение анодного процесса при электролизе – **1 балл.**
- 5) Вычисление теоретического количества вещества кислорода – **4 балла**
- 6) Расчет выхода по току – **6 баллов** (расчет объема – 2 балла, расчет количества кислорода – 2 балла, расчет выхода – 2 балла)
- 7) Расчет объема кислорода во второй ячейке – **2 балла.**