

9 класс
Вариант 2

Задание 9-1

Известный монах-алхимик Василий Валентин, живший в XV веке, занимался поиском «философского камня». Как мы все знаем, камень так и не был открыт, но алхимик прославился первым получением кислоты X нагреванием поваренной соли с железным купоросом. Василий Валентин назвал новое вещество «духом соли» и изучил действие кислоты X на металлы. В XVII веке немецкий химик Иоганн Рудольф Глаубер получал кислоту X, нагревая поваренную соль с веществом Z.

Сейчас нам известно, что кислоте X соответствует газ того же состава, который в 1.26 раз тяжелее воздуха. Давайте предположим, что была найдена закрытая колба с газом X объемом 500 мл, под давлением 2 атм при температуре 25 °С. Вам предлагается ответить на следующие вопросы:

- 1) Установите состав кислоты и, соответственно, газа X. Рассчитайте количество вещества газа колбе.
- 2) Рассчитайте значение pH раствора, который получится при растворении этого количества вещества газа в 500 мл воды.
- 3) Вычислите объем известковой воды с концентрацией 0.1 % (плотность примите равной 1 г/см³), который потребуется для полной нейтрализации 50 мл этого раствора.
- 4) Напишите химические формулы веществ, которые были использованы Василием Валентином.
- 5) Напишите уравнение реакции получения кислоты X по Глауберу.

Решение

1. Установление состава:

Кислота получена из поваренной соли (NaCl) и железного купороса (FeSO₄·7H₂O). При нагревании такой смеси выделяется хлороводород (HCl), который является газом X. Растворение HCl в воде даёт соляную кислоту.

Проверка по плотности: M(воздуха) ≈ 29 г/моль.

$$M(X) = 1.26 * 29 \text{ г/моль} \approx 36.5 \text{ г/моль.}$$

Расчёт количества вещества HCl:

Используем уравнение Менделеева-Клапейрона: $PV = nRT$

$$n(\text{HCl}) \approx (1) / (24.4658) \approx 0,04088 \text{ моль.}$$

2. Расчёт pH раствора.

Объём воды: 500 мл = 0.5 л.

При растворении HCl диссоциирует полностью: $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$.

Следовательно, $n(\text{H}^+) = n(\text{HCl}) = 0,04088 \text{ моль.}$

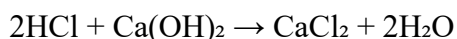
$$[\text{H}^+] = n / V = 0,04088 \text{ моль} / 0.5 \text{ л} = 0,08176 \text{ М.}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(0,08176) \approx 1,09.$$

3. Расчёт объёма известковой воды для нейтрализации.

Объём взятого раствора кислоты: 50 мл = 0.05 л.

Количество HCl в этом объёме: $n_1(\text{HCl}) = C * V = 0,08176 \text{ моль/л} * 0.05 \text{ л} = 0,004088 \text{ моль.}$



$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n_1(\text{HCl}) / 2 = 0,004088 \text{ моль} / 2 = 0,002044 \text{ моль.}$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 40 + 2*(16+1) = 74 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n * M = 0,002044 \text{ моль} * 74 \text{ г/моль} \approx 0,1513 \text{ г.}$$

Раствор известковой воды имеет $\omega = 0.1\% = 0.001$.

Масса раствора, содержащая эту массу $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{Ca}(\text{OH})_2) / \omega = 0,1513 \text{ г} / 0.001 = 151,3 \text{ г}.$$

Поскольку плотность раствора принята равной 1 г/мл, то объём:

$$V(\text{р-ра Ca}(\text{OH})_2) = 151,3 \text{ мл}.$$

4. Химические формулы веществ, которые были использованы Василием Валентином.

Поваренная соль – NaCl

Железный купорос – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

5. Уравнение реакции получения кислоты по Глауберу.



Критерии оценивания

- 1) Установлена формула кислоты и газа – **2 балла**.
Рассчитано количество газа в колбе – **2 балла**.
- 2) Рассчитано количество рН раствора кислоты – **5 баллов**.
- 3) Рассчитана объём известковой воды – **6 баллов**.
- 4) Верно написаны формулы веществ – **4 балла**.
- 5) Уравнение реакции получения кислоты по Глауберу – **1 балл**.

Задание 9-2

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

- концентрация нитрат-ионов в 3 раза ниже, чем в исходном;
- молярные концентрации нитрат-ионов и ионов калия относятся как 2:1;
- концентрация ионов водорода в конечном растворе составляла 0.015 моль/л.

На основе приведенных данных

- 1) Напишите уравнение реакции;
- 2) Вычислите массу HNO_3 в 1 л исходного раствора кислоты;
- 3) Вычислите массу KOH в 1 л исходного раствора щелочи.

Решение

Пусть V_1 - объём исходного раствора кислоты, V_2 - объём исходного раствора щелочи, V_3 - объём конечного раствора. Учитывая, что концентрация нитрат-ионов при добавлении раствора KOH уменьшилась в 3 раза, получаем:

$$V_2 = 2V_1; \quad V_3 = 3V_1.$$



Отношение исходных количеств вещества HNO_3 и KOH равно отношению концентраций ионов NO_3^- и K^+ , т.е. равно 2:1. Следовательно, 1/2 часть от исходного количества HNO_3 не прореагировала и осталась в растворе. Исходное число молей HNO_3 в 2 раза больше, чем число молей в конечном растворе.

Число молей HNO_3 в конечном р-ре:

$$\{n(\text{HNO}_3)\}_{\text{кон.}} = 0,015 \cdot V_3$$

Число молей HNO_3 в исходном р-ре:

$$\{n(\text{HNO}_3)\}_{\text{исх.}} = 2 \cdot \{n(\text{HNO}_3)\}_{\text{кон.}} = 2 \cdot 0,015 \cdot V_3 = 0,03 V_3$$

Молярная концентрация HNO_3 в исходном р-ре кислоты:

$$\{c(\text{HNO}_3)\}_{\text{исх.}} = \{n(\text{HNO}_3)\}_{\text{исх.}} / V_1 = 0,03 V_3 / V_1 = 0,03 \cdot 3 = 0,09 \text{ моль/л.}$$

Число молей KOH в исходном растворе щелочи в два раза меньше исходного числа молей кислоты, а объем исходного раствора щелочи в 2 раза больше объема раствора кислоты. Следовательно:

$$\{c(\text{KOH})\}_{\text{исх.}} = 0,09 / (2 \cdot 2) = 0,0225 \text{ моль/л.}$$

Масса HNO₃ в 1 л раствора кислоты:

$$\{m(\text{HNO}_3)\}_{\text{исх.}} = 0,09 \cdot 63 = 5,67 \text{ г}$$

Масса KOH в 1 л раствора щелочи

$$\{m(\text{KOH})\}_{\text{исх.}} = 0,0225 \cdot 56 = 1,26 \text{ г}$$

Критерии оценивания

- 1) Написано уравнение реакции – **1 балл**.
- 2) На основе изменения концентрации нитрат-ионов определено соотношение объемов для трех растворов – **4 балла**.
- 3) На основе соотношения концентраций нитрат-ионов и ионов калия определено, во сколько раз число молей HNO₃ в исходном растворе больше, чем в конечном – **5 баллов**.
- 4) Найдена молярная концентрация HNO₃ в исходном р-ре кислоты – **4 балла**.
- 5) Найдена молярная концентрация KOH в исходном р-ре щелочи – **4 балла**.
- 6) Найдены массы HNO₃ и KOH в их исходных растворах – **2 балла**.

Задание 9-3

Оксид некоторого элемента в кристаллическом состоянии имеет ионную кристаллическую решетку. Он используется для изготовления небьющихся легкоплавких стекол, которые становятся жидкими при температуре 125–150 °С. Установите формулу оксида, если в его кристалле число электронов у атомов элемента в 16 раз 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 ₂ O	10	160	80	81	Tl
MO	10	160	160	162	-
M ₂ O ₃	30	480	240	243	-

Формула оксида: **Tl₂O**

Критерии оценивания

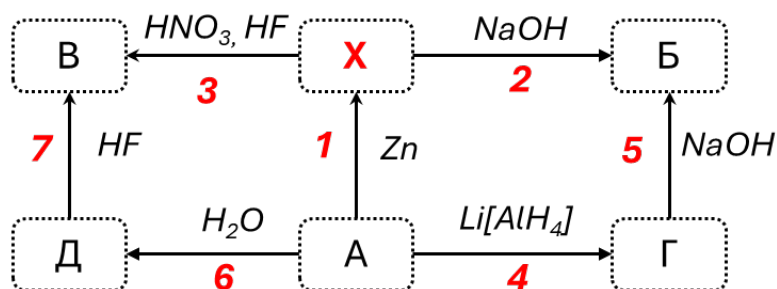
- 1) Определено число электронов у аниона O²⁻ – **2 балла**.

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 – **6 баллов**.

Задание 9-4



Вам представлена схема превращения веществ, содержащих в своем составе неизвестный элемент X . Впервые простое вещество элемента X (вещество X на схеме) было получено в 1811 году французскими химиками Жозефом Луи Гей-Люссаком и Луи Жаком Тенаром. Известно, что простое вещество X может существовать в нескольких аллотропных модификациях – аморфной и кристаллической. Кристаллическая модификация представляет собой темно-серые кристаллы и является наиболее распространенным полупроводником, его сопротивление понижается с ростом температуры. Получить кристаллическую форму X можно, проводя реакцию восстановления паров галогенида элемента X (вещество A , относительная плотность паров по азоту 6.072, процентное содержание X в A – 16.47 %) металлическим цинком (реакция 1). Простое вещество X – довольно инертное, однако может вступать в реакцию с горячими растворами щелочей (реакция 2) и растворяться в смеси концентрированной азотной и плавиковой кислот (реакция 3). В результате реакции 2 образуется соль (вещество B), водный раствор которой используется в качестве клея. В результате реакции 3 образуется сильная кислота, которая существует только в водном растворе (вещество V). По реакции 4 образуется бесцветный, высокотоксичный, самовоспламеняющийся газ (вещество $Г$), в котором массовое содержание элемента X – 87.5%. При растворении вещества $Г$ в щелочах выделяется водород (реакция 5). Реакция 6 между веществом A и водой протекает очень бурно, с выделением большого количества тепла. Вещество $Д$ – слабая кислота, неорганический полимер, может существовать в нескольких формах. Обработка вещества $Д$ плавиковой кислотой (реакция 7) приводит к образованию вещества V . Вам предлагается ответить на следующие вопросы:

- 1) Определите неизвестный элемент X и относящиеся к нему сложные вещества A - $Д$.
- 2) Составьте уравнения описанных реакций 1-7.
- 3) Какое тривиальное название имеет газ, который соответствует веществу $Г$? Установите формулу газа. Вычислите объем газа $Г$ (л), который образовался по реакции 4 между 17 г вещества A и 7.6 г алюмогидрида лития при 27 °С и давлении 100 кПа.
- 4) Объясните, почему кислота $Д$ является неорганическим полимером. Какое тривиальное название она имеет? Как Вы думаете, почему кислота V , в отличие от $Д$, более сильная?

Решение

1.

X	A	Б	В	Г	Д
Si	SiCl ₄	Na ₂ SiO ₃	H ₂ [SiF ₆]	SiH ₄	H ₂ SiO ₃

2. Уравнения реакций:

- 1) $\text{SiCl}_4 + 2\text{Zn} \rightarrow \text{Si} + 2\text{ZnCl}_2$
- 2) $\text{Si} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2$
- 3) $3\text{Si} + 4\text{HNO}_3 + 18\text{HF} \rightarrow 3\text{H}_2[\text{SiF}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{SiCl}_4 + \text{Li}[\text{AlH}_4] \rightarrow \text{SiH}_4 + \text{LiCl} + \text{AlCl}_3$
- 5) $\text{SiH}_4 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 4\text{H}_2$
- 6) $\text{SiCl}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3 + 4\text{HCl}$ (допускаются другие формы записи кремниевой кислоты)
- 7) $\text{H}_2\text{SiO}_3 + 6\text{HF} \rightarrow \text{H}_2[\text{SiF}_6] + 3\text{H}_2\text{O}$

3. Название газа – силан.

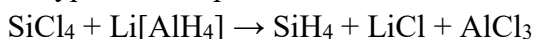
Расчет объема силана:

Молярная масса буры хлорида кремния 170 г/моль, алюмогидрида лития 38 г/моль.

Количества вещества хлорида кремния $17/170=0,1$ моль - недостаток

Количество вещества алюмогидрида лития $7,6/38=0,2$ моль - избыток

По уравнению реакции:

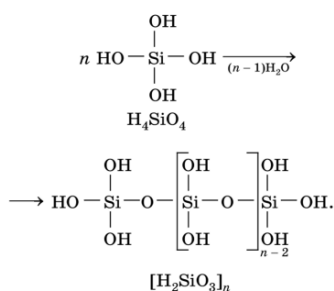


Количество силана 0,1 моль

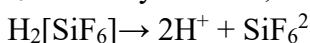
Объем выделившегося газа по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$V=0,1 \cdot 8,314 \cdot 300/100=2,49 \text{ л.}$$

4. Кремниевая кислота ((H₂SiO₃) и ее гидраты) представляет собой слабый неорганический полимер, образующийся при взаимодействии соединений кремния с водой. Тривиальное название – силикагель, кремнезоль. Это нерастворимое вещество с полимерной структурой, состоящей из цепочек, сеток и лент кремний-кислородных тетраэдров [(SiO₄)], что обеспечивает высокую химическую стойкость и способность образовывать гели (силикагели).



H₂[SiF₆] – более сильная кислота, так как это комплексное соединение, в котором ион SiF₆²⁻ 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 газа – **1 балл**
Установлена формула газа – **1 балл**
Вычисленный объем газа – **2 балла**
- 4) Объяснение того, что кислота Д полимер и тривиальное название кислоты – **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 никеля с массовой долей никеля 78.67 %, который на аноде преобразуется в высокоактивный гидроксид. Оксид получают термическим разложением гидрокарбоната никеля(II) в инертной атмосфере при температуре 300–450 °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 0.08 А в течение 1 часа, собирая выделяющийся кислород. Эксперимент проводили при температуре 25°С и атмосферном давлении 750 мм рт. ст. Объем выделившегося кислорода во второй ячейке составил 10.7 мл.

На основании приведенных данных:

- 1) Приведите необходимые вычисления и определите формулу оксида никеля;
- 2) Напишите уравнение реакции разложения гидрокарбоната никеля;
- 3) Рассчитайте массу оксидного катализатора, которую можно получить из основной соли никеля массой 5.92 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 ячейке без катализатора. Определите объем кислорода, образовавшегося в ячейке с катализатором, если известно, что выход по току в ней в 1.5 раза больше, чем во второй.

Решение

- 1) Установление формулы оксида Ni_xO_y

$$x:y = \frac{w(\text{Ni})}{Ar(\text{Ni})} : \frac{w(\text{O})}{Ar(\text{O})} = \frac{78,67}{59} : \frac{21,33}{16} = 1,33 : 1,33 = 1 : 1$$

Формула оксида: NiO

- 2) Уравнение реакции разложения гидрокарбоната никеля



- 3) Расчет массы оксида:

$$n((\text{NiOH})_2\text{CO}_3) = 5,92 / 212 = 0,0279 \text{ моль.}$$

$$n(\text{NiO}) = 2 \times n((\text{NiOH})_2\text{CO}_3) = 2 \times 0,028 = 0,056 \text{ моль.}$$

$$m(\text{NiO}) = 0,056 \times 75 = \mathbf{4,19 \text{ г.}}$$

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

5) Расчет теоретическое количество вещества кислорода

$$I = 0,08 \text{ А, } t = 1 \text{ час} = 3600 \text{ с.}$$

$$Q = I \cdot t = 0,08 \times 3600 = 288 \text{ Кл.}$$

$$n(\text{e}^-) = Q / F = 288 / 96500 = 0,003 \text{ моль } \text{e}^-.$$

На 1 моль O_2 нужно 4 моль e^- , значит $n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 0,003 / 4 = 0,000746 \text{ моль } \text{O}_2$.

б) Объем кислорода во второй ячейке при нормальных условиях:

$$V_0 = V \times (P/P_0) \times (T_0/T) = 10,7 \times (750/760) \times (273/298) = 9,67 \text{ мл.}$$

$$n_1(\text{O}_2) = 0,00967 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,000432 \text{ моль (для катализатора).}$$

Выход по току вот второй ячейке: $\eta_1 = (0,000432 / 0,000746) \times 100\% = \mathbf{57,9\%}$

По условию: $\eta_1 / \eta_2 = V_1 / V_2 = 1,5$

Следовательно объем кислорода в первой ячейке: $V_1 = 10,7 \cdot 1,5 = 16,05 \text{ мл.}$

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 первой ячейке – **2 балла.**