

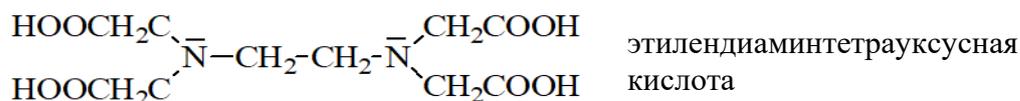
**Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.***

1 вариант

11 класс

Задача 11-1

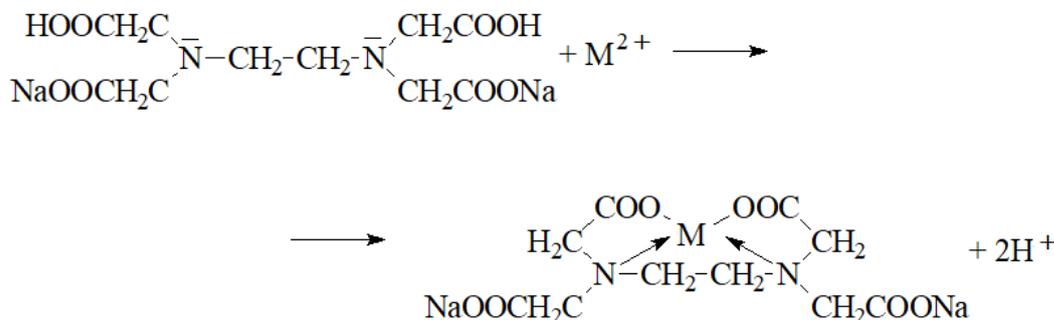
Трилон Б – это химический реагент, который широко используется в аналитической химии. Он представляет собой динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты и взаимодействует с ионами различных металлов в молярном соотношении 1:1 с образованием устойчивого комплексного соединения. Напишите уравнение реакции трилона Б с ионами двухвалентного металла, учитывая, что при образовании комплексного соединения ион металла замещает ионы водорода карбоксильных групп и одновременно образует связи с атомами азота по донорно-акцепторному механизму.



Для определения общей жесткости воды (суммарное содержание солей кальция и магния) к 20 мл анализируемой воды прилили 0.05 моль/л раствор трилона Б до окончания реакции. Всего потребовалось 15.6 мл. Определите жесткость воды в градусах жесткости (°Ж), учитывая, что 1°Ж = 0.5 ммоль/л. Какова концентрация каждого из ионов в воде в мг/л, если число ионов кальция в 4 раза больше, чем ионов магния?

Решение

Реакция взаимодействия трилона Б с ионами двухвалентного металла:



(допускается другое обозначение донорно-акцепторной связи)

На реакцию с анализируемой водой потребовалось 0.05 моль/л · 0.0156 л = 0.00078 моль = 0.78 ммоль трилона Б. Следовательно суммарная концентрация солей магния и кальция в воде составляет 0.78 ммоль / 0.02 л = 39 ммоль/л = 39/0.5 = 78°Ж.

Концентрация ионов кальция в воде составляет 39 ммоль/л · 4 / 5 = 31.2 ммоль/л или 0.0312 моль/л или 0.0312 моль/л · 40 г/моль = 1.248 г/л = 1248 мг/л.

Концентрация ионов магния в воде составляет 39 ммоль/л · 1 / 5 = 7.8 ммоль/л или 0.0078 моль/л или 0.0078 моль/л · 24 г/моль = 0.1872 г/л = 187.2 мг/л.

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За написание уравнения реакции | 10 б. |
| 2. За расчет общей жесткости в градусах жесткости | 5 б. |
| 3. За расчет концентрации каждого из ионов в мг/л по 5 б. | 10 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

Белое кристаллическое вещество А встречается в природе в виде минерала, оно может использоваться в составе смесей для борьбы с вредителями, в средствах для стирки и даже для отбеливания зубов. В промышленных условиях это вещество может быть получено осторожным добавлением борной кислоты к насыщенному раствору кальцинированной соды и нагреванием полученной смеси до температуры 90-100°C. В соответствии со стехиометрией реакции 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл взаимодействует с 248 г борной кислоты. При этом выделяется 44 г газа и остается раствор, содержащий 25.16% вещества В. Из этого раствора путем осторожного выпаривания воды может быть получено 382 г вещества А. Установите формулы веществ А и В, если известно, что вещество В образуется в результате дегидратации А, при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Напишите уравнение протекающей реакции. Ответ поясните и подтвердите расчетами.

Решение

Найдем массы и количества реагирующих веществ.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г}, n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г} / (106 \text{ г/моль}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г}, n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г} / (62 \text{ г/моль}) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси до реакции}) = m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 503 \text{ г} \cdot 1.191 \text{ г/мл} + 248 \text{ г} = 599 + 248 \text{ г} = 847 \text{ г}$$

Единственный газ, который может выделиться в результате реакции Na_2CO_3 с H_3BO_3 – это CO_2 .

$$m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г}, n(\text{CO}_2) = 44 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси после реакции}) = 847 \text{ г} - 44 \text{ г} = 803 \text{ г}$$

$$m(\text{В}) = 803 \text{ г} \cdot 0.2516 = 202 \text{ г},$$

$$m(\text{А}) = 382 \text{ г}, m(\text{А}) - m(\text{В}) = 382 \text{ г} - 202 \text{ г} = 180 \text{ г}$$

В условии сказано, что вещество В образуется в результате дегидратации А, а при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Следовательно, в результате взаимодействия 1 моль Na_2CO_3 с 4 моль H_3BO_3 образуется 1 моль вещества В (а из него при выпаривании 1 моль А), 1 моль CO_2 .

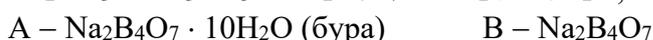
Для составления реакции и установления формулы вещества В рассчитаем массу воды до и после реакции.

$$m(\text{H}_2\text{O до реакции}) = m(\text{р-ра соды}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 599 \text{ г} - 106 \text{ г} = 493 \text{ г},$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 493 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 27.4 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{O после реакции}) = m(\text{р-ра после реакции}) - m(\text{В}) = 803 \text{ г} - 202 \text{ г} = 601 \text{ г}; n(\text{H}_2\text{O}) = 601 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 33.4 \text{ моль}$$

Следовательно, в ходе реакции образовалось 6 моль воды. На основании установленных коэффициентов запишем уравнение реакции с коэффициентами и найдем формулы В.



Разбалловка

За установления формул веществ А и В (включая расчеты) по 10 б.

20 б.

За уравнение реакции

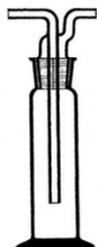
5 б.

Всего:

25 б.

Задача 11-3

Полное сгорание 53.4 г (8.96 л) паров органического вещества А требует 17.92 л кислорода и приводит к образованию в качестве продуктов только 79 г смеси двух газообразных при нормальных условиях продуктов Б и В общим объемом 44.8 л, мольная доля Б составляет 40%. Продукт В представляет бинарное вещество и содержит 1.2 г водорода. Смесь Б и В при пропускании через склянку Дрекселя (см. рис.) с избытком насыщенного раствора гидрокарбоната натрия (питьевой соды) вызвала бурное вскипание раствора, на выходе из склянки объем конечного газа сохранился 44.8 л, а масса увеличилась на 9 г по сравнению с массой (Б+В). Продукта В в конечном газе нет. Все объемы определены при н.у. Определите вещество А, которое включает 3 элемента и не содержит кислород. Напишите структурные формулы двух его изомеров. Составьте уравнения всех протекающих реакций.



Решение

Определим количество вещества и молярную массу органического вещества А: $n(A) = 8.96/22.4 = 0.4$ моль. $M(A) = 53.4/0.4 = 133.5$ г/моль.

Определим количество вещества и молярную массу конечного газа: $n(\text{конечного газа}) = 44.8/22.4 = 2$ моль. $M(\text{конечного газа}) = 88/2 = 44$ г/моль. Это чистый углекислый газ.

Определим количество вещества элемента водорода в продукте В: $n(H) = 1.2/1 = 1.2$ моль. Бинарным соединением водорода В не может быть вода, так как она не газообразная при н.у. Значит бинарное вещество В – это соединение водорода и третьего элемента Z, оно поглощается содой с выделением углекислого газа.

Определим количество вещества кислорода, участвовавшего в горении: $n(O_2) = 17.92/22.4 = 0.8$ моль. Весь кислород израсходовался на окисление углерода, содержащегося в А, до углекислого газа – продукта Б. Значит углерода в сгоревшем А было: $n(C) = n(O_2) = 0.8$ моль. $m(C) = 0.8 \cdot 12 = 9.6$ г.

Итак, 0.4 моль А содержит 0.8 моль углерода и 1.2 моль водорода.

Следовательно, формулу А можно определить как $C_2H_3Z_z$.

$C_2H_3Z_z + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + zHZ$ Соотношение газов Б (CO_2) и В по условию равно 40 : 60 = 2 : 3. Следовательно, В – это HZ, $z = 3$.

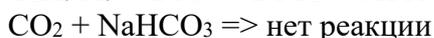
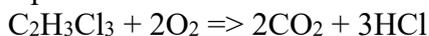
$C_2H_3Z_3 + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + 3HZ$

Определим Z. По уравнению: $n(Z) = n(H) = 1.2$ моль. $m(Z) = 53.4 - m(C) - m(H) = 53.4 - 9.6 - 1.2 = 42.6$ г. $M(Z) = m(Z)/n(Z) = 42.6/1.2 = 35.5$ г/моль. Значит Z – это Cl.

Общая формула: $C_2H_3Cl_3$.

Структурные формулы 2 изомеров: CH_3-CCl_3 (1,1,1-трихлорэтан, А1), $CHCl_2-CH_2Cl$ (1,1,2-трихлорэтан, А2). $M = 133.5$ г/моль, это совпало с расчетным.

Уравнения:



Разбалловка

За формулы А1, А2, Б, В и за элемент Cl по 3 б.

15 б.

За уравнения реакций с участием O_2 и соды по 5 б.

10 б.

Всего

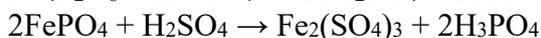
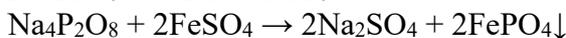
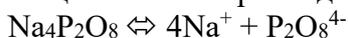
25 б.

Задача 11-4

Молекула вещества А, относящегося к классу пероксидов, включает 2 атома элемента С, имеющего в ядре 16 нейтронов и отличное от этого число протонов, 8 атомов элемента В, относящегося ко 2 периоду (атомы В находятся в 2 разных степенях окисления, средняя степень окисления их равна -1.75), а также 4 атома элемента D, имеющего в ядре 11 протонов. В водном растворе молекула распадается на 5 ионов. К прозрачному бесцветному водному раствору вещества А добавили избыток раствора сульфата железа(II) (100 мл, концентрация 0.04 моль/л), при этом выделился желтый осадок. Смесь подкислили серной кислотой, и образовавшийся прозрачный раствор оттитровали 0.02 моль/л раствором перманганата калия до исчезающей фиолетовой окраски, при этом эквивалентный объем раствора перманганата калия составил 10 мл. Определите неизвестное вещество А, напишите его структурную формулу, найдите его количество в исходном растворе. Напишите уравнение электролитической диссоциации вещества А и уравнения всех протекающих реакций.

Решение

Вещество А – пероксидифосфат натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8$ $(\text{NaO})_2\text{P}(=\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{ONa})_2$



$$n(\text{FeSO}_4 \text{ исходного}) = 100 \cdot 0.04 = 4 \text{ ммоль.}$$

$$n(\text{KMnO}_4) = 10 \cdot 0.02 = 0.2 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Тогда } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с KMnO}_4) = 0.2 \cdot 5 = 1 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 4 - 1 = 3 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 0.5 \cdot 3 = 1.5 \text{ ммоль.}$$

Разбалловка

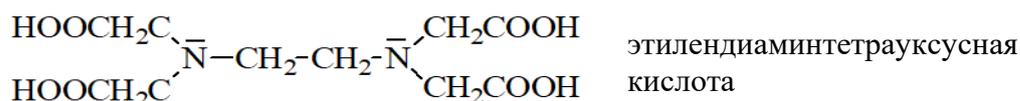
За определение 3 элементов по 1 б.	3 б.
За общую и структурную формулу по 2 б.	4 б.
За 4 уравнения реакций по 3 б.	12 б.
За нахождение $n(\text{KMnO}_4)$ 0.2 ммоль и $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8)$ 1.5 ммоль по 3 б.	6 б.
Всего	25 б

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

1 вариант
10 класс

Задача 10-1

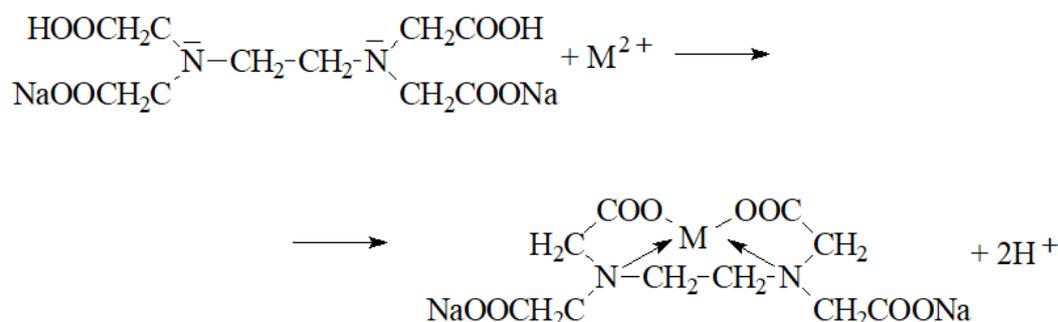
Трилон Б – это химический реагент, который широко используется в аналитической химии. Он представляет собой динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты и взаимодействует с ионами различных металлов в молярном соотношении 1:1 с образованием устойчивого комплексного соединения. Напишите уравнение реакции трилона Б с ионами двухвалентного металла, учитывая, что при образовании комплексного соединения ион металла замещает ионы водорода карбоксильных групп и одновременно образует связи с атомами азота по донорно-акцепторному механизму.



Для определения общей жесткости воды (суммарное содержание солей кальция и магния) к 20 мл анализируемой воды прилили 0.05 моль/л раствор трилона Б до окончания реакции. Всего потребовалось 5.6 мл. Определите жесткость воды в градусах жесткости ($^{\circ}\text{Ж}$), учитывая, что $1^{\circ}\text{Ж} = 0.5$ ммоль/л. Можно ли пить такую воду, если жесткость питьевой воды не должна превышать 7°Ж ? Какова концентрация кальция в анализируемой воде в мг/л, если в ней нет ионов магния, и вся жесткость обусловлена ионами кальция? Каким образом можно уменьшить жесткость воды?

Решение

Реакция взаимодействия трилона Б с ионами двухвалентного металла:



(допускается другое обозначение донорно-акцепторной связи)

На реакцию с анализируемой водой потребовалось $0.05 \text{ моль/л} \cdot 0.0056 \text{ л} = 0.00028 \text{ моль} = 0.28 \text{ ммоль}$ трилона Б. Следовательно суммарная концентрация солей магния и кальция в воде составляет $0.28 \text{ ммоль} / 0.02 \text{ л} = 14 \text{ ммоль/л} = 14/0.5 = 28^{\circ}\text{Ж}$. Такую воду пить нельзя.

Концентрация ионов кальция в анализируемой воде в отсутствие ионов магния составляет $0.014 \text{ моль/л} \cdot 40 \text{ г/моль} = 0.56 \text{ г/л} = 560 \text{ мг/л}$.

Существуют различные способы уменьшения жесткости воды:

- термический метод (позволяет устранить временную жесткость);
- реагентный метод (реагенты переводят ионы кальция и магния в труднорастворимые соединения);
- умягчение воды диализом;
- умягчение воды ионным обменом и др.

Разбалловка

1. За написание уравнения реакции	10 б.
2. За расчет общей жесткости в градусах жесткости	5 б.
3. За расчет концентрации ионов кальция в мг/л	5 б.
4. За ответ на вопрос можно ли пить воду	2 б.
4. За указание способа устранения жесткости воды	3 б.
Всего:	25 б.

Задача 10-2

Белое кристаллическое вещество А встречается в природе в виде минерала, оно может использоваться в составе смесей для борьбы с вредителями, в средствах для стирки и даже для отбеливания зубов. В промышленных условиях это вещество может быть получено осторожным добавлением борной кислоты H_3BO_3 к насыщенному раствору кальцинированной соды Na_2CO_3 и нагреванием полученной смеси до температуры 90-100°C. В соответствии со стехиометрией реакции 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл взаимодействует с 248 г борной кислоты. При этом выделяется 44 г газа и остается раствор, содержащий 25.16% вещества В. Из этого раствора путем осторожного выпаривания воды может быть получено 382 г вещества А. Установите формулы веществ А и В, если известно, что вещество В образуется в результате дегидратации А, при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Напишите уравнение протекающей реакции. Ответ поясните и подтвердите расчетами.

Решение

Найдем массы и количества реагирующих веществ.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г}, n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г} / (106 \text{ г/моль}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г}, n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г} / (62 \text{ г/моль}) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси до реакции}) = m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 503 \text{ г} \cdot 1.191 \text{ г/мл} + 248 \text{ г} = 599 + 248 \text{ г} = 847 \text{ г}$$

Единственный газ, который может выделиться в результате реакции Na_2CO_3 с H_3BO_3 – это CO_2 .

$$m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г}, n(\text{CO}_2) = 44 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси после реакции}) = 847 \text{ г} - 44 \text{ г} = 803 \text{ г}$$

$$m(\text{В}) = 803 \text{ г} \cdot 0.2516 = 202 \text{ г},$$

$$m(\text{А}) = 382 \text{ г}, m(\text{А}) - m(\text{В}) = 382 \text{ г} - 202 \text{ г} = 180 \text{ г}$$

В условии сказано, что вещество В образуется в результате дегидратации А, а при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Следовательно, в результате взаимодействия 1 моль Na_2CO_3 с 4 моль H_3BO_3 образуется 1 моль вещества В (а из него при выпаривании 1 моль А), 1 моль CO_2 .

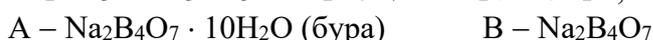
Для составления реакции и установления формулы вещества В рассчитаем массу воды до и после реакции.

$$m(\text{H}_2\text{O до реакции}) = m(\text{р-ра соды}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 599 \text{ г} - 106 \text{ г} = 493 \text{ г},$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 493 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 27.4 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{O после реакции}) = m(\text{р-ра после реакции}) - m(\text{В}) = 803 \text{ г} - 202 \text{ г} = 601 \text{ г}; n(\text{H}_2\text{O}) = 601 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 33.4 \text{ моль}$$

Следовательно, в ходе реакции образовалось 6 моль воды. На основании установленных коэффициентов запишем уравнение реакции с коэффициентами и найдем формулы В.



Разбалловка

За установления формул веществ А и В (включая расчеты) по 10 б.

20 б.

За уравнение реакции

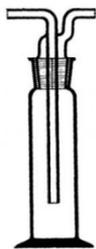
5 б.

Всего:

25 б.

Задача 10-3

Полное сгорание 53.4 г (8.96 л) паров органического вещества А требует 17.92 л кислорода и приводит к образованию в качестве продуктов только 79 г смеси двух газообразных при нормальных условиях продуктов Б и В общим объемом 44.8 л, мольная доля Б составляет 40%. Продукт В представляет бинарное вещество и содержит 1.2 г водорода. Смесь Б и В при пропускании через склянку Дрекселя (см. рис.) с избытком насыщенного раствора гидрокарбоната натрия (питьевой соды) вызвала бурное вскипание раствора, на выходе из склянки объем конечного газа сохранился 44.8 л, а масса увеличилась на 9 г по сравнению с массой (Б+В). Продукта В в конечном газе нет. Все объемы определены при н.у. Определите вещество А, которое включает 3 элемента и не содержит кислород. Напишите структурные формулы двух его изомеров. Составьте уравнения всех протекающих реакций.



Решение

Определим количество вещества и молярную массу органического вещества А: $n(A) = 8.96/22.4 = 0.4$ моль. $M(A) = 53.4/0.4 = 133.5$ г/моль.

Определим количество вещества и молярную массу конечного газа: $n(\text{конечного газа}) = 44.8/22.4 = 2$ моль. $M(\text{конечного газа}) = 88/2 = 44$ г/моль. Это чистый углекислый газ.

Определим количество вещества элемента водорода в продукте В: $n(H) = 1.2/1 = 1.2$ моль. Бинарным соединением водорода В не может быть вода, так как она не газообразная при н.у. Значит бинарное вещество В – это соединение водорода и третьего элемента Z, оно поглощается содой с выделением углекислого газа.

Определим количество вещества кислорода, участвовавшего в горении: $n(O_2) = 17.92/22.4 = 0.8$ моль. Весь кислород израсходовался на окисление углерода, содержащегося в А, до углекислого газа – продукта Б. Значит углерода в сгоревшем А было: $n(C) = n(O_2) = 0.8$ моль. $m(C) = 0.8 \cdot 12 = 9.6$ г.

Итак, 0.4 моль А содержит 0.8 моль углерода и 1.2 моль водорода.

Следовательно, формулу А можно определить как $C_2H_3Z_z$.

$C_2H_3Z_z + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + zHZ$ Соотношение газов Б (CO_2) и В по условию равно 40 : 60 = 2 : 3. Следовательно, В – это HZ , $z = 3$.

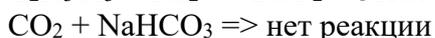
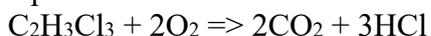
$C_2H_3Z_3 + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + 3HZ$

Определим Z. По уравнению: $n(Z) = n(H) = 1.2$ моль. $m(Z) = 53.4 - m(C) - m(H) = 53.4 - 9.6 - 1.2 = 42.6$ г. $M(Z) = m(Z)/n(Z) = 42.6/1.2 = 35.5$ г/моль. Значит Z – это Cl.

Общая формула: $C_2H_3Cl_3$.

Структурные формулы 2 изомеров: CH_3-CCl_3 (1,1,1-трихлорэтан, А1), $CHCl_2-CH_2Cl$ (1,1,2-трихлорэтан, А2). $M = 133.5$ г/моль, это совпало с расчетным.

Уравнения:



Разбалловка

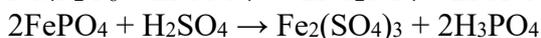
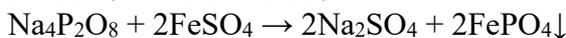
За формулы А1, А2, Б, В и за элемент Cl по 3 б.	15 б.
За уравнения реакций с участием O_2 и соды по 5 б.	10 б.
Всего	25 б.

Задача 10-4

Молекула вещества А, относящегося к классу пероксидов, включает 2 атома элемента С, имеющего в ядре 16 нейтронов и отличное от этого число протонов, 8 атомов элемента В, относящегося ко 2 периоду (атомы В находятся в 2 разных степенях окисления, средняя степень окисления их равна -1.75), а также 4 атома элемента D, имеющего в ядре 11 протонов. В водном растворе молекула распадается на 5 ионов. К прозрачному бесцветному водному раствору вещества А добавили избыток раствора сульфата железа(II) (100 мл, концентрация 0.04 моль/л), при этом выделился желтый осадок. Смесь подкислили серной кислотой, и образовавшийся прозрачный раствор оттитровали 0.02-молярным раствором перманганата калия до исчезающей фиолетовой окраски, при этом эквивалентный объем раствора перманганата калия составил 10 мл. Определите неизвестное вещество А, напишите его структурную формулу, найдите его количество в исходном растворе. Напишите уравнение электролитической диссоциации вещества А и уравнения всех протекающих реакций.

Решение

Вещество А – пероксидифосфат натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8$ $(\text{NaO})_2\text{P}(=\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{ONa})_2$



$$n(\text{FeSO}_4 \text{ исходного}) = 100 \cdot 0.04 = 4 \text{ ммоль.}$$

$$n(\text{KMnO}_4) = 10 \cdot 0.02 = 0.2 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Тогда } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с KMnO}_4) = 0.2 \cdot 5 = 1 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 4 - 1 = 3 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 0.5 \cdot 3 = 1.5 \text{ ммоль.}$$

Разбалловка

За определение 3 элементов по 1 б.	3 б.
За общую и структурную формулу по 2 б.	4 б.
За 4 уравнения реакций по 3 б.	12 б.
За нахождение $n(\text{KMnO}_4)$ 0.2 ммоль и $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8)$ 1.5 ммоль по 3 б.	6 б.
Всего	25 б.

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

1 вариант

9 класс

Задача 9-1

Трилон Б – это химический реагент, который широко используется в аналитической химии. Он взаимодействует с ионами различных металлов в молярном соотношении 1:1 с образованием устойчивого комплексного соединения.

Для определения общей жесткости воды (суммарное содержание солей кальция и магния) к 20 мл анализируемой воды прилили 0.05 моль/л раствор трилона Б до окончания реакции. Всего потребовалось 5.6 мл. Определите жесткость воды в градусах жесткости (°Ж), учитывая, что 1°Ж = 0.5 ммоль/л. Можно ли пить такую воду, если жесткость питьевой воды не должна превышать 7°Ж? Какова концентрация кальция в анализируемой воде в мг/л, если в ней нет ионов магния и вся жесткость обусловлена ионами кальция? Каким образом можно уменьшить жесткость воды?

Решение

На реакцию с анализируемой водой потребовалось $0.05 \text{ моль/л} \cdot 0.0056 \text{ л} = 0.00028 \text{ моль} = 0.28 \text{ ммоль}$ трилона Б. Следовательно суммарная концентрация солей магния и кальция в воде составляет $0.28 \text{ ммоль} / 0.02 \text{ л} = 14 \text{ ммоль/л} = 14/0.5 = 28^\circ\text{Ж}$. Такую воду пить нельзя.

Концентрация ионов кальция в анализируемой воде в отсутствие ионов магния составляет $0.014 \text{ моль/л} \cdot 40 \text{ г/моль} = 0.56 \text{ г/л} = 560 \text{ мг/л}$.

Существуют различные способы уменьшения жесткости воды:

- термический метод (позволяет устранить временную жесткость);
- реагентный метод (реагенты переводят ионы кальция и магния в труднорастворимые соединения);
- умягчение воды диализом;
- умягчение воды ионным обменом и др.

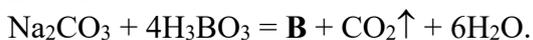
Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За расчет общей жесткости в градусах жесткости | 8 б. |
| 2. За расчет концентрации ионов кальция в мг/л | 10 б. |
| 3. За ответ на вопрос можно ли пить воду | 2 б. |
| 4. За указание способа устранения жесткости воды | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-2

Белое кристаллическое вещество **A** встречается в природе в виде минерала, оно может использоваться в составе смесей для борьбы с вредителями, в средствах для стирки и даже для отбеливания зубов. В результате дегидратации вещества **A** образуется вещество **B**, при нагревании 1 моль **A** убыль массы составляет 180 г.

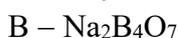
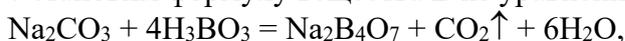
В промышленных условиях для получения этих веществ можно использовать реакцию, протекающую при добавлении борной кислоты H_3BO_3 к насыщенному раствору кальцинированной соды Na_2CO_3 и нагревании полученной смеси до температуры 90-100°C:



Установите формулы веществ **A** и **B**. Какие массы этих веществ можно получить при добавлении 248 г борной кислоты к 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл? Определите массовую долю **B** в полученном растворе.

Решение

Установим формулу вещества **B** из уравнения реакции.



Учитывая, что **B** образуется при дегидратации **A** и при нагревании 1 моль **A** теряется 180 г, то есть 10 моль H_2O , можно установить формулу **A**.



Найдем массы и количества реагирующих веществ.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = V(\rho\text{-ра}) \cdot \rho(\rho\text{-ра}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г}, n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г} / (106 \text{ г/моль}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г}, n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г} / (62 \text{ г/моль}) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси до реакции}) = 599 \text{ г} + 248 \text{ г} = 847 \text{ г}$$

Найдем массы и количества веществ после реакции.

$$m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 1 \text{ моль} \cdot 202 \text{ г/моль} = 202 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ моль} \cdot 382 \text{ г/моль} = 382 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 1 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 44 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора после реакции}) = 847 \text{ г} - 44 \text{ г} = 803 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 202 \text{ г} / 803 \text{ г} = 0.2516 \text{ или } 25.16\%$$

Разбалловка

За установления формул веществ **A** и **B** по 5 б.

10 б.

За расчет массы **A** и **B** по 5 б.

10 б.

За расчет массовой доли **B** в растворе

5 б.

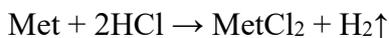
Всего:

25 б.

Задача 9-3

Кусочек металла массой 9.75 г полностью растворили в 500 г 10%-ного раствора соляной кислоты, при этом выделилось 3.36 л газа (при нормальных условиях). Определите металл, запишите уравнение реакции, рассчитайте количества всех веществ в конечном растворе. В получающемся соединении металл имеет степень окисления +2.

Решение

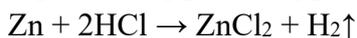


Найдем количество металла: $n(\text{Met}) = 9.75/M$ моль. (M – молярная масса металла)

Найдем количество водорода: $n(\text{H}_2) = 3.36/22.4 = 0.15$ моль.

По уравнению должно быть $n(\text{H}_2) = n(\text{Met})$

$$0.15 = 9.75/M \quad M = 65 \text{ г/моль, это цинк;}$$



$n(\text{Zn}) = 9.75/65 = 0.15$ моль. Он в недостатке, весь прореагировал.

$n(\text{ZnCl}_2)$ в растворе = $n(\text{Zn}) = 0.15$ моль.

$n(\text{HCl})$ исходной = $500 \cdot 0.1/36.5 = 1.37$ моль.

$n(\text{HCl})$ прореагировавшей = $2n(\text{Zn}) = 0.3$ моль.

$n(\text{HCl})$ оставшейся в растворе = $1.37 - 0.3 = 1.07$ моль.

Разбалловка

За определением металла цинка	5 б.
За уравнение	5 б.
За расчет $n(\text{H}_2) = 0.15$ моль, $n(\text{ZnCl}_2) = 0.15$ моль	10 б.
За расчет $n(\text{HCl})$ оставшейся = 1.07 моль	5 б.
Всего	25 б

Задача 9-4

При охлаждении водных растворов солей часто выпадают не безводные соли, а их кристаллогидраты. Насыщенный при 80°C 39%-ный раствор сульфата магния массой 200 г охладили до комнатной температуры и выдержали до прекращения кристаллизации твердого $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Растворимость MgSO_4 при комнатной температуре составляет 44.5 г на 100 г воды. Найдите массу выпавших из раствора кристаллов, массу сульфата магния и воды в образовавшемся растворе над осадком.

Решение

Найдем состав горячего раствора.

$$m(\text{MgSO}_4 \text{ в р-ре при } 80^\circ) = 200 \cdot 0.39 = 78 \text{ г.}$$

$$m(\text{воды в р-ре при } 80^\circ) = 200 - 78 = 122 \text{ г.}$$

Примем, что масса выпавших кристаллов $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ составляет x г.

$$\text{Тогда количество } n(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O тв.}) = x / M(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = x / 246 \text{ моль.}$$

Вычислим массу MgSO_4 и воды в составе $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ тв.

$$m(\text{MgSO}_4 \text{ в составе } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O тв.}) = M(\text{MgSO}_4) \cdot x / 246 = 120 \cdot x / 246 = 0.488x \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O в составе } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O тв.}) = 18 \cdot 7 \cdot x / 246 = 126 \cdot x / 246 = 0.512x \text{ г.}$$

Вычислим массу MgSO_4 и воды в составе холодного раствора MgSO_4 над осадком.

$$m(\text{MgSO}_4 \text{ в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = (78 - 0.488x) \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = (122 - 0.512x) \text{ г.}$$

Используем данные о растворимости MgSO_4 при 20° и составим пропорцию:

$$44.5 \text{ г } \text{MgSO}_4 \text{ ----- } 100 \text{ г воды}$$

$$(78 - 0.488x) \text{ ----- } (122 - 0.512x) \quad \text{Решаем ее.}$$

$$100(78 - 0.488x) = 44.5(122 - 0.512x) \quad 7800 - 48.8x = 5429 - 22.78x \quad 2371 = 26.02x$$

$$x = 2371 / 26.02 = 91.1 \text{ г.} \quad \text{Итак, масса выпавших кристаллов } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{ равна } 91.1 \text{ г.}$$

$$m(\text{MgSO}_4 \text{ в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = 78 - 0.488 \cdot 91.1 = 33.54 \text{ г.}$$

$$m(\text{воды в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = 122 - 0.512 \cdot 91.1 = 75.36 \text{ г.}$$

Разбалловка

$$\text{За расчет } m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O тв.}) = 91.1 \text{ г} \quad 10 \text{ б.}$$

$$\text{За расчет } m(\text{MgSO}_4 \text{ в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = 33.54 \text{ г} \quad 10 \text{ б.}$$

$$\text{За расчет } m(\text{воды в холодном р-ре } \text{MgSO}_4) = 75.36 \text{ г} \quad 5 \text{ б.}$$

$$\text{Всего} \quad 25 \text{ б}$$

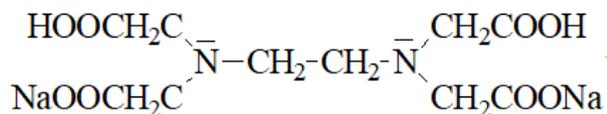
Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

1 вариант

8 класс

Задача 8-1

Трилон Б – это органический реагент, который широко используется в аналитической химии для определения ионов различных металлов. Он имеет следующую графическую формулу:



Расположите элементы, входящие в состав этого соединения, в порядке убывания их массовой доли. Ответ поясните.

Какую массу трилона Б и воды необходимо взять для приготовления 200 мл 0.5% водного раствора? В расчетах примите, что плотность раствора не отличается от плотности воды (1 г/мл).

Решение

O C Na N H

$$\omega(\text{C}) = 10 \cdot 12 / M(\text{трилон Б}) = 120 / M(\text{трилон Б})$$

$$\omega(\text{O}) = 8 \cdot 16 / M(\text{трилон Б}) = 128 / M(\text{трилон Б})$$

$$\omega(\text{Na}) = 2 \cdot 23 / M(\text{трилон Б}) = 46 / M(\text{трилон Б})$$

$$\omega(\text{N}) = 2 \cdot 14 / M(\text{трилон Б}) = 28 / M(\text{трилон Б})$$

$$\omega(\text{H}) = 14 \cdot 1 / M(\text{трилон Б}) = 14 / M(\text{трилон Б})$$

$$\omega(\text{трилона Б}) = m(\text{трилона Б}) / m(\text{раствора})$$

$$m(\text{трилона Б}) = \omega(\text{трилона Б}) \cdot m(\text{раствора}) = \omega(\text{трилона Б}) \cdot V(\text{раствора}) \cdot \rho(\text{раствора}) = \\ = 0.005 \cdot 200 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ г} - 1 \text{ г} = 199 \text{ г.}$$

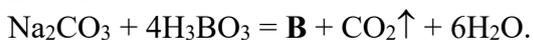
Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За правильное расположение элементов | 10 б. |
| 2. За объяснение | 5 б. |
| 3. За расчет массы трилона Б и воды по 5 б. | 10 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 8-2

Белое кристаллическое вещество **A** встречается в природе в виде минерала, оно может использоваться в составе смесей для борьбы с вредителями, в средствах для стирки и даже для отбеливания зубов. В результате дегидратации вещества **A** образуется вещество **B**, при нагревании 1 моль **A** убыль массы составляет 180 г.

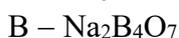
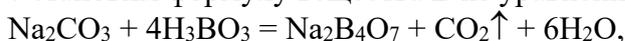
В промышленных условиях для получения этих веществ можно использовать реакцию, протекающую при добавлении борной кислоты H_3BO_3 к насыщенному раствору кальцинированной соды Na_2CO_3 и нагревании полученной смеси до температуры 90-100°C:



Установите формулы веществ **A** и **B**. Какие массы этих веществ можно получить при добавлении 248 г борной кислоты к 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл? Определите массовую долю **B** в полученном растворе.

Решение

Установим формулу вещества **B** из уравнения реакции.



Учитывая, что **B** образуется при дегидратации **A** и при нагревании 1 моль **A** теряется 180 г, то есть 10 моль H_2O , можно установить формулу **A**.



Найдем массы и количества реагирующих веществ.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = V(\text{p-ра}) \cdot \rho(\text{p-ра}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г}, n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г} / (106 \text{ г/моль}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г}, n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г} / (62 \text{ г/моль}) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси до реакции}) = 599 \text{ г} + 248 \text{ г} = 847 \text{ г}$$

Найдем массы и количества веществ после реакции.

$$m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 1 \text{ моль} \cdot 202 \text{ г/моль} = 202 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ моль} \cdot 382 \text{ г/моль} = 382 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}_2) = 1 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 44 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора после реакции}) = 847 \text{ г} - 44 \text{ г} = 803 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 202 \text{ г} / 803 \text{ г} = 0.2516 \text{ или } 25.16\%$$

Разбалловка

За установления формул веществ **A** и **B** по 5 б.

10 б.

За расчет массы **A** и **B** по 5 б.

10 б.

За расчет массовой доли **B** в растворе

5 б.

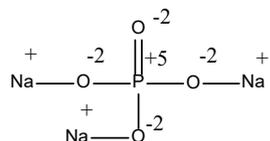
Всего:

25 б.

Задача 8-3

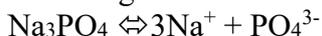
Молекула некоторой соли включает 4 атома элемента 2 периода (степень окисления их равна -2), 1 атом элемента, имеющего в ядре 15 протонов и 3 атома элемента, имеющего в ядре 12 нейтронов. В водном растворе соль диссоциирует на 4 иона. Напишите структурную формулу этой молекулы с ковалентными связями, показывающую порядок соединения атомов и кратность связей (одинарные, двойные, т.д.). Подпишите у каждого атома степень окисления. Напишите уравнение электролитической диссоциации в растворе.

Решение



Искомое вещество – фосфат натрия Na_3PO_4

Атом Mg тоже имеет 12 нейтронов, но соединение Mg_3PO_4 не может существовать.



Разбалловка

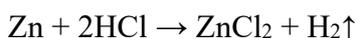
За нахождение Na, P, O и их степени окисления по 3 б.	18 б.
За общую и структурную формулу по 2 б.	4 б.
За уравнение диссоциации	3 б.
Всего:	25 б.

Задача 8-4

Кусочек цинка массой 9.75 г полностью растворился в 500 г 10%-ного раствора соляной кислоты, при этом выделился газ.

1. Запишите уравнение реакции.
2. Определите объем газа при нормальных условиях.
3. Определите количества (моль) соли цинка и непрореагировавшей HCl в конечном растворе.

Решение



$n(\text{Zn}) = 9.75/65 = 0.15$ моль. Он весь прореагировал.

$n(\text{H}_2) = n(\text{Zn}) = 0.15$ моль. $V(\text{H}_2) = 0.15 \cdot 22.4 = 3.36$ л.

$n(\text{ZnCl}_2)$ в растворе = $n(\text{Zn}) = 0.15$ моль.

$n(\text{HCl})$ исходной = $500 \cdot 0.1/36.5 = 1.37$ моль.

$n(\text{HCl})$ прореагировавшей = $2n(\text{Zn}) = 0.3$ моль.

$n(\text{HCl})$ оставшейся в растворе = $1.37 - 0.3 = 1.07$ моль.

Разбалловка

За уравнение	5 б.
За расчет $n(\text{ZnCl}_2) = 0.15$ моль	5 б.
За расчет $V(\text{H}_2) = 3.36$ л	5 б.
За расчет $n(\text{HCl})$ исходной = 1.37 моль	5 б.
За определение $n(\text{HCl})$ в растворе = 1.07 моль	5 б.
Всего	25 б.

**Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.***

2 вариант

11 класс

Задача 11-1

Некоторая кислота А может образовать с ионами металла Х три безводные соли В, С и D в зависимости от кислотности среды. Установите формулы зашифрованных веществ, учитывая следующие данные:

- массовая доля кислорода в А составляет 45.1%,
- металл Х в водном растворе проявляет постоянную степень окисления +2,
- молярные массы В, С и D относятся как 1.512 : 1 : 2.488.

Ответ обоснуйте и подтвердите необходимыми расчетами. В расчетах молярные массы округляйте до десятых.

Решение

Поскольку кислота А в зависимости от кислотности среды образует с ионами металла Х три безводные соли, то она является трехосновой кислотой и ее формулу в общем виде можно записать следующим образом: H_3EO_y . Молярную массу кислоты можно найти по массовой доле кислорода:

$$M(A) = M(O) \cdot y / 0.451.$$

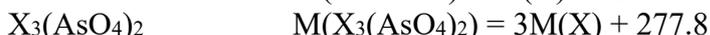
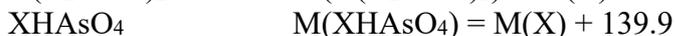
Отсюда найдем молярную массу элемента Э:

$$M(E) = M(A) - 3 \cdot M(H) - y \cdot M(O) = M(O) \cdot y / 0.451 - 3 - y \cdot M(O) = 1.217 \cdot M(O) \cdot y - 3.$$

Единственный приемлемый ответ получаем при $y = 4$:

$$M(E) = 74.9 - \text{мышьяк}, A - H_3AsO_4 - \text{мышьяковая кислота}.$$

В зависимости от кислотности мышьяковая кислота с ионами X^{2+} образует три соли:



Из условия можно записать:

$$M(X(H_2AsO_4)_2) / M(XHASO_4) = (M(X) + 281.8) / (M(X) + 139.9) = 1.512.$$

или

$$M(X_3(AsO_4)_2) / M(XHASO_4) = (3M(X) + 277.8) / (M(X) + 139.9) = 2.488.$$

Отсюда находим, что $M(X) = 137.3$ г/моль, Х – это барий.

Ответ:



Разбалловка

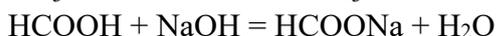
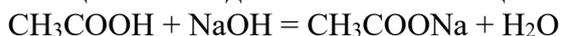
- | | |
|--|-------|
| 1. За установление А, В, С, D, Х по 4 б. | 20 б. |
| 2. За объяснения и расчеты | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

В одной колбе находится водный раствор уксусной кислоты, а в другой – муравьиной кислоты. Известно, что концентрации ионов водорода H^+ в обоих растворах одинаковы и равны по 0.001 моль/л. Рассчитайте степень диссоциации каждой кислоты, если на реакцию с 10 мл раствора уксусной кислоты потребовалось 5.6 мл 0.1 моль/л раствора NaOH, а на реакцию с таким же объемом муравьиной кислоты пошло в 10 раз меньше щелочи. Какое заключение о силе кислот можно сделать по расчетным значениям? Можно ли использовать эти данные для сравнения силы уксусной и муравьиной кислот? Какая из этих кислот сильнее? Ответ обоснуйте и объясните с точки зрения строения молекул. Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Реакции взаимодействия кислот с щелочью:



По результатам взаимодействия с раствором щелочи найдем концентрации кислот.

На реакцию с 10 мл уксусной кислоты потребовалось $0.1 \cdot 5.6 \cdot 10^{-3} = 5.6 \cdot 10^{-4}$ моль NaOH, а на реакцию с 10 мл муравьиной кислоты - $5.6 \cdot 10^{-4} / 10 = 5.6 \cdot 10^{-5}$ моль NaOH. Так как кислоты взаимодействуют с щелочью в молярном соотношении 1:1, то в 10 мл раствора уксусной кислоты содержится $5.6 \cdot 10^{-4}$ моль CH_3COOH , а в 10 мл раствора муравьиной кислоты $5.6 \cdot 10^{-5}$ моль $HCOOH$. С учетом этого рассчитаем концентрации кислот:

$$C(CH_3COOH) = 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л};$$

$$C(HCOOH) = 5.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Реакции диссоциации:



Степень диссоциации α представляет собой отношение концентрации продиссоциировавших молекул кислоты к общей концентрации кислоты. Учитывая, что концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией продиссоциировавших молекул кислоты, значение α можно рассчитать по формуле: $\alpha = C(H^+) / C_{\text{кислоты}}$.

$$\alpha(CH_3COOH) = C(H^+) / C(CH_3COOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-2} = 0.0179 \text{ или } 1.79\%$$

$$\alpha(HCOOH) = C(H^+) / C(HCOOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-3} = 0.179 \text{ или } 17.9\%$$

Расчетные значения α свидетельствуют о том, что обе кислоты слабые. Сравнить силу кислот по полученным расчетным данным не корректно, так как степень диссоциации зависит не только от природы слабой кислоты, но и от ее концентрации (чем меньше концентрация, тем больше степень диссоциации). С точки зрения строения молекул более сильной кислотой является муравьиная, так как метильная группа, связанная с углеродом карбоксильной группы уксусной кислоты, обладает положительным индукционным эффектом и является электронодонорной и она частично компенсирует потребность атома кислорода в электронной плотности. В результате этого связь O-H становится менее полярной, что затрудняет отщепление иона водорода.

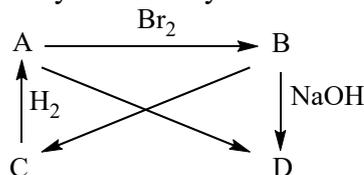
Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакции по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет степени диссоциации по 5 б. | 10 б. |
| 3. За оценку силы кислот по расчетным данным | 2 б. |
| 4. За объяснение относительной силы кислот | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-3

Среди зашифрованных веществ А, В, С, D есть алкин и алкен, различающиеся массовой долей водорода в 1.858 раза.

1. Определите вещества А, В, С, D, назовите их и напишите структурные формулы.
2. Запишите 5 уравнений реакций с указанием условий их протекания.



Решение

Пусть алкен имеет формулу C_nH_{2n} , для него $\omega_1 = (2n)/(14n) = 0.1429$.

Пусть алкин имеет формулу C_nH_{2n-2} , для него $\omega_2 = (2n-2)/(14n-2)$.

По условию задачи $\omega_1 = 1.858\omega_2$ (содержание водорода в алкене больше, чем в алкине).

Составим уравнение: $0.1429 = 1.858 \cdot (2n-2)/(14n-2)$ $0.0769(14n-2) = 2n-2$

$0.0769(14n-2) = 2n-2$ $1.0766n - 0.1538 = 2n-2$ $0.9234n = 1.8462$ $n = 2$.

Значит алкен **A** – этен C_2H_4 , а алкин **C** – этин C_2H_2 .

$CH_2=CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CH_2Br$ 1,2-дибромэтан **B** (20°, бромная вода)

$CH_2BrCH_2Br + 2NaOH \rightarrow 2NaBr + CH_2OHCH_2OH$ этандиол **D** (NaOH водн., t)

$CH_2BrCH_2Br + 2NaOH \rightarrow 2NaBr + 2H_2O + C_2H_2$ этин (NaOH спирт., t)

$C_2H_2 + H_2 \rightarrow CH_2=CH_2$ этен (Pd/PbCO₃ катализатор, t)

$CH_2=CH_2 + (O) + H_2O \rightarrow CH_2OHCH_2OH$ этандиол (KMnO₄ водн., 20°)

Разбалловка

1. За определение **A** этена и **C** этина с использованием $\omega(H)$ в них 5 б.
 2. За 5 уравнений с условиями протекания, структурными формулами и названиями продуктов по 4 б. 20 б.
- Всего 25 б.

Задача 11-4

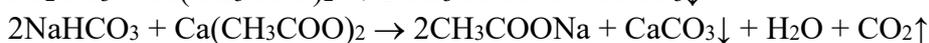
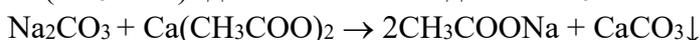
При растворении 32.8 г смеси твердых гидрокарбоната натрия и кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в некотором количестве 10%-ного раствора соляной кислоты выделился газ объемом 3360 мл (нормальные условия). Полученный раствор не мутнеет при добавлении к нему раствора ацетата кальция.

1. Составьте уравнения всех протекающих реакций.
2. Определите массовую долю гидрокарбоната натрия в исходной твердой смеси.
3. Определите количество вещества выделившегося газа (моль).
4. Сделайте заключение о том, полностью ли прореагировали обе исходные соли, подтвердив заключение уравнениями реакций.
5. Напишите уравнения реакций, составляющих основу метода Сольве промышленного получения гидрокарбоната и карбоната натрия из хлорида натрия.

Решение



Исходные Na_2CO_3 и NaHCO_3 прореагировали полностью. В противном случае раствор $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ дал бы белый осадок CaCO_3 :



Определим общее количество CO_2 по объему: $n(\text{CO}_2) = 3.36/22.4 = 0.15$ моль.

Пусть $n(\text{NaHCO}_3) = x$ моль в исходной смеси, тогда $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = (0.15-x)$ моль.

Значит $m(\text{NaHCO}_3) = 84x$ г, $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286(0.15-x)$ г.

Составим уравнение: $84x + 286(0.15-x) = 32.8$. Отсюда $x = 0.05$.

Итак, $n(\text{NaHCO}_3) = 0.05$ моль, $m(\text{NaHCO}_3) = 0.05 \cdot 84 = 4.2$ г.

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.1 \cdot 286 = 28.6$ г. В сумме масса солей 32.8 г, как и должно быть.

Массовая доля $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4.2/32.8 = 0.128$ (12.8%).

Получение соды:



затем NaHCO_3 кальцинируют при 140°C :



Регенерируют NH_3 действием извести: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За 7 уравнений реакций по 2 б. | 14 б. |
| 2. За заключение о полном расходовании двух солей | 2 б. |
| 3. За определение $n(\text{CO}_2) = 0.15$ моль. | 2 б. |
| 4. За определение $\omega(\text{NaHCO}_3) = 0.128$ (12.8%). | 7 б. |
| Всего | 25 б |

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

2 вариант

10 класс

Задача 10-1

Кислота А используется в пищевой промышленности как регулятор кислотности. Она может образовывать с ионами металла X три безводные соли В, С и D в зависимости от кислотности среды. Установите формулы зашифрованных веществ, учитывая следующие данные:

- массовая доля кислорода в А составляет 65.3%,
- металл X в водном растворе проявляет постоянную степень окисления +2,
- молярные массы В, С и D относятся как 1.72 : 1 : 2.28.

Ответ обоснуйте и подтвердите необходимыми расчетами. В расчетах молярные массы округляйте до десятых.

Решение

Поскольку кислота А в зависимости от кислотности среды образует с ионами металла X три безводные соли, то она является трехосновной кислотой и ее формулу в общем виде можно записать следующим образом: H_3EO_y . Молярную массу кислоты можно найти по массовой доле кислорода:

$$M(A) = M(O) \cdot y / 0.653.$$

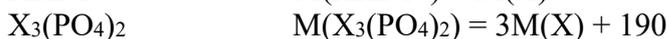
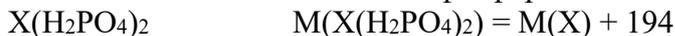
Отсюда найдем $M(E)$:

$$M(E) = M(A) - 3 \cdot M(H) - y \cdot M(O) = M(O) \cdot y / 0.653 - 3 - y \cdot M(O) = 0.531 \cdot M(O) \cdot y - 3.$$

Единственный приемлемый ответ получаем при $y = 4$:

$M(E) = 31.0$ – фосфор, А – H_3PO_4 – фосфорная кислота.

В зависимости от кислотности фосфорная кислота с ионами X^{2+} образует три соли:



Из условия можно записать:

$$M(X(H_2PO_4)_2) / M(XHPO_4) = (M(X) + 194) / (M(X) + 96) = 1.72.$$

или

$$M(X_3(PO_4)_2) / M(XHPO_4) = (3M(X) + 190) / (M(X) + 96) = 2.28.$$

Отсюда находим, что $M(X) = 40.1$ г/моль, X – это кальций.

Ответ:

A – H_3PO_4 X – Ca B – $Ca(H_2PO_4)_2$ C – $CaHPO_4$ D – $Ca_3(PO_4)_2$

Разбалловка

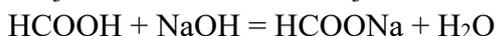
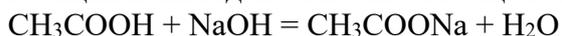
- | | |
|--|-------|
| 1. За установление А, В, С, D, X по 4 б. | 20 б. |
| 2. За объяснения и расчеты | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 10-2

В одной колбе находится водный раствор уксусной кислоты, а в другой – муравьиной кислоты. Известно, что концентрации ионов водорода H^+ в обоих растворах одинаковы и равны по 0.001 моль/л. Рассчитайте степень диссоциации каждой кислоты, если на реакцию с 10 мл раствора уксусной кислоты потребовалось 5.6 мл 0.1 моль/л раствора NaOH, а на реакцию с таким же объемом муравьиной кислоты пошло в 10 раз меньше щелочи. Какое заключение о силе кислот можно сделать по расчетным значениям? Можно ли использовать эти данные для сравнения силы уксусной и муравьиной кислот? Какая из этих кислот сильнее? Ответ обоснуйте и объясните с точки зрения строения молекул. Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Реакции взаимодействия кислот с щелочью:



По результатам взаимодействия с раствором щелочи найдем концентрации кислот.

На реакцию с 10 мл уксусной кислоты потребовалось $0.1 \cdot 5.6 \cdot 10^{-3} = 5.6 \cdot 10^{-4}$ моль NaOH, а на реакцию с 10 мл муравьиной кислоты - $5.6 \cdot 10^{-4} / 10 = 5.6 \cdot 10^{-5}$ моль NaOH. Так как кислоты взаимодействуют с щелочью в молярном соотношении 1:1, то в 10 мл раствора уксусной кислоты содержится $5.6 \cdot 10^{-4}$ моль CH_3COOH , а в 10 мл раствора муравьиной кислоты $5.6 \cdot 10^{-5}$ моль $HCOOH$. С учетом этого рассчитаем концентрации кислот:

$$C(CH_3COOH) = 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л};$$

$$C(HCOOH) = 5.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Реакции диссоциации:



Степень диссоциации α представляет собой отношение концентрации продиссоциировавших молекул кислоты к общей концентрации кислоты. Учитывая, что концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией продиссоциировавших молекул кислоты, значение α можно рассчитать по формуле: $\alpha = C(H^+) / C_{\text{кислоты}}$.

$$\alpha(CH_3COOH) = C(H^+) / C(CH_3COOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-2} = 0.0179 \text{ или } 1.79\%$$

$$\alpha(HCOOH) = C(H^+) / C(HCOOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-3} = 0.179 \text{ или } 17.9\%$$

Расчетные значения α свидетельствуют о том, что обе кислоты слабые. Сравнить силу кислот по полученным расчетным данным не корректно, так как степень диссоциации зависит не только от природы слабой кислоты, но и от ее концентрации (чем меньше концентрация, тем больше степень диссоциации). С точки зрения строения молекул более сильной кислотой является муравьиная, так как метильная группа, связанная с углеродом карбоксильной группы уксусной кислоты, обладает положительным индукционным эффектом и является электронодонорной и она частично компенсирует потребность атома кислорода в электронной плотности. В результате этого связь O-H становится менее полярной, что затрудняет отщепление иона водорода.

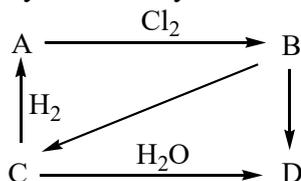
Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакции по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет степени диссоциации по 5 б. | 10 б. |
| 3. За оценку силы кислот по расчетным данным | 2 б. |
| 4. За объяснение относительной силы кислот | 5 б. |
| Всего | 25 б. |

Задача 10-3

Среди зашифрованных веществ А, В, С, D есть алкан и алкен, различающиеся массовой долей водорода в 1.4 раза.

1. Определите вещества А, В, С, D, назовите их и напишите структурные формулы.
2. Запишите 5 уравнений реакций с указанием условий их протекания.



Решение

Пусть алкан имеет формулу C_nH_{2n+2} , для него $\omega_1 = (2n+2)/(14n+2)$

Пусть алкен имеет формулу C_nH_{2n} , для него $\omega_2 = (2n)/(14n) = 1/7 = 0.1429$.

По условию задачи $\omega_1 = 1.4\omega_2$ (содержание водорода в алкане больше, чем в алкене).

Составим уравнение: $(2n+2)/(14n+2) = 1.4 \cdot 0.1429 = 0.200$

$2n+2 = 0.2(14n+2)$ $2n+2 = 2.8n+0.4$ $0.8n = 1.6$ $n = 2$.

Значит алкан **A** – этан C_2H_6 , а алкен **C** – этен C_2H_4 .

$CH_3-CH_3 + Cl_2 \rightarrow HCl + CH_3-CH_2Cl$ хлорэтан **B** (облучение светом)

$CH_3-CH_2Cl + NaOH \rightarrow NaCl + CH_3-CH_2OH$ этанол **D** (NaOH водн., t)

$CH_3-CH_2Cl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O + CH_2=CH_2$ этен (NaOH спирт., t)

$CH_2=CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3-CH_3$ этан (Ni катализатор, t)

$CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow CH_3-CH_2OH$ этанол (H_2SO_4 конц., t)

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За определение A этана и C этена с использованием $\omega(H)$ в них | 5 б. |
| 2. За 5 уравнений с условиями протекания, структурными формулами и названиями продуктов по 4 б. | 20 б. |
| Всего | 25 б. |

Задача 10-4

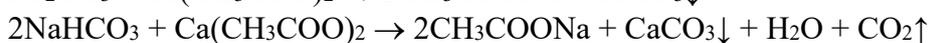
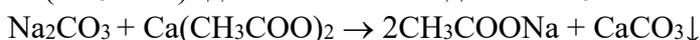
При растворении 32.8 г смеси твердых гидрокарбоната натрия и кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в некотором количестве 10%-ного раствора соляной кислоты выделился газ объемом 3360 мл (нормальные условия). Полученный раствор не мутнеет при добавлении к нему раствора ацетата кальция.

1. Составьте уравнения всех протекающих реакций.
2. Определите массовую долю гидрокарбоната натрия в исходной твердой смеси.
3. Определите количество вещества выделившегося газа (моль).
4. Сделайте заключение о том, полностью ли прореагировали обе исходные соли, подтвердив заключение уравнениями реакций.
5. Напишите уравнения реакций, составляющих основу метода Сольве промышленного получения гидрокарбоната и карбоната натрия из хлорида натрия.

Решение



Исходные Na_2CO_3 и NaHCO_3 прореагировали полностью. В противном случае раствор $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ дал бы белый осадок CaCO_3 :



Определим общее количество CO_2 по объему: $n(\text{CO}_2) = 3.36/22.4 = 0.15$ моль.

Пусть $n(\text{NaHCO}_3) = x$ моль в исходной смеси, тогда $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = (0.15-x)$ моль.

Значит $m(\text{NaHCO}_3) = 84x$ г, $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286(0.15-x)$ г.

Составим уравнение: $84x + 286(0.15-x) = 32.8$. Отсюда $x = 0.05$.

Итак, $n(\text{NaHCO}_3) = 0.05$ моль, $m(\text{NaHCO}_3) = 0.05 \cdot 84 = 4.2$ г.

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.1 \cdot 286 = 28.6$ г. В сумме масса солей 32.8 г, как и должно быть.

Массовая доля $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4.2/32.8 = 0.128$ (12.8%).

Получение соды:



затем NaHCO_3 кальцинируют при 140°C :



Регенерируют NH_3 действием извести: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За 7 уравнений реакций по 2 б. | 14 б. |
| 2. За заключение о полном расходовании двух солей | 2 б. |
| 3. За определение $n(\text{CO}_2) = 0.15$ моль. | 2 б. |
| 4. За определение $\omega(\text{NaHCO}_3) = 0.128$ (12.8%). | 7 б. |
| Всего | 25 б. |

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

2 вариант

9 класс

Задача 9-1

Ортофосфорная кислота используется в пищевой промышленности как регулятор кислотности Е338. Это трехосновная кислота с массовой долей кислорода 65.3%. Запишите химическую формулу этой кислоты. Ответ подтвердите расчетами.

Ортофосфорная кислота может образовать с ионами металлов три типа солей. Приведите формулы этих солей для металлов в степени окисления +1 и +2 (по одному примеру). Установите, ион какого двухвалентного металла входит в состав соли, если молярные массы кислых солей отличаются в 1.72 раза. Ответ поясните и подтвердите расчетами.

Решение

Ортофосфорная кислота имеет химическую формулу H_3PO_4 :

$$\omega(O) = M(O) \cdot 4 / M(H_3PO_4) = 16 \cdot 4 / 98 = 0,653.$$

Формулы солей для металла в степени окисления +1 на примере натрия:



Формулы солей для металла в степени окисления +2 на примере магния:



В общем виде формулы кислых солей двухвалентного металла можно записать следующим образом:



На основании условия задачи можно составить уравнение:

$$M(X(H_2PO_4)_2) / M(XHPO_4) = (M(X) + 194) / (M(X) + 96) = 1.72.$$

Отсюда находим, что $M(X) = 40.1$ г/моль, X – это кальций.

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За формулу ортофосфорной кислоты и соответствующие расчеты | 3 б. |
| 2. За формулы солей по 2 б. | 12 б. |
| 3. За установление металла, входящего в состав солей (включая расчеты и объяснение) | 10 б. |
| Всего: | 25 б. |

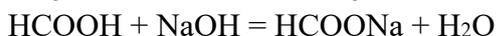
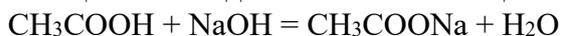
Задача 9-2

Муравьиная и уксусная кислоты – это первые два представителя ряда органических карбоновых кислот, их химические формулы можно записать HCOOH и CH_3COOH . Эти кислоты хорошо растворяются в воде и также как неорганические кислоты диссоциируют в водном растворе.

В одной колбе находится водный раствор уксусной кислоты, а в другой – водный раствор муравьиной кислоты с такой же молярной концентрацией. Известно, что концентрация ионов водорода H^+ в первой колбе равна 0.0013 моль/л, а во второй в 3.2 раза больше. Рассчитайте степень диссоциации каждой кислоты, учитывая, что на реакцию с 10 мл раствора уксусной кислоты необходимо 5 мл 0.2 моль/л раствора NaOH . Какое заключение о силе кислот можно сделать по расчетным значениям? Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Реакции взаимодействия кислот с щелочью:



По результатам взаимодействия с раствором щелочи найдем концентрацию кислот.

На реакцию с 10 мл кислоты потребовалось $0.2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль NaOH . Так как кислота взаимодействует с щелочью в молярном соотношении 1:1, то в 10 мл раствора кислоты содержится $1 \cdot 10^{-3}$ моль кислоты. С учетом этого рассчитаем концентрацию кислот:

$$C = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 0.1 \text{ моль/л};$$

Реакции диссоциации:



Степень диссоциации α представляет собой отношение концентрации продиссоциировавших молекул кислоты к общей концентрации кислоты. Учитывая, что концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией продиссоциировавших молекул кислоты, значение α можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = C(\text{H}^+) / C_{\text{кислоты}} .$$

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = C(\text{H}^+) / C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.0013 / 0.1 = 0.013 \text{ или } 1.3\%$$

$$\alpha(\text{HCOOH}) = C(\text{H}^+) / C(\text{HCOOH}) = 0.0013 \cdot 3.2 / 0.1 = 0.0416 \text{ или } 4.16\%$$

Расчетные значения α свидетельствуют о том, что обе кислоты слабые, однако, муравьиная кислота сильнее уксусной.

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакции по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет степени диссоциации по 5 б. | 10 б. |
| 3. За оценку силы кислот по расчетным данным | 7 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-3

Твердое вещество А содержит 34.81% металла, имеющего 25 протонов в атомном ядре; 24.68% металла, имеющего в ядре 20 нейтронов, а протонов меньше 20. Кроме этого содержится неметалл со степенью окисления -2, имеющий электроны на двух энергетических уровнях. Навеску вещества 0.632 г вещества А растворили в разбавленной серной кислоте, к полученному раствору прибавляли нитрит калия до тех пор, пока он не превратился в нитрат калия полностью. Атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

1. Определите вещество А.
2. Составьте уравнение реакции вещества А с нитритом калия.
3. Найдите массу образовавшегося нитрата калия.

Решение

Вещество А включает Mn, K, O.

Найдем мольное соотношение элементов. $n(K) : n(Mn) : n(O) = 24.68/39 : 34.81/55 : 40.51/16 = 0.6328 : 0.6329 : 2.5319 = 1 : 1 : 4$. Формула $KMnO_4$.



$$n(KMnO_4) = 0.632/158 = 0.004 \text{ моль.} \quad n(KNO_3) = 2.5n(KMnO_4) = 0.01 \text{ моль.}$$

$$m(KNO_3) = 0.01 \text{ моль} \cdot 101 \text{ г/моль} = 1.01 \text{ г.}$$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За определение элементов Mn, K, O по 4 б. | 12 б. |
| 2. За определение формулы $KMnO_4$ | 4 б. |
| 3. За уравнение реакции | 4 б. |
| 4. За определение $m(KNO_3) = 1.01 \text{ г}$ | 5 б. |
| Всего | 25 б |

Задача 9-4

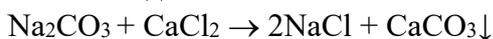
При растворении 51.48 г твердой кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ с примесью хлорида натрия в некотором количестве соляной кислоты выделился газ объемом 3360 мл (нормальные условия). Полученный раствор не мутнеет при добавлении к нему раствора хлорида кальция.

1. Составьте уравнение реакции.
2. Определите массовую долю хлорида натрия в исходной твердой смеси.
3. Определите количество вещества выделившегося газа (моль).
4. Сделайте заключение о том, полностью ли прореагировала сода с соляной кислотой, подтвердив заключение уравнением реакции.

Решение



Исходный Na_2CO_3 прореагировал полностью. В противном случае раствор CaCl_2 дал бы белый осадок CaCO_3 :



Определим количество CO_2 по объему: $n(\text{CO}_2) = 3.36/22.4 = 0.15$ моль.

Тогда $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.15$ моль.

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.15 \cdot 286 = 42.9$ г.

$m(\text{NaCl}) = 51.48 - 42.9 = 8.58$ г. $\omega(\text{NaCl}) = 8.58/51.48 = 0.167$ (16.7%).

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За 2 уравнения реакций по 5 б. | 10 б. |
| 2. За заключение о полном расходовании двух солей | 5 б. |
| 3. За определение $n(\text{CO}_2) = 0.15$ моль | 5 б. |
| 4. За определение $\omega(\text{NaCl}) = 16.7\%$ | 5 б. |
| Всего | 25 б |

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

2 вариант

8 класс

Задача 8-1

Ортофосфорная кислота используется в пищевой промышленности как регулятор кислотности E338. Это трехосновная кислота с массовой долей кислорода 65.3%. Метафосфорная кислота образуется при отщеплении молекулы воды от молекулы ортофосфорной кислоты. Пирофосфорная кислота образуется при соединении двух молекул ортофосфорной кислоты и одновременном отщеплении молекулы воды. Запишите химические формулы этих кислот. Ответ подтвердите расчетами и уравнениями реакций.

Пирофосфат натрия используется как пищевой стабилизатор E450. Ортофосфат натрия, гидроортофосфат натрия и дигидроортофосфат натрия входят в состав пищевой добавки E339 (E339iii, E339ii, E339i). Приведите формулы этих солей.

Какие массы солей необходимо взвесить для приготовления 85.2 г добавки E339 с эквимолярным соотношением компонентов.

Решение

Ортофосфорная кислота имеет химическую формулу H_3PO_4 :

$$\omega(O) = \frac{M(O) \cdot 4}{M(H_3PO_4)} = \frac{16 \cdot 4}{98} = 0.653.$$

Метафосфорная кислота HPO_3 :



Пирофосфорная кислота $H_4P_2O_7$:



Пирофосфат натрия: $Na_4P_2O_7$, ортофосфат натрия Na_3PO_4 (164 г/моль), гидроортофосфат натрия Na_2HPO_4 (142 г/моль), дигидроортофосфат натрия NaH_2PO_4 (120 г/моль).

В 85.2 г добавки E 339 с эквимолярным соотношением компонентов содержится 0.2 моль каждой соли:

$$164x + 142x + 120x = 85.2, \quad x = 0.2 \text{ моль.}$$

Отсюда найдем массы солей:

$$m(Na_3PO_4) = 0.2 \cdot 164 = 32.8 \text{ г}, \quad m(Na_2HPO_4) = 0.2 \cdot 142 = 28.4 \text{ г}, \quad m(NaH_2PO_4) = 0.2 \cdot 120 = 24 \text{ г}.$$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За формулу ортофосфорной кислоты | 3 б. |
| 2. За формулы двух кислот и четырех солей по 2 б. | 12 б. |
| 3. За уравнения реакций по 2 б. | 4 б. |
| 4. За расчет масс по 2 б. | 6 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 8-2

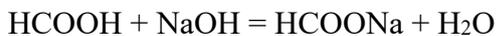
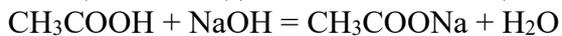
Муравьиная и уксусная кислоты – это первые два представителя ряда органических карбоновых кислот, их химические формулы записываются HCOOH и CH_3COOH . Эти кислоты хорошо растворяются в воде и диссоциируют в водном растворе с отщеплением от молекулы кислоты иона водорода H^+ , связанного с кислородом.

Силу кислоты можно охарактеризовать степенью диссоциации, которая показывает отношение концентрации продиссоциировавших молекул к общему числу молекул кислоты в растворе. Если степень диссоциации кислоты больше 30%, то электролит считают сильным, а, если меньше, то слабым.

В одной колбе находится водный раствор уксусной кислоты, а в другой – водный раствор муравьиной кислоты с такой же молярной концентрацией. Известно, что концентрация ионов водорода H^+ в первой колбе равна 0.0013 моль/л, а во второй в 3.2 раза больше. Рассчитайте степень диссоциации каждой кислоты, учитывая, что на реакцию с 10 мл раствора уксусной кислоты необходимо 5 мл 0.2 моль/л раствора NaOH . Какое заключение о силе кислот можно сделать по расчетным значениям? Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Реакции взаимодействия кислот с щелочью:



По результатам взаимодействия с раствором щелочи найдем концентрацию кислот.

На реакцию с 10 мл кислоты потребовалось $0.2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль NaOH . Так как кислота взаимодействует с щелочью в молярном соотношении 1:1, то в 10 мл раствора кислоты содержится $1 \cdot 10^{-3}$ моль кислоты. С учетом этого рассчитаем концентрацию кислот:

$$C = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 0.1 \text{ моль/л};$$

Реакции диссоциации:



Степень диссоциации α представляет собой отношение концентрации продиссоциировавших молекул кислоты к общей концентрации кислоты. Учитывая, что концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией продиссоциировавших молекул кислоты, значение α можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = C(\text{H}^+) / C_{\text{кислоты}} .$$

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = C(\text{H}^+) / C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.0013 / 0.1 = 0.013 \text{ или } 1.3\%$$

$$\alpha(\text{HCOOH}) = C(\text{H}^+) / C(\text{HCOOH}) = 0.0013 \cdot 3.2 / 0.1 = 0.0416 \text{ или } 4.16\%$$

Расчетные значения α свидетельствуют о том, что обе кислоты слабые, однако, муравьиная кислота сильнее уксусной

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакции по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет степени диссоциации по 5 б. | 10 б. |
| 3. За оценку силы кислот по расчетным данным | 7 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 8-3

Навеску перманганата калия массой 0.632 г подвергли разложению нагреванием, при этом выделилось простое газообразное вещество А.

1. Составьте уравнение реакции разложения
2. Определите формулу, количество вещества (моль) и массу образовавшегося вещества А.

Решение

$2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2\uparrow$
 $n(\text{KMnO}_4) = 0.632/158 = 0.004$ моль.
 $m(\text{O}_2) = 0.002 \cdot 32 = 0.064$ г.

Вещество А – кислород.
 $n(\text{O}_2) = 0.5n(\text{KMnO}_4) = 0.002$ моль.

Разбалловка

1. За уравнение реакции 10 б.
 2. За определение O_2 , $n(\text{O}_2) = 0.002$ моль и $m(\text{O}_2) = 0.064$ г по 5 б. 15 б.
- Всего: 25 б.

Задача 8-4

Приготовили смесь газообразных веществ: 2 г водорода, $3.01 \cdot 10^{24}$ атомов гелия, 102 г сероводорода.

1. Запишите формулы указанных веществ,
2. Найдите суммарное количество трех веществ (моль).
3. Найдите суммарную массу данной смеси.
4. Вычислите объем данной смеси газов при нормальных условиях.
5. Какие условия называются нормальными?

Решение

Формулы: H_2 , He , H_2S

Найдем количества веществ: $n(\text{H}_2) = 2/2 = 1$ моль, $n(\text{He}) = 3.01 \cdot 10^{24}/6.02 \cdot 10^{23} = 5$ моль,
 $n(\text{H}_2\text{S}) = 102/34 = 3$ моль, $n(\text{смеси}) = 9$ моль.

Найдем массу: $m(\text{H}_2) = 2$ г, $m(\text{H}_2\text{S}) = 102$ г, $m(\text{He}) = 4 \cdot 5 = 20$ г, $m(\text{смеси}) = 124$ г.

Найдем объем: $V(\text{смеси}) = 22.4 \cdot n(\text{смеси}) = 22.4 \cdot 9 = 201.6$ л.

Нормальные усл.: температура 0°C (273 К), давление 1 атм. (101300 Па, 760 мм рт. ст.).

Разбалловка

1. За 3 формулы веществ 5 б.
 2. За расчет $n(\text{смеси}) = 9$ моль 5 б.
 3. За расчет $m(\text{смеси}) = 124$ г 5 б.
 4. За расчет $V(\text{смеси}) = 201.6$ л 5 б.
 5. За определение нормальных условий 5 б.
- Всего 25 б.