

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 ($^{\circ}\text{Ж}$), 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

На реакцию с анализируемой водой потребовалось 0.05 моль/л \cdot 0.0056 л = 0.00028 моль = 0.28 ммоль трилона Б. Следовательно суммарная концентрация солей магния и кальция в воде составляет 0.28 ммоль / 0.02 л = 14 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 моль/л \cdot 40 г/моль = 0.56 г/л = 560 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.

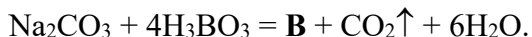
Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 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.

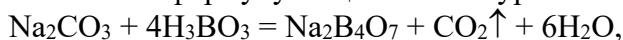
В промышленных условиях для получения этих веществ можно использовать реакцию, протекающую при добавлении борной кислоты H_3BO_3 к насыщенному раствору кальцинированной соды Na_2CO_3 и нагревании полученной смеси до температуры 90-100°C:



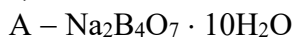
Установите формулы веществ **A** и **B**. Какие массы этих веществ можно получить при добавлении 248 г борной кислоты к 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл? Определите массовую долю **B** в полученном растворе.

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.

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

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

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

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.

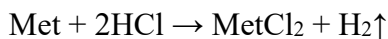
Всего:

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

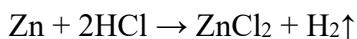


Найдем количество металла: $n(\text{Met}) = 9.75/M$ моль. (M – молярная масса металла)

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

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

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

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

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 :

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

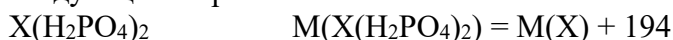
Формулы солей для металла в степени окисления +1 на примере натрия:



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. |

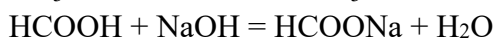
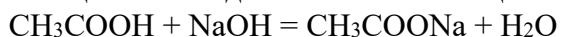
Задача 9-2

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

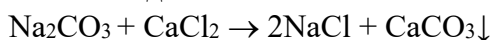
При растворении 51.48 г твердой кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ с примесью хлорида натрия в некотором количестве соляной кислоты выделился газ объемом 3360 мл (нормальные условия). Полученный раствор не мутнеет при добавлении к нему раствора хлорида кальция.

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 |