

# "Будущие исследователи - будущее науки" 2016-17

## Финальный тур

### 11 класс

#### Задача 11-1

Определенный химический элемент X образует несколько оксидов, один из которых А. Когда А нагревают выше 500°C в течение длительного периода времени, массовая доля кислорода в образце уменьшается в 1.520 раза. Продуктом этой реакции является темно-зеленое твердое вещество Б, которое используется в качестве неорганических красителей и в качестве абразива. Реакция А с водным раствором серосодержащей кислоты В приводит к образованию соли Г.

В промышленности металл X производится путем восстановления некоторого минерала Д нагреванием с коксом в электрической печи. Металл X широко используется в производстве легированных сталей и антикоррозионных покрытий. Массовая доля кислорода в В, Г и Д приведена в таблице ниже.

соединение	В	Г	Д
$\omega(\text{O}), \%$	58.47	48.94	28.60

а) Установите металл X и каждое из соединений, зашифрованных буквами А, Б, В, Г, Д. Ответ подтвердите соответствующими расчетами.

б) Основное состояние электронной конфигурации элемента X является несколько нестандартным. Запишите и поясните причину.

в) Напишите уравнения упомянутых химических реакций.

(Молярные массы элементов необходимо учитывать с точностью до десятых).

#### Решение

а) Зашифрованные вещества:

X – это хром Cr;

А – CrO<sub>3</sub>;

Б – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

В – H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>;  $\omega(\text{O}) = 16.0 \cdot 3 / (1.0 \cdot 2 + 32.1 + 16.0 \cdot 3) = 0.5847$ ;

Г – Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>;  $\omega(\text{O}) = 16.0 \cdot 12 / (52.0 \cdot 2 + 32.1 \cdot 3 + 16.0 \cdot 12) = 0.4894$ ;

Д – Fe(CrO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>;  $\omega(\text{O}) = 16 \cdot 4 / (55.8 + 52 \cdot 2 + 16 \cdot 4) = 0.2860$ .

б) Электронная конфигурация атома хрома не 3d<sup>4</sup>4s<sup>2</sup>, как можно было ожидать, а 3d<sup>5</sup>4s<sup>1</sup>. Причиной этого является то, что d-оболочка заполнена наполовину (3d<sup>5</sup>) и обладает большей стабильностью, чем 3d<sup>4</sup>.

в)  $4\text{CrO}_3 = 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2\uparrow$ ;

Массовая доля кислорода в оксиде хрома (VI) составляет  $\omega_1(\text{O}) = 16 \cdot 3 / (52 + 16 \cdot 3) = 0.48$ , а в оксиде хрома (III)  $\omega_2(\text{O}) = 16 \cdot 3 / (52 \cdot 2 + 16 \cdot 3) = 0.3158$ .

$\omega_2(\text{O}) / \omega_1(\text{O}) = 0.48 / 0.3158 = 1.520$ .

$2\text{CrO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_3 = \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ ;

$\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2 + 4\text{C} = \text{Fe} + 2\text{Cr} + 4\text{CO}\uparrow$ .

#### Задача 11-2

Содержащий примеси образец карбида кальция массой 1.000 г растворили в 100.0 г воды. Выделившийся газ занял объем 307.9 см<sup>3</sup> при температуре 24.50°C и 1.125 атм. Объем оставшегося раствора составил 98.47 см<sup>3</sup>. Раствор перенесли в мерную колбу на 250 мл и довели объем дистиллированной водой до метки. На титрование 10.00 мл полученного раствора потребовалось 11.98 см<sup>3</sup> водного раствора HNO<sub>3</sub> с концентрацией 0.01480 моль/л.

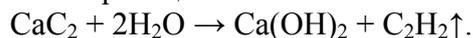
а) Какова массовая доля примесей в исходном образце карбида кальция?

б) Вычислите pH и плотность раствора, полученного в реакции карбида кальция с водой.

(Молярные массы элементов необходимо учитывать с точностью до десятых).

#### Решение

а) Уравнение реакции:



Реакция карбида кальция с водой приводит к образованию

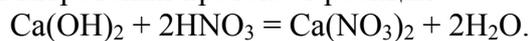
$n(\text{C}_2\text{H}_2) = [1.125 \text{ атм} \cdot 307.9 \cdot 10^{-3} \text{ л}] / [0.082 \text{ л} \cdot \text{атм} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 297.5 \text{ К}] = 0.01420$  моль ацетилена и такому же количеству гидроксида кальция  $n(\text{Ca(OH)}_2) = 0.01420$  моль.

Из уравнения реакции видно, что такое количество продуктов реакции образуется при взаимодействии  $n(\text{CaC}_2) = 0.01420$  моль с водой.

$$m(\text{CaC}_2) = 0.01420 \text{ моль} \cdot 64.1 \text{ г/моль} = 0.910 \text{ г};$$

$$\omega(\text{примесей}) = (1.000 - 0.910) / 1.000 = 0.09 \text{ или } 9\%.$$

б) При титровании протекает реакция:



10 мл раствора содержит  $11.98 \text{ см}^3 \cdot 0.01480 \text{ моль/л} / 2 = 0.08865$  ммоль  $\text{Ca(OH)}_2$ . В 250 мл содержится  $0.08865 \text{ ммоль} \cdot 25 = 2.216$  ммоль  $\text{Ca(OH)}_2$ . Концентрация раствора, образовавшегося при взаимодействии карбида кальция с водой, равна:

$$2.216 \text{ ммоль} / 98.47 \text{ мл} = 0.0225 \text{ моль/л}.$$

Концентрация ионов  $\text{OH}^-$  в этом растворе  $0.0225 \text{ моль/л} \cdot 2 = 0.045 \text{ моль/л}$ .

$$\text{pOH} = -\lg 0.045 = 1.35$$

$$\text{pH} = 14 - 1.35 = 12.65.$$

Теперь найдем плотность этого раствора. Для этого необходимо знать массу раствора, которая равна разности исходной массы карбида кальция (1 г) и воды (100 г) и массы выделившегося ацетилена ( $0.01420 \text{ моль} \cdot 26 \text{ г/моль} = 0.3692 \text{ г}$ ) и выпавшего в осадок гидроксида кальция ( $(0.01420 - 0.002216) \text{ моль} \cdot 74.1 \text{ г/моль} = 0.888 \text{ г}$ ):

$$1 + 100 - 0.3692 - 0.888 = 99.7428 \text{ г}$$

$$\rho = 99.7428 \text{ г} / 98.47 \text{ см}^3 = 1.013 \text{ г/см}^3.$$

### Задача 11-3

Представьте, что Вам предложены неподписанные колбы с растворами баритовой воды, гидрокарбоната бария, соляной кислоты и с твердыми веществами, один из которых металл (s-элемент малого периода с одинаковым количеством протонов и нейтронов), а другой является d элементом 4 периода, не имеющим неспаренных электронов в стационарном состоянии.

1. Не используя других реактивов, определите, какое из веществ содержится в каждой колбе.

2. Напишите молекулярные формулы веществ и уравнения соответствующих химических реакций в молекулярной и сокращенной ионной формах, укажите наблюдаемые признаки реакций.

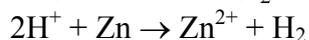
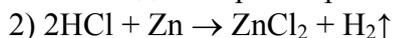
### Решение

Формулы веществ: баритовая вода  $\text{Ba(OH)}_2$ , гидрокарбонат бария  $\text{Ba(HCO}_3)_2$ , соляная кислота  $\text{HCl}$ , магний  $\text{Mg}$ , цинк  $\text{Zn}$ .

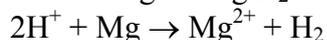
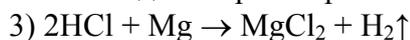
Добавим к каждому раствору пробы из других колб и оценим ход реакции.



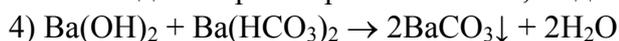
Наблюдение: растворение металла, выделение газа



Наблюдение: растворение металла, выделение газа

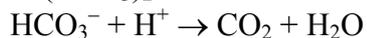
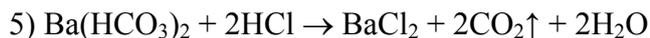


Наблюдение: растворение металла, выделение газа





Наблюдение: выпадение осадка



Наблюдение: выделение газа

#### Ход выполнения действий

1. Идентификация цинка
2. Идентификация магния
3. Идентификация соляной кислоты
4. Идентификация гидрокарбоната бария
5. Идентификация соляной кислоты

#### Определение твердых веществ:

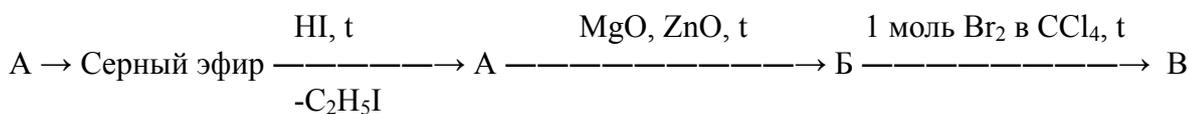
1. Если в испытуемом сосуде находится *цинк*, то при добавлении к цинку поочередно растворов из других колб видимый эффект выделения газа наблюдается в двух случаях по реакциям 1,2.
2. Если в испытуемом сосуде находится *магний*, то при добавлении к нему поочередно растворов из других колб видимый эффект выделения газа наблюдается в одном случае реакции 3.

#### Определение водных растворов

1. При добавлении к раствору соляной кислоты поочередно веществ из других колб видимый эффект выделения газа наблюдается в трех случаях по реакциям 2,3,5. С баритовой водой также идет реакция, однако визуально протекание этой реакции не идентифицируется.
2. При добавлении к раствору гидрокарбоната бария поочередно растворов из других колб видимый эффект наблюдается в двух случаях: выпадение осадка по реакции 4 и выделение газа по реакции 5.
3. При добавлении к раствору баритовой воды поочередно растворов из других колб видимый эффект наблюдается в двух случаях: выпадение осадка по реакции 4 и выделение газа по реакции 1. С соляной кислотой также идет реакция, однако визуально протекание этой реакции не идентифицируется.

#### Задача 11-4

Напишите уравнения и условия реакций, соответствующих схеме превращений. Приведите структурные формулы органических веществ А-Е и дайте им названия. Примите допущение, что молекулы участвующих непредельных соединений являются симметричными и имеют цис- конфигурацию.



#### Решение

Соединение А:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , этанол.

Соединение Б:  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ , бутадиен-1,3 или дивинил

Соединение В:  $\text{BrCH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Br}$ , цис-1,4-дибромбутен-2

Соединение Г: *цикло*- $\text{C}_4\text{H}_6$ , циклобутен

Соединение Д:  $\text{HO}(\text{O})\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{OH}$ , бутандиовая кислота или янтарная кислота или этандикарбоновая кислота

Соединение E:  $C_2H_5O(O)C-CH_2CH_2-C(O)OC_2H_5$ , диэтилсукцинат или диэтиловый эфир янтарной кислоты или диэтиловый эфир бутандиовой кислоты

