

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
2019-2020 учебный год
9 класс
Время выполнения заданий - 5 часов

Задача 9-1.

Неорганическая соль А представляет собой кристаллический хорошо растворимый в воде порошок белого цвета. В воде растворили 4,20 г соли А, а затем добавили избыток серной кислоты, при этом выделилось 1,17 л (18 °C, 103 кПа) газа без цвета и запаха.

1. Определите состав соли А. Ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнение реакции взаимодействия соли А с серной кислотой.

2. Какое тривиальное название имеет соль А?

3. Напишите уравнение реакции разложения соли А при нагревании.

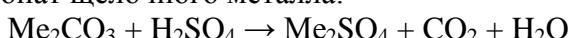
4. Где применяется соль А? Приведите не менее двух областей применения.

(10 баллов)

Решение Задачи 9-1.

1. На основе свойств соли А (белый цвет, хорошая растворимость воде и выделение газа без цвета и запаха при добавлении избытка серной кислоты) можно предположить, что соль А – карбонат или гидрокарбонат щелочного металла.

Если соль А – карбонат щелочного металла:



$$PV = 103 \cdot 1,17$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{103 \cdot 1,17}{8,31 \cdot 291} = 0,05 \text{ моль}$$

$$M(\text{Me}_2\text{CO}_3) = \frac{4,2}{0,05} = 84 \text{ г/моль}, \quad M(\text{Me}) = \frac{84 - (12 + 48)}{2} = 12 \text{ г/моль}$$

Щелочного металла с молярной массой 12 г/моль нет, следовательно, соль А не является карбонатом.

Если соль А – гидрокарбонат щелочного металла:



$$M(\text{Me}) = 84 - (1 + 12 + 48) = 23 \text{ г/моль}$$

Щелочной металл с молярной массой 23 г/моль – натрий, соль А является **гидрокарбонатом натрия** NaHCO_3 .

Уравнение реакции соли А с серной кислотой:



2. Тривиальное название – питьевая (пищевая) сода.

3. Уравнение реакции разложения:



4. Гидрокарбонат натрия применяется в химической (для производства товаров бытовой химии), пищевой (хлебопечении, производстве кондитерских изделий, приготовлении напитков) и фармацевтической (средство для снижения кислотности желудочного сока) промышленности и других.

Система оценивания:

1. За определение состава соли А с расчетом - **5 баллов**.
2. За уравнение реакции питьевой соды с серной кислотой – **1 балл**.
3. За тривиальное название соли - **1 балл**.
4. За уравнение реакции разложение соли - **1 балл**.
5. За указание двух областей применения соли – **2 балла**.

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 9-2.

В математике магический квадрат – это таблица размерностью $N \times N$, заполненная целыми числами так, чтобы суммы чисел по всем столбцам и строкам, а также по обеим диагоналям были равны между собой. Например:

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2 | 7 | 6 | 15 |
| 9 | 5 | 1 | 15 |
| 4 | 3 | 8 | 15 |
| 15 | 15 | 15 | |

Предлагаем Вам заполнить магический квадрат размерностью 3×3 . Для этого расставьте методом электронного баланса коэффициенты в следующих химических уравнениях:

1. $\text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{KI} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{VOSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{V}_2\text{O}_5 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$ (при кипячении)
3. $\text{Zn} + \text{HNO}_3$ (разб., гор.) $\rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
4. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{I}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (при кипячении)
5. $\text{P}_4 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2(\text{HPO}_3) + \text{H}_2$ (при кипячении)
6. $\text{Sn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{H}_2$
7. $\text{Sn} + \text{HNO}_3$ (оч. разб.) $\rightarrow \text{Sn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
8. KNO_2 (тв.) + FeSO_4 (тв.) + $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
9. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{C}$ (кокс) + $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{P}_4 + \text{CO}$ (при 1000°C)

Сумму коэффициентов каждого уравнения реакций впишите в соответствующие ячейки магического квадрата в соответствии со схемой:

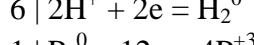
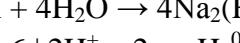
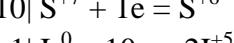
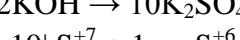
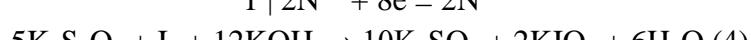
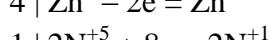
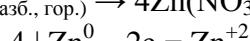
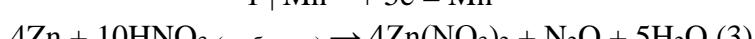
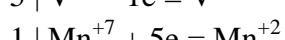
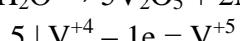
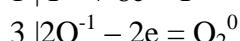
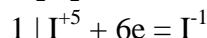
| | | |
|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 |

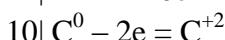
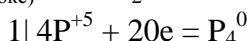
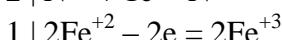
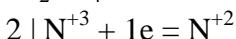
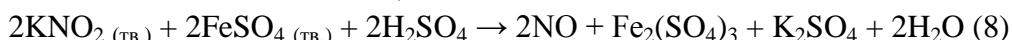
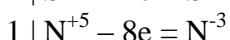
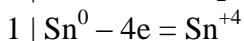
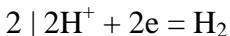
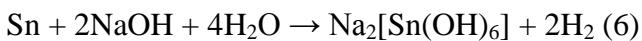
Не забудьте указать сумму чисел этого квадрата, то есть сумму любой строки, столбца или диагонали.

(10 баллов)

Решение Задачи 9-2.

1. Коэффициенты в уравнениях химических реакций:





2. Сумма коэффициентов в уравнениях реакций составляет магический квадрат:

| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 11 ₁ | 34 ₂ | 24 ₃ | 69 |
| 36 ₄ | 23 ₅ | 10 ₆ | 69 |
| 22 ₇ | 12 ₈ | 35 ₉ | 69 |
| 69 | 69 | 69 | |

Система оценивания:

1. Расстановка коэффициентов в уравнениях реакций по 1 баллу - $1 \times 9 = 9$ **баллов**

2. Заполнение магического квадрата - **0,5 балла.**

3. Указание суммы в магическом квадрате – **0,5 балла.**

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 9-3.

Серебристо-белый металл **X** при комнатной температуре не реагирует с водой, но растворяется в разбавленной серной кислоте и растворе гидроксида натрия. При добавлении сульфида аммония в раствор, полученный растворением **X** в разбавленной серной кислоте, образуется белый осадок **Y**, содержащий 74,4 % кислорода по массе.

1. Определите неизвестный металл **X** и вещество **Y**, подтвердите расчетом.

2. При добавлении карбоната аммония в раствор, полученный растворением **X** в разбавленной серной кислоте, образуется белый осадок **Z**, содержащий 71,4 % кислорода по массе. Определите состав вещества **Z**.

3. Растворение металла **X** в растворе гидроксида натрия при 20 °C заканчивается через 78 минут, а при 50 °C такой же образец металла растворяется за 5 минут. Рассчитайте, за какое время металл с той же массой растворится в растворе щелочи при 70 °C?

4. При нагревании металла **X** с углем образуется бинарное соединение (состоит из двух элементов) соединение **W**, в котором содержание металла составляет 60 % по массе. При взаимодействии соединения **W** с водой образуется соединение **Y** и выделяется газ. Рассчитайте состав соединения **W** и запишите его название.

5. Составьте уравнения всех реакций, описанных в задаче.

(10 баллов)

Решение Задачи 9-3

1. Растворение в разбавленной серной кислоте и растворе гидроксида натрия возможно для амфотерных металлов. При взаимодействии металла с разбавленной серной кислотой в растворе образуется растворимый сульфат металла, который взаимодействует с сульфидом аммония с образованием белого осадка **Y**, содержащего кислород, следовательно, являющегося гидроксидом металла. Образующийся осадок **Y** не может быть сульфидом металла, поскольку белый сульфид образуют только катионы цинка, а сульфид цинка не содержит кристаллизационной воды. Таким образом, взаимодействие растворов сульфата металла и сульфида аммония является реакцией совместного гидролиза. Белые нерастворимые в воде амфотерные гидроксиды образуют алюминий (Al(OH)_3) и бериллий (Be(OH)_2). Рассчитав массовую долю кислорода в гидроксидах можно установить металл **X**:

$$\omega(\text{O}_{\text{Al(OH)}_3}) = \frac{3 \cdot 16}{27 + 3 \cdot 17} \cdot 100\% = 61,5\%$$

$$\omega(\text{O}_{\text{Be(OH)}_2}) = \frac{2 \cdot 16}{9 + 2 \cdot 17} \cdot 100\% = 74,4\%$$

Следовательно, металл **X** – **бериллий**, а вещество **Y** – **гидроксид бериллия** Be(OH)_2 .

2. При взаимодействии раствора сульфата бериллия с раствором карбоната аммония образуется белый осадок, который не является гидроксидом бериллия из-за изменения содержания кислорода. В этом случае возможны следующие варианты составов соединений: карбонат бериллия BeCO_3 или гидроксокарбонат бериллия $(\text{BeOH})_2\text{CO}_3$. Состав образующегося осадка устанавливается расчетом массовой доли кислорода в соединении:

$$\omega(\text{O}_{\text{BeCO}_3}) = \frac{9 + 12 + 3 \cdot 16}{2 \cdot (9 + 17) + 12 + 3 \cdot 16} \cdot 100\% = 69,6\%$$

$$\omega(\text{O}_{(\text{BeOH})_2\text{CO}_3}) = \frac{5 \cdot 16}{2 \cdot (9 + 17) + 12 + 3 \cdot 16} \cdot 100\% = 71,4\%$$

Следовательно, вещество **Y** – **гидроксокарбонат бериллия** $(\text{BeOH})_2\text{CO}_3$.

3. Для расчета времени протекания реакции при температуре 70 °C используется уравнение Вант-Гоффа. По данным времени реакций при двух температурах вычисляется температурный коэффициент Вант-Гоффа, который позволяет установить время реакции при 70 °C:

$$\frac{\tau_{20^\circ\text{C}}}{\tau_{50^\circ\text{C}}} = \gamma^{\frac{50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{10}}$$

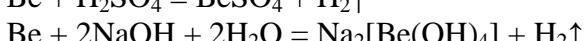
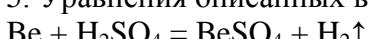
$$\frac{78}{5} = 15,6 = \gamma^3 \quad \gamma = \sqrt[3]{15,6} = 2,5$$

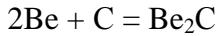
$$\tau_{70^\circ\text{C}} = \frac{\tau_{50^\circ\text{C}}}{\frac{70^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}}{10}} = \frac{5}{2,5^2} = 0,8 \text{ минут.}$$

4. В реакции бериллия с углеродом возможно образование карбида бериллия двухставов: Be_2C и BeC_2 . На основе расчета массовой доли бериллия в этих карбидах устанавливается формула образующегося соединения **W** – **метанид бериллия** Be_2C :

$$\omega(\text{Be}_{\text{Be}_2\text{C}}) = 60\%, \quad \omega(\text{Be}_{\text{BeC}_2}) = 27,3\%$$

5. Уравнения описанных в условии задачи реакций:





Система оценивания:

1. За определение металла **X – 2 балла.**
2. За определение состава веществ **Y и Z с расчетом по 1 баллу – 1×2 = 2 балла.**
3. За расчет времени протекания реакции – **1 балл.**
4. За расчет состава соединения **W – 1 балл.**
5. За определение состава и название вещества **W – 1 балл.**
6. За уравнения реакций по 0,5 балла – $0,5 \times 6 = 3$ **балла.**

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 9-4.

Бромоводород и его водные растворы разной концентрации применяются для получения бромидов металлов и органических производных брома. Особенно важно производство бромида серебра, применяющегося в изготовлении кино- и фотоматериалов. Бромиды щелочных металлов являются очень эффективными лекарственными средствами для лечения нервных болезней. Использование бромида калия в медицине в качестве успокоительного и противосудорожного средства при лечении эпилепсии началось в 1857 г. Знаменитый русский физиолог И.П.Павлов сказал: «Человечество должно быть счастливо тем, что располагает таким драгоценным для нервной системы препаратом, как бром» (в то время водные растворы бромида калия и натрия были известны под общим названием «бром»).

В промышленности бромоводород получают непосредственным взаимодействием простых веществ. В лаборатории синтез бромоводорода осуществляют гидролизом бромида фосфора (V), восстановлением брома серой или нитритом калия в водных растворах.

1. Составьте уравнения реакций получения бромоводорода в промышленности и лаборатории.

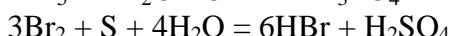
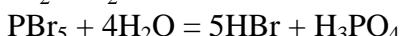
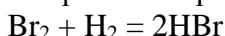
2. Газообразную смесь водорода и брома с плотностью по водороду 53,7 нагрели до 400 °C. Константа равновесия реакции образования бромоводорода при данной температуре равна 9. Рассчитайте объемные доли веществ в исходной смеси и после завершения реакции, а также выход продукта реакции в процентах от теоретически возможного.

3. Как изменится выход бромоводорода при той же температуре, если исходная смесь простых веществ будет иметь плотность по водороду 27,3?

(10 баллов)

Решение Задачи 9-4.

1. Уравнения реакций получения бромоводорода:



2. Молярная масса исходной газовой смеси равна $M(\text{H}_2 + \text{Br}_2) = 2 \cdot D_{\text{H}_2} = 2 \cdot 27,3 = 54,6$ г/моль. При обозначении количества исходных веществ через 1 и x определяется мольное соотношение газов в смеси:

$$M(\text{H}_2 + \text{Br}_2) = \frac{M(\text{H}_2) \cdot n(\text{H}_2) + M(\text{Br}_2) \cdot n(\text{Br}_2)}{n(\text{H}_2) + n(\text{Br}_2)} = \frac{2 \cdot 1 + 160 \cdot x}{1 + x} = 107,3 \text{ г/моль}$$
$$x = 2 \text{ моль}$$

Следовательно, исходная смесь содержала водород и бром в мольном соотношении 1:2, а объемные доли газов в исходной смеси составляют:

$$\chi(\text{H}_2) = 33,3\% \quad \text{и} \quad \chi(\text{Br}_2) = 66,7\%$$

При использовании значения константы равновесия химической реакции рассчитывается количество прореагировавших исходных веществ и продукта реакции:

$$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$$
$$K_{\text{равн.}} = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]} = \frac{(2y)^2}{(1-y)(2-y)} = 9$$

Решая квадратное уравнение, получается два действительных корня уравнения: $y_1=0,78$ и $y_2=4,62$, из которых второй не удовлетворяет условиям задачи (у не может быть больше 1 моль). Таким образом, состав равновесной смеси после реакции:

$$n(\text{H}_2) = 1 - 0,78 = 0,22 \text{ моль}, \quad \chi(\text{H}_2) = 7,3 \%$$
$$n(\text{Br}_2) = 2 - 0,78 = 1,22 \text{ моль}, \quad \chi(\text{Br}_2) = 40,7 \%$$
$$n(\text{HBr}) = 2 \times 0,78 = 1,56 \text{ моль}, \quad \chi(\text{HBr}) = 52 \%$$
$$\eta_{\text{практ.}}(\text{HBr}) = 78 \%$$

3. Аналогичным образом рассчитывается состав исходной смеси и выход реакции, если исходная газовая смесь имеет плотность по водороду 27,3:

$$M(\text{H}_2 + \text{Br}_2) = \frac{2 \cdot 1 + 160 \cdot x}{1+x} = 54,7 \text{ г/моль}$$
$$x = 0,5 \text{ моль}$$

Следовательно, исходная смесь содержит водород и бром в мольном соотношении 2:1, а состав равновесной смеси:

$$n(\text{H}_2) = 2 - 0,78 = 1,22 \text{ моль}, \quad \chi(\text{H}_2) = 40,7 \%$$
$$n(\text{Br}_2) = 1 - 0,78 = 0,22 \text{ моль}, \quad \chi(\text{Br}_2) = 7,3 \%$$
$$n(\text{HBr}) = 2 \times 0,78 = 1,56 \text{ моль}, \quad \chi(\text{HBr}) = 52 \%$$
$$\eta_{\text{практ.}}(\text{HBr}) = 78 \%$$

Таким образом, выход бромоводорода при указанном в задаче изменении состава исходной смеси брома и водорода не изменяется.

Система оценивания:

1. За уравнения реакций по 0,5 балла – $0,5 \times 4 = 2$ балла.
2. За расчет состава исходных смесей брома и водорода по 1 баллу – всего $1 \times 2 = 2$ балла.
3. За расчет составов равновесных смесей после реакции по 2 балла – всего $2 \times 2 = 4$ балла.
4. За расчет выходов реакции по 1 баллу – всего $1 \times 2 = 2$ балла.

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 9-5.

В четырех пробирках находятся смеси неокрашенных твердых веществ (в каждой пробирке по одной смеси): а) хлорид магния и сульфат аммония; б) нитрат свинца и хлорид аммония; в) гидроксид бария и сульфат аммония; г) гидроксид натрия и фосфат аммония. Предложите, как с помощью только одного реагтива идентифицировать содержимое всех пробирок. Возможно использование дополнительного оборудования. Укажите их наблюдаемые признаки реакций и напишите уравнения соответствующих реакций.

(10 баллов)

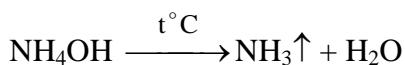
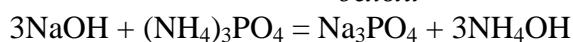
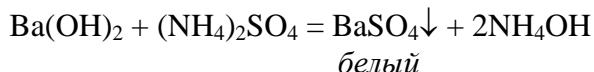
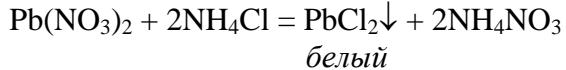
Решение Задачи 9-5.

1. Реактивом для идентификации смесей является вода.
2. При добавлении воды:
 - в пробирке со смесью хлорида магния и сульфата аммония произойдет растворение веществ без видимых признаков реакций,
 - в пробирке со смесью растворимых нитрата свинца и хлорида аммония будет наблюдаться образование белого осадка хлорида свинца,

– в пробирке со смесью растворимых гидроксида бария и сульфата аммония будет наблюдаться образование белого осадка сульфата бария, а при нагревании выделение газообразного амиака,

– в пробирке со смесью гидроксида натрия и фосфата аммония произойдет растворение веществ без видимых признаков реакций, однако при нагревании будет наблюдаться выделение газообразного амиака.

3. Уравнения реакций:



Система оценивания:

1. За определение реагента - воды – **3 балла**.

Другие реагенты должны быть оценены и зачтены, только если они позволяют идентифицировать содержимое пробирок.

2. За указание признаков реакций (включая отсутствие признаков реакций в пробирке со смесью хлорида магния и сульфата аммония) по 1 баллу – $1 \times 5 = \textbf{5 баллов}$.

3. За уравнения реакций по 0,5 балла – $0,5 \times 4 = \textbf{2 балла}$.

ВСЕГО: 10 баллов