

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

Задача 10-1.

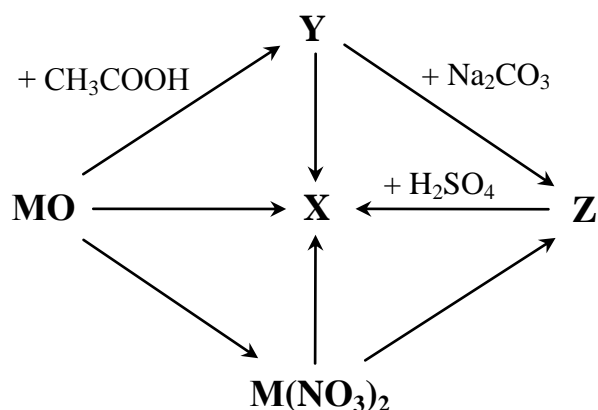
На схеме превращений зашифрованы соединения элемента **М**.

1. Расшифруйте схему превращений, определите элемент **М** и его соединения **X**, **Y**, **Z**, если известно, что действие цинка на водный раствор, содержащий 13,00 г соединения **Y**, позволяет получить 8,28 г твёрдого простого вещества **М**.

2. Напишите уравнения всех указанных реакций.

3. При выпаривании водного раствора соединения **Y** образуются бесцветные прозрачные кристаллы **Q** сладкие на вкус. При нагревании кристаллов **Q** до 100 °С масса вещества уменьшается на 14,25 % и образуется вещество **Y**. Определите состав кристаллов **Q**.

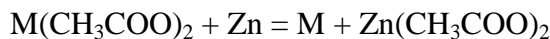
4. Термическое разложение (около 300 °С) соединения **Y** приводит к образованию соединения **MO** и газовой смеси. Газовую смесь последовательно пропустили через склянки с известковой водой и щелочным раствором иода. В первой склянке наблюдается образование белого осадка, а во второй - желтого осадка. Напишите уравнения реакции разложения соединения **Y** и реакций, подтверждающих состав газовой смеси.



(10 баллов)

Решение Задачи 10-1.

1. Схема превращений позволяет сразу предположить, что **М** – металл, образующий двухзарядные катионы в оксиде **MO**, а соединение **Y** – ацетат металла **М** вероятного состава $M(CH_3COO)_2$. Так как раствор соединения **Y** взаимодействует с цинком, то в ряду напряжений металлов элемент **М** расположен правее цинка, а реакция цинка с **Y** в растворе может быть представлена уравнением:

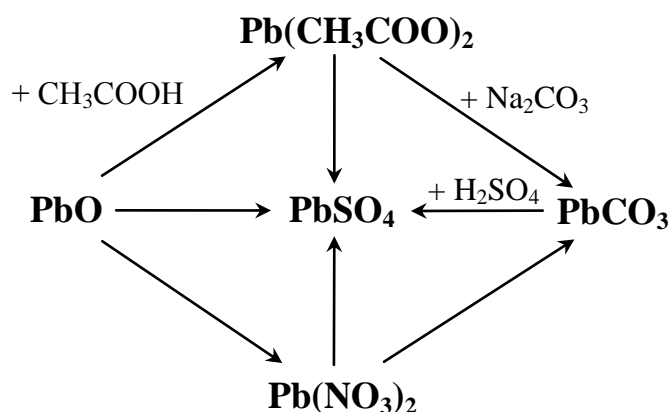


Так как $n(M(CH_3COO)_2) = n(M)$, то

$$\frac{13,00}{M(M) + 118} = \frac{8,28}{M(M)}$$

$$M(M) = 207 \text{ г/моль}$$

Следовательно, металл **М** – это **свинец (Pb)**, соединение **MO** – оксид свинца(II), а схема превращений имеет вид:



Таким образом, соединение **X** – сульфат свинца PbSO_4
соединение **Y** – ацетат свинца $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2$
соединение **Z** – карбонат свинца PbCO_3 (допускается $(\text{PbOH})_2\text{CO}_3$)

2. Уравнения реакций:

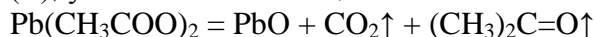
- $\text{PbO} + 2\text{CH}_3\text{COOH} = \text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{PbCO}_3\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COONa}$
или $2\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{PbOH})_2\text{CO}_3\downarrow + 4\text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2\uparrow$
- $\text{PbCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4\downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$
- $\text{PbO} + \text{SO}_3 = \text{PbSO}_4$
- $\text{PbO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb(NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Pb(NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{PbCO}_3\downarrow + 2\text{NaNO}_3$
или $2\text{Pb(NO}_3)_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{PbOH})_2\text{CO}_3\downarrow + 4\text{NaNO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$
- $\text{Pb(NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4\downarrow + 2\text{HNO}_3$
- $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COONa}$

3. При выпаривании раствора ацетата свинца образуется прозрачные кристаллы **Q** сладкие на вкус – «свинцовый сахар» - кристаллогидрат ацетата свинца $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, где количество молекул кристаллизационной воды равно:

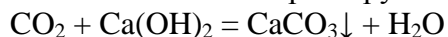
$$x = n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}) - M(\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2)}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{325}{1-0,1425} - 325}{18} = 3$$

Следовательно, кристаллы **Q** – тригидрат ацетата свинца $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

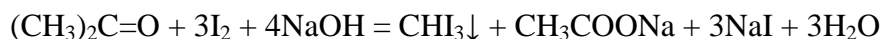
4. В результате термического разложения безводного ацетата свинца образуется оксид свинца(II), углекислый газ и ацетон:



Компоненты газовой смеси реагируют с известковой водой и щелочным раствором иода:



белый



желтый

Система оценивания:

1. За определение элемента **M** с расчетом – **2 балла**.
2. За определение состава соединений **X**, **Y** и **Z** по 0,5 балла = $0,5 \times 3 = 1,5$ балла.
3. За уравнения реакций в схеме превращений по 0,5 балла – $0,5 \times 8 = 4$ балла.
4. За определение состава кристаллов **Q** – **1 балл**.
5. За уравнения реакций разложения и поглощения газов по 0,5 балла – $0,5 \times 3 = 1,5$ балла.

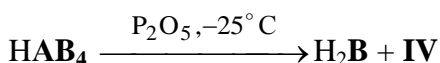
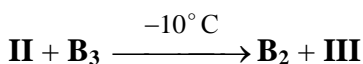
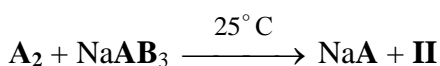
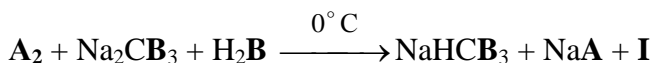
ВСЕГО: 10 баллов

Задача 10-2.

Химические элементы **A** и **B** образуют бинарные соединения **I**, **II**, **III** и **IV**:

Вещество	$\omega(A)$, %	Цвет, агрегатное состояние
I	81,61	желто-коричневый газ
II	52,59	желтый газ
III	42,51	красная жидкость
IV	38,80	бесцветная жидкость

Получение соединений **I** – **IV** можно провести следующими способами:



Вопросы:

1. Определите элементы **A** и **B** и соединения **I** – **IV**.
2. Напишите уравнения реакций получения соединений **I** – **IV**.
3. Напишите уравнения реакций взаимодействия соединений **I** – **IV** с водой. Назовите продукты реакций.
4. Как построены молекулы соединений **I**, **II** и **IV**? Нарисуйте их структурные формулы.

(10 баллов)

Решение Задачи 10-2.

1. Согласно уравнениям реакций получения соединений **I** – **IV** элементы **A** и **B** образуют двухатомные молекулы **A₂** и **B₂**, таким образом, каждое из них может быть галогеном, O₂ или N₂. Элемент **B** образует к тому же трехатомную молекулу **B₃**, поэтому этим элементом может быть только кислород (**B** – кислород, а **B₃** – озон).

Элемент **A** найдем по его массовой доле в соединениях. Учитывая, что кислород в своих соединениях проявляет валентность, равную 2, общая формула его соединений с элементом **B**: **B₂O_n**. Тогда массовая доля элемента **A** в соединении **I**:

$$\omega(A) = \frac{2 \cdot M(A)}{2 \cdot M(A) + 16 \cdot n} = 0,8161$$

$$M(A) = 35,5 \cdot n$$

Если $n = 1$, то $M(A) = 35,5$ г/моль; следовательно, элемент **A** – хлор, а соединение **I** – оксид хлора(I) **Cl₂O**.

Если $n = 2$, то $M(A) = 71$ г/моль; элемента с такой молярной массой нет.

Если $n = 3$, то $M(A) = 106,5$ г/моль; элемент с такой молярной массой – палладий Pd, но он не образует двухатомных молекул.

Аналогично определяются соединения **II** – **IV**.

Таким образом:

элемент **A** – хлор **Cl**

элемент **B** – кислород **O**

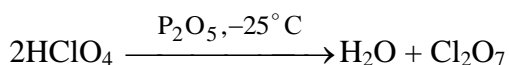
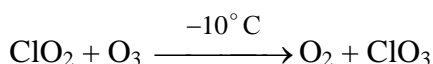
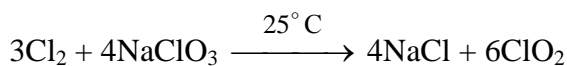
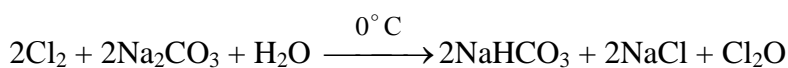
соединение **I** – оксид хлора(I) - **Cl₂O**

соединение **II** – оксид хлора(IV) - **ClO₂**

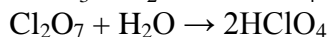
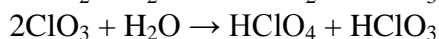
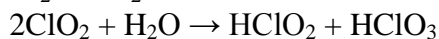
соединение **III** – оксид хлора(VI) - **ClO₃**

соединение **IV** – оксид хлора(VII) - **Cl₂O₇**

2. Реакции получения **I** – **IV**:



3. При взаимодействии оксидов хлора с водой образуются кислоты:



Названия кислот хлора:

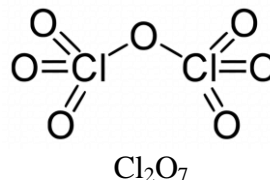
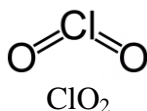
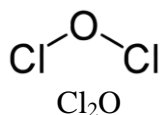
HClO – хлорноватистая

HClO_2 – хлористая

HClO_3 – хлорноватая

HClO_4 – хлорная

4. Молекулы Cl_2O и ClO_2 имеют угловое строение молекулы, в то время как Cl_2O_7 образуется из двух тетраэдров $[\text{ClO}_4]$, объединенных общей вершиной атома кислорода:



Система оценивания:

1. За определение элементов **A** и **B** и соединений **I – IV** по 0,5 балла – $0,5 \times 6 = 3$ балла.
2. За уравнения реакций получения соединений **I – IV** по 0,5 балла – $0,5 \times 4 = 2$ балла.
3. За уравнения реакций соединений **I – IV** по 0,5 балла – $0,5 \times 4 = 2$ балла.
4. За названия кислот хлора по 0,5 балла – $0,5 \times 3 = 1,5$ балла.
5. За графические формулы оксидов хлора по 0,5 балла – $0,5 \times 3 = 1,5$ балла.

ВСЕГО: 10 баллов.

Задача 10-3.

Растворы и сам процесс растворения имеют огромное значение в природе, жизнедеятельности живых организмов, промышленности, медицине. Растворение солей представляет собой совокупность физико-химических процессов, включающая разрушение кристаллической решетки безводной соли и распределение образовавшихся ионов по всему объему раствора. Одновременно протекает процесс гидратации ионов – соединение их с молекулами растворителя с образованием гидратов. Теплота растворения кристаллогидратов меньше, чем теплота растворения безводной соли на величину теплоты образования кристаллогидрата из безводной соли и воды, поэтому при растворении кристаллогидратов солей теплота обычно поглощается.

1. Энергия кристаллической решетки безводного хлорида бария равна 2023,4 кДж/моль, а энергии гидратации катионов бария и хлорид-ионов равны соответственно 1328,5 кДж/моль и 362,4 кДж/моль. Рассчитайте теплоту растворения безводного хлорида бария массой 50 г.

2. При растворении 50 г дигидрата хлорида бария из безводной соли и воды поглощается 3,5 кДж теплоты. Рассчитайте теплоту образования дигидрата хлорида бария из безводной соли и воды.

3. Где используются свойства солей и их кристаллогидратов при растворении поглощать или выделять теплоту? Приведите примеры.

4. Рассчитайте, сколько граммов дигидрата хлорида бария надо добавить к 50 мл 10 %-ного раствора соли ($\rho = 1,09$ г/мл), чтобы утроить массовую долю раствора.

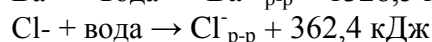
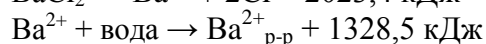
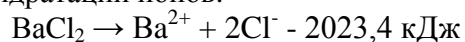
Дополнительные сведения:

Энергия кристаллической решётки — энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить и отделить друг от друга на бесконечное расстояние частицы, образующие кристаллическую решетку.

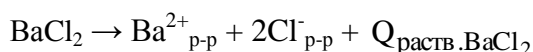
Энергия гидратации — энергия, выделяющаяся при взаимодействии молекул воды с ионами растворяющегося вещества.

Решение Задачи 10-3.

1. Составим термохимические уравнения процессов разрушения кристаллической решетки и гидратации ионов:



На основе этих уравнений рассчитывается теплота растворения безводного хлорида бария массой 50 г:



$$Q_{\text{раств. BaCl}_2} = -2023,4 + 1328,5 + 2 \cdot 362,4 = 29,9 \text{ кДж/моль}$$

$$Q = \frac{m(\text{BaCl}_2) \cdot Q_{\text{раств. BaCl}_2}}{M(\text{BaCl}_2)} = \frac{50 \cdot 29,9}{208} = 7,2 \text{ кДж/моль}$$

2. При условии, что при растворении дигидрата хлорида бария теплота поглощается, теплота растворения кристаллогидрата равна:

$$Q_{\text{раств. BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot Q}{m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \frac{244 \cdot (-3,5)}{50} = -17,1 \text{ кДж/моль}$$

Следовательно, теплота образования дигидрата хлорида бария равна:

$$Q_{\text{обр. BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{раств. BaCl}_2} - Q_{\text{раств. BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 29,9 - (-17,1) = 47,0 \text{ кДж/моль}$$

3. Свойство солей и их кристаллогидратов при растворении поглощать теплоту применяется для приготовления охлаждающих смесей, а выделение теплоты используется при изготовлении антигололедных смесей (смесь песка с каменной солью), которые обеспечивают плавление наледи на поверхности дорожного покрытия.

4. Массовая доля раствора после смешения кристаллогидрата и 10 %-ного раствора хлорида бария равна:

$$\begin{aligned} \omega(\text{BaCl}_2 \text{ в исх. р} - \text{ре}) \cdot V(\text{исх. р} - \text{ра}) \cdot \rho(\text{исх. р} - \text{ра}) + \frac{M(\text{BaCl}_2) \cdot m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} \\ \omega(\text{р} - \text{ра}) = \frac{V(\text{исх. р} - \text{ра}) \cdot \rho(\text{исх. р} - \text{ра}) + m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{208 \cdot m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \\ = \frac{0,1 \cdot 50 \cdot 1,09 + \frac{244}{50 \cdot 1,09 + m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}}{50 \cdot 1,09 + m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = 0,3 \end{aligned}$$

При решении уравнения определяется масса кристаллогидрата: $m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 19,8$ г.

Система оценивания:

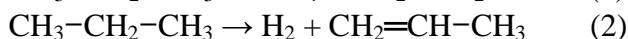
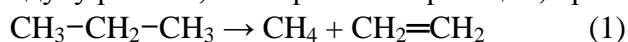
1. За расчет теплоты растворения безводной соли – **3 балла**.
2. За расчет теплоты образования кристаллогидрата – **3 балла**.
3. За пример применения тепловых эффектов растворения (не зависимо от количества примеров) – **1 балл**.
4. За расчет массы кристаллогидрата для приготовления раствора – **3 балла**.

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 10-4.

Крекинг – это процесс термического разложения углеводородов, основу которого составляет расщепление углеродной цепи крупных молекул с образованием соединений с более короткой цепью. Крекинг алканов применяется при переработке нефти с целью получения продуктов меньшей молекулярной массы, которые используются в качестве моторных топлив и смазочных масел, а также как сырье для химической и нефтехимической промышленности.

При крекинге пропана образуется смесь водорода, метана, этилена и пропена. После пропускания этой смеси над никелевым катализатором получили новую газовую смесь, плотность которой по воздуху равна 1,315. Уравнения реакций, протекающих при крекинге:



Вычислите, какая часть пропана разложилась по уравнению (1). Среднюю молярную массу воздуха примите равной 28,9 г/моль.

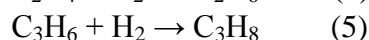
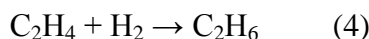
(10 баллов)

Решение Задачи 10-4.

По условию газы крекинга не содержат пропана, т.е. пропан разложился полностью. Пусть при крекинге 1 моль пропана a моль разложилась по уравнению (1), b моль – по уравнению (2), тогда

$$a + b = 1 \quad (3)$$

В полученной газовой смеси находится a моль CH_4 , a моль C_2H_4 , b моль H_2 и b моль C_3H_6 . При пропускании этой газовой смеси над никелевым катализатором происходит гидрирование алкенов:



Поскольку количество водорода в этой смеси меньше, чем алкенов, следовательно, реакции (4) и (5) пройдут частично. Допустим, что прореагировало x моль C_2H_4 и y моль C_3H_6 ,

$$x + y = b \quad (6)$$

тогда в реакциях (4) и (5) образовалось x моль C_2H_6 и y моль C_3H_8 .

Таким образом, конечная газовая смесь содержит a моль CH_4 , $(a-x)$ моль C_2H_4 , x моль C_2H_6 , $(b-y)$ моль C_3H_6 и y моль C_3H_8 , т.е. всего

$$a + (a-x) + x + (b-y) + y = 2a + b \quad \text{моль газов.}$$

Средняя молярная масса газовой смеси равна: $M(\text{смеси}) = 1,315 \cdot 28,9 = 38$ г/моль, поэтому:

$$M(\text{смеси}) = \frac{16a + 28(a-x) + 30x + 42(b-y) + 44y}{2a+b} = \frac{44a + 2x + 42b + 2y}{2a+b}$$

Учитывая соотношение (6), получаем:

$$M(\text{смеси}) = \frac{44a + 44b}{2a+b} \quad (8)$$

Решая систему уравнений (3) и (8), получаем $a = 0,158$, следовательно, 15,8% пропана разложилась по уравнению (1).

Система оценивания:

1. За каждое полное уравнение реакции гидрирования по 0,5 балла – $0,5 \times 2 = 1$ балл.
2. За определение состава конечной газовой смеси и расчет молярной массы смеси – 1 балл.
3. За полный правильный расчет степени разложения пропана по уравнению (1) – 7 баллов.

ВСЕГО: 10 баллов

Задача 10-5.

В восьми пронумерованных пробирках находятся индивидуальные твердые соли: BaSO_4 , $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, MgSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ZnCO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

1. Как определить соли, используя только воду, растворы HCl и NaOH ? Проведите мысленный эксперимент, результаты которого представьте в виде таблицы с указанием признаков процессов.

2. Напишите уравнения реакций определения солей.

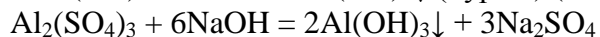
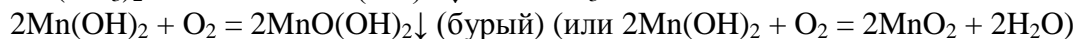
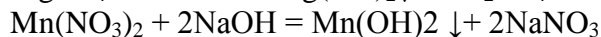
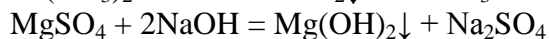
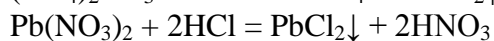
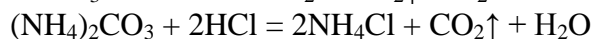
(10 баллов)

Решение Задачи 10-5

1. Мысленный эксперимент:

	BaSO_4	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	MgSO_4	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	ZnCO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
H_2O	н	р	р	н	р	р	н	р
HCl	н	-	↓	р	-	-	р, ↑	↑
NaOH	н	↓ коричн. на воздухе	↓ раствор. в избытке	-	↓	↓ раствор. в избытке	↓ раствор. в избытке	↑

2. Уравнения реакций:

**Система оценивания:**

1. За мысленный эксперимент с правильным указанием признаков процессов – **5,5 балла**.

2. За уравнения реакций по 0,5 балла – $0,5 \times 9 = \mathbf{4,5}$ балла.

ВСЕГО: 10 баллов