

## Десятый класс

### Задача 10-1 (автор – Емельянов В. А.)

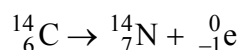
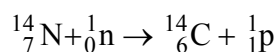
1. А – алмаз, Б – каменный уголь, В – сажа, Г – древесный уголь,  $\text{CaCO}_3$  – кальцит,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  – доломит.

2. На долю углерода в атмосферном углекислом газе, масса которого  $2,4 \cdot 10^{12}$  т, приходится  $12 : 44 \cdot 2,4 \cdot 10^{12} = 6,5 \cdot 10^{11}$  т. Это 0,0027 масс. % от всего углерода на нашей планете. Отсюда масса всего углерода  $100 \cdot 6,5 \cdot 10^{11} : 0,0027 = 2,4 \cdot 10^{16}$  т. По условию, эта величина составляет около 0,087 масс. % земной коры. Следовательно, масса земной коры около  $100 \cdot 2,4 \cdot 10^{16} : 0,087 = 2,8 \cdot 10^{19}$  т. Масса атмосферы рассчитывается из содержания в ней углекислого газа:  $100 \cdot 2,4 \cdot 10^{12} : 0,046 = 5,2 \cdot 10^{15}$  т.

3. Масса радиоизотопа  $^{14}\text{C}$  в природе  $10^{-2} \cdot 10^{-12} \cdot 2,4 \cdot 10^{16} = 2,4 \cdot 10^2$  т =  $2,4 \cdot 10^8$  г. Его количество в молях  $2,4 \cdot 10^8 : 14 = 1,7 \cdot 10^7$ , в штуках  $1,7 \cdot 10^7 \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1 \cdot 10^{31}$  шт.

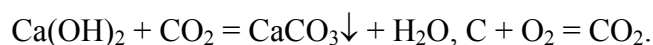
При таком низком содержании  $^{14}\text{C}$  ( $10^{-12}$  %) его вклад в атомную массу углерода проявится лишь в районе 12-го знака после запятой. Следовательно, масса углерода, приведённая в периодической системе, складывается из масс  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  с мольными долями, соответствующими их природному соотношению. Обозначив за  $x$  мольную долю  $^{13}\text{C}$  в природной смеси, составим уравнение:  $13x + 12(1 - x) = 12,011$ , откуда  $x = 0,011$ . Общая масса углерода в земной коре  $2,4 \cdot 10^{16}$  т =  $2,4 \cdot 10^{22}$  г, его количество  $2,4 \cdot 10^{22} : 12,011 = 2,0 \cdot 10^{21}$  моль или  $2,0 \cdot 10^{21} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{45}$  атомов. Количество  $^{13}\text{C}$   $1,2 \cdot 10^{45} \cdot 0,011 = 1,3 \cdot 10^{43}$  шт, количество  $^{12}\text{C}$   $1,2 \cdot 10^{45} \cdot (1 - 0,011) \approx 1,2 \cdot 10^{45}$  шт.

4. Уравнения ядерных реакций:

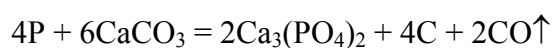


За каждый период полураспада остаётся половина от имевшихся атомов, соответственно за два – четверть и т. д. За  $28500 / 5700 = 5$  периодов полураспада содержание  $^{14}\text{C}$  уменьшится в  $2^5 = 32$  раза.

5. Реакции Блэка:



Реакции Теннанта:





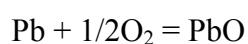
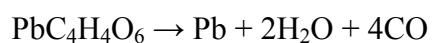
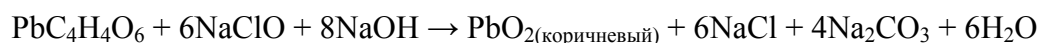
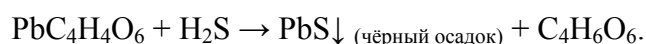
Углерод можно отмыть от фосфата кальция раствором сильной кислоты (только не серной):  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{ТВ}) + 4\text{HCl}(\text{раствор}) = \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2(\text{раствор}) + 2\text{CaCl}_2(\text{раствор})$ .

**Система оценивания:**

1. Названия А – Г 0,5 б. × 4, формулы кальцита и доломита 1 б. × 2	4 балла
2. Расчёт масс углерода, земной коры и атмосферы 1 б. × 3	3 балла
3. Количество каждого из трёх изотопов углерода 1 б. × 3	3 балла
4. Уравнения ядерных реакций 1 б. × 2	
расчёт уменьшение содержания углерода 2 б.	4 балла
5. Уравнения реакций Блэка и Теннанта 1 б. × 5	
реакция выделения углерода из смеси с фосфатом кальция 1 б.	6 баллов
<b>ИТОГО</b>	<b>20 баллов</b>

**Задача 10-2 (автор – Дроздов А. А.)**

1. Из описания химических свойств можно предположить, что речь идёт о соединениях свинца. Так, именно для свинца характерно выпадение чёрного осадка сульфида, который при действии перекиси водорода окисляется в белый сульфат, окисление гипохлоритом до оксида свинца (IV). Этот вывод можно подтвердить выводом формулы оксида. В общем случае для оксида  $\text{MO}_x$ , где  $x = 0,5; 1; 1,5; 2$  и т. д. имеем  $16x / (M + 16x) = 0,0717$ . При  $x = 1$ ,  $M = 207$ , свинец, D –  $\text{PbO}$ . Выделяющийся при действии на вещество Б газ – углекислый ( $M = 1,97 \cdot 22,4 = 44$  г/моль). Значит, вещество Б – карбонат свинца  $\text{PbCO}_3$  (минерал церуссит). Проверяем по массовой доле углерода:  $12 / (207 + 60) = 0,045$ . Органическая кислота А, по-видимому, содержит в своём составе углерод, водород и кислород, её формула  $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ . Массовая доля углерода равна  $12x / (12x + y + 16z) = 0,32$ . Получаем  $25,5x = y + 16z$ . Перебором ( $x = 2, 3, 4; y = 3, 4, 4, 6; z = 2, 3, 4$ ) получаем  $x = 4, y = 6, z = 6$ , что соответствует двухосновной винной кислоте  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ :  $\text{HOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ . Вещество В – тартрат свинца  $\text{Pb}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$ .



А – винная кислота

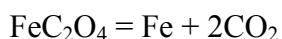
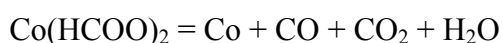
Б – карбонат свинца

В – тартрат свинца

Г – свинец

Д – оксид свинца (II)

2. Можно получить пирофорные железо и кобальт разложением оксалатов, формиатов, цитратов, например



### Система оценивания

1. Определение металла (свинец)	3 балла
доказательство расчётом	2 балла
определение каждого из веществ А, Б, В, Д по 1 баллу	4 балла
За каждое из шести уравнений реакций по 1,5 балла	9 баллов
2. За два примера получения пирофорных порошков других металлов по 1 баллу	2 балла
ИТОГО	20 баллов

### Задача 10-3 (автор – Куриленко К. А.)

1. Рассчитываем молярную массу газа В

$$M(\text{B}) = 35,5 \cdot 2 = 71 \text{ (г/моль)},$$

учитывая, что этот газ получен при взаимодействии соли X с соляной кислотой, им может быть хлор. В – Cl<sub>2</sub>.

Рассчитаем молярную массу газа А.

$$M(\text{A}) = 33,75 \cdot 2 = 67,5 \text{ (г/моль)}$$

Исходя из дробной молярной массы А, его бурой окраски и удушающего запаха, можно предположить, что данный газ содержит хлор, тогда на оставшиеся элементы приходится  $67,5 - 35,5 = 32$  г/моль. Это соответствует 2 атомам кислорода, тогда возможная формула А – ClO<sub>2</sub>.

Зная молярную массу А и молярное соотношение, можно определить газ С.

$$M(\text{смеси}) = \frac{\nu(\text{A}) \cdot M(\text{A}) + \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C})}{\nu(\text{A}) + \nu(\text{C})} = \frac{2 \cdot \nu(\text{C}) \cdot M(\text{A}) + \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C})}{3 \cdot \nu(\text{C})} = \frac{2 \cdot M(\text{A}) + M(\text{C})}{3} = 29,83 \cdot 2 = 59,66$$

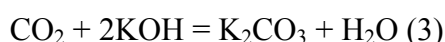
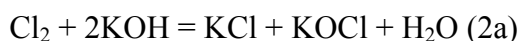
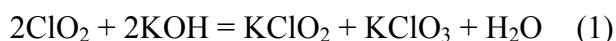
$M(C) = 59,66 \cdot 3 - 2 \cdot 67,5 = 44$  г/моль. Газом с такой молярной массой, выделяющимся из раствора щавелевой кислоты, может быть лишь  $\text{CO}_2$ . С –  $\text{CO}_2$ .

А –  $\text{ClO}_2$

В –  $\text{Cl}_2$

С –  $\text{CO}_2$ .

2. Уравнения реакций взаимодействия газов со щёлочью в соответствии с условием задачи:



3. По окраске пламени и выделении двуокиси хлора при взаимодействии соли **X** с концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  можно судить о наличии в её составе калия и хлора. По реакции 1 рассчитаем молярную массу **X**.

$$v(\text{KOH}) = \frac{1,092 \cdot 0,1 \cdot 20,51}{56} = 0,04 \text{ моль}, \text{ по уравнению реакции } v(\text{ClO}_2) = 0,04 \text{ моль}$$

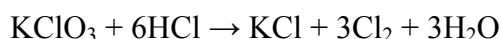
Составим таблицу

Соотношение $v(\mathbf{X}) : v(\text{ClO}_2)$	$M(\mathbf{X})$	<b>X</b>
1:1	$\frac{7,35}{0,04} = 183,75$	–
2:1	$\frac{7,35}{0,08} = 91,875$	–
3:2	$\frac{7,35}{0,06} = 122,5$	$\text{KClO}_3$
1:2	$\frac{7,35}{0,02} = 367,5$	–

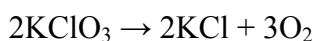
Из таблицы видно, что единственной солью с данной молярной массой, в которой присутствуют хлор и калий, может являться хлорат калия.

**X** –  $\text{KClO}_3$

4. Уравнения взаимодействия  $\text{KClO}_3$  с кислотами.



5. Разложение  $\text{KClO}_3$  начинается уже при  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Так, в присутствии катализатора ( $\text{MnO}_2$  и др.) разложение преимущественно идёт по следующей реакции:



В отсутствие катализатора образуются хлорид и перхлорат калия:



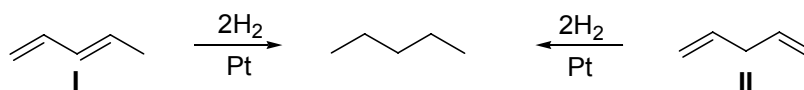
б) Тривиальное название соли **X** – бертолетова соль. Она применяется в спичечном производстве, при изготовлении взрывчатых веществ и сигнальных ракет. Смеси этой соли с восстановителями (серой, фосфором и др.) легко взрываются от удара (видимо, это вызвало опасения Юры, и он **аккуратно** убрал банку с бертолетовой солью глубоко в сейф).

**Система оценивания:**

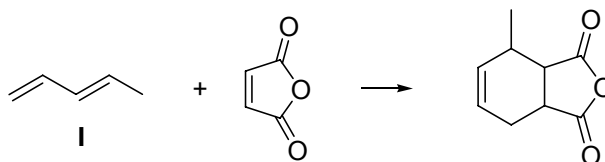
1. 3 газа + 3 расчёта = 3·2 балла + 3·0,5 балла	7,5 баллов
2. 3 уравнения по 1 баллу	3 балла
3. соль + расчёт = 2 балла + 0,5 балла	2,5 балла
4. 3 уравнения по 1 баллу	3 балла
5. 2 уравнения по 1 баллу	2 балла
6. Объяснение опасений Юры + применение 2·0,5 балла + название 1 балл	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>20 баллов</b>

**Задача 10-4 (автор – Бахтин С.)**

1. При гидрировании как **I**, так и **II** образуется *n*-пентан:



С малеиновым ангидридом (МА) реагирует только **I** (реакция Дильса–Альдера):



$$2. \nu(\text{I}) = \nu(\text{МА}) = \frac{73,5 \cdot 0,2}{98} = 0,15 \text{ моль.}$$

$$v(\text{I} + \text{II}) = \frac{v(\text{H}_2)}{2}; \quad v(\text{H}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{110,2 \cdot 9,6}{8,314 \cdot 318} = 0,4 \text{ моль}; \quad v(\text{I} + \text{II}) = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{II}) = 0,2 - 0,15 = 0,05 \text{ моль. Найдём мольные доли: } \chi(\text{I}) = \frac{0,15}{0,2} \cdot 100\% = 75\%; \quad \chi(\text{II}) = 25\%$$

3. Запишем схемы гидрирования диенов:



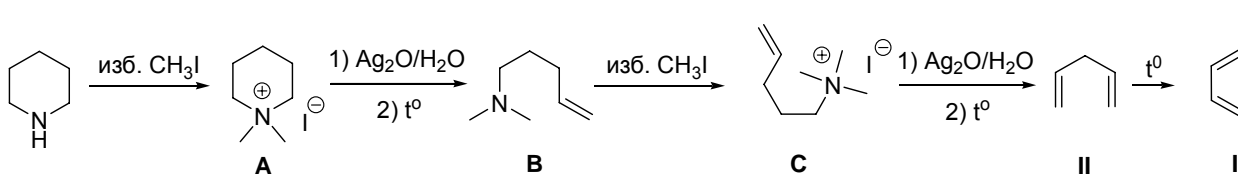
и составим систему уравнений:

$$\begin{cases} 0,15 Q_1 + 0,05 Q_2 = 46,7 \\ 0,1 Q_1 + 0,1 Q_2 = 48,1 \end{cases}$$

Решая, находим:  $Q_1 = 226,5$  кДж/моль,  $Q_2 = 254,6$  кДж/моль.

$$4. \Delta E = Q_2 - Q_1 = 28,1 \text{ кДж/моль.}$$

5.



#### Система оценивания

- |  |            |
|--|------------|
| 1. 3 уравнения реакции по 2 балла за каждое.             | 6 баллов.  |
| 2. Расчёт состава смеси                                  | 4 балла.   |
| 3. Энергии гидрирования каждого соединения – по 2 балла. | 4 балла.   |
| 4. Расчёт  | 1,5 балла. |
| 5. Структуры соединений А–С по 1,5 балла.                | 4,5 балла. |

ИТОГО

20 баллов

#### Задача 10-5 (авторы – Егельская Л. А., Ерёмин В. В.)

1. Пусть формула минерала  $\text{M}_x\text{S}_y$ , а молярная масса элемента М равна  $M$ . Тогда массовая доля серы равна:

$$\omega(\text{S}) = \frac{32y}{32y + Mx} = 0,533, \text{ откуда } M = \frac{28y}{x}.$$

Перебором при  $x = 1$  и  $y = 2$  получаем химически разумное решение  $M = 56$ , то есть формула минерала  $\text{FeS}_2$ . Обычное название минерала – пирит. Название происходит от

греческого «pyrites lithos», что означает «камень, высекающий огонь». Другие названия: железный или серный колчедан, марказит, бравоит.

2. При обжиге пирита образуются твёрдый и газообразный продукты. Твёрдый продукт – один из оксидов железа: FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. По условию задачи при обжиге масса твёрдого вещества уменьшается на треть. В случае образования каждого из трёх перечисленных оксидов отношение масс твёрдых веществ равно:

$$\frac{M(\text{FeO})}{M(\text{FeS}_2)} = \frac{72}{120} = 0,600,$$

$$\frac{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{2M(\text{FeS}_2)} = \frac{160}{240} = \frac{2}{3},$$

$$\frac{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{3M(\text{FeS}_2)} = \frac{232}{360} = 0,644.$$

Следовательно, твёрдый продукт обжига – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

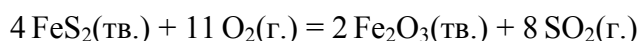
Газообразный продукт – один из оксидов серы: SO<sub>2</sub> или SO<sub>3</sub>. По условию задачи масса газообразного продукта на 60 % (т. е. в 1,6 раза) больше массы твёрдого остатка (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Тогда с учётом стехиометрии (на 2 атома железа приходится 4 атома серы) молярная масса газообразного продукта равна

$$\frac{M(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 1,6}{4} = \frac{160 \cdot 1,6}{4} = 64 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, газообразный продукт обжига – SO<sub>2</sub>.

**Примечание для проверяющих:** учащиеся могут сразу выбрать в качестве продуктов Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SO<sub>2</sub>. В этом случае они должны проверить соответствие отношений масс условиям задачи.

Уравнение реакции обжига пирита:



Для обжига 1 моля пирита требуется  $11 / 4 = 2,75$  моль O<sub>2</sub>.

Объём воздуха (н. у.) равен  $2,75 / 0,2 \cdot 22,4 = 308$  л.

В нём содержится  $308 \cdot 0,8 = 246,4$  л N<sub>2</sub>.

При обжиге образуется  $8 / 4 \cdot 22,4 = 44,8$  л SO<sub>2</sub>.

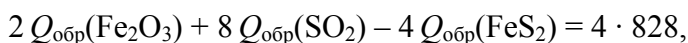
Общий объём полученной газовой смеси (н. у.) равен  $246,4 + 44,8 = 291,2$  л.

Объёмные доли компонентов газовой смеси составляют:

$$\varphi(\text{SO}_2) = 44,8 / 291,2 = 15,4 \text{ \%}.$$

$$\varphi(\text{N}_2) = 246,4 / 291,2 = 84,6 \text{ \%}.$$

3. По закону Гесса



или  $2 \cdot 824 + 8 \cdot 297 - 4Q_{\text{обр}}(\text{FeS}_2) = 4 \cdot 828$ ,

откуда  $Q_{\text{обр}}(\text{FeS}_2) = 178$  кДж/моль.

### **Система оценивания**

- |    |  |          |
|----|--|----------|
| 1. | 4 балла за правильную формулу X, 2 балла за название,<br>2 балла за хотя бы одно другое название | 8 баллов |
| 2. | 4 балла за расчёт объёма воздуха,<br>4 балла за состав газовой смеси                             | 8 баллов |
| 3. | За расчёт теплоты образования X  | 4 балла  |

ИТОГО