

2.1.2. Задания 10 класса

Задача №10-1

1. Исходя из описания физических и химических свойств простых веществ, несложно догадаться, что речь идет о неметаллах третьего периода ПСХЭ:

$X = S$ (сера), $Y = Cl$ (хлор), $Z = P$ (фосфор).

В периоде ПСХЭ радиусы атомов увеличиваются справа налево, т.е. в ряду

$Cl \rightarrow S \rightarrow P$.

2. Сера и фосфор имеют несколько аллотропных модификаций, хлор же способен существовать лишь в виде молекулы Cl_2 , представляющей желто-зеленый газ **В**. Тогда можно рассчитать молярные массы простых веществ серы и фосфора.

$M(A) = 71 \times 3.6056 = 256$ г/моль, что соответствует ромбической сере S_8 – порошку лимонно-желтого цвета.

$M(C) = 71 \times 1.7465 = 124$ г/моль, что соответствует белому фосфору P_4 – воскообразному веществу белого цвета с желтоватым отливом.

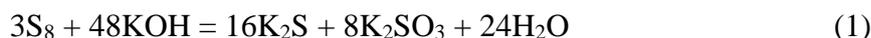
Таким образом,

A – S_8

B – Cl_2

C – P_4

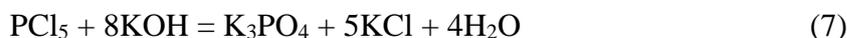
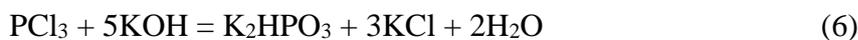
(на данном этапе задачи указание индексов для молекул всех простых веществ является обязательным)



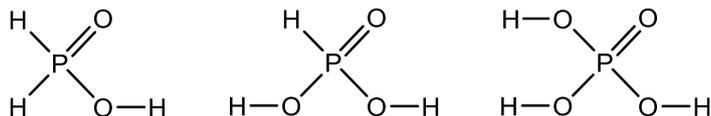
Бесцветный ядовитый газ, выделяющийся в последней реакции – фосфин PH_3 .

3. В реакции 3 образуется соль **фосфорноватистой кислоты H_3PO_2** (кислота **D**).

При взаимодействии фосфора с хлором могут образоваться хлориды фосфора (III) и (V), которые при обработке щелочью гидролизуются с образованием солей **фосфористой (H_3PO_3 , кислота E)** и **фосфорной (H_3PO_4 , кислота F)** кислот.



Структурные формулы кислот:



4. При взаимодействии серы с фосфором могут образоваться различные сульфиды фосфора. Определим брутто-формулу соединения **G** состава P_xS_y , воспользовавшись данными о массовой доле серы (более тяжелого элемента в сравнении с фосфором).

$$x : y = 56.36/31 : 43.64/32 = 1.818 : 1.364 = 1.333 : 1 = 4 : 3$$

Таким образом, соединение **G** – **P₄S₃**

Продуктом реакции 2, используемым в производстве спичек, является бертолетова соль (хлорат калия) **KClO₃**. При поджигании спички протекает реакция:



Разбалловка

Элемент ответа	Баллы
Символы элементов X, Y, Z	3x0,5б.=1,5б.
Правильный порядок увеличения радиусов	1б.
Формулы веществ A, B, C	3x0,5б.=1,5б.
Уравнения реакций (1)–(3)	3x0,5б.=1,5б.
Структурные формулы кислот D–F	3x0,5б.=1,5б.
Уравнения реакций (4)–(7)	4x0,5б.=2б.
Формула вещества G	0,5б.
Уравнение реакции (8)	0,5б.
ИТОГО	10б.

Задача №10-2

1. Молярная масса газа В составляет $\frac{16,00x}{0,5712} = 28,00 \cdot x$ г/моль, где x – число атомов кислорода в молекуле. Учитывая токсичность вещества и его способность количественно реагировать с **I₂O₅**, делаем вывод, что В – **CO**.

В таком случае, **B** – **C** (углерод), и протекала реакция восстановления кислородсодержащего минерала.

Выделение газа с неприятным запахом указывает на то, что **Г** – сульфид. Тогда вероятно, что вещество **A** – сульфат. Если степень окисления металла в процессе оставалась постоянной, то

$$1,38 = \frac{M(M_2(SO_4)_a)}{M(M_2S_a)} = \frac{2 \cdot M + 96 \cdot a}{2 \cdot M + 32 \cdot a}, \text{ откуда } M(M) = 68 \cdot a \text{ (г/моль)}$$

При $a = 2$ подходящим элементом является барий.

Минерал **A** в таком случае является сульфат бария **BaSO₄**.

Таким образом, **X** – барий, **A** – барит (тяжелый шпат) **BaSO₄**.

2. Буквами зашифрованы следующие вещества:

B – углерод **C**;

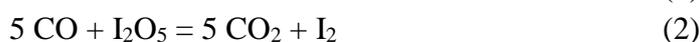
B – **CO**;

Г – **BaS**;

Д – **H₂S**;

Е – **Ba(CH₃COO)₂**.

3. Уравнения реакций:



4. При прокаливании ацетата бария протекает его разложение с образованием твердого продукта и отгонкой газообразных в условиях опыта веществ.

$M(Ba(CH_3COO)_2) = 255$ г/моль

Из уменьшения массы следует, что $M(\text{Ж}) = 255 \cdot (1 - 0,2274) \cdot x = 197 \cdot x$ г/моль, где x – число атомов бария в формульной единице.

Массе 197 г/моль подходит карбонат бария, соответственно он является веществом Ж, а побочным продуктом реакции является ацетон.

Итак, Ж – BaCO_3

Уравнение реакции:

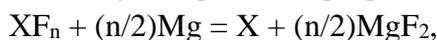


Разбалловка

1	Металл X Формула и тривиальное название минерала A	16. 16.+0,56.=1,56.
2	Формулы веществ Б–Е ,	5x0,56.=2,56.
3	Уравнения реакций 1–3	3x16.=36.
4	Формула вещества Ж (без расчетов – 0 б) Уравнение реакции	16. 16.
	ИТОГО	106.

Задача №10-3

1. Начнем с определения элемента X. Для получения простого вещества, образованного X, используется реакция фторида с магнием



где n – валентность элемента X.

По уравнению реакции

$$\frac{m(\text{XF}_n)}{M(\text{XF}_n)} = \frac{n}{2} \cdot \frac{m(\text{Mg})}{A(\text{Mg})} \Rightarrow M(\text{XF}_n) = \frac{2m(\text{XF}_n) \cdot A(\text{Mg})}{n \cdot m(\text{Mg})} = \frac{2 \cdot 2,35 \cdot 24}{1,2n} = \frac{94}{n}$$

При $n = 1$, $M(\text{XF}) = 94$ г/моль, $A(\text{X}) = 75$, мышьяк

При $n = 2$, $M(\text{XF}_2) = 47$ г/моль, $A(\text{X}) = 9$, бериллий

При $n = 3$, $M(\text{XF}_3) = 31,3$ г/моль, такого фторида не существует.

Таким образом, X – бериллий, так как соединения AsF не существует.

2. Определим минерал Y. Представим его формулу в виде $(\text{BeO})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_y(\text{SiO}_2)_z$, тогда:

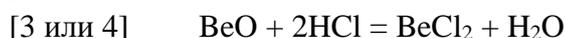
$$x : y : z = \frac{14}{25} : \frac{19}{102} : \frac{67}{60} = 0,56 : 0,186 : 1,117 = 3 : 1 : 6.$$

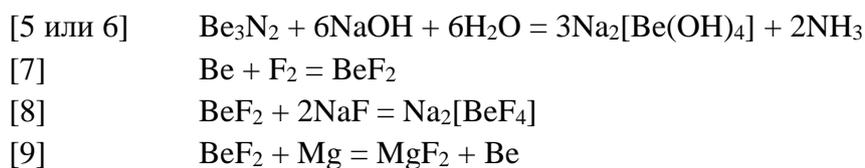
То есть формула минерала $(\text{BeO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)_1(\text{SiO}_2)_6$ или $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ – это минерал берилл, который используется для промышленного получения бериллия и его солей, а также в ювелирном деле в качестве драгоценных камней (изумруд – берилл с примесями железа, хрома и ванадия; аквамарин – берилл с примесью железа).

3. Формулы веществ:



3. Уравнения реакций:





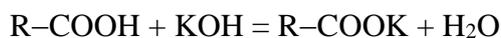
Разбалловка

Определение элемента X с расчетом (без расчета: 0,5 б)	1,5б.
Формула минерала Y	0,5б.
Название минерала Y	0,5б.
Применение минерала Y	0,5б.
Формулы веществ X ₁ – X ₅	5x0,5б.=2,5б.
Уравнения реакций 1–9	9x0,5б.=4,5б.
ИТОГО	10б.

Задача №10-4

1. Представим жидкий углеводород Г как C_xH_y, для него $\omega(\text{H}) = y / (12x + y) = 0.0769$, откуда $x = y$, что соответствует простейшей формуле CH. Учитывая, что Г вступает в реакцию бромирования в присутствии катализатора, можно сделать вывод, что Г – бензол C₆H₆.

Если при окислении А образовалась одноосновная кислота, то она будет вступать в реакцию нейтрализации по уравнению:



$$n(\text{KOH}) = V(p\text{-ра}) \times \omega(\text{KOH}) / M(\text{KOH}) = 11.2 \times 0.05 / 56 = 0.01 \text{ моль}$$

$$\text{Тогда } n(\text{R-COOH}) = n(\text{KOH}) = 0.01 \text{ моль}$$

$$M(\text{R-COOH}) = 1.22 / 0.01 = 122 \text{ г/моль}$$

$M(\text{R}) = 122 - M(\text{COOH}) = 122 - 45 = 77 \text{ г/моль}$, что соответствует R = C₆H₅ и подтверждает ранее сделанные выводы о веществе Г.

Таким образом, Б – бензойная кислота C₆H₅COOH, а В – бензоат калия C₆H₅COOK, при сплавлении которого с твердым KOH происходит декарбоксилирование с образованием бензола.

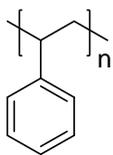
Бромирование бензола в присутствии катализатора приводит к образованию Д – бромбензола C₆H₅Br, взаимодействие которого с бромэтаном в присутствии натрия дает Е – этилбензол C₆H₅-C₂H₅.

Бромирование этилбензола при облучении идет по боковой цепи с образованием вещества Ж – 1-бром-1-фенилэтана C₆H₅-CHBrCH₃, дегидрогалогенирование которого спиртовым раствором щелочи приводит к образованию двойной связи и образованию вещества А – стирола C₆H₅-CH=CH₂.

Тогда полимер Х, из которого изготовлены корпуса ручек – полистирол.

Таким образом,

Х – полистирол



А – стирол $C_6H_5-CH=CH_2$

Б – бензойная кислота C_6H_5COOH

В – бензоат калия C_6H_5COOK

Г – бензол C_6H_6

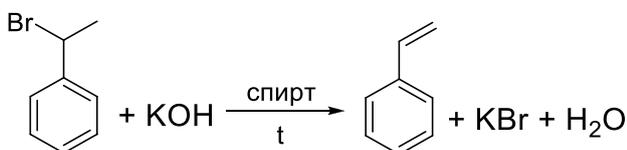
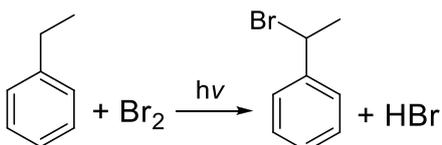
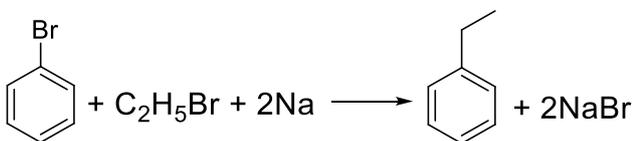
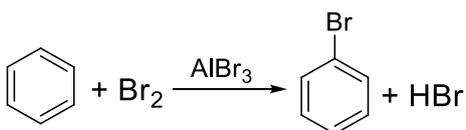
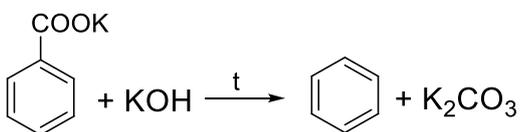
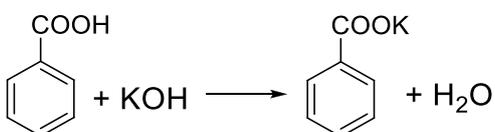
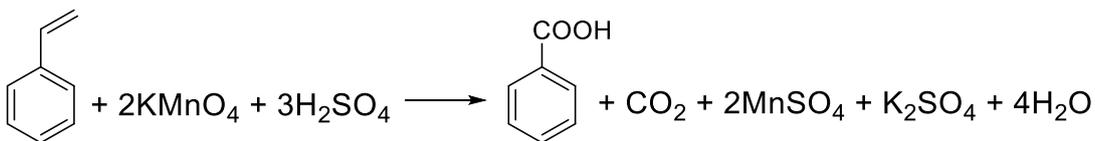
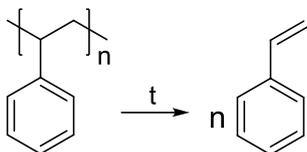
Д – бромбензол C_6H_5Br

Е – этилбензол $C_6H_5-C_2H_5$

Ж – 1-бром-1-фенилэтан $C_6H_5-CHBrCH_3$

(названия приводить необязательно)

2. Уравнения реакций:



(поскольку в реакциях не затрагивается бензольное кольцо, допускается вместо рисования кольца писать C_6H_5)

3. По условию требуется получить

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 61 / 122 = 0.5 \text{ моль}$$

Исходя из приведенного выше уравнения реакции,

$$n(\text{стирола}) = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 0.5 \text{ моль}$$

$m(\text{стирола}) = 0.5 \times 104 = 52 \text{ г}$, следовательно, требуется деполимеризовать такую же массу полистирола.

Для этого потребуется корпусов ручек

$$N(\text{ручек}) = 52 / 5.2 = \mathbf{10 \text{ штук}}$$

Разбалловка

Структурные формулы веществ X и A – Ж	8×0,5б.=4б.
Уравнения реакций (1)–(8)	8×0,5б.=4б.
Расчет количества ручек	2б.
ИТОГО	10 б.

Задача №10-5

1. Обозначим формулу углеводорода X как C_xH_y . Тогда схема сгорания будет иметь вид: $\text{C}_x\text{H}_y \rightarrow x\text{CO}_2 + y/2\text{H}_2\text{O}$

При температуре 68.25°C (341.25K) молярный объем газа будет равен

$$V_m = 22.4 \times 341.25 / 273 = 28 \text{ л/моль}$$

$$n(\text{CO}_2) = V / V_m = 8.4 / 28 = 0.3 \text{ моль}, \quad n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0.3 \text{ моль}$$

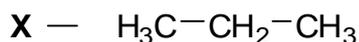
$$n(\text{H}_2\text{O}) = m / M = 7.2 / 18 = 0.4 \text{ моль}, \quad n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0.8 \text{ моль}$$

$$x : y = n(\text{C}) : n(\text{H}) = 0.3 : 0.8 = 3 : 8$$

Получаем, что углеводород X – C_3H_8

Тогда, вещество Y – пропен C_3H_6

Структурные формулы веществ X и Y:



Уравнение реакции дегидрирования:



2. Исходное количество пропана $n = 4.4/44 = 0.1 \text{ моль}$

При 200°C (473K): $n(\text{C}_3\text{H}_8) = \mathbf{0.08 \text{ моль}}$, $n(\text{C}_3\text{H}_6) = n(\text{H}_2) = \mathbf{0.02 \text{ моль}}$

$$p(\text{C}_3\text{H}_8) = nRT/V = 0.08 \times 8.31 \times 473 / 1 = 314.5 \text{ кПа} = \mathbf{3.145 \text{ бар}}$$

$$p(\text{C}_3\text{H}_6) = p(\text{H}_2) = 0.02 \times 8.31 \times 473 = 78.6 \text{ кПа} = \mathbf{0.786 \text{ бар}}$$

При 300°C (573K): $n(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.01 \text{ моль}$, $n(\text{C}_3\text{H}_6) = n(\text{H}_2) = \mathbf{0.09 \text{ моль}}$

$$p(\text{C}_3\text{H}_8) = nRT/V = 0.01 \times 8.31 \times 573 = 47.62 \text{ кПа} = \mathbf{0.476 \text{ бар}}$$

$$p(\text{C}_3\text{H}_6) = p(\text{H}_2) = 0.09 \times 8.31 \times 573 = 428.55 \text{ кПа} = \mathbf{4.286 \text{ бар}}$$

$$3. K_{p(473)} = 0.786 \times 0.786 / 3.145 = \mathbf{0.196}$$

$$K_{p(573)} = 4.286 \times 4.286 / 0.476 = \mathbf{38.59}$$

4. Изменение энтальпии реакции можно найти по формуле:

$$\Delta H = \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln(K_2/K_1)}{T_2 - T_1}$$

$$\Delta H = \frac{8.314 \cdot 473 \cdot 573 \cdot \ln(38.59/0.196)}{100} = 119035 \text{ Дж/моль} = \mathbf{119.035 \text{ кДж/моль}}$$

5. Из соотношения $\Delta_r G = \Delta_r H - T \Delta_r S$ получим:

$$\Delta_r S = (\Delta_r H - \Delta_r G) / T$$

При $T = 473 \text{ К}$ $\Delta_r G = -RT \ln K_p = -8.31 \cdot 473 \ln(0.196) = 6405.5 \text{ Дж/моль}$

$$\Delta_r S = (119035 - 6405.5) / 473 = \mathbf{238.1 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}}$$

Разбалловка

Брутто-формула X	0,5б.
Структурные формулы веществ X и Y	2x0,5б.=1б.
Уравнение реакции дегидрирования X	0,5б.
Состав равновесной смеси (моль) при 200°C	1б.
Состав равновесной смеси (моль) при 300°C	1б.
Парциальные давления всех компонентов (бар) при 200°C	1б.
Парциальные давления всех компонентов (бар) при 300°C	1б.
Константы равновесия K_p реакции дегидрирования	2x1б.=2б.
Тепловой эффект реакции дегидрирования ($\Delta_r H$)	1б.
Изменение энтропии реакции дегидрирования	1б.
ИТОГО	10 б.