Задания 9 класса

Представлен один из возможных вариантов решения заданий

Задача №9-1

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 → S → P**.

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

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

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

Таким образом,

A – $\mathbf{S_8}$
B – $\mathbf{Cl_2}$
C – $\mathbf{P_4}$

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

$$3S_8 + 48KOH = 16K_2S + 8K_2SO_3 + 24H_2O \quad (1)$$

Или $3S + 6KOH = 2K_2S + K_2SO_3 + 3H_2O$

$$3Cl_2 + 6KOH = 5KCl + KClO_3 + 3H_2O \text{ (при нагревании)} \quad (2)$$

$$P_4 + 3KOH + 3H_2O = PH_3\uparrow + 3KH_2PO_2 \quad (3)$$

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

3. В *реакции 3* образуется соль **фосфорноватистой кислоты** $\mathbf{H_3PO_2}$ (кислота **D**).

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

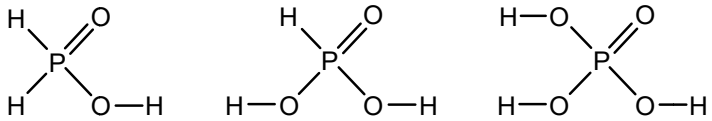
$$P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3 \quad (\text{или } 2P + 3Cl_2 = 2PCl_3) \quad (4)$$

$$P_4 + 10Cl_2 = 4PCl_5 \quad (\text{или } 2P + 5Cl_2 = 2PCl_5) \quad (5)$$

$$PCl_3 + 5KOH = K_2HPO_3 + 3KCl + 2H_2O \quad (6)$$

$$PCl_5 + 8KOH = K_3PO_4 + 5KCl + 4H_2O \qquad (7)$$

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 – P_4S_3**

Продуктом *реакции 2*, используемым в производстве спичек, является бертолетова соль (хлорат калия) $KClO_3$. При поджигании спички протекает реакция:

$$3P_4S_3 + 16KClO_3 = 6P_2O_5 + 9SO_2 + 16KCl \qquad (8)$$

Разбалловка

Элемент ответа	Баллы
Символы элементов **X, Y, Z** Правильный порядок увеличения радиусов	3х0,5б.=1,5б. 1б.
Формулы веществ **A, B, C** Уравнения реакций (1)–(3)	3х0,5б.=1,5б. 3х0,5б.=1,5б.
Структурные формулы кислот **D–F** Уравнения реакций (4)–(7)	3х0,5б.=1,5б. 4х0,5б.=2б.
Формула вещества **G** Уравнение реакции (8)	0,5б. 0,5б.
ИТОГО	10 б.

Задача №9-2

Под описание простого вещества подходит сера:

А – сера, S

Б – диоксид серы, SO_2

$$S + O_2 = SO_2 \qquad (1)$$

При пропускании избытка сернистого ангидрида через раствор щелочи должна получаться кислая соль $NaHSO_3$ (В), что подтверждается расчетами:

ω (Na) = 22,11% => M(соли) = 104·x, где x – количество катионов Na^+.

Для x=1 масса остатка 81 г/моль соответствует аниону HSO_3^-

$$SO_2 + NaOH = NaHSO_3 \qquad (2)$$

При взаимодействии кислой соли с гидроксидом натрия образуется средняя соль Г (сульфит натрия – Na_2SO_3).

$$NaHSO_3 + NaOH = Na_2SO_3 \quad (3)$$

Можно предположить, что при взаимодействии сульфита натрия с серой в анион вводятся атомы серы.

ω (Na) = 29,11% => M(соли) = 79·x, где x – количество катионов Na^+.

Поскольку ранее кислая соль была нейтрализована гидроксидом, то в её сотаве должно быть два катиона натрия, а масса должна составить 158 г/моль, где 112 г/моль приходится на кислотный остаток. Остаток, соответствующий сульфит аниону (80 г/моль) остался в составе, значит на неизвестную часть приходится ещё 32 г/моль, что соответствует введению одного атома серы в состав аниона: Следовательно, вещество Д – тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3$.

$$Na_2SO_3 + S = Na_2S_2O_3 \quad (4)$$

Фиксирование фотопленок основано на реакции:

$$2\ Na_2S_2O_3 + AgBr = Na_3[Ag(S_2O_3)_2] \quad (5)$$

А количественное определение йода – на процессе:

$$2\ Na_2S_2O_3 + I_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaI \quad (6)$$

Разбалловка

Написание формул веществ **А**–**Д**	5х0,8б.=4б.
Написание уравнений реакций (1)–(4), (6)	5х0,8б.=4б.
Написание уравнений реакции (5)	2б.
ИТОГО	10б.

Задача №9-3

Из описания можно сделать вывод, что **А** – медный купорос $\mathbf{CuSO_4 \cdot 5H_2O}$, он имеет голубой цвет, при умеренном нагревании отщепляет 5 молекул воды (36% массы), при более сильном нагревании образует черный оксид CuO.

Соль **Б** – нитрат магния $\mathbf{Mg(NO_3)_2}$. Магний входит в состав хлорофилла, при разложении образуется бурый оксид NO_2, который диспропорционирует в воде.

Уравнения реакций:

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O = CuO + SO_2 + 0.5O_2 + 5H_2O \quad (1)$$

$$2Mg(NO_3)_2 = 2MgO + 4NO_2 + O_2 \quad (2)$$

$$SO_2 + 2KOH = K_2SO_3 + H_2O \quad (3)$$

$$4NO_2 + O_2 + 4KOH = 4KNO_3 + 2H_2O \text{ или}$$
$$2NO_2 + 2KOH = KNO_2 + KNO_3 + H_2O \quad (4)$$

$$K_2SO_3 + Sr(NO_3)_2 = SrSO_3\downarrow + 2KNO_3 \quad (5)$$

3) $n(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = n(SO_2) = n(K_2SO_3) = n(SrSO_3) = 12.6/168 = 0.075$ моль
$m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = n \times M = 0.075 \times 250 =$ **18.75 г**
$n(CuO) = n(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 0.075$ моль
$m(CuO) = n \times M = 0.075 \times 80 = 6$ г
$m(MgO) = 8 - 6 = 2$ г
$n(Mg(NO_3)_2) = n(MgO) = m/M = 2/40 = 0.05$ моль
$m(Mg(NO_3)_2) = n \times M = 0.05 \times 148 =$ **7.4 г**
m(смеси солей) = 18.75 + 7.4 = 26.15 г
$\omega(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 18.75 / 26.15 =$ **71.7%**
$\omega(Mg(NO_3)_2) =$ **28.3%**

Разбалловка

Формулы солей **А** и **Б**	2х1б.=2б.
Уравнения реакций 1−5	5х1б.=5б.
Массы солей **А** и **Б** Массовые доли солей **А** и **Б**	2х1б.=2б. 2х0.5б.=1б.
ИТОГО	10б.

Задача №9-4

1) Поскольку кислород содержится в составе сульфат-иона и воды, то можно составить следующее уравнение для нахождения количества кислорода, который входит в состав воды:

$$\omega(O) = \frac{y(O \text{ в воде}) \cdot A(O) + 12 \cdot A(O)}{y(H_2O) \cdot A(H_2O) + A(Fe_2(SO_4)_3}$$

$$0{,}5979 = \frac{y(O \text{ в воде}) \cdot 16 + 12 \cdot 16}{y(H_2O) \cdot 18 + 400}$$

$$10{,}7622 \cdot y + 239{,}16 = y \cdot 16 + 192$$

$$5{,}2378 \cdot y = 47{,}16$$

$$\boldsymbol{y = 9}$$

Таким образом необходимый кристаллогидрат имеет формулу $\mathbf{Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O}$ и называется нонагидрат сульфата железа (III).

2) Железо окисляется до степени окисления +3, связываясь в сульфат избытком серной кислоты. Азотная же кислота, судя по описанию, восстанавливается до оксида азота (IV). Окисление протекает согласно уравнению реакции:

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + 2HNO_3 = Fe_2(SO_4)_3 + 2NO_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

3) Раствор кипятят для испарения и разложения избытка азотной кислоты. Разложение протекает по реакции:

$$4HNO_3 = 4NO_2 + O_2 + 2H_2O \qquad (2)$$

$$M(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278\frac{г}{моль};\ M(Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O) = 562\frac{г}{моль}$$

4) В реакционную систему было введено:

$$\frac{85}{278} = 0{,}306 \text{ моль } FeSO_4 \cdot 7H_2O;$$

$$\frac{10 \cdot 1{,}84 \cdot 0{,}96}{98} = 0{,}180 \text{ моль } H_2SO_4;$$

$$\frac{100 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}63}{63} = 1{,}35 \text{ моль } HNO_3$$

Из стехиометрии видно, что лимитирующим реагентом является сульфат железа (II), поэтому при расчете выхода следует ориентироваться на него, и в теории можно было получить $\frac{0{,}306}{2} = 0{,}153$ моль нонагидрата сульфата железа (III). Реально образовалось $\frac{71{,}5}{562} = 0{,}127$ моль целевого продукта. Следовательно, практический выход процесса равен 0,127/0,153=0,83 или **83%**.

5) В ходе анализа протекают следующие реакции:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaI = 2FeI_2 + I_2 + 3Na_2SO_4 \quad (3)$$

(допустимо написание в продуктах $FeSO_4$)

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 = Na_2S_4O_6 + 2NaI \quad (4)$$

По условию, на титрование ушло тиосульфата:

$n(Na_2S_2O_3) = C \times V = 0.5 \times 0.012 = 0.006$ моль

Поскольку $n(Na_2S_2O_3) = 2n(I_2)$, а $n(I_2) = 0.5n(Fe^{3+})$, то $n(Na_2S_2O_3) = n(Fe^{3+})$.

Тогда, $C(Fe^{3+}) = n/V = 0.006/0.01 =$ **0,6 моль/л**

Разбалловка

Расчет количества воды в кристаллогидрате, полное название кристаллогидрата	2х1б.=2б.
Написание уравнения реакции (1)	1б.
Написание уравнения реакции (2), краткое пояснение необходимости кипячения	2х1б.=2б.
Расчет практического выхода соли	2б.
Уравнения реакций (3) и (4) Расчет концентрации Fe^{3+}	2х1б.=2б. 1б.
ИТОГО	10б.

Задача №9-5

1. 2,0 л идеального газа при нормальных условиях содержат $\frac{2{,}0}{22{,}4} = 0{,}0893$ моль молекул. Значит, при сгорании 1 моль метана выделится $\frac{71{,}6}{0{,}0893} = 802$ кДж теп-

лоты, а в случае такого же количества водорода – $\frac{25,6}{0,0893} = 242$ кДж. Термохимические уравнения выглядят следующим образом:

$$CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O(г) + 802\ кДж \quad (1)$$

$$H_2 + ½\ O_2 = H_2O(г) + 242\ кДж \quad (2)$$

2. При термолизе метан разлагается на простые вещества:

$$CH_4 = C + 2\ H_2$$

Взяли $\frac{110}{22,4} = 4,91$ моль метана. Пусть разложилось x моль углеводорода с образованием $2 \cdot x$ водорода, тогда осталось $(4,91–x)$ моль CH_4.

Углерод в виде сажи осядет на стенках сосуда, а в газовой фазе останутся лишь водород и метан. Поскольку сожгли половину образовавшейся смеси, тепловой баланс запишется в виде:

$$1772 = \frac{1}{2} \cdot \left(242 \cdot 2 \cdot x + 802 \cdot (4.91 - x)\right),$$

Откуда $x = n(CH_4)_{разл}$ = **1,24 моль**.

$M(H_2) = 2$ г/моль, $M(CH_4) = 16$ г/моль, тогда

$\omega(H_2) = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,24}{2 \cdot 2 \cdot 1,24 + 16 \cdot (4,91 - 1,24)} = 0,0779$ или **7,79%.**

Из уравнения $CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O(г) + 802$ кДж

согласно следствию закона Гесса $Q = 2Q_{обр}(H_2O) + Q_{обр}(CO_2) – Q_{обр}(CH_4)$

Из уравнения $H_2 + ½\ O_2 = H_2O(г) + 242$ кДж следует, что

$Q_{обр}(H_2O) = 242$ кДж/моль, поэтому получим уравнение

$802 = 2 \times 242 + 393 – Q_{обр}(CH_4)$, откуда

$Q_{обр}(CH_4)$ = **75 кДж/моль**

Уравнение каталитической конверсии метана:

$CH_4 + H_2O(г) = CO + 3H_2$

Из предыдущих пунктов решения нам известны теплоты образования метана и водяного пара, следовательно, теплота образования угарного газа $Q_{обр}(CO) = 110$ кДж/моль.

По следствию из закона Гесса тепловой эффект конверсии:

$Q = Q_{обр}(CO) – Q_{обр}(H_2O(г)) – Q_{обр}(CH_4) = 110 – 242 – 75 =$ **–207 кДж**

Разбалловка

Написание термохимических уравнений *1,2*	2х1б.=2б.
Количество моль разложившегося метана Массовая доля водорода в газовой смеси	2б. 1б.
Теплота образования метана	2б.
Уравнение реакции конверсии метана Тепловой эффект реакции конверсии	1б. 2б.
ИТОГО	10б.

Задания 10 класса

Представлен один из возможных вариантов решения заданий

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 → S → P**.

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

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

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

Таким образом,

A – $\mathbf{S_8}$
B – $\mathbf{Cl_2}$
C – $\mathbf{P_4}$

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

$$3S_8 + 48KOH = 16K_2S + 8K_2SO_3 + 24H_2O \quad (1)$$

Или $3S + 6KOH = 2K_2S + K_2SO_3 + 3H_2O$

$$3Cl_2 + 6KOH = 5KCl + KClO_3 + 3H_2O \text{ (при нагревании)} \quad (2)$$

$$P_4 + 3KOH + 3H_2O = PH_3\uparrow + 3KH_2PO_2 \quad (3)$$

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

3. В *реакции 3* образуется соль **фосфорноватистой кислоты** $\mathbf{H_3PO_2}$ (кислота **D**).

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

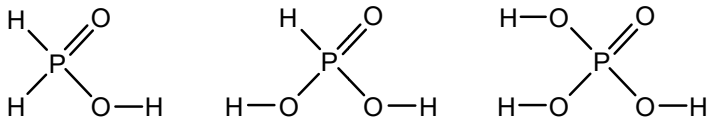
$$P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3 \quad (\text{или } 2P + 3Cl_2 = 2PCl_3) \quad (4)$$

$$P_4 + 10Cl_2 = 4PCl_5 \quad (\text{или } 2P + 5Cl_2 = 2PCl_5) \quad (5)$$

$$PCl_3 + 5KOH = K_2HPO_3 + 3KCl + 2H_2O \quad (6)$$

$$PCl_5 + 8KOH = K_3PO_4 + 5KCl + 4H_2O \qquad (7)$$

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 – P_4S_3**

Продуктом *реакции 2*, используемым в производстве спичек, является бертолетова соль (хлорат калия) $KClO_3$. При поджигании спички протекает реакция:

$$3P_4S_3 + 16KClO_3 = 6P_2O_5 + 9SO_2 + 16KCl \qquad (8)$$

Разбалловка

Элемент ответа	Баллы
Символы элементов **X, Y, Z** Правильный порядок увеличения радиусов	3х0,5б.=1,5б. 1б.
Формулы веществ **A, B, C** Уравнения реакций (1)–(3)	3х0,5б.=1,5б. 3х0,5б.=1,5б.
Структурные формулы кислот **D–F** Уравнения реакций (4)–(7)	3х0,5б.=1,5б. 4х0,5б.=2б.
Формула вещества **G** Уравнение реакции (8)	0,5б. 0,5б.
ИТОГО	10б.

Задача №10-2

1. Молярная масса газа В составляет $\frac{16{,}00x}{0{,}5712}$ = 28,00·x г/моль, где x – число атомов кислорода в молекуле. Учитывая токсичность вещества и его способность количественно реагировать с I_2O_5, делаем вывод, что В – CO.

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

Выделение газа с неприятным запахом указывает на то, что Г – сульфид. Тогда вероятно, что вещество А – 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 а = 2 подходящим элементом является барий.
Минерал А в таком случае является сульфат бария $BaSO_4$.
Таким образом, **X** – барий, **А** – барит (тяжелый шпат) $BaSO_4$.
2. Буквами зашифрованы следующие вещества:
Б – углерод С;
В – CO;
Г – BaS;
Д – H_2S;
Е – $Ba(CH_3COO)_2$.
3. Уравнения реакций:

$$BaSO_4 + 4\,C = BaS + 4\,CO \qquad (1)$$

$$5\,CO + I_2O_5 = 5\,CO_2 + I_2 \qquad (2)$$

$$BaS + 2\,CH_3COOH = Ba(CH_3COO)_2 + H_2S \qquad (3)$$

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(Ж) = 255·(1–0,2274)·x = 197·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:

$$Ba(CH_3COO)_2 = BaCO_3 + CH_3COCH_3$$

Разбалловка

1	Металл **X** Формула и тривиальное название минерала **А**	1б. 1б.+0,5б.=1,5б.
2	Формулы веществ **Б**–**Е**,	5х0,5б.=2,5б.
3	Уравнения реакций *1–3*	3х1б.=3б.
4	Формула вещества **Ж** (без расчетов – 0 б) Уравнение реакции	1б. 1б.
	ИТОГО	10б.

Задача №10-3

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

$$XF_n + (n/2)Mg = X + (n/2)MgF_2,$$

где n – валентность элемента X.
По уравнению реакции

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

При n = 1, M(XF) = 94 г/моль, A(X) = 75, мышьяк
При n = 2, $M(XF_2)$ = 47 г/моль, A(X) = 9, бериллий
При n = 3, $M(XF_3)$ = 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 $(BeO)_x(Al_2O_3)_y(SiO_2)_z$, 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 $(BeO)_3(Al_2O_3)_1(SiO_2)_6$ или $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ – 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:
X_1 – BeO, **X_2** – Be_3N_2, **X_3** – $BeCl_2$, **X_4** – $Na_2[Be(OH)_4]$, **X_5** – BeF_2
3. Уравнения реакций:
[1] $2Be + O_2 = 2BeO$
[2] $3Be + N_2 = Be_3N_2$
[3 или 4] $BeO + 2HCl = BeCl_2 + H_2O$
[3 или 4] $Be_3N_2 + 8HCl = 3BeCl_2 + 2NH_4Cl$
[5 или 6] $BeO + 2NaOH + H_2O = Na_2[Be(OH)_4]$
[5 или 6] $Be_3N_2 + 6NaOH + 6H_2O = 3Na_2[Be(OH)_4] + 2NH_3$
[7] $Be + F_2 = BeF_2$
[8] $BeF_2 + 2NaF = Na_2[BeF_4]$
[9] $BeF_2 + Mg = MgF_2 + Be$

Разбалловка

Определение элемента X с расчетом (без расчета: 0,5 б)	1,5б.
Формула минерала Y Название минерала Y Применение минерала Y	0,5б. 0,5б. 0,5б.
Формулы веществ X_1 – X_5	5х0,5б.=2,5б.
Уравнения реакций 1−9	9х0,5б.=4,5б.
ИТОГО	10б.

Задача №10-4

1. Представим жидкий углеводород **Г** как C_xH_y, для него

$$\omega(H) = y / (12x + y) = 0.0769,$$

откуда x = y, что соответствует простейшей формуле CH.

Учитывая, что **Г** вступает в реакцию бромирования в присутствии катализатора, можно сделать вывод, что **Г – бензол C_6H_6**.

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

$$R–COOH + KOH = R–COOK + H_2O$$

n(KOH) = V(р-ра)× ω(KOH) / M(KOH) = 11.2×0.05 / 56 = 0.01 моль

Тогда n(R–COOH) = n(KOH) = 0.01 моль

M(R–COOH) = 1.22 / 0.01 = 122 г/моль

M(R) = 122 – M(COOH) = 122 – 45 = 77 г/моль, что соответствует R = C_6H_5 и подтверждает ранее сделанные выводы о веществе **Г**.

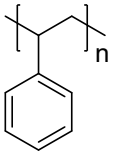
Таким образом, **Б – бензойная кислота C_6H_5COOH**, а **В – бензоат калия C_6H_5COOK**, при сплавлении которого с твердым KOH происходит декарбоксилирование с образованием бензола.

Бромирование бензола в присутствии катализатора приводит к образованию **Д – бромбензола C_6H_5Br**, взаимодействие которого с бромэтаном в присутствии натрия дает **Е – этилбензол $C_6H_5–C_2H_5$**.

Бромирование этилбензола при облучении идет по боковой цепи с образованием вещества **Ж – 1-бром-1-фенилэтана $C_6H_5–CHBrCH_3$**, дегидрогалогенирование которого спиртовым раствором щелочи приводит к образованию двойной связи и образованию вещества **А – стирола $C_6H_5–CH=CH_2$**.

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**

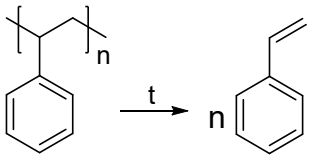
Д – бромбензол **C_6H_5Br**

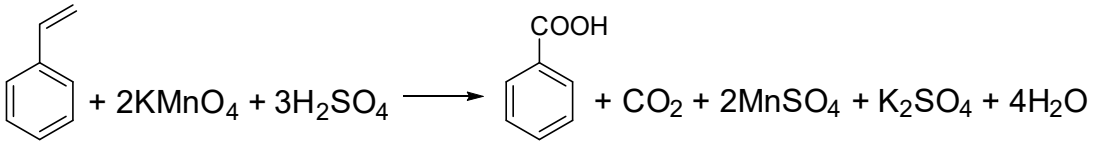
Е – этилбензол **$C_6H_5–C_2H_5$**

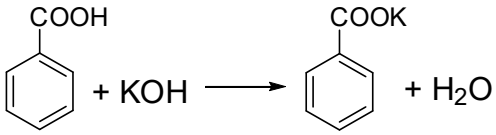
Ж – 1-бром-1-фенилэтан **$C_6H_5–CHBrCH_3$**

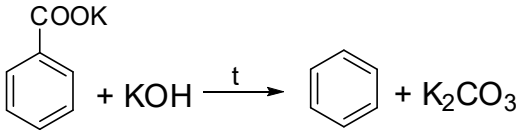
(названия приводить необязательно)

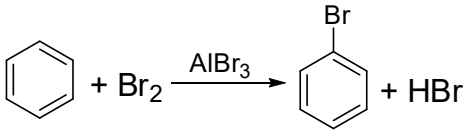
2. Уравнения реакций:

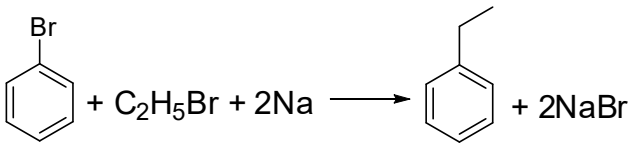


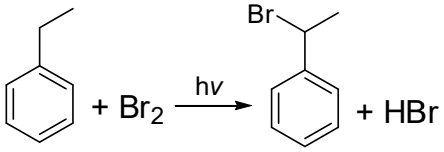


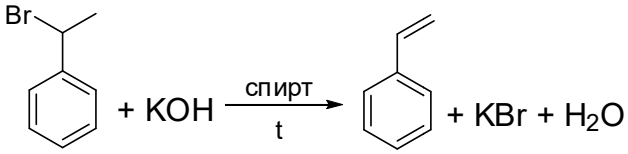












(поскольку в реакциях не затрагивается бензольное кольцо, допускается вместо рисования кольца писать C_6H_5)

3. По условию требуется получить

$n(C_6H_5COOH) = 61 / 122 = 0.5$ моль

Исходя из приведенного выше уравнения реакции,

$n(\text{стирола}) = n(C_6H_5COOH) = 0.5$ моль

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

Для этого потребуется корпусов ручек

N(ручек) = 52 / 5.2 = **10 штук**

Разбалловка

Структурные формулы веществ **X** и **А – 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: $C_xH_y \rightarrow xCO_2 + y/2H_2O$

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

$V_m = 22.4\times341.25/273 = 28$ л/моль

$n(CO_2) = V / V_m = 8.4 / 28 = 0.3$ моль, $n(C) = n(CO_2) = 0.3$ моль

$n(H_2O) = m / M = 7.2 / 18 = 0.4$ моль, $n(H) = 2n(H_2O) = 0.8$ моль

$x : y = n(C) : n(H) = 0.3 : 0.8 = 3 : 8$

Получаем, что углеводород **X** – $\mathbf{C_3H_8}$

Тогда, вещество **Y** - пропен $\mathbf{C_3H_6}$

Структурные формулы веществ **X** и **Y**:

X — $H_3C-CH_2-CH_3$ **Y** — $H_3C-CH=CH_2$

Уравнение реакции дегидрирования:

$C_3H_8 \leftrightarrow C_3H_6 + H_2$

2. Исходное количество пропана n = 4.4/44 = 0.1 моль

При 200°C (473K): $n(C_3H_8)$ = **0.08 моль**, $n(C_3H_6) = n(H_2)$ = **0.02 моль**

$p(C_3H_8) = nRT/V = 0.08*8.31*473/1 = 314.5$ кПа = **3.145 бар**

$p(C_3H_6) = p(H_2) = 0.02*8.31*473 = 78.6$ кПа = **0.786 бар**

При 300°C (573K): $n(C_3H_8) = 0.01$ моль, $n(C_3H_6) = n(H_2)$ = **0.09 моль**

$p(C_3H_8) = nRT/V = 0.01*8.31*573 = 47.62$ кПа = **0.476 бар**

$p(C_3H_6) = p(H_2) = 0.09*8.31*573 = 428.55$ кПа = **4.286 бар**

3. $K_{p(473)} = 0.786*0.786 / 3.145$ = **0.196**

$K_{p(573)} = 4.286*4.286/ 0.476$ = **38.59**

4. Изменение энтальпии реакции можно найти по формуле:

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

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

5. Из соотношения $\Delta_rG = \Delta_rH - T\Delta_rS$ получим:

$\Delta_rS = (\Delta_rH - \Delta_rG) / T$

При T = 473К $\Delta_rG = -RT\ln K_p = -8.31*473\ln(0.196) = 6405.5$ Дж/моль

$\Delta_rS = (119035 - 6405.5) / 473$ = **238.1 Дж/(моль·К)**

Разбалловка

Брутто-формула **X** Структурные формулы веществ **X** и **Y** Уравнение реакции дегидрирования **X**	0,5б. 2х0,5б.=1б. 0,5б.
Состав равновесной смеси (моль) при 200°С Состав равновесной смеси (моль) при 300°С Парциальные давления всех компонентов (бар) при 200°С Парциальные давления всех компонентов (бар) при 300°С	1б. 1б. 1б. 1б.
Константы равновесия K_p реакции дегидрирования	2х1б.=2б.
Тепловой эффект реакции дегидрирования ($\Delta_r H$)	1б.
Изменение энтропии реакции дегидрирования	1б.
ИТОГО	10 б.

Задания 11 класса

Представлен один из возможных вариантов решения заданий

Задача №11-1

1. Кратчайшее расстояние соответствует половине телесной диагонали куба, следовательно, объем элементарной ячейки равен $(2r/\sqrt{3})^3 \approx 31.18$ Å^3.

$\rho = \frac{1.66 \cdot M \cdot z}{V}$, где ρ – плотность кристаллического вещества, г/см^3; M – молярная масса вещества, г/моль; Z – число формульных единиц, содержащихся в одной элементарной ячейке; V – объем элементарной ячейки, Å^3.

Для ОЦК Z = 2, следовательно, M ≈ 95.9. M = Mo.

Описание структуры оксида говорит о том, каждый атом Mo связан с 6 атомами кислорода, причем каждый кислород “принадлежит” атому Mo на 1/2. A = MoO_3.

Присутствие только тетраэдрических ионов в структуре B – указание на то, что B = $(NH_4)_2MoO_4$.

Изменение степени окисления Mo в условиях описанной реакции не происходит.

Из рисунка видно, что состав аниона можно выразить формулой $[Mo_8O_{24}(O_2)_2(H_2O)_2]^{4-}$.

Очевидно, что противоионами могут быть только катионы аммония. По данным о структуре можно определит M(C) = 1396 г/моль, что соответствует формуле $(NH_4)_4[Mo_8O_{24}(O_2)_2(H_2O)_2]\cdot 4H_2O$

2.

$$2Mo + 3O_2 = 2MoO_3 \quad (1)$$

$$MoO_3 + 2NH_3\cdot H_2O = (NH_4)_2MoO_4 \quad (2)$$

$$8(NH_4)_2MoO_4 + 2H_2O_2 + 12HNO_3 = (NH_4)_4[Mo_8O_{24}(O_2)_2(H_2O)_2]\cdot 4H_2O + 12NH_4NO_3 + 2H_2O \quad (3)$$

Разбалловка

Установление металла **M**, вещества **C** Установление формул веществ **A** и **B**, лиганда	2х2б.=4б. 3х1б.=3б.
Написание уравнений реакций (1), (2) Написание уравнений реакций (3) *(без уравнивания – 1 балл, схема без участия азотной кислоты – 0 баллов)*	 2х0,5б.=1б. 2б.
ИТОГО	10 б.

Задача №11-2

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

$$XF_n + (n/2)Mg = X + (n/2)MgF_2,$$

где n – валентность элемента X.

По уравнению реакции

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

При n = 1, M(XF) = 94 г/моль, A(X) = 75, мышьяк

При n = 2, $M(XF_2)$ = 47 г/моль, A(X) = 9, бериллий

При n = 3, $M(XF_3)$ = 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 $(BeO)_x(Al_2O_3)_y(SiO_2)_z$, 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 $(BeO)_3(Al_2O_3)_1(SiO_2)_6$ или $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ – 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:

X_1 – BeO, **X_2** – Be_3N_2, **X_3** – $BeCl_2$, **X_4** – $Na_2[Be(OH)_4]$, **X_5** – BeF_2

3. Уравнения реакций:

[1] $2Be + O_2 = 2BeO$

[2] $3Be + N_2 = Be_3N_2$

[3 или 4] $BeO + 2HCl = BeCl_2 + H_2O$

[3 или 4] $Be_3N_2 + 8HCl = 3BeCl_2 + 2NH_4Cl$

[5 или 6] $BeO + 2NaOH + H_2O = Na_2[Be(OH)_4]$

[5 или 6] $Be_3N_2 + 6NaOH + 6H_2O = 3Na_2[Be(OH)_4] + 2NH_3$

[7] $Be + F_2 = BeF_2$

[8] $BeF_2 + 2NaF = Na_2[BeF_4]$

[9] $BeF_2 + Mg = MgF_2 + Be$

Разбалловка

Определение элемента X с расчетом (без расчета: 0,5 б)	1,5б.
Формула минерала Y Название минерала Y Применение минерала Y	0,5б. 0,5б. 0,5б.

Формулы веществ X_1 – X_5	5х0,5б.=2,5б.
Уравнения реакций 1−9	9х0,5б.=4,5б.
ИТОГО	10б.

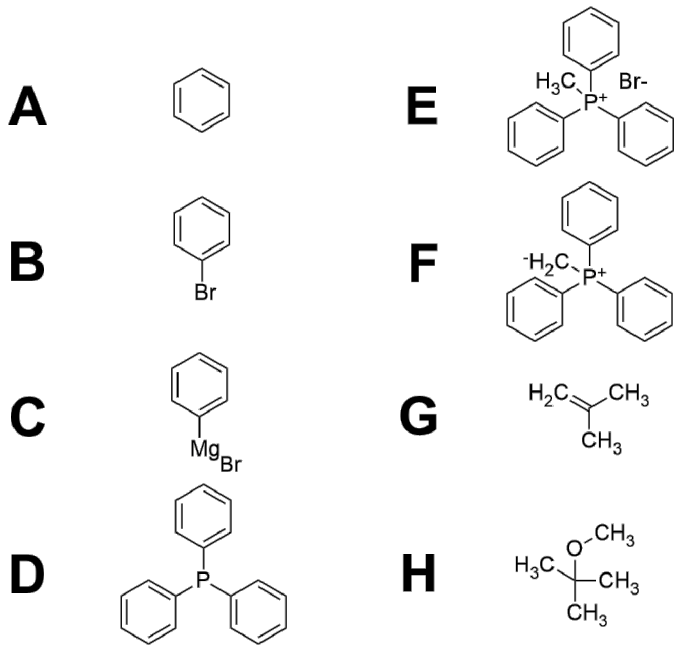
Задача №11-3

1. Определим вещество **A** по массовым долям. На углерод приходится 92,26%, оставшимся элементом, вероятно, является водород из-за малой массовой доли.

	Углерод	Водород
Массовая доля, %	92,26	7,74
Мольная доля	7,68	7,74
Соотношение	1	1

Поскольку соотношение элементов равно 1:1, то можно подумать на ацетилен или иные ненасыщенные углеводороды. Однако в случае ненасыщенных связей не требуется наличие каких-либо катализаторов, а в условии протекании реакции указано присутствие бромида железа (3). Значит, исходное вещество является ароматическим и это бензол состава C_6H_6.

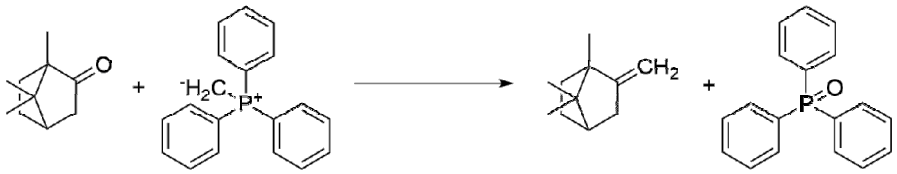
В таком случае вещества **A–H** имеют следующие формулы:



Для структуры **C** возможно представление в виде катиона и аниона. Для структуры **F** возможно представление в виде незаряженной частицы с пятивалентным атомом фосфора.

2. Вместо гидрида натрия можно использовать какое-либо иное сильное основание, например, алкиллитиевые производные (RLi), реактивы Гриньяра (RMgX), амиды (R_2NNa), алкоголяты (RONa).

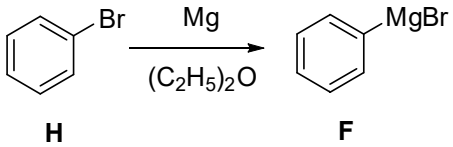
3. Уравнение реакции камфоры с реагентом Виттига:



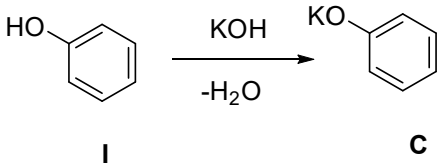
Разбалловка

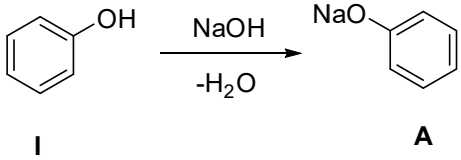
Изображение структур веществ **A**–**H**	8х1б.=8б.
Два примера оснований для превращения вещества **E** в **F**	2х0,5б.=1б.
Уравнение реакции превращения камфоры под действием реагента **F**	1б.
ИТОГО	10б.

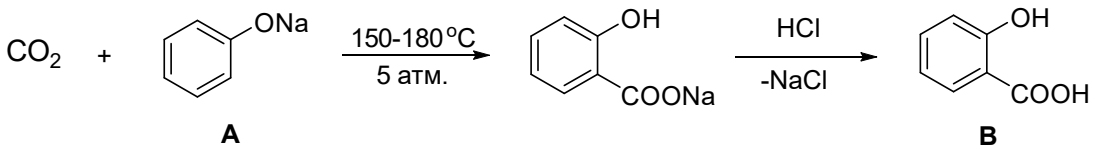
Задача №11-4

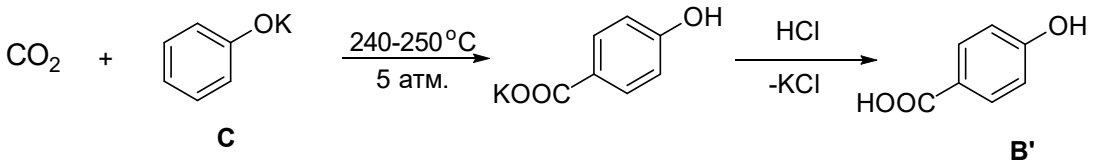
1. 

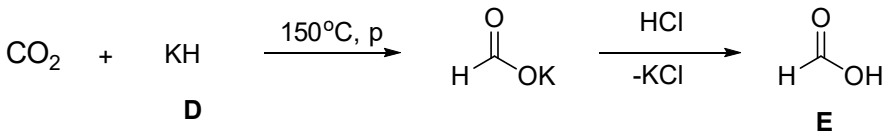
, также стоит зачесть иные галогенбензолы

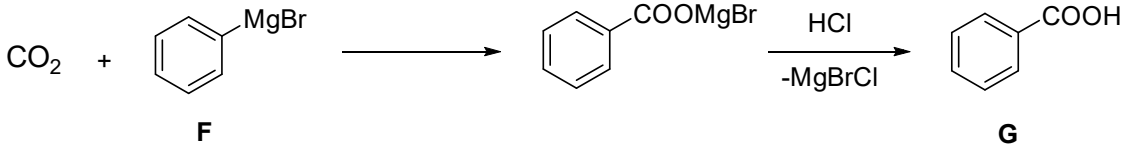
2. 

3. 

4. 

5. 

6. 

7. 

Разбалловка

Уравнение реакции (1)	1б.
Уравнения реакций (2), (3)	2х0,5б.=1б.
Уравнения реакций (4)–(7) *(Полный балл ставят и за двухстадийную схему синтеза с указанием побочных соединений, например:*	4х2б.=8б.
ИТОГО	10б.

Задача №11-5

1) **X** – $COCl_2$ – фосген или хлорокись углерода
Y – $Fe(CO)_5$ – пентакарбонил железа

Фосген ранее (в Первую мировую войну) применялся как боевое отравляющее вещество.

2) $5CO + Fe = Fe(CO)_5$
$CO + Cl_2 = COCl_2$

3)
$V= \Delta c/\Delta t$ => $\Delta c= V\cdot\Delta t= 2.5\cdot10^{-3}\cdot5= 12.5\cdot10^{-3}$ моль/л= 12.5 моль/м^3
Изначально $[COCl_2]=0$ => $\Delta c=[COCl_2]$ после 5 мин
По уравнению Менделеева-Клайперона $pV=nRT$ => $p= RTn/V$
$p(COCl_2)= \Delta cRT= 12.5\cdot8.314\cdot403= 4.2\cdot10^4$ Па
Пусть p_o – исходное давление, то $p(Cl_2)= 0.5p_o$

CO		+	Cl_2	=	$COCl_2$	
½ p_o			½ p_o		0	было
½ p_o	-		½ p_o	-	$p(COCl_2)$	стало
$p(COCl_2)$			$p(COCl_2)$			

Общее давление в сосуде после реакции
$2p_{атм} = p_o - p(COCl_2)$
$2\cdot10^5 = p_o – 4.2\cdot10^4$ => $p_o = 2.4\cdot10^5$ Па
$p(Cl_2) = 1/2\ p_o =$ **$1.2\cdot10^5$ Па**
$C(Cl_2) = p/RT =$ **0.0358 моль/л**

4) $COCl_2 + H_2O = CO_2 + 2HCl$
$COCl_2 + 4NaOH = Na_2CO_3 + 2NaCl + 2H_2O$
$COCl_2 + 4NH_3 + 2H_2O = 2NH_4Cl + (NH_4)_2CO_3$

Разбалловка

Формулы **X** и **Y** Применение фосгена	1+1=2б. 0,5б.
Уравнения реакций	1+1=2б.
Давление хлора Концентрация хлора	1,5б. 1б.
Уравнения реакций	1х3б.=3б.
ИТОГО	10б.