ОГБУ «РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ»

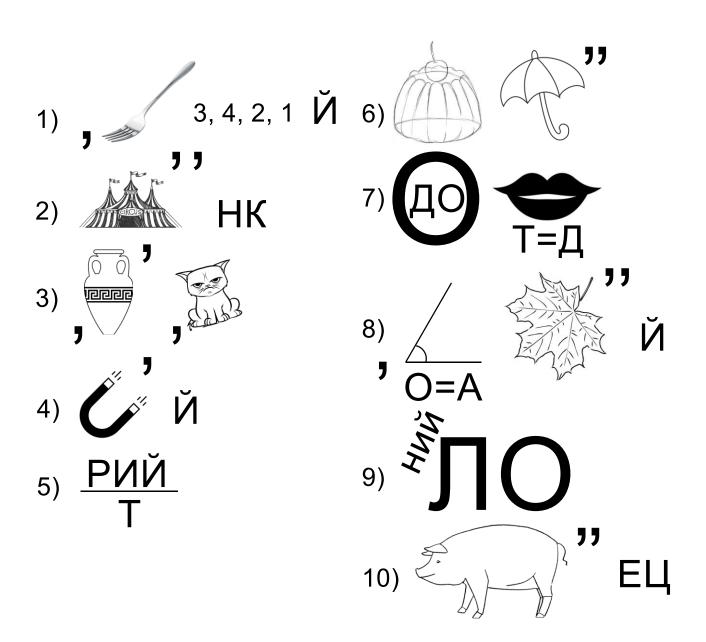
Задания и решения муниципального этапа ВсОШ по химии 2022-2023

Методические рекомендации для жюри

Составители:

Прасолов Павел Владимирович – директор АНО ДО УЦ «ТРИО» Чумерин Денис Сергеевич – преподаватель химии АНО ДО УЦ «ТРИО»

Задача 8-1 Расшифруйте химические элементы, представленные в ребусах.



Решение.

1) калий; 2) цинк; 3) азот; 4) магний; 5) натрий; 6) железо; 7) водород; 8) галлий; 9) полоний; 10) свинец.

Система оценивания:

1) Верно отгадан ребус (по 1 баллу).

10 б

Итого 10 баллов за задачу

Задача 8-2

Приготовили концентрированный раствор серной кислоты объёмом 100 мл, плотностью 1,435 г/мл и массовой долей кислоты 54%.

1) Вычислите молярную концентрацию и титр этого раствора. В конце задачи приведены справочные формулы.

Из приготовленного раствора отобрали 10 мл и внесли их в 190 мл воды.

2) Какой теперь станет массовая доля кислоты в растворе и молярная концентрация? Вычислите моляльную концентрацию такого раствора. Примите, что объём раствора равен сумме объёмов смешиваемых жидкостей.

Примечание.

1) Массовая доля (ω) — отношение массы растворенного	$\omega = \frac{m}{m_{\rm p-p}} \cdot 100 \%$
вещества (m) к общей массе раствора (m_{p-pa}) .	$m_{ m p-p}$
2) Молярная концентрация (\mathcal{C}_{M}) — отношение количества	
растворенного вещества (n) к объему раствора (V) , выраженному в	$C_{\mathrm{M}}=rac{n}{V}$
литрах.	
3) Моляльная концентрация (C_m) — отношение	
количество растворенного вещества (n) к 1 кг растворителя	$C_m = \frac{n}{m_{\mathrm{p-}_{\mathrm{J}\mathrm{b}}}}$
$(m_{\mathrm{p-ля}}).$	
4) Титр (T) — масса растворенного вещества (m) в 1 мл	$T = \frac{m}{V}$
раствора.	V
5) Плотность (ρ) – отношение массы вещества к его	$\rho = \frac{m}{V}$
объёму.	V

Решение.

1) Вычислим массу раствора, массу серной кислоты и её количество вещества.

$$m_{\mathrm{p-pa}}=
ho V=1,\!435\cdot 100=143,\!5\ \Gamma$$
 $m(H_2SO_4)=m_{\mathrm{p-pa}}\cdot \omega=143,\!5\cdot 0,\!54=77,\!49\ \Gamma$ $n(H_2SO_4)=rac{m(H_2SO_4)}{M(H_2SO_4)}=rac{77,\!49}{98}=0,\!7907\$ моль

Теперь мы имеем все необходимые данные для расчета различных видов концентраций по указанным формулам. Необходимо также перевести объём в литры.

$$C_{\mathrm{M}} = \frac{n(H_2 S O_4)}{V} = \frac{0,7907}{0,1} = 7,907$$
 моль/л
$$T = \frac{m}{V} = \frac{77,49}{100} = 0,7749 \; \Gamma/\mathrm{MЛ}$$

2) Вычислим массу 10 мл раствора из пункта 1, а также массу и количество серной кислоты.

$$m_{\mathrm{p-pa}}=
ho V=1,\!435\cdot 10=14,\!35\ \Gamma$$
 $m(H_2SO_4)=m_{\mathrm{p-pa}}\cdot \omega=14,\!35\cdot 0,\!54=7,\!749\ \Gamma$ $n(H_2SO_4)=rac{m(H_2SO_4)}{M(H_2SO_4)}=rac{7,\!749}{98}=0,\!07907\$ моль

После внесения 10 мл такого раствора в 190 мл (190 г) воды получаем раствор массой 204,35 г. Вычислим массу воды в таком растворе — она пригодится для расчёта моляльной концентрации.

$$m(H_2O) = m_{\text{p-pa}} - m(H_2SO_4) = 204,35 - 7,749 = 196,601 \text{ r}$$

По условию сказано, что объём конечного раствора равен сумме объёмов смешиваемых жидкостей, тогда объём конечного раствора равен 200 мл.

Теперь можно вычислить каждую из требуемых концентраций. Нужно учесть, что при расчёте моляльной концентрации масса растворителя берётся в килограммах.

$$\omega = \frac{m}{m_{\mathrm{p-pa}}} = \frac{7,749}{204,35} = 0,0379 = 3,79\%$$
 $C_{\mathrm{M}} = \frac{n(H_2SO_4)}{V} = \frac{0,07907}{0,2} = 0,39535 \,\mathrm{моль/л}$ $C_m = \frac{n}{m_{\mathrm{p-ль}}} = \frac{0,07907}{0,196601} = 0,402 \,\mathrm{моль/кг}$

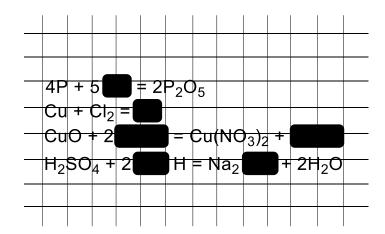
Система оценивания:

1	Вычисление массы серной кислоты – 2 балла	6 баллов
	Количество вещества серной кислоты – 1 балл	
	Расчёт нужных концентраций – по 1,5 балла за каждую (3 балла всего)	
2	Вычисление массы воды в конечном растворе – 1,5 балла	6 баллов
	Расчёт новых концентраций – по 1,5 балла за каждую (4,5 балла всего)	
	ИТОГО	12 баллов

Задача 8-3

Юля — ученица 8(а) класса, написав уравнения реакций, которые задала Мария Григорьевна — учитель химии, решила пойти погулять с подругами. Юля и не могла подумать, что ее младшая сестра Оля захочет использовать листочек с домашней работой в качестве «холста для своей картины».

1) Помогите Юле восстановить вещества, которые Оля закрасила маркерами.



2) Мария Григорьевна на дополнительную отметку задала вычислить массу оксида фосфора(V), который образуется из фосфора массой 4,65 г. Юля, переделав работу после «художеств» Оли, решила сделать эту задачу. Применив равнение реакции (1), Юля получила массу 21,3 г. Правильно ли Юля решила задачу? Ответ подтвердите расчетами.

Решение.

- 1) В первой реакции пропущен кислород (O_2) . Как мы это поняли? Справа с учетом коэффициента перед оксидом фосфора(V), десять кислородов. Разделив на коэффициент пять, получим кислород (O_2) . Во второй реакции пропущено вещество хлорид меди(II). В третьей реакции пропущены азотная кислота и вода. В четвертой реакции пропущены NaO и сульфат-ион (SO_4) .
 - 2) Напишем уравнение реакции:

$$4P + 5O_2 = 2P_2O_5 \tag{1}$$

Найдем n(P).

$$n(P) = \frac{m(P)}{M(P)} = \frac{4,65 \text{ }\Gamma}{31 \frac{\Gamma}{\text{МОЛЬ}}} = 0,15 \text{ моль}$$

По уравнению реакции (1):

$$n(P_2O_5) = \frac{1}{2} \cdot n(P) = \frac{1}{2} \cdot 0.15$$
 моль = 0.075 моль

Найдем $m(P_2O_5)$.

$$m(P_2O_5) = n(P_2O_5) \cdot M(P_2O_5) = 0,075$$
 моль · $142 \frac{\Gamma}{MOЛЬ} = 10,65$ г

Юля не учла коэффициенты в уравнении реакции (1).

Система оценивания:

1	Верно определены пропуски в реакциях (по 1 баллу)	6 баллов
2	Верно найдено количество вещества фосфора (1 балл).	4 балла
	Верно найдено количество вещества оксида фосфора(V) (1 балл).	
	Верно найдена масса оксида фосфора(V) (1 балл).	

Найдена ошибка в расчетах у Юли (1 балл).	
ИТОГО	10 баллов

Задача 8-4

В 7 химических реакциях зашифрованы химические элементы из списка: Na, N, Cl, Ga, Ba, S, C. Пропущенные химические элементы обозначены буквами русского алфавита. Каждой реакции соответствует один элемент из списка.

1)
$$A + F_2 \rightarrow AF$$

2)
$$B + H_2BO_4 \rightarrow BO_2 + H_2O$$

3)
$$\Gamma_2 O_5 + H_2 O \rightarrow H \Gamma O_3$$

4)
$$HДO_4 + P_2O_5 \rightarrow HPO_3 + Д_2O_7$$

5)
$$EOF_2 + H_2O \rightarrow EO_2 + HF$$

6)
$$\mathbb{K}(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow \mathbb{K}(OH)_2 + NH_3$$

7)
$$3_2S_3 + NaOH \rightarrow Na[3(OH)_4] + Na_2S$$

Определите элементы A, Б, Γ , Д, E, Ж, 3 в каждой реакции. Расставьте коэффициенты в каждой из них.

Решение.

Определить неизвестные элементы можно по их степеням окисления.

	A	Б	Γ	Д	Е	Ж	3
C.O.	+1	+4,+6	+5	+7	+4	+2	+3
Элемент	Na	S	N	Cl	С	Ва	Ga

- 1) $2Na + F_2 \rightarrow 2NaF$
- 2) $S + 2H_2SO_4 \rightarrow 3SO_2 + 2H_2O$
- 3) $N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$
- 4) $2HClO_4 + P_2O_5 \rightarrow 2HPO_3 + Cl_2O_7$
- 5) $COF_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2HF$
- 6) $Ba(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow Ba(OH)_2 + 2NH_3$
- 7) $Ga_2S_3 + 8NaOH \rightarrow 2Na[Ga(OH)_4] + 3Na_2S$

Система оценивания:

1	Идея вычислить степени окисления (или формальную валентность)	5,5 балла
пропущенных элементов в соединениях – 2 балла. Баллы ставятся, если		
	в работе определена верно степень окисления хотя бы 1 элемента.	
Определение 7 пропущенных элементов – по 0,5 балла за каждый.		
2	Расстановка коэффициентов.	5,5 баллов

	•	11 баллов
	Реакции 2, 4, 6, 7 – по 1 баллу за каждую.	
	Реакции 1, 3, 5 – по 0,5 балла за каждую.	

Задача 8-5

Азот с водородом образуют несколько бинарных соединений. В одном из них (обозначим его буквой А) массовая доля водорода составляет 12,5%, а его молярная масса лежит в диапазоне от 18 до 34 г/моль.

- 1) Определите формулу вещества А.
- 2) Напишите электронные формулы (конфигурации) азота и водорода. Определите количество неспаренных электронов у каждого из них. Определите, сколько химических связей образуют атомы этих элементов в молекулах (определите их основную валентность)?
- 3) Составьте структурную формулу вещества А. Ваша формула должна показывать, какие атомы с какими соединены, а так же показывать кратность химических связей (одинарная, двойная, тройная).

Азот с водородом образует ещё два других соединения, обозначим их Б и Г. В соединении Б на каждый атом азота приходится на 1 атом водорода меньше, чем в А. В соединении Г на каждый атом азота приходится на 1 атом водорода больше, чем в А.

4) Определите формулы соединений Б и Г.

Подсказка: в соединениях A, B и Γ каждый атом азота образует одно и тоже количество химических связей (то есть имеют одну и ту же валентность).

Решение.

1) Определим возможные значения молекулярной массы А, исходя из возможных значений количества водорода.

$$\omega(H) = \frac{N(H) \cdot Ar(H)}{Mr(H)} \Longleftrightarrow Mr(H) = \frac{N(H) \cdot Ar(H)}{\omega(H)}$$

Отметим, что в такой записи используется значение $\omega(H)$ в долях единицы, то есть 0.125, а не 12,5%.

Значения $N(H)$	Mr(H)	Формула
1	8	_
2	16	NH_2
3	24	_
4	32	N_2H_4

Условию задачи подходит только вариант N_2H_4 .

2) $N - 1s^2 2s^2 2p^3 - 3\bar{e}$ неспаренных; $H - 1s^1 - 1\bar{e}$ неспаренный.

Исходя из количества неспаренных электронов, можно определить, что азот в соединениях образует 3 химические связи (иногда 4 за счёт неподелённой электронной пары), а водород 1 связь.

4) В гидразине на каждый атом азота приходится 2 атома водорода, следовательно, в Б на каждый атом азота будет приходится 1 атом водорода, а в Γ на каждый атом азота будет приходиться 3 атома водорода. Учитывая, что по условию задачи азот будет образовывать по 3 химические связи в каждом из этих соединений (см. подсказку), легко определить, что Γ – аммиак. Простейшая формула Б должна выглядеть NH, но в таком случае азот не сможет образовать 3 химические связи, поэтому формула должна быть N_2H_2 (H-N=N-H).

Система оценивания:

1	Определение молекулярной масса А – 1 балл.	2 балла
	Определение молекулярной формулы А – 1 балл.	
2	Электронные формулы каждого элемента – по 1 баллу.	5 баллов
	Количество неспаренных электронов – по 1 баллу.	
	Валентности каждого элемента – по 0.5 балла.	
3	Структурная формула – 2 балла.	2 балла
4	Формулы аммиака и диимида – по 1,5 балла.	3 балла
	ИТОГО	12 баллов

Задача 8-6

Некоторую массу оксида калия растворили в 183 г воды. При этом массовая доля щелочи в растворе составила 10,08%. В полученный раствор внесли вещество **A**, в котором 43,66% фосфора и 56,34% кислорода по массе. В результате образовалась средняя соль **B** (с массовой долей фосфора 14,623%) и вода.

- 1) Вычислите количество вещества и массу навески оксида калия, растворенную в воде (ответ подтвердите расчетами) и напишите уравнение реакции;
- 2) Определите вещества **A** и **B** и напишите уравнение реакции получения вещества **B**:
- 3) Массовую долю вещества **В** в итоговом растворе (ответ подтвердите расчетами).

Решение.

1) Напишем уравнение реакции:

$$K_2 O + H_2 O = 2KOH (1)$$

Найдем $m(K_20)$ и $n(K_20)$.

Пусть $n(K_2O) = x$ моль. Тогда, $n(KOH) = 2n(K_2O) = 2x$ моль.

$$\omega(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{K}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{O})} \cdot 100 \% = 8,96 \%$$

$$\frac{56 \cdot 2x}{185 + 94x} \cdot 100 \% = 8,96 \% \Longrightarrow x \approx 0,18 \text{ моль}$$

$$m({\rm K}_2{\rm O}) = n({\rm K}_2{\rm O}) \cdot M({\rm K}_2{\rm O}) = 0.18$$
 моль · 94 $\frac{\Gamma}{{
m MOЛЬ}} = 16.92$ г

По уравнению реакции (1):

$$n(\text{KOH}) = 2n(\text{KOH}) = 2 \cdot 0.18$$
 моль = 0.36 моль

2) Исходя из условия задачи, вещество **A** состоит из двух элементов – фосфора и кислорода.

$$P_x O_y \quad x : y = \frac{\omega(P)}{A_r(P)} : \frac{\omega(0)}{A_r(0)} = \frac{43,66 \%}{31} : \frac{56,34 \%}{16} = 1,408 : 3,521 = 2 : 5$$

Следовательно, вещество **A** – оксид фосфора(V).

Напишем уравнение реакции:

$$P_2O_5 + 6KOH = 2K_3PO_4 + 3H_2O (2)$$

Пусть соль В содержит один атом фосфора.

Тогла.

$$M_r$$
(соли) = $\frac{A_r(P) \cdot 1}{\omega(P)} \cdot 100 \% = \frac{31 \cdot 1}{14,623 \%} \cdot 100 \% \approx 212$

Данный вариант подходит, так как на калий и кислород приходится 212 - 31 = 181 (если в состав входит три атома калия, то останется 64 - четыре атома кислорода).

Следовательно, вещество В – ортофосфат калия.

3) Найдем $m(P_2O_5)$.

По уравнению реакции (2):

$$n(P_2O_5) = \frac{1}{6} \cdot n(KOH) = \frac{1}{6} \cdot 0,36$$
 моль = 0,06 моль

$$m(P_2O_5) = n(P_2O_5) \cdot M(P_2O_5) = 0.06$$
 моль · 142 $\frac{\Gamma}{\text{моль}} = 8.52$ г

Найдем $m(K_3PO_4)$.

По уравнению реакции (2):

$$n(K_3PO_4) = 2n(P_2O_5) = 2 \cdot 0,06$$
 моль = 0,12 моль

$$\begin{split} m(\mathrm{K_3PO_4}) &= n(\mathrm{K_3PO_4}) \cdot M(\mathrm{K_3PO_4}) = 0.12 \ \text{моль} \cdot 212 \frac{\Gamma}{\text{моль}} = 25.44 \ \Gamma \\ &\quad \text{Найдем } \omega(\mathrm{K_3PO_4}). \\ \omega(\mathrm{K_3PO_4}) &= \frac{m(\mathrm{K_3PO_4})}{m(\mathrm{P_2O_5}) + m_{\mathrm{p-p}}(\mathrm{KOH})} \cdot 100 \ \% = \frac{25.44 \ \Gamma}{8.52 \ \Gamma + 199.92 \ \Gamma} \cdot 100 \ \% = 12.2 \ \% \end{split}$$

Система оценивания.

- Верно найдено количество вещества оксида калия (2 балла).
 Верно найдена масса оксида калия (1 балл).
 Верно написано уравнение реакции (1 балл).
- 2) Верно найдена брутто-формула вещества A (2 балла).
 Берно найдена брутто-формула вещества B (2 балла).
 Верно написано уравнение реакции (1 балл).
- 3) Верно найдена массовая доля вещества В.

Итого 10 баллов за задачу

1б

Задача 9-1

Перед лаборантом химического анализа поставили практическую задачу. Дали колбу с 75%-ным раствором фосфорной кислоты (масса раствора 156,8 г), и сказали разбавить его до массовой доли фосфорной кислоты 21%.

- 1) Что должен сделать лаборант прилить кислоту в воду или воду в кислоту?
- 2) Сколько воды (в граммах) потребуется для разбавления данного раствора до 21%?
 - 3) Вычислите массу полученного раствора. Плотность 21%-ного раствора фосфорной кислоты равна 1,12 г/мл.
- 4) Вычислите молярную концентрацию, моляльность, титр и мольную долю фосфорной кислоты в полученном 21%-ном растворе.
- 5) Вычислите молярную концентрацию катионов водорода в таком растворе, если степень диссоциации фосфорной кислоты по 1 ступени равна 5,3%.

Примечание.

1) Массовая доля (ω) — отношение массы растворенного вещества (m) к общей массе раствора $(m_{\rm p-pa})$.	$\omega = \frac{m}{m_{\rm p-p}} \cdot 100 \%$
2) Молярная концентрация ($C_{\rm M}$) — отношение количества	n n
растворенного вещества (n) к объему раствора (V) , выраженному в литрах.	$C_{\mathrm{M}} = \frac{n}{V}$
3) Моляльная концентрация (C_m) — отношение	n
количество растворенного вещества (n) к 1 кг растворителя	$C_m = \frac{\kappa}{m_{\mathrm{p-}_{\mathrm{JL}}}}$
$(m_{p-лs}).$	
4) Титр (T) — масса растворенного вещества (m) в 1 мл	$T = \frac{m}{V}$
раствора.	,
5) Мольная доля (x) — отношение количества вещества	$x_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2}$
компонента к сумме молей всех компонентов смеси (или раствора).	$n_1 + n_2$

Решение.

- 1) По правилам ТБ льют кислоту в воду. Существует хорошее выражение для запоминания этого правила «Химик, запомни как оду льют кислоту в воду».
- 2) Вычислим массу фосфорной кислоты в выданном растворе. Для этого нужно умножить массу раствора на массовую долю (в долях единицы).

$$m(H_3PO_4) = m_{\rm p-pa} \cdot \omega(H_3PO_4) = 117,6$$
 г

Такая же масса кислоты будет и в 21%-ном растворе. Обозначим за x массу добавленной воды и составим уравнение.

$$0.21 = \frac{117.6}{\underbrace{156.8 + x}_{\text{масса конечного раствора}} \Leftrightarrow x = 403.2 \, \Gamma$$

- 3) Масса полученного раствора составит 560 г.
- 4) Для расчета нужных концентраций вычислим объём раствора, количество вещества кислоты и массу и моли воды.

$$V_{\mathrm{p-pa}} = \frac{m_{\mathrm{p-pa}}}{\rho} = \frac{560}{1,12} = 500 \ \mathrm{M}\mathrm{J} = 0,5 \ \mathrm{J}$$
 $n(H_3PO_4) = \frac{m(H_3PO_4)}{M(H_3PO_4)} = \frac{117,6}{98} = 1,2 \ \mathrm{M}\mathrm{J}$
 $m(H_2O) = m_{\mathrm{p-pa}} - m(H_3PO_4) = 560 - 117,6 = 442,4 \ \mathrm{f} = 0,4424 \ \mathrm{K}\mathrm{f}$
 $n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{442,4}{18} = 24,58 \ \mathrm{M}\mathrm{J}$
 $C_{\mathrm{M}} = \frac{n(H_3PO_4)}{V_{\mathrm{p-pa}}} = \frac{1,2}{0,5} = 2,4 \ \mathrm{M}\mathrm{J}$
 $C_{\mathrm{m}} = \frac{n(H_3PO_4)}{m(H_2O)} = 2,7125 \ \mathrm{M}\mathrm{J}$
 $C_{\mathrm{m}} = \frac{m(H_3PO_4)}{V_{\mathrm{p-pa}}} = \frac{117,6}{500} = 0,2352 \ \mathrm{f/M}\mathrm{J}$
 $x(H_3PO_4) = \frac{n(H_3PO_4)}{n(H_3PO_4) + n(H_2O)} = \frac{1,2}{1,2 + 24,58} = 0,0466$

5) Катионов водорода образуется столько же, сколько диссоциирует кислоты по 1 ступени (в допущении, что можно пренебречь 2 и 3 стадиями диссоциации).

$$c(H^+) = \alpha c(H_3 PO_4) = 0.053 \cdot 2.4 = 0.1272$$
 моль/л

Система оценивания:

1	Правильный ответ – 2 балла	2 балла
2	Расчет массы воды – 2 балла	2 балла
3	Расчёт массы раствора – 1 балл	1 балл
4	Расчёт вспомогательных параметров – по 1 баллу	8 баллов
	Расчёт концентраций – по 1 баллу	
5	Расчёт концентрации катионов водорода – 2 балла.	2 балла
	ИТОГО	15 баллов

Задача 9-2

В середине XX века в крупных городах в большом количестве стали открываться фотоателье. Но при их открытии возникала проблема — недостаток освещения. В большинстве случаев освещением служил солнечный свет. Съемочный процесс зависел от погоды, времени года и климата определенной местности.

В шестидесятых года XX века ситуацию немного спасало промышленное производство ленты, состоявшей из металла X. Светочувствительность фотоматериалов того времени была невысокой и приходилось жечь ленту десятки секунд для получения желаемого результата.

Так что же это за металл \mathbf{X} , который упростил жизнь фотографам? Давайте разбираться.

Металл **X** не реагирует с холодной водой, однако вступает в реакцию с горячей водой (нагревание) (**реакция 1**). При этом образуется вещество **A**, в котором массовая доля кислорода равна 55,172 %. Если же металл **X** сжечь в воздухе, то образуются вещества **B** и **C** (**реакции 2 и 3**). При гидролизе вещества **C** (при нагревании) выделяется газ с резким запахом **D** (**реакция 4**).

- 1) Определите элемент **X** и вещества $\mathbf{A} \mathbf{D}$. Ответ подтвердите расчетами.
- 2) Напишите уравнения реакций 1-4.
- 3) Химики подсказывают, что поджигание металла **X** над водой приводит к увеличению яркости. Почему так?

При растворении смеси металла **X** и железа массой 9,6 г в растворе соляной кислоты выделился газ объемом 4,9 л (при 25°C и 101,3 кПа) (реакции 5 и 6).

- 4) Напишите уравнение реакций 5-6.
- 5) Вычислите массовую долю (в %) магния в исходной смеси.

Решение.

1) Исходя из условия задачи, металл **X** реагирует с водой с образованием гидроксида $\mathbf{X}(\mathrm{OH})_k$.

Пусть
$$A_r(\mathbf{X}) = x$$
.

Тогла,

$$\omega(0) = \frac{A_r(0) \cdot k}{M_r(\mathbf{X}(0H)_k)} = \frac{16k}{x + 17k} = 0,55172$$

$$0,55172x = 6,62076k \iff \boxed{x = 12k}$$

Переберем варианты.

k = 1	x = 12 (углерод, не подходит)
k = 2	x = 24 (магний, подходит)
k = 3	x = 36 (нет элемента)

Следовательно, **X** – магний, а вещество **A** – гидроксид магния.

2) Напишем уравнения описанных реакций.

$$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2 + 2H_2 \uparrow$$
 (1)

$$2Mg + O_2 = 2MgO \tag{2}$$

$$3Mg + N_2 = Mg_3N_2 \tag{3}$$

$$Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 \downarrow + 2NH_3 \uparrow$$
 (4)

- 3) Света выделится больше, если поджечь магний над водой реакция с ее парами приведет к выделению водорода, который добавит яркости.
 - 4) Напишем уравнения описанных реакций.

$$Mg + 2HCl = MgCl_2 + H_2 \uparrow \tag{5}$$

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \uparrow \tag{6}$$

Найдем $n_{\text{обил}}(H_2)$.

$$n_{
m oбщ.}({
m H}_2) = rac{PV}{RT} = rac{101300~{
m \Pia}\cdot 0{,}049~{
m m}^3}{8{,}314rac{{
m Дж}}{{
m моль}\cdot {
m K}}\cdot 298~{
m K}} = 0{,}2~{
m моль}$$

Пусть n(Mg) = x моль и n(Fe) = y моль.

Тогда,

$$\omega({
m Mg}) = \frac{m({
m Mg})}{m_{
m CMECH}} \cdot 100 \% = \frac{24 \frac{\Gamma}{{
m MOЛЬ}} \cdot 0,05 {
m MОЛЬ}}{9,6 {
m \Gamma}} \cdot 100 \% = 12,5 \%$$

Система оценивания.

1	Структурные формулы веществ A , B , C , D (по 0,5 балла), формула	4 б
	вещества $X - 2$ балла.	
2	Уравнения реакций 1-4 (по 1 баллу).	4 б
3	Аргументированный ответ на вопрос.	2 6
4	Уравнения реакций 5-6 (по 1 баллу).	5 6
	Найдена массовая доля магния в исходной смеси (3 балла).	

Итого 15 баллов за задачу

Задача 9-3

Образец сульфида некоторого металла X повергли обжигу в кислороде (реакция 1). Масса исходного образца сульфида составляла 19,1 г, а в ходе реакции 1 уменьшилась на 16,754%. После обжига остался порошок чёрного цвета, который нагревали в токе аммиака (реакция 2), в результате чего его масса уменьшилась ещё на 3,2 г. Твёрдый остаток содержал только металл X рыжего цвета.

- 1) Определите металл X, ответ подтвердите расчётом.
- 2) Напишите уравнения двух описанных реакций.
- 3) Напишите уравнения следующих реакций:

- 3а) металл X + концентрированная серная кислота;
- 3б) металл X + разбавленная азотная кислота;
- 3в) металл X + концентрированная азотная кислота.

Решение.

1) В результате обжига сульфида металла образовался оксид, который затем восстановили аммиаком.

Найдём массу оксида металла X по данным уменьшения массы. Сначала переведём проценты в доли от единицы 16,754%=0,16754. Разность (1-0,16754) показывает часть массы, которая осталась после обжига в твердом остатке.

$$m$$
(оксида) = m (сульфида) · $(1 - 0.16754) = 19.1 · 0.83246 = 15.9 г$

При восстановлении аммиаком масса оксида уменьшается ещё на 3,2 г, что соответствует массе ушедшего кислорода. По этим данным можно найти массовую долю кислорода в оксиде.

$$\omega(O) = \frac{m(O)}{m(\text{оксида})} = \frac{3.2}{15.9} = 0.20126$$

Формулу оксида можно представить XO_n или X_2O_n . Составим уравнения для возможных формул по массовой доле кислорода и сделаем перебор разумных значений для n. За x примем атомную массу металла X.

$$\omega(0) = \frac{16n}{16n + x}$$
 или $\omega(0) = \frac{16n}{16n + 2x}$

n	М(оксида)	$Ar(X)$ для XO_n	$Ar(X)$ для X_2O_n
1	79,5	63,5 (Cu)	31,75
2	159	127	63,5
3	238,5	190,5	95,25

Из полученных значений подходит медь, на что так же указывает цвет металла и оксида. Металл определён, а формула сульфида остаётся неясной. Из вариантов, которые первыми могут прийти в голову учащемуся, можно предположить CuS или Cu_2S (второй малознаком школьникам 9 класса).

Определим массу меди, которая осталась после реакции с аммиаком.

$$m(Cu) = m(CuO) - m(O) = 15.9 - 3.2 = 12.7 \text{ r}$$

Такая же масса меди содержалась изначально и в сульфиде. Тогда можно найти массовую долю серы или меди и определить формулу сульфида.

$$\omega(\mathcal{C}u) = \frac{m(\mathcal{C}u)}{m(\text{сульфида})} = 66,5\% \Longrightarrow \omega(\mathcal{S}) = 33,5\%$$

Такому массовому составу соответствует *CuS*. К этому же ответу можно было прийти и не определяя медь. Если масса металла меди в сульфиде 12,7 г, то можно определить массу серы в сульфиде (19,1-12,7=6,4 г), далее определить её массовую долю и по массовой доле выйти на медь (перебором – как вычисляли оксид), а заодно и на нужную формулу сульфида. Поэтому определение формулы оксида не является обязательным элементом решения. Школьник мог предположить медь по окраске, и просто проверить свою гипотезу.

2) Запишем уравнения, описанные в задаче.

$$2CuS + 3O_2 \rightarrow 2CuO + 2SO_2$$

 $3CuO + 2NH_3 \xrightarrow{t} 3Cu + N_2 + 3H_2O$
3) $Cu + 2H_2SO_{4(\text{KOHII})} \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$

Можно принять другую версию реакции: $(5Cu + 4H_2SO_{4(\text{конц})} \rightarrow 3CuSO_4 + Cu_2S + 4H_2O)$

$$3Cu + 8HNO_{3(pa36)} \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

$$Cu + 4HNO_{3(KOHII)} \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

Система оценивания:

1	Определение меди – 3 балла	5 баллов
	Подтверждение расчётом – 2 балла	
	(без подтверждения расчетом – 1 балл за весь пункт)	
2	Уравнения реакций – по 2 балла	4 балла
3	Уравнения реакций – по 2 балла	6 баллов
	ОТОТИ	15 баллов

Задача 9-4

Юный химик Горелкин обнаружил на полке с солями в школьной лаборатории неподписанную склянку с коричневым соединением *А*. Горелкину стало интересно, из чего состоит это соединение.

Для этого он растворил A в воде и получил оранжево-коричневый раствор. К небольшой части этого раствора он прилил раствор нитрата серебра, при этом выпал грязный осадок, который он отделил и промыл. После промывания осадок стал белым, без желтого оттенка, и имел творожистую структуру.

Чтобы убедиться в правильности вывода по предыдущему опыту, Горелкин к небольшой части раствора прилил раствор нитрата бария. При этом не было никаких видимых изменений.

К другой части раствора Горелкин прилил раствор роданида аммония, в результате чего раствор окрасился в кроваво-красный цвет.

Теперь герою нашей задачи стало всё ясно, но чтобы точно убедиться в составе, к третьей части раствора он добавил гидроксид натрия. Выпадение бурого осадка Б только подтвердило его выводы.

- 1) С какой целью Горелкин добавлял нитрат бария?
- 2) Определите, какие ионы входят в состав А и его состав.
- 3) Запишите уравнения реакций, описанных в тексте.

Соединение Б может проявлять свойства восстановителя (отдавая при этом 3 электрона на 1 формульную единицу Б), и при окислении бромом в щелочной среде (в качестве среды возьмите раствор гидроксид калия) превращается в соединение В краснофиолетового цвета.

4) Определите формулу В и закончите следующее уравнение реакции.

$$B + Br_2 + KOH \rightarrow B + \underline{\hspace{1cm}} + \underline{\hspace{1cm}}$$

Решение.

- 1) Катион бария является качественным реагентом на сульфат ионы (и на другие, с кем он даёт осадки). Отсутствие видимых изменений подтверждает факт отсутствия сульфат ионов.
- 2) Белый творожистый осадок вероятнее всего хлорид серебра. Тогда в составе исходного вещества находятся хлорид ионы.

Кроваво-красный цвет говорит о наличии катионов железа(3+). Их наличие подтверждается опытом с гидроксидом натрия.

Тогда исходной солью является $FeCl_3$.

3) Приведём описанные реакции.

$$FeCl_3 + 3AgNO_3 \rightarrow 3AgCl + Fe(NO_3)_3$$

$$FeCl_3 + 3NH_4SCN \rightarrow Fe(SCN)_3 + 3NH_4Cl$$

(принимаются уравнения с роданидными комплексами в продуктах)

$$FeCl_3 + 3NaOH \rightarrow Fe(OH)_3 + 3NaCl$$

4) Бурым осадком Б является $Fe(OH)_3$. Логично предположить, что восстановителем будет именно железо. По условию задачи оно отдаёт 3 электрона, следовательно, переходит в степень окисления +6. Элементы в степени окисления +6 встречаются в растворах в виде анионов вида $3O_4^{2-}$, тогда формула получаемого соединения будет K_2FeO_4 . Если железо восстановитель, то окислителем будет бром (явно не водород или калий), тогда логично в продуктах написать бромид калия.

$$2Fe(OH)_3 + 3Br_2 + 10KOH \rightarrow 2K_2FeO_4 + 6KBr + 8H_2O$$

Система оценивания:

1	Правильный ответ на вопрос – 1 балл	1 балл
2	Вывод о наличии хлорид ионов – 1,5 балла	4 балла
	Вывод о наличии ионов Fe^{3+} — 2 балла	
	Формула соли $A - 0,5$ балла	
3	Уравнения реакций – по 2 балла	6 баллов
4	Формула феррата(VI) калия – 1 балл	4 балла
	Уравнение реакции – 3 балла.	
	ИТОГО	15 баллов

Задача 9-5

Ацетилен (C_2H_2) — бесцветный газ, который применяется для автогенной сварки, а так же как исходный реагент для получения, например, уксусного альдегида и хлористого винила. Получают ацетилен из карбида кальция при действии на него воды, а также путем пиролиза газообразных и жидких углеводородов, нефти и природного газа.

1) Напишите уравнение реакции получения ацетилена из карбида кальция и рассчитайте объем ацетилена (при н.у.), если на реакцию пошло 9,6 г карбида кальция.

Дополнительно известно, что карбид кальция состоит на 62,5% из кальция по массе.

2) Рассчитайте энтальпию реакции

$$2C_{(TB.)} + H_{2(\Gamma.)} = C_2 H_{2(\Gamma.)},$$

воспользовавшись для этого значениями энтальпий следующих реакций:

$$\begin{split} & \mathsf{C_2H_{2(\Gamma.)}} + \frac{5}{2} \mathsf{O}_{2(\Gamma.)} = 2 \mathsf{CO}_{2(\Gamma.)} + \mathsf{H_2O_{(ж.)}}; \quad \Delta_{r,1} H = -1299,5 \text{ кДж} \\ & \mathsf{C_{(TB.)}} + \mathsf{O}_{2(\Gamma.)} = \mathsf{CO}_{2(\Gamma.)}; \quad \Delta_{r,2} H = -393,5 \text{ кДж} \\ & \mathsf{H_{2(\Gamma.)}} + \frac{1}{2} \mathsf{O}_{2(\Gamma.)} = \mathsf{H_2O_{(ж.)}}; \quad \Delta_{r,3} H = -286 \text{ кДж} \end{split}$$

3) Гидрирование ацетилена приводит к образованию этана и описывается уравнением:

$$C_2H_{2(r.)} + 2H_{2(r.)} = C_2H_{6(r.)}$$

Как изменится давление в системе, если прореагирует исходная смесь, содержащая 0,15 моль ацетилена и 0,4 моль водорода? **Примечание:** считать газы идеальными. Объем, температуру и среднюю скорость молекул считать величинами постоянными. Реакция протекает количественно.

Решение.

1) Напишем уравнение описанной реакции.

$$CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$$
 (1)

Найдем $n(CaC_2)$.

$$n({\rm CaC_2}) = {m({\rm CaC_2}) \over M({\rm CaC_2})} = {9.6 \ \Gamma \over 64 {\Gamma \over {
m MOJA}}} = 0.15 \ {
m MOJA}$$

По уравнению реакции (1):

$$n(C_2H_2) = n(CaC_2) = 0,15$$
 моль Найдем $V(C_2H_2)$.

$$V(C_2H_2) = n(C_2H_2) \cdot V_m = 0.15$$
 моль · 22,4 $\frac{\pi}{\text{моль}} = 3.36$ л

2) Рассчитаем энтальпию реакции: $2C_{(TB.)} + H_{2(\Gamma.)} = C_2H_{2(\Gamma.)}$, используя закон Гесса — тепловой эффект химической реакции зависит только от вида и состояния исходных веществ и конечных продуктов, но не зависит от пути процесса, т.е. от числа и характера промежуточных стадий.

Скомбинируем предложенные уравнения так, чтобы получить представленное уравнение реакции образования. Для этого первое уравнение умножим (-1), второе уравнение умножим на 2, третье уравнение умножим на 1.

Сложим полученные уравнения:

$$\Delta_r H = -\Delta_{r,1} H + 2\Delta_{r,2} H + \Delta_{r,3} H$$

$$\Delta_r H = -1 \cdot (-1299,5 \text{ кДж}) + 2 \cdot (-393,5 \text{ кДж}) + 1 \cdot (-286 \text{ кДж}) = 226,5 \text{ кДж}$$

3) Обратим внимание на то, что в исходной смеси находятся 0,15 моль ацетилена и 0,4 моль водорода. Из уравнения реакции видно, что ацетилен : водород равно 1:2. Следовательно, водород находится в избытке (оставшееся количество 0,4 моль -2:0,15 моль =0,1 моль).

После химической реакции в смеси находятся 0,15 моль этана и 0,1 моль водорода.

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона.

До химической реакции: $P_1V = (n(C_2H_2) + n(H_2))RT$.

После химической реакции: $P_2V = (n_{\text{ост.}}(H_2) + n(C_2H_6))RT$.

Разделим первое уравнение на второе:

$$\begin{split} \frac{P_1 V}{P_2 V} &= \frac{\left(n(\mathsf{C_2H_2}) + n(\mathsf{H_2})\right) RT}{\left(n_{\mathsf{OCT.}}(\mathsf{H_2}) + n(\mathsf{C_2H_6})\right) RT} \Longleftrightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{n(\mathsf{C_2H_2}) + n(\mathsf{H_2})}{n_{\mathsf{OCT.}}(\mathsf{H_2}) + n(\mathsf{C_2H_6})} \Longleftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{0.15 \; \mathsf{MOJb} + 0.4 \; \mathsf{MOJb}}{0.15 \; \mathsf{MOJb} + 0.1 \; \mathsf{MOJb}} = \frac{0.55 \; \mathsf{MOJb}}{0.25 \; \mathsf{MOJb}} = 2.2 \end{split}$$

Уменьшится в 2,2 раза.

Система оценивания.

1)	Написано уравнение реакции (1 балл).	4 б
	Найдено количество вещества карбида кальция (1 балл).	
	Найдено количество вещества ацетилена (1 балл).	
	Найден объем ацетилена (1 балл).	
2)	Верно рассчитана энтальпия реакции (8 баллов). Примечание: Если	8 6
	допущена вычислительная ошибка, а ход решения верный, то ставится 6	
	баллов.	
3)	Верно найдено изменение давления (3 балла).	3 6
Итого 15 баллов з		за задачу

Задача 10-1

В одной из серий сериала «Доктор Хаус» Генри Хаус – один из главных героев – лечил агента спецслужб, которого при выполнении миссии доставили в больницу. Место, где находился агент на задании, оставалось засекреченным до определенного времени. Это сказалось на постановке диагноза и на дальнейшем лечении. Оказалось, что агент был в Бразилии, где съел слишком много бразильских орехов (бертолетия высокая (лат. Bertholletia excelsa)). Бразильские орехи содержат элемент **X**, который в больших дозах вызывает усталость, рвоту, раздражение кожи, ломкость ногтей и нарушение функции печени.

Что это за элемент? Это Вам и предстоит узнать.

При взаимодействии простого вещества **X** массой 11,85 г с кислородом образовалось вещество **A** массой 16,65 г (реакция 1).

- 1) Определите элемент **X** и вещество **A**. Ответ подтвердите расчетами.
- 2) Напишите уравнение реакции 1.

Вещество **А** проявляет кислотные свойства. Взаимодействует с водой (**реакция 2**) и щелочами, например с гидроксидом натрия, (**реакция 3**). Легко восстанавливается до вещества **X** с помощью аммиака (**реакция 4**). Свыше 350°C окисляется пероксидом натрия до вещества **B**, в котором массовая доля кислорода 33,862 % (**реакция 5**).

- 3) Определите вещество В.
- 4) Напишите уравнения реакций 2-5.
- 5) Напишите уравнение реакции окисления вещества **X** концентрированной серной кислотой при нагревании (реакция 6). **Примечание:** в результате образуется вещество **A**.
- 6) Напишите уравнение реакции хлорирования вещества **X** (реакция 7) и последующий щелочной гидролиз полученного вещества (реакция 8). **Примечание:** при хлорировании образуется продукт, в котором степень окисления элемента **X** такая же как и в веществе **A**.
- 7) Напишите уравнение реакции вещества **X** с металлическим натрием (реакция 9) и последующее окисление образовавшегося вещества влажным воздухом (реакция 10).

Решение

1) При взаимодействии простого вещества **X** с кислородом скорее всего образуется оксид (вещество **A**). Следовательно, схема выглядит следующим образом:

$$4\mathbf{X} + k\mathbf{O}_2 = 2\mathbf{X}_2\mathbf{O}_k$$

Примечание: если степень окисления X в оксиде будет четной, то можно сократить с двойкой, которая находится в брутто-формуле вещества A.

Приведем один из методов расчета элемента Х.

Масса вещества **A** больше массы **X** на 4,8 г (16,65 г - 11,85 г = 4,8 г). Следовательно, это масса кислорода.

Найдем $n(0_2)$.

$$n(O_2) = \frac{m(O_2)}{M(O_2)} = \frac{4.8 \text{ г}}{32 \frac{\Gamma}{\text{МОЛЬ}}} = 0.15 \text{ моль}$$

По уравнению реакции:

$$n(\mathbf{X}) = \frac{4}{k}n(O_2)$$
 или $\frac{m(\mathbf{X})}{M(\mathbf{X})} = \frac{4}{k}n(O_2)$

Пусть $M(\mathbf{X}) = x$ г/моль. Тогда,

$$\frac{11,85}{x} = \frac{4}{k} \cdot 0,15 \Leftrightarrow \frac{11,85}{x} = \frac{0,6}{k} \Leftrightarrow 0,6x = 11,85k \Leftrightarrow \boxed{x = 19,75k}$$

Переберем варианты.

k = 1	x = 19,75 (нет элемента)
k = 2	x = 39,5 (нет элемента)
k = 3	x = 59,25 (нет элемента)
k = 4	x = 79 (селен, подходит)

Следовательно, X — селен, а вещество A — оксид селена(IV).

2) Напишем уравнение описанной реакции.

$$Se + O_2 = SeO_2 \tag{1}$$

3) Определим состав вещества **В**.

Так как оксид селена(IV) окисляется, то можно сделать вывод о том, что степень окисления селена будет повышаться и примет значение, равное +6. Аналогично сере получим вещество с брутто-формулой Na_2SeO_4 . Проверим наше предположение.

$$\omega(0) = \frac{4 \cdot A_r(0)}{M_r(\text{Na}_2\text{SeO}_4)} \cdot 100 \% = \frac{4 \cdot 16}{189} \cdot 100 \% = 33,862 \%$$

4) Напишем уравнения описанных реакций.

$$SeO_2 + H_2O = H_2SeO_3 \tag{2}$$

$$SeO_2 + 2NaOH = Na_2SeO_3 + H_2O$$
(3)

$$3SeO_2 + 4NH_3 = 3Se + 2N_2 + 6H_2O$$
 (4)

$$SeO_2 + Na_2O_2 = Na_2SeO_4 \tag{5}$$

5) Напишем уравнение описанной реакции.

$$Se + 2H_2SO_{4(KOHIL)} = SeO_2 + 2SO_2 + 2H_2O$$
(6)

6) Напишем уравнения описанных реакций.

$$Se + 2Cl_2 = SeCl_4 \tag{7}$$

$$SeCl4 + 6NaOH = Na2SeO3 + 4NaCl + 3H2O$$
(8)

6) Напишем уравнения описанных реакций.

$$Se + 2Na = Na2Se$$
 (9)

$$2Na_2Se + O_2 + 2H_2O = 2Se + 4NaOH$$
 (10)

Система оценивания.

1)	Определение элемента X и вещества A (по 1 баллу).	2 б
2)	Уравнение реакции 1 (1 балл).	1 б
3)	Определение вещества В (1 балл).	1 б
4)	Уравнения реакций 2-3 (по 1 баллу) и 4-5 (по 2 балла).	6 б
5)	Уравнение реакции 6 (1 балл).	1 б
6)	Уравнения реакций 7-8 (по 1 баллу).	2 б
7)	Уравнения реакций 9-10 (по 1 баллу).	2 б

Итого 15 баллов за задачу

Задача 10-2

Русское название этого элемента **X** означает «рождающий уголь», а международное название происходит от латинского carbo – уголь. Простое вещество **X** сожгли в кислороде и получили газ **A**, в котором массовая доля кислорода составила 72,727 %) (**реакция 1**). Этот газ пропустили через избыток раствора гидроксида натрия, при этом образовалось вещество **B** (**реакция 2**). К образовавшемуся раствору прилили раствор (**реакция 3**), полученный при растворении меди в концентрированном растворе азотной кислоты (**реакция 4**). Выпавший осадок **D** выделили, высушили и прокалили при температуре свыше 1000 °С; при этом масса после прокаливания уменьшилась на 35,135 % (**реакция 5**). Твердый остаток **E** (образовавшийся в результате прокаливания **D**) внесли в разбавленный раствор серной кислоты (**реакция 6**). Если же газ **A**, взятый в избытке, пропустить через раствор, полученный при растворении алюминиевой стружки в растворе гидроксида натрия (**реакция 7**), выпадет осадок **F** (**реакция 8**), который сплавили с гидроксидом калия (**реакция 9**).

Вопросы

- 1) Определите элемент **X** и вещества **A**, **B**, **C**, **D**, **E** и **F**.
- 2) Напишите уравнения описанных реакций.

Решение.

1) При взаимодействии простого вещества **X** с кислородом скорее всего образуется оксид (вещество **A**). Следовательно, схема выглядит следующим образом:

$$4\mathbf{X} + k\mathbf{O}_2 = 2\mathbf{X}_2\mathbf{O}_k$$

Пусть $A_r(\mathbf{X}) = \chi$.

Тогла.

$$\omega(0) = \frac{A_r(0) \cdot k}{M_r(\mathbf{X}_2 0_k)} = \frac{16k}{2x + 16k} = 0,72727 \iff 1,45454x = 4,36368k \iff \boxed{x = 3k}$$

Переберем варианты.

k = 1	x = 3 (H	ет элемента)	
k = 2	x = 6 (H	ет элемента)	
k = 3	x = 9	(бериллий,	не
	подходит)		
k = 4	x = 12 (углерод, подходит)		

Следовательно, X – углерод, а вещество A – оксид углерода(IV).

При разложении основного карбоната меди(II) (вещество \mathbf{D}) свыше 1000 °C образуется оксид меди(I) (вещество \mathbf{E}). Докажем это.

Пусть $n((CuOH)_2CO_3) = y$ моль.

Тогда,

 $n(Cu_2O) = y$ моль

$$\omega(\mathrm{Cu_2O}) = \frac{m(\mathrm{Cu_2O})}{m((\mathrm{CuOH})_2\mathrm{CO}_3)} \cdot 100 \% = \frac{144y}{222y} \cdot 100 \% = 64,865 \% \text{ (верно)}$$

2) Напишем уравнения описанных реакций.

$$C + O_2 = CO_2 \tag{1}$$

$$CO_2 + 2NaOH = Na_2CO_3 + H_2O$$
 (2)

$$2Na_2CO_3 + 2Cu(NO_3)_2 + H_2O = (CuOH)_2CO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + 4NaNO_3$$
 (3)

$$Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 \uparrow + 2H_2O$$
(4)

$$2(CuOH)_2CO_3 = 2Cu_2O + O_2 \uparrow + 2CO_2 \uparrow + 2H_2O \uparrow$$
 (5)

$$Cu_2O + H_2SO_4 = CuSO_4 + Cu \downarrow + H_2O$$
 (6)

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2 \uparrow$$
 (7)

$$Na[Al(OH)_4] + CO_2 = Al(OH)_3 \downarrow + NaHCO_3$$
(8)

$$AI(OH)_3 + KOH = KAIO_2 + 2H_2O$$
 (9)

Система оценивания.

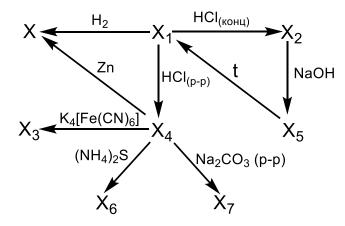
1)	Формулы веществ A , B , C , D , E и F (по 0,5 балла), формула вещества $\mathbf{X} - 1$	4 б
	балл.	
2)	Уравнения реакций 1-4, 7-9 (по 1 баллу) и 5-6 (по 2 балла).	11 б

Итого 15 баллов за задачу

Задача 10-3

«Разноцветная»

Ниже приведена схема превращений соединений металла X. Химия этого металла интересна многообразием окрасок соединений. В некоторых случаях на цвет соединения оказывает влияние концентрация реагента.



В таблице приведены некоторые сведения об участвующих в цепочке превращений соединениях.

Соединение	Цвет/сведения о реакции получения по схеме
X	Металл красного цвета
X_1	Порошок черного цвета
X_2	Жёлто-зелёный раствор. В реакции его получения соотношение HCl и X_1 — 4 к 1.
X_3	Осадок красно-коричневого цвета
X_4	В кристаллическом виде имеет зелёный цвет (с небольшим голубоватым оттенком), водные растворы имеют голубой окрас.
<i>X</i> ₅	Осадок синего цвета.
X_6	Осадок черного цвета
X_7	Осадок зелёного цвета, в природе встречается в виде минерала малахит.

- 1) Определите формулы неизвестных соединений X, $X_1 X_7$.
- 2) Напишите уравнения девяти представленных на схеме реакций.

Решение.

Исходя из анализа схемы превращений, можно предположить, что соединение X_5 является гидроксидом. Тогда фрагмент цепочки « $X_5 \to X_1 \to X$ » получается схемой «синий гидроксид \to черный оксид \to красный металл», что соответствует цветам соединений меди $Cu(OH)_2 \to CuO \to Cu$, которые известны из курса школьной химии. Вывод про медь подтверждают и синий цвет водного раствора X_4 , а также «малахит».

Запишем уравнения реакций.

1)
$$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$$

2)
$$CuO + 2HCl \rightarrow \underbrace{CuCl_2}_{X_4} + H_2O$$

3)
$$CuCl_2 + Zn \rightarrow ZnCl_2 + Cu$$

4)
$$CuCl_2 + (NH_4)_2S \rightarrow CuS + 2NH_4Cl$$

Реакция с желтой кровяной солью может выглядеть «страшно», но по сути является просто ионным обменом.

5)
$$2CuCl_2 + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow \underbrace{Cu_2[Fe(CN)_6]}_{X_3} + 4KCl$$

Реакция совместного гидролиза может быть неизвестна школьнику из курса химии 9 класса, поэтому её составление опишем более подробно. Малахит — основная соль с формулой $(CuOH)_2CO_3$. Начнём поэтапно составлять уравнение $X_4 \to X_7$.

$$CuCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow (CuOH)_2CO_3 +$$

Обратим внимание, что в продуктах появились атомы водорода, которые взялись из воды, следовательно, в левую часть уравнения нужно добавить воду. Так же заметим, что в продуктах 2 атома меди, поэтому поставим коэффициент 2 перед хлоридом меди(II). Логично, что катионы натрия следует записать с хлорид ионами в виде соли. Запишем промежуточный результат.

$$2CuCl_2 + Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow (CuOH)_2CO_3 + NaCl$$

Чтобы уравнять хлор, поставим 4 перед хлоридом натрия. Тогда потребуется уравнять натрий и поставить 2 перед карбонатом натрия.

$$2CuCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow (CuOH)_2CO_3 + 4NaCl$$

Теперь нужно обратить внимание, что в левой части 2 атома углерода, а в правой 1 атом углерода. Так как эта реакция не OBP, то углерод должен остаться в степени окисления +4, в составе карбонат иона или углекислого газа. Карбонат иону нужны катионы, а они все заняты (медь и натрий уже уравнены), поэтому продуктом нужно указать углекислый газ.

6)
$$2CuCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow (CuOH)_2CO_3 + 4NaCl + CO_2$$

7)
$$Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CuO + H_2O$$

Реакция *CuO* с концентрированной соляной кислотой должна быть похоже на реакцию «2». Однозначно это не должна быть OBP, а в продуктах должна быть вода. Учтём также и соотношение реагентов 1 к 4. Запишем предварительный результат.

$$CuO + 4HCl \rightarrow X_2 + H_2O$$

Тогда X_2 будет состоять из двух атомов водорода, меди и 4 хлоров.

8)
$$CuO + 4HCl \rightarrow H_2[CuCl_4] + H_2O$$

9)
$$H_2[CuCl_4] + 4NaOH \rightarrow Cu(OH)_2 + 4NaCl + 2H_2O$$

Система оценивания:

1	Определение формул соединений X , $X_1 - X_7 -$ по 0.5 балла за каждое.	4 балла
2	Уравнения реакций 1-5, 7, 9 — по 1 баллу за каждое.	11 баллов
	Уравнения реакций 6 и 8 – по 2 балла за каждое.	
	ИТОГО	15 баллов

Задача 10-4

Вещество **X** — циклический углеводород, имеющий неразветвленный углеродный скелет, с относительной плотностью по кислороду 3. При окислении вещества **X** щелочным раствором перманганата калия и последующем электролизе образуется вещество **B** циклического строения, в котором все атомы углерода вторичные и находятся в sp^3 -гибридном состоянии.

- 1) Определите брутто-формулу вещества **X**. Ответ подтвердите расчетами.
- 2) Определите структурную формулу вещества **X**.
- 3) Осуществите следующую цепочку превращений. В решении запишите структурные формулы веществ $\mathbf{X} \mathbf{G}$.

$$X \xrightarrow{KMnO_4}$$
 A $\xrightarrow{9лектроли3}$ В $\xrightarrow{Br_2}$ С \xrightarrow{NaOH} D $\xrightarrow{Cl_2}$ Е \xrightarrow{NaOH} F $\xrightarrow{KMnO_4}$ PH=7; 5°C G

4) Вещество **В** применяется в качестве вспенивателя пенополиуретана в холодильном оборудовании. Осуществите следующую цепочку превращений, которая приводит к получению вещества **В**. В решении запишите структурные формулы веществ $\mathbf{H} - \mathbf{J}$.

$$H_2C-CH_2-CH-CH_2\xrightarrow{I} H_2C-CH_2$$
 Н НВг пероксид $I \xrightarrow{I^0} J \xrightarrow{AICI_3} B$

<u>Примечание:</u> в веществе **I** атомы брома находятся на максимальном расстоянии друг от друга.

5) В получении вещества **H** в качестве катализатора применяется оксид алюминия. Как Вы думаете, что может произойти, если в качестве катализатора использовать ортофосфорную кислоту? Ответ объясните.

Решение.

1) Брутто-формулу вещества **X** можно определить, если вычислить молекулярную массу углеводорода.

$$M_r(C_x H_y) = D_{O_2} \cdot M(O_2) = 3 \cdot 32 = 96 \text{ a. e. m.}$$

$$12x + y = 96$$

Из последнего выражения определить количество атомов углерода и водорода можно перебором. Если x=7, то y=12. Тогда формула углеводорода $\mathbf{X}-\mathbf{C}_7\mathbf{H}_{12}$.

- 2) Учитывая, что вещество **X** циклический углеводород, имеющий неразветвленный углеродный скелет, то подходит **циклогептен**.
- 3) Прежде, чем осуществить цепочку превращений, определим вещество **В**. При окислении **циклогептена** щелочным раствором перманганата калия образуется соль **гептадионовой кислоты** (вещество **A**). При электролизе вещества **A** образуется циклопентан (вещество **B**, см.получение ниже).

Тогда,

$$\frac{\mathsf{KMnO_4}}{\mathsf{(KOH)}}$$
 С $-(\mathsf{CH_2})_5$ $-\mathsf{C}$ $\frac{\mathsf{O}}{\mathsf{OK}}$ $\frac{\mathsf{Br}_2}{\mathsf{NAOH}}$ $\frac{\mathsf{NaOH}}{\mathsf{Cnupr.p-p}}$ $\frac{\mathsf{Cl_2}}{\mathsf{450^{\circ}C}}$ $\frac{\mathsf{NaOH}}{\mathsf{CH}}$ $\frac{\mathsf{Cl_2}}{\mathsf{CH}}$ $\frac{\mathsf{NaOH}}{\mathsf{DH}}$ $\frac{\mathsf{Cl_2}}{\mathsf{PH}=7}$; $\mathsf{5^{\circ}C}$ $\frac{\mathsf{NaOH}}{\mathsf{OH}}$ $\frac{\mathsf{NaOH}}{\mathsf{CH}}$ $\frac{\mathsf{Na$

4) Рассмотрим цепочку получения вещества В.

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{C}}{\text{C}}\text{H}-\text{CH}_2 \xrightarrow{t^0} \text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\overset{\text{C}}{\text{C}}=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{пероксид}} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{C}}{\text{C}}\text{H}-\overset{\text{C}}{\text{C}}\text{H}_2 \xrightarrow{\text{C}} \xrightarrow{\text{C}} \text{H}_3 \xrightarrow{\text{C}} \text{H}_2 \xrightarrow{\text{C}} \text{C}} \\ \overset{\text{C}}{\text{O}}\text{H} & \overset{\text{C}}{\text{H}} &$$

5) Ортофосфорная кислота являются протонирующим агентом. При ее диссоциации: $H_3PO_4
ightharpoonup H^+ + H_2PO_4^-$ образуется ион водорода, имеющий свободную вакантную орбиталь, на которую заселяется пара электронов кислорода гидроксогруппы.

$$\begin{array}{c} \mathsf{CH_3} & \oplus & \mathsf{CH_3} & \oplus \\ \mathsf{H_2C-CH_2-CH-CH_2} & \mathsf{H_2C-CH_2-CH-CH_2} & \mathsf{H_2C-CH_2-CH-CH_2} \\ : \dot{\mathsf{OH}} & : \dot{\mathsf{OH}} & \dot{\mathsf{OH}} & \dot{\mathsf{OH}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathsf{CH_3} & \oplus & \mathsf{H_2PO_4} \\ & : \dot{\mathsf{CH_3}} & \oplus & \mathsf{CH_3} \\ & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathsf{CH_3} & \oplus & \mathsf{CH_3} \\ & : \dot{\mathsf{OH}} & \oplus & \mathsf{CH_3} \\ & & \mathsf{CH_3} & \oplus & \mathsf{CH_3} \\ & & & \mathsf{CH_3} & \bullet \\ & &$$

Система оценивания.

1) Расчет молекулярной массы вещества **X** (1 балл).

Определение брутто-формулы вещества **X** (1 балл).

2)	Определение структурной формулы вещества X (1 балл).	16
3)	Структурные формулы веществ A, B, C, D, E, F и G (по 1 баллу).	7 6
4)	Структурные формулы веществ H , G и I (по 1 баллу).	3 6
5)	Приведена структура вещества (любого).	2 6

Итого 15 баллов за задачу

Задача 10-5

Ацетилен – бесцветный газ, который применяется для автогенной сварки, а так же как исходный реагент для получения, например, уксусного альдегида и хлористого винила. Получают из карбида кальция при действии на него воды, а также путем пиролиза газообразных и жидких углеводородов, нефти и природного газа.

- 1) Напишите уравнения реакций получения ацетилена из метана и карбида кальция и рассчитайте объем ацетилена (при н.у.), если на вторую реакцию пошло 10 г карбида кальция с массовой долей примесей 4%.
 - 2) Рассчитайте энтальпии реакций

A)
$$2C_{(TB.)} + H_{2(r.)} = C_2H_{2(r.)},$$

B) $C_2H_{6(r.)} + \frac{7}{2}O_{2(r.)} = 2CO_{2(r.)} + 3H_2O_{(ж.)}$

воспользовавшись для этого значениями энтальпий следующих реакций:

$$C_2H_{2(\Gamma,)} + \frac{5}{2}O_{2(\Gamma,)} = 2CO_{2(\Gamma,)} + H_2O_{(ж,)}; \quad \Delta_{r,1}H = -1299,5 \text{ кДж}$$
 $C_{(TB,)} + O_{2(\Gamma,)} = CO_{2(\Gamma,)}; \quad \Delta_{r,2}H = -393,5 \text{ кДж}$
 $H_{2(\Gamma,)} + \frac{1}{2}O_{2(\Gamma,)} = H_2O_{(ж,)}; \quad \Delta_{r,3}H = -286 \text{ кДж}$
 $C_2H_{2(\Gamma,)} + 2H_{2(\Gamma,)} = C_2H_{6(\Gamma,)}; \quad ; \quad \Delta_{r,4}H = -311,5 \text{ кДж}$

3) Полное гидрирование ацетилена приводит к образованию этана. Как изменится давление в системе, если прореагирует исходная смесь, содержащая 0,15 моль ацетилена и 0,4 моль водорода? **Примечание:** считать газы идеальными. Объем, температуру и среднюю скорость молекул считать величинами постоянными. Реакция протекает количественно.

Решение

1) Напишем уравнения описанных реакций.

$$2CH_4 \xrightarrow{1500^{\circ}C} C_2H_2 + 3H_2 \tag{1}$$

$$CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$$
 (2)

Найдем $n(CaC_2)$.

$$n({\rm CaC_2}) = {m({\rm CaC_2}) \over M({\rm CaC_2})} = {10 \cdot (1 - 0.04) \ \Gamma \over 64 {\Gamma \over {
m MOJJb}}} = 0.15 \ {
m MOJB}$$

По уравнению реакции (2):

$$n(C_2H_2) = n(CaC_2) = 0.15$$
 моль

Найдем $V(C_2H_2)$.

$$V(C_2H_2) = n(C_2H_2) \cdot V_m = 0,15$$
 моль · 22,4 $\frac{\pi}{\text{моль}} = 3,36$ л

2) Рассчитаем энтальпию реакции: $2C_{(TB.)} + H_{2(r.)} = C_2H_{2(r.)}$, используя закон Гесса — тепловой эффект химической реакции зависит только от вида и состояния исходных веществ и конечных продуктов, но не зависит от пути процесса, т.е. от числа и характера промежуточных стадий.

Скомбинируем предложенные уравнения так, чтобы получить представленное уравнение реакции образования. Для этого первое уравнение умножим (-1), второе уравнение умножим на 2, третье уравнение умножим на 1.

Сложим полученные уравнения:

$$\Delta_r H(A) = -\Delta_{r,1} H + 2\Delta_{r,2} H + \Delta_{r,3} H$$

$$\Delta_r H = -1 \cdot (-1299,5 \text{ кДж}) + 2 \cdot (-393,5 \text{ кДж}) + 1 \cdot (-286 \text{ кДж}) = 226,5 \text{ кДж}$$

Реакции В получается умножением реакции 4 на (-1), прибавлением к результату первой реакции и добавлением двух вторых реакций.

$$B=-(4)+(1)+2(2)$$

$$\Delta_r H(B)=-\Delta_{r,4} H+\Delta_{r,1} H+2\Delta_{r,3} H$$

$$\Delta_r H(B)=-(-311,5)+(-1299,5)+2(-286)=-1560\ кДж$$

3) Обратим внимание на то, что в исходной смеси находятся 0,15 моль ацетилена и 0,4 моль водорода. Из уравнения реакции видно, что соотношение ацетилен : водород равно 1:2. Следовательно, водород находится в избытке (оставшееся количество 0,4 моль $-2\cdot 0,15$ моль =0,1 моль).

После химической реакции в смеси находятся 0,15 моль этана и 0,1 моль водорода.

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона.

До химической реакции: $P_1V = (n(C_2H_2) + n(H_2))RT$.

После химической реакции: $P_2V = (n_{\text{ост.}}(H_2) + n(C_2H_6))RT$.

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{P_1 V}{P_2 V} = \frac{\left(n(C_2 H_2) + n(H_2)\right) RT}{\left(n_{OCT.}(H_2) + n(C_2 H_6)\right) RT} \Leftrightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{n(C_2 H_2) + n(H_2)}{n_{OCT.}(H_2) + n(C_2 H_6)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{0,15 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль}}{0,15 \text{ моль} + 0,1 \text{ моль}} = \frac{0,55 \text{ моль}}{0,25 \text{ моль}} = 2,2$$

Уменьшится в 2,2 раза.

Система оценивания:

1	Два уравнения реакций – по 1 баллу за каждое	4 балла
	Расчёт объёма ацетилена – 2 балла	
2	Определение энтальпий реакций – по 4 балла за каждую	8 баллов
3	Определение количества вещества газов в смеси после реакции – 1 балл	3 балла
	Расчёт изменения давления – 2 балла	
	ИТОГО	15 баллов

Задача 11-1

Навеску минерала халькозина подвергли обжигу на воздухе (p1). В ходе обжига образовался остаток черного цвета вещества A и выделился газ Б с резким запахом.

Газ Б полностью поглотили раствором щелочи (p2) объёмом 500 мл с концентрацией гидроксид-ионов 0,22 моль/л. При этом объём раствора не изменился, pH уменьшился на 0,74, а щелочь всё ещё осталась в растворе.

Весь твёрдый остаток вещества А восстановили аммиаком (р3). Цвет твёрдого вещества изменился на рыжий (вследствие образования металла В), а масса стала равна 5,715 г.

При растворении халькозина в концентрированной серной кислоте (p4) образуется раствор синего цвета. Раствор такого же цвета образуется и при его растворении в концентрированной азотной кислоте (p5).

Если порошок А растворять в концентрированной соляной кислоте (р6), то образуется раствор желто-зелёного цвета комплексной кислоты Γ , натриевая соль которой содержит 18,29% натрия по массе. При разбавлении раствора Γ цвет раствора меняется на синий (р6).

Интересно, что вообще металл B не растворяется в кислотах неокислителях, но он может реагировать с концентрированной соляной кислотой (р7), а один из продуктов реакции будет иметь такой же качественный состав, что и кислота Γ .

- 1) Определите состав веществ А-Г.
- 2) Определите состав халькозина.
- 3) Напишите уравнения реакций 1-7.

Примечание: расчёты, связанные с рН выполняйте с точностью до 3 знаков после запятой. Атомные массы элементов используйте с точностью до десятых.

Решение.

Цвета соединений, описанных в задаче, указывают на то, что речь идёт в соединениях меди. Тогда стоит предположить, что А – оксид меди(II). Газ Б, с резким запахом, получается в результате реакции с кислородом – логично предположить, что это оксид. Учитывая, что Б проявляет кислотные свойства (реагирует с щелочью), можно прийти к выводу, что это оксид серы(IV). Тогда халькозин должен быть сульфидом. Для вывода точной формулы халькозина необходимо понять, в каком соотношении в него входят медь и сера.

Определим количество серы по данным поглощения её оксида щелочью. Вычислим исходное значение pH раствора.

$$pH = 14 - pOH = 14 + \lg c(OH^{-}) = 13,342$$

Тогда конечное значение рН составит 12,602.

$$20H^- + SO_2 \rightarrow SO_3^{2-} + H_2O$$

В растворе образуется соль, гидролизующаяся по аниону, но гидролиз соли подавлен избытком щелочи. Поэтому можно принять, что конечно значение рН обусловлено чисто избытком щелочи.

$$pH = 12,602 \Rightarrow pOH = 1,398 \Rightarrow c_1(OH^-) = 10^{-1,398} \approx 0,04 \frac{\text{моль}}{\pi}$$

Вычислим исходное и конечное количество вещества гидроксильных групп.

$$n_0(OH^-)=c_0(OH^-)\cdot V=0.22\cdot 0.5=0.11$$
 моль $n_1(OH^-)=c_1(OH^-)\cdot V=0.04\cdot 0.5=0.02$ моль

По их разности определим, сколько гидроксид ионов прореагировало с оксидом серы(IV).

$$n_{\mathrm{npop}}(OH^-)=0.09$$
 моль $\Rightarrow n(SO_2)=0.045$ моль $\Rightarrow n(S)=0.045$ моль

Количество вещества меди определяется просто по массе металла после восстановления аммиаком.

$$n(Cu) = \frac{m(Cu)}{M(Cu)} = \frac{5,715}{63,5} = 0,09$$
 моль

Получается, что атомное соотношение меди и серы в халькозине 2 к 1, следовательно, формула халькозина Cu_2S .

Состав Γ легко определить по массовой доле натрия.

$$\omega(Na) = \frac{N(Na) \cdot 23}{M} \Longrightarrow M = \frac{23N(Na)}{\omega(Na)} = 125,75N(Na)$$

В состав соли кислоты Γ однозначно входят натрий, медь и хлор. Тогда попробуем составить формулу соли при различных значениях количества натрия.

N(Na)	М	формула
1	125,75	_
2	251,5	$Na_{2}[CuCl_{4}]$

Тогда формула $\Gamma - H_2[CuCl_4]$. Отметим, что этот расчёт не является обязательным пунктом решения, формулу Γ НЕ обязательно подтверждать расчётом, так как этого не требует задание.

Представим ответ в сводной таблице.

A	Б	В	Γ
CuO	SO_2	Си	$H_2[CuCl_4]$

- 2) Вывод формулы халькозина был уже приведен выше Cu_2S .
- 3) Запишем все уравнения реакции.

p1)
$$Cu_2S + 2O_2 \rightarrow 2CuO + SO_2$$

p2)
$$20H^- + SO_2 \rightarrow SO_3^{2-} + H_2O$$

p3)
$$3CuO + 3NH_3 \rightarrow 3Cu + N_2 + 3H_2O$$

p4)
$$Cu_2S + 6H_2SO_4 \rightarrow 2CuSO_4 + 5SO_2 + 6H_2O$$

p5)
$$Cu_2S + 12HNO_3 \rightarrow CuSO_4 + Cu(NO_3)_2 + 10NO_2 + 6H_2O$$

Принимается и уравнение с $Cu(NO_3)_2 + H_2SO_4$ в продуктах

p6)
$$CuO + 4HCl \rightarrow H_2[CuCl_4] + H_2O$$

p7)
$$2Cu + 4HCl \rightarrow 2H[CuCl_2] + H_2$$

Система оценивания:

1	Определение веществ А-Г – по 1 баллу за каждое	4 балла
2	Расчёт исходного значения pH – 1 балл	4 балла
	Определение количества прореагировавших ОН групп – 1 балл	
	Определение количества прореагировавшего $SO_2 - 0.5$ балла	
	Определение количества вещества меди – 0,5 балла	
	Формула халькозина – 1 балл	
3	Уравнения реакций 1-7 – по 1 баллу за каждое	7 баллов
	ИТОГО	15 баллов

Задача 11-2

Хлорид **A** массой 6,255 г, в котором массовая доля некоторого элемента **X** равна 14,868 %, был получен из простых веществ (реакция 1). Он является хлорирующим агентом и находит применение в органическом и неорганическом синтезах. При его взаимодействии с водой (массой 100 г) сначала образуется бесцветная низкокипящая жидкость **B** (реакция 2), суммарный заряд электронов в которой равен $-118,4 \cdot 10^{-19}$ Кл, переходящая в весьма гигроскопичное вещество **C**, применяющееся в качестве пищевой добавки Е338 (реакция 3).

Вопросы.

- 1) Определите элемент **X** и вещества **A**, **B** и **C**.
- 2) Напишите уравнения описанных реакций.
- 3) К раствору, полученному при гидролизе хлорида **A**, прилили 15 %-ный раствор гидроксида натрия массой 56 г. Вычислите массовые доли веществ в итогом растворе.
- 4) Если количественно выделить вещество **C** и нагреть при температуре 150 °C, то получим вещество **D**. При этом масса уменьшилась на 9,18 %. Определите вещество **D** и на пишите реакцию разложения вещества **C**.

Заряд электрона равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение.

1) Обозначим состав хлорида **A** в виде $\mathbf{X}Cl_k$, а относительную атомную массу элемента $\mathbf{X} - x$ а. е. м.

Тогда,

$$\omega(\mathbf{X}) = \frac{A_r(\mathbf{X})}{M_r(\mathbf{X}Cl_k)} = \frac{x}{x + 35.5k} = 0.14868 \iff 0.85132x = 5.27814k \iff x = 6.2k$$

Переберем варианты.

k = 1	x = 6,2 (нет элемента)
k = 2	$x = 12,4$ (углерод, не подходит, так как нет вещества CCl_2)
k = 3	$x = 18,6$ (фтор, не подходит, так как нет вещества FCl_3)
k = 4	x = 24,8 (нет элемента)
k = 5	x = 31 (фосфор, подходит)

Следовательно, $X - \phi$ осфор, а вещество A - xлорид фосфора(V).

Определим состав вещества В.

Для начала найдем число электронов, находящихся в веществе В.

$$\frac{-118.4 \cdot 10^{-19} \text{ K}\pi}{-1.6 \cdot 10^{-19} \text{ K}\pi} = 74$$

Хлорид фосфора(V) (вещество **A**) из условия задачи подвергается гидролизу, а фосфор в веществе имеет степень окисления +5. Следовательно, в состав вещества **B** входит кислород.

Исходя из числа электронов, можно предположить о наличии хлора в составе вещества ${\bf B}$.

Общий вид вещества $\mathbf{B} - PO_n Cl_m$.

Переберем варианты.

n = 1, m = 1	$15 + 8 \cdot 1 + 17 \cdot 1 = 40$ (не подходит)
n = 1, m = 2	$15 + 8 \cdot 1 + 17 \cdot 2 = 57$ (не подходит)
n = 1, m = 3	$15 + 8 \cdot 1 + 17 \cdot 3 = 74$ (подходит)
n = 2, m = 1	$15 + 8 \cdot 2 + 17 \cdot 1 = 48$ (не подходит)
n = 2, m = 2	$15 + 8 \cdot 2 + 17 \cdot 2 = 65$ (не подходит)

Следовательно, вещество **B** – оксихлорид фосфора ($POCl_3$).

При гидролизе оксихлорида фосфора образуется ортофосфорная кислота (вещество ${\bf C}$).

2) Напишем уравнения описанных реакций.

$$2P + 5Cl_2 = 2PCl_5 \tag{1}$$

$$PCl_5 + H_2O = POCl_3 + 2HCl$$
 (2)

$$POCl_3 + 3H_2O = H_3PO_4 + 3HCl$$
 (3)

3) При гидролизе хлорида фосфора(V) образуется раствор, в состав которого входят ортофосфорная и соляная кислоты.

Найдем $n(PCl_5)$.

$$n(PCl_5) = \frac{m(PCl_5)}{M(PCl_5)} = \frac{6,255 \text{ г}}{208,5 \frac{\Gamma}{MOJIb}} = 0,03 \text{ моль}$$

Для упрощения расчетов сложим (2) и (3) уравнения реакций.

$$PCl_{5} + 4H_{2}O = H_{3}PO_{4} + 5HCl$$
 (4)

По уравнению реакции (4):

$$n(H_3PO_4) = n(PCl_5) = 0.03$$
 моль

$$n(HCl) = 5n(PCl_5) = 5 \cdot 0.03$$
 моль = 0.15 моль

Найдем n(NaOH).

$$m(\text{NaOH}) = \frac{m_{\text{p-p}}(\text{NaOH}) \cdot \omega(\text{NaOH})}{100 \%} = \frac{56 \text{ r} \cdot 15 \%}{100 \%} = 8.4 \text{ r}$$

$$n({
m NaOH}) = rac{m({
m NaOH})}{M({
m NaOH})} = rac{8.4 \ \Gamma}{40 rac{\Gamma}{MOЛЬ}} = 0.21 \ {
m моль}$$

Напишем уравнения описанных реакций.

$$HCl + NaOH = NaCl + H2O (5)$$

$$H_3PO_4 + 2NaOH = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$
 (6)

Ортофосфорная кислота — трехосновная кислота. Следовательно, при взаимодействии со щелочью возможно образование кислых солей. После нейтрализации хлороводорода гидроксид натрия вступает в реакцию с ортофосфорной кислотой. На реакцию с хлороводородом пошло 0,15 моль гидроксида натрия. Оставшаяся щелочь в количестве 0,06 моль идет на образование дигидрофосфата натрия — (см. уравнение реакции (5) — ортофосфорная кислота : гидроксид натрия равно 1 : 2).

Найдем n(NaCl) и $n(Na_2HPO_4)$.

По уравнению реакции (5):

$$n(NaCl) = n(HCl) = 0.15$$
 моль

По уравнению реакции (4):

$$n(Na_2HPO_4) = n(H_3PO_4) = 0.03$$
 моль

Найдем ω (NaCl) и ω (Na₂HPO₄).

$$m_{\rm p-p} = m({
m PCl_5}) + m({
m H_2O}) + m_{\rm p-p}({
m NaOH}) = 6,255\ {
m r} + 100\ {
m r} + 56\ {
m r} = 162,255\ {
m r}$$

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = 0.15$$
 моль · 58,5 $\frac{\Gamma}{\text{моль}} = 8,775$ г

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.03 \text{ моль} \cdot 142 \frac{\Gamma}{\text{моль}} = 4.26 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100 \% = \frac{8,775 \text{ r}}{162,255 \text{ r}} \cdot 100 \% = 5,41 \%$$

$$\omega(\mathrm{Na_2HPO_4}) = \frac{m(\mathrm{Na_2HPO_4})}{m_{\mathrm{p-p}}} \cdot 100 \% = \frac{4,26 \mathrm{ r}}{162,255 \mathrm{ r}} \cdot 100 \% = 2,63 \%$$

4) Найдем *m*(H₃PO₄).

$$m(H_3PO_4) = n(H_3PO_4) \cdot M(H_3PO_4) = 0.03$$
 моль $\cdot 98 \frac{\Gamma}{MOЛЬ} = 2.94$ г

При нагревании ортофосфорной кислоты потеря массы — масса воды. Найдем $n(H_2O)$.

$$^{2,94\ \Gamma-100\ \%}_{x-9,18\ \%}$$
, тогда $x=rac{2,94\ \Gamma\cdot 9,18\ \%}{100\ \%}=0$,27 г

$$n({\rm H_2O}) = \frac{m({\rm H_2O})}{M({\rm H_2O})} = \frac{0.27~{\rm \Gamma}}{18\frac{\Gamma}{{
m MOJL}}} = 0.015~{
m MOJL}$$

Исходя из соотношения $n(H_3PO_4):n(H_2O)=0.03:0.015$, можно сделать вывод о том, что в уравнении реакции 2 моль ортофосфорной кислоты приходится 1 моль воды. Составим схему: $2H_3PO_4=\mathbf{D}+H_2O$.

В веществе **D** будет два атома фосфора, четыре атома водорода и семь атомов кислорода. Следовательно, $H_4P_2O_7$ – дифосфорная кислота.

Напишем уравнение описанной реакции.

$$2H_3PO_4 = H_4P_2O_7 + H_2O (7)$$

Система оценивания.

1)	Определение элемента X и вещества A , B и C (по 1 баллу).	4 б
2)	Уравнения реакций (по 1 баллу).	3 6
3)	Верно найдено количество вещества гидроксида натрия (1 балл).	6 б
	Уравнения реакций (по 1 баллу).	
	Верно найдены массы хлорида и дигидрофосфата натрия (за каждое по 0,5	
	балла).	
	Верно найдена масса итогового раствора (1 балл).	
	Верно найдены массовые доли хлорида и дигидрофосфата натрия (за	
	каждое по 0,5 балла).	
4)	Определено вещество D (1 балл)	2 б
	Уравнение реакций (по 1 балл).	
	Итого 15 баллов	за задачу

Задача 11-3

В школьном курсе мы привыкли слышать о двух оксидах углерода — углекислом и угарном газах. А что Вы скажете на то, что есть еще довольно забавный оксид \mathbf{G} , формулу которого вы сможете узнать, разгадав следующую цепочку превращений:

$$\mathbf{A} \xrightarrow{1100^{\circ}\text{C}} \mathbf{B} \xrightarrow{\mathbf{C}_{(\mathsf{akt.})}} \mathbf{C} \xrightarrow{\mathsf{6CH}_{3}\mathsf{CI}} \mathbf{D} \xrightarrow{\mathsf{KMnO}_{4}} \mathbf{E} \xrightarrow{\mathsf{HCI}} \mathbf{F} \xrightarrow{\mathsf{P}_{2}\mathsf{O}_{5}} \mathbf{G}$$

$$\begin{array}{c} \mathsf{NaNH}_{2} \\ \mathsf{(2 mol)} \end{array} \rightarrow \mathbf{H} \xrightarrow{\mathsf{CH}_{3}\mathsf{I}} \mathbf{I}$$

Примечание: 1) Вещество **A** – простейший углеводород, основной компонент природного газа; 2) Вещество **C** – углеводород, в котором массовая доля углерода 92,308 %. 3) Вещество **E** способно провзаимодействовать с 6 моль хлороводорода. 4) Оксид фосфора – весьма гигроскопичное вещество (связывает воду).

Вопросы.

- 1) Осуществите следующую цепочку превращений. В решении запишите структурные формулы веществ $\mathbf{A} \mathbf{I}$.
 - 2) Приведите пример использования вещества В.
- 3) Почему вещество **G** можно считать оксидом и к какому классу органических соединений его можно отнести? Ответ поясните.
- 4) Составьте уравнение химической реакции получения **E** из **D**. Укажите окислитель и восстановитель.

Решение.

1) Основным компонентом природного газа является метан (вещество **A**).

Прежде чем осуществить цепочку превращений узнаем, что за вещество ${\bf C}$. Пусть углеводород ${\bf C}$ имеет общий вид ${\bf C}_x{\bf H}_{{\bf v}}$.

Тогда,

$$x: y = n(C): n(H) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)}: \frac{\omega(H)}{A_r(H)} = \frac{92,308}{12}: \frac{7,692}{1} = 7,692: 7,692 = 1:1$$

Исходя из предложенной цепочки, можно предположить, что углеводород ${\bf C}$ – бензол (${\bf C}_6{\bf H}_6$).

После вещества **C** перейдем к веществу **E**. Окисление гомологов бензола щелочным раствором перманганата калия приводит к образованию солей карбоновых кислот (в нашем случае – COOK). В условии задачи сказано, что вещество **E** способно провзаимодействовать с 6 моль хлороводорода. Следовательно, в веществе **E** содержатся шесть – COOK.

Тогда,

- 2) Ацетилен (C_2H_2) бесцветный газ, который применяется для автогенной сварки, а так же как исходный реагент для получения, например, уксусного альдегида и хлористого винила.
- 3) Вещество **G** является оксидом, так как оно состоит только из двух элементов (углерод и кислород) и степень окисления кислорода в веществе равна −2. Это описание полностью соответствует определению оксида.

В органической химии вещество **G** является ангидридом меллитовой кислоты.

4) Составим уравнение химической реакции получения Е из D.

Составим электронный баланс. **Примечание:** Если ребенок уравнял правильно, но как-то иначе, то ставится максимальный балл за этот пункт.

Перманганат калия $(KMnO_4)$ – окислитель, гексаметилбензол $(C_6(CH_3)_6)$ – восстановитель.

Система оценивания.

- 1) Структурные формулы веществ **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**, **H** и **I** (по 1 баллу). 9 б
- 2) Приведен пример использования вещества В. 1 б

3) Объяснено, почему вещество **G** оксид (1 балл).

Указана принадлежность к классу органических веществ (1 балл)

4) Составлен электронный баланс (1 балл).

3 б

2 б

Верно указаны окислитель и восстановитель (1 балл).

Верно расставлены коэффициенты в уравнении реакции (1 балл).

Примечание: если ребенок использовал иные методы уравнивания (например, метод полуреакций) и уравнял реакцию верно, при этом верно указаны окислитель и восстановитель, то ставится максимальный балл.

Итого 15 баллов за задачу

Задача 11-4

Реагенты NBS и NCS широко используются в органическом синтезе в качестве галогенирующих агентов. В частности NBS используется в реакции аллильного бромирования по Циглеру:

$$CH_2 = CH - CH_3 \xrightarrow{NBS} CH_2 = CH - CH_2Br$$

В задачах, цепочках и учебниках (в теме «алкены») часто не пишут полную структурную формулу этих реагентов, а школьники зачастую не могут их воспроизвести. Решив данную задачу, Вы узнаете их формулы.

$$C_{2}H_{4} \xrightarrow{Br_{2}} X_{1} \xrightarrow{KOH_{(M36)}} X_{2} \xrightarrow{Ni[(C_{6}H_{5})_{3}P]_{2}(CO)_{2}} X_{3} \xrightarrow{O_{2}/V_{2}O_{5}} X_{4} \xrightarrow{H_{2}O/t} X_{5} \xrightarrow{H_{2}} X_{6}$$

$$NaCN_{(M36)} \longrightarrow X_{7} \xrightarrow{H_{2}O/H^{+}} X_{8} \xrightarrow{H_{2}O/H^{+}/t} X_{8} \xrightarrow{NaOH} NBS$$

$$X_{6} \xrightarrow{NH_{3}/t} X_{9} \xrightarrow{CI_{2}} NaOH NCS$$

Дополнительно известно несколько брутто-формул пропущенных веществ.

X_4	X_7	X_8	X_9
$C_4H_2O_3$	$C_4H_4N_2$	$C_4H_8N_2O_2$	$C_4H_5NO_2$

Определите структурные формулы неизвестных веществ $(X_1 - X_9, NBS, NCS)$ в цепочке превращений.

Решение.

Рассмотрим нижнюю ветку первой цепочки. На первой стадии происходит присоединение брома по двойной связи с образованием 1,2-дибромэтана (X_1). Действие избытка цианида натрия приводит к нуклеофильному замещению двух атомов брома на

цианид-ионы, поэтому продуктом будет являться динитрил янтарной кислоты (X_7) . Гидролиз нитрилов до карбоновых кислот протекает через образование амидов, что позволяет составить следующую схему превращений.

Рассмотрим верхнюю часть цепочки. Реакция бромида и спиртовой щелочи проходит с образованием ацетилена, который далее тримеризуется. Катализатор тримеризации здесь указан малоизвестный. Определить, что X_3 это бензол позволяет и следующая реакция окисления, которая очень часто встречается в олимпиадных задачах (и конечно же её можно обнаружить в учебной литературе). Тогда веществом X_4 является малеиновый ангидрид, который гидролизуется до малеиновой кислоты. В структуре X_5 важна именно *цис* конфигурация двойной связи.

HC
$$\equiv$$
CH X_2 X_3 X_4 X_5 X_5

Расшифруем последнюю часть задачи.

Система оценивания:

1	Определение веществ $X_1, X_2, X_3, X_5, X_6, X_7$ — по 1 баллу	15 баллов
---	---	-----------

Определение веществ X_4, X_8, X_9 — по 2 балла	
Определение NBS и NCS – по 1,5 балла	
ОТОТИ	15 баллов

Задача 11-5

Известно, что вода является очень слабым электролитом. Её уравнение диссоциации принято записывать в виде:

$$H_20 \rightleftharpoons H^+ + 0H^-$$

Чуть более точно этот процесс описывает другое уравнение, которое называется уравнением автопротолиза воды, в котором происходит процесс переноса катиона водорода от одной молекулы воды к другой.

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^ H_2O + H \longrightarrow H_3O^+ + OH^-$$

Такие процессы переноса катиона водорода от одной молекулы растворителя к другой (процессы автопротолиза или автоионизации) происходят и в других растворителях, например в серной кислоте или жидком аммиаке.

1) Напишите 2 уравнения: автопротолиза серной кислоты и автопротолиза жидкого аммиака.

Гидроксид калия в водных растворах является основанием, так как диссоциирует на катион калия и гидроксид-анион. В других растворителях тоже существуют аналоги, которые называют основаниями.

2) Приведите формулу соединения калия, которое в жидком аммиаке будет являться основанием (в дальнейшем будем обозначать его А).

В водных растворах реакцию между сильной кислотой и сильным основанием называют нейтрализацией.

3) Закончите уравнение нейтрализации, протекающей в жидком аммиаке. В жидком аммиаке NH_4Br является аналогом кислоты.

$$NH_4Br + A \rightarrow$$

В жидком аммиаке также протекают и реакции ионного обмена или комплексообразования.

4) Закончите уравнения следующих реакций.

Реакции в водных растворах

$$3HBr + Na_3As \rightarrow$$

 $2KOH + Zn(NO_3)_2 \rightarrow B + 2E$
 $B + 2KOH \rightarrow D$

Реакции в жидком аммиаке

$$3NH_4Br + Na_3As \rightarrow$$

$$2A + Zn(NO_3)_2 \rightarrow C + 2E$$

$$C + 2A \rightarrow F$$

$$4KOH + Zn(NO_3)_2 \to D + 2E$$
 $4A + Zn(NO_3)_2 \to F + 2E$

Решение.

- 1) $H_2SO_4 + H_2SO_4 \rightleftharpoons H_3SO_4^+ + HSO_4^- \mid NH_3 + NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$
- 2) В жидком аммиаке сопряжённым основанием будет являться амид калия KNH_2 .
- 3) По определению, кислота донор катиона водорода. Основание акцептор катиона водорода. Поэтому амид ион заберёт от катиона аммония катион водорода.

$$NH_4Br + KNH_2 \rightarrow KBr + 2NH_3$$

4) Реакции в водных растворах классические и не требуют детального пояснения.

$$3HBr + Na_3As \rightarrow 3NaBr + AsH_3$$
$$2KOH + Zn(NO_3)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 + 2KNO_3$$
$$Zn(OH)_2 + 2KOH \rightarrow K_2[Zn(OH)_4]$$
$$4KOH + Zn(NO_3)_2 \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + 2KNO_3$$

Ранее уже было сказано, что катион аммония в жидком аммиаке является кислотой, а значит является донором катиона водорода. Тогда в реакции бромида аммония и арсенида натрия катионы водорода будут присоединяться к арсенид-иону. Если забрать от катиона аммония катион водорода, образуется аммиак. Учитывая все сказанные рассуждения, можно понять, что продуктами будут арсин, аммиак и бромид натрия.

$$3NH_4Br + Na_3As \rightarrow AsH_3 + 3NaBr + 3NH_3$$

Для написания следующих реакций достаточно заметить, что амид-ион в жидком аммиаке это аналог гидроксид иона в воде.

$$2KNH_2 + Zn(NO_3)_2 \to 2KNO_3 + Zn(NH_2)_2$$

$$Zn(NH_2)_2 + 2KNH_2 \to K_2[Zn(NH_2)_4]$$

$$4KNH_2 + Zn(NO_3)_2 \to K_2[Zn(NH_2)_4] + 2KNO_3$$

Система оценивания:

1	Запись каждого уравнения автопротолиза – по 1,5 балла	3 балла
2	Формула амида калия – 2 балла	2 балла
3	Уравнение реакции – 2 балла	2 балла
4	Уравнения реакций – по 1 баллу	8 баллов
	ИТОГО	15 баллов