

Решения задач теоретического тура

Девятый класс

Задача 9-1 (Седов И. А.)

1. С, N, O ($\text{CO} + \text{NO}_2 = \text{CO}_2 + \text{NO}$)

2. Найдем возможные значения атомной массы Y , представив формулу оксида как Y_2O_n : $2M_Y + 16n = 16n / 0,4$; $M_Y = 12n$. Это может соответствовать MgO , Cl_2O_3 , TiO_2 . Mg и Cl (Y -элементы) не подходят, т. к. соответствующие им Z-элементы (Al и Ar) не имеют окрашенных оксидов. Следовательно $Y - \text{Ti}$.

Тройка элементов: Sc, Ti, V.

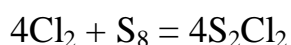
Формулы оксидов:

A	B	C	D
Sc_2O_3 белый	Ti_2O_3 фиолетовый	TiO_2 белый	V_2O_5 оранжевый

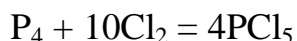
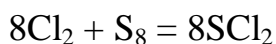
3. Огромная разница в массах 1 моля простых веществ, образованных стоящими рядом в периодической системе элементами, говорит о том, что простые вещества состоят из разного числа атомов. Соотношение количеств атомов можно оценить как 2 : 4 : 1 или 4 : 8 : 2. Из последнего варианта следует ответ: P, S, Cl, образующие простые вещества P_4 (белый фосфор), S_8 и Cl_2 .

Действительно : $M(\text{P}_4) : M(\text{S}_8) : M(\text{Cl}_2) = 1 : 2.07 : 0.57$.

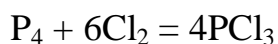
Хлор активно реагирует с фосфором и серой:



или



или



4. Элементы с максимальной степенью окисления +4 следует искать в 4 или в 14 группах. Ни один из элементов 14 группы не подходит т. к.

*ВсОШ по химии, Региональный этап
2016–2017 учебный год
Решения задач теоретического тура*

соответствующие им X-элементы не проявляют степень окисления «+3». Ti и Zr, находящиеся в 4-ой группе, не подходят из тех же соображений, в то время как Hf и стоящие перед ним Yb и Lu отвечают условию задачи.

Система оценивания:

	Элементы решения	Оценка
1.	Тройка элементов – 3 балла уравнение реакции – 1 балл	4 балла
2.	Тройка элементов – 2 балла Формулы оксидов A–D (4 шт) по 1 баллу – 4 балла Расчет M по доле кислорода в оксиде – 2 балла	8 баллов
3.	Тройка – 2 балла 2 уравнения реакции по 2 балла – 4 балла <i>оценивается только по одному уравнению реакции хлора с серой и хлора с фосфором</i>	6 баллов
4.	Тройка элементов	2 балла
	ИТОГО:	20 баллов

Задача 9-2 (Родкина Н. А.)

1. При сгорании минерала образуется смесь газов, о чем свидетельствует ряд превращений. Во-первых, при охлаждении образуется жидкость, что сопровождается уменьшением плотности газа. Во-вторых, при пропускании газа через раствор гашеной извести (гидроксид кальция) выпадает белый осадок, однако газ поглощается не полностью. И так, в исходной газовой смеси присутствует три компонента: конденсирующийся при охлаждении **У**, газ, поглощённый раствором гидроксида кальция (назовём его для определённости **газ А**), и непоглотившийся газ (**газ В**).

Можно предположить, что **газ В** – это кислород, в атмосфере которого сжигали минерал.

Средняя молярная масса газа до конденсации темной жидкости равна $M_{\text{ср1}} = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 4.009 = 112.252 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, а после конденсации $M_{\text{ср2}} = 112.252 \frac{\text{г}}{\text{моль}} (1 - 0.5248) = 53.34 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$.

Объемная доля кислорода в смеси составляет $\frac{1}{3}$, что позволяет вычислить молярную массу газа **A**.

$$M_{\text{ср2}} = \frac{1}{3} M_{\text{O}_2} + \frac{2}{3} M_A = 53.34$$

$$M_A = \frac{3}{2} (53.34 - \frac{1}{3} M_{\text{O}_2}) \approx 64 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

что соответствует оксиду серы (IV).

Пусть x – доля O_2 в исходной газовой смеси, а y – доля **Y** тогда доля $\text{SO}_2 = 2x$.

$$M_{\text{ср2}} = x \cdot M_{\text{O}_2} + 2x \cdot M_{\text{SO}_2} + y \cdot M_Y = x \cdot 32 + 2x \cdot 64 + y \cdot M_Y = 112.252 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$M_Y = \frac{112.252 - 160x}{y}$$

Сумма долей всех компонентов смеси = 1:

$$(x + 2x + y) = 3x + y = 1.$$

Так как сера и **Y** входят в состав минерала, можно предположить, что **Y** и SO_2 находятся в мольном отношении $2 : n$, тогда

$$\frac{y}{2x} = \frac{n}{2} \Rightarrow y = nx, 3x + nx = 1 \Rightarrow x = \frac{1}{3+n}, y = \frac{n}{3+n}$$

$$M_Y = \frac{112.252 - \frac{160}{3+n}}{\frac{n}{3+n}} = \frac{(3+n)112.252 - 160}{n} = \frac{176.756}{n} + 112.252$$

n	$M_Y, \frac{\text{г}}{\text{моль}}$
1	289.0
2	200.6
3	171.2
4	156.4
5	147.6

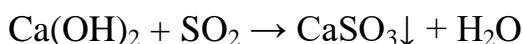
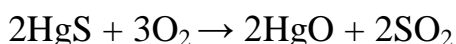
При $n = 2$, M_Y соответствует ртути, которая является темной жидкостью с металлическим блеском. Соотношение $SO_2 : Hg = 1 : 1$, что соответствует минералу **киноварь**, имеющему состав HgS .

Если на основании описания жидкости предположить, что это ртуть, то количество вычислений сильно сократится, т. к. потребуется установить y при известном значении M_Y .

Состав **исходной газовой смеси**: $SO_2 + Hg_{(газ)} + O_2$ в мольном отношении $2 : 2 : 1$.

Состав **газовой смеси после конденсации Hg**: $SO_2 + O_2$ в мольном отношении $2 : 1$.

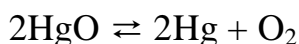
2. Уравнения реакций:



3. HgS – минерал киноварь

4. $Hg + 2FeCl_3 \rightarrow HgCl_2 + 2FeCl_2$ – эта реакция используется для очистки помещений и предметов от металлической ртути и источников ртутных паров

5. Жёлто-оранжевый налёт – оксид ртути (II), первоначально образующийся и почти сразу разрушающийся (неустойчив выше $332\text{ }^\circ\text{C}$).



В условиях реакции минерал сгорает с выделением тепла и равновесие смещается вправо.

Система оценивания:

	Элементы решения	Оценка
1.	Объяснение образования жидкости при охлаждении – 1 балл Определение состава двух газов – по 2 балла Определение состава минерала (с обоснованием) – 3 балла	8 баллов
2.	Уравнения реакций по 2 балла	4 балла
3.	Название минерала	1 балл

4.	Уравнение реакции – 2 балла Пример использования – 2 балла	4 балла
5.	Состав желто-оранжевого налета – 1 балла Объяснение трудности получения – 2 балла	3 баллов
	ИТОГО:	20 баллов

Задача 9-3 (Седов И. А.)

1. Порошок апельсинового цвета, который разлагается при нагревании с искрами и с образованием зеленого порошка, – $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (вещество **1**). Порошок **X** – Cr_2O_3 (реакция 1). Так как раствор желтеет при добавлении вещества **2**, последнее имеет щелочную реакцию (реакция 2).

2. Синие кристаллы (вещество **3**), белеющие при нагревании, – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Безводный сульфат меди (CuSO_4) – кристаллы белого цвета, при растворении образующие голубой раствор. При добавлении в этот голубой раствор небольшого количества щелочи получается синий осадок **Y** – $\text{Cu}(\text{OH})_2$, который при дальнейшем прибавлении вещества **2** растворяется. То есть реактив **2** – твёрдая щёлочь (реакции 3, 4, 5)

3. В банке **4** находится вязкий сироп – кислота с концентрацией 85 %, густеющая при выпаривании. Это концентрированный раствор H_3PO_4 .

4. Очевидно, что вещество **5**, выделяющее газ без запаха при нагревании раствора и сухого порошка **5** и при действии кислоты – гидрокарбонат. Относительно низкой растворимостью по сравнению с другими щелочными металлами обладает гидрокарбонат натрия NaHCO_3 . Тогда щелочь – NaOH , а вещество **5** – NaHCO_3 (реакции 6, 7).

5. Растворение щелочи в воде – реакция экзотермическая. Если к щелочи добавить кислоту (в данном случае H_3PO_4), то происходит дополнительное выделение тепла за счет реакции нейтрализации. При взаимодействии фосфорной кислоты с избытком гидроксида натрия образуется раствор среднего фосфата **A** (реакция 8).

6. По условию задачи во всех упомянутых соединениях содержится всего 3 различных металла. Вышеупомянутые соединения уже содержат три металла: Cr, Cu и Na. Значит раствор в банке 6 содержит соль этих металлов или аммония. Если также учесть, что соль 6 гигроскопична и при ее реакции с кислотой выделяется дурно пахнущий газ (реакция 9), в банке 6 находится Na_2S или NaHS (оба ответа могут быть засчитаны как верные, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ нестабилен и не может храниться в банке). При реакции соли 6 с пентагидратом сульфата меди образуется чёрный осадок **Z** – CuS (реакция 10).

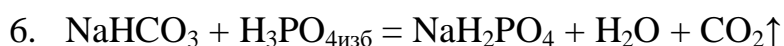
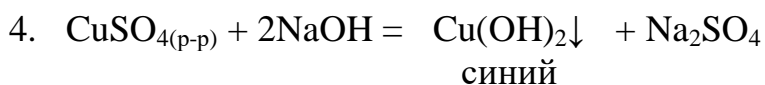
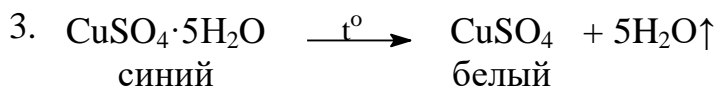
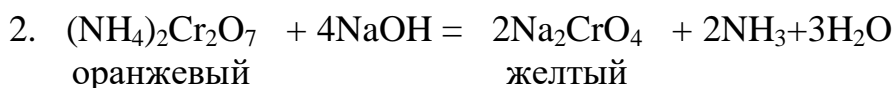
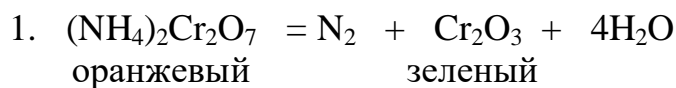
7. Известно, что при паянии используется кислота и эта кислота (вещество 7) по условию задачи плохо пахнет и реагирует с $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с образованием желтоватого газа **G**, который пахнет еще резче, чем кислота. Отсюда, в банке 7 находится соляная кислота, а газ **G** – Cl_2 (реакция 11).

8. Голубой садок **Z** – $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ (реакция 12).

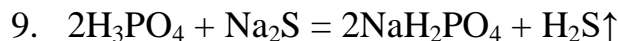
ИТАК:

1 – $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2 – NaOH	3 – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4 – H_3PO_4
5 – NaHCO_3	6 – Na_2S (или NaHS)	7 – HCl	
X – Cr_2O_3	Y – $\text{Cu}(\text{OH})_2$	Z – $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	G – Cl_2
W – CuS	A – Na_3PO_4		

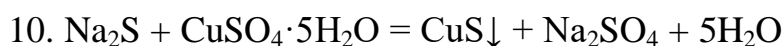
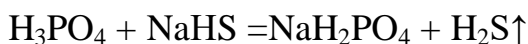
Уравнения реакций:



или

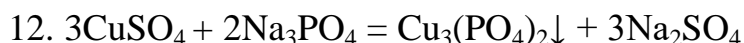
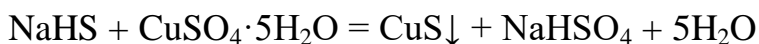


или



или

черный



Система оценивания:

	Элементы решения	Оценка
1.	Определение формул веществ в банках* по 1,5 балла за формулы 5, 6 – 3 балла по 1 баллу за 1–4 и 7 ** – 5 баллов	8 баллов
2.	Формулы осадков X, Y, Z, W, газа G и вещества A по 1 баллу	6 баллов
3	12 уравнений реакций по 0,5 балла	6 баллов
	ИТОГО:	20 баллов

* - Полный балл выставляется, если вместо солей натрия участник использует соли калия.

** - Засчитывать кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ с любым n .

Задача 9-4 (Аняри В. В.)

Приведем возможный ход рассуждений при решении данной задачи.

1. Анализируя список веществ, заметим, что многие из них являются соединениями меди. Поэтому можно предположить, что элемент X – это медь.

2. Для удобства систематизируем приведенные в условии соединения меди, группируя одинаковые соединения друг под другом (см. схему ниже, первый столбец). Видно, что все вещества расположились попарно, кроме CuI и $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$. Значит, именно эти вещества находятся в начале и в конце цепочки. Из всех соединений меди только в CuI степень окисления Cu равна +1. Если это соединение находится в начале цепочки, то первой стадией должно быть его окисление. Из окислителей у нас имеется HNO_3 и I_2 . При восстановлении HNO_3 образовались бы оксиды азота или NH_4NO_3 , а ни того, ни другого в перечне веществ нет. Возможность окисления иодом маловероятна, поскольку I_2 – окислитель средней силы, кроме того, при его восстановлении образовались бы HI (в кислой среде) или NaI (в среде NaOH), а таких веществ в перечне не дано. Поэтому приходим к выводу, что сырьем был $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, а конечным продуктом – CuI .

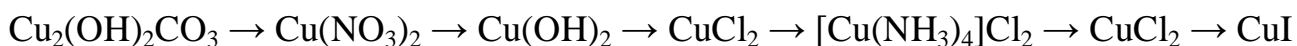
3. При составлении уравнений химических реакций учтем, что в левой и правой частях каждого уравнения должны присутствовать одни и те же атомы/группы атомов. Поэтому удобней всего дописать оставшиеся формулы веществ напротив соединений меди по принципу максимального подобия их составных частей (см. схему, второй столбец). Выделим блоки, относящиеся к одному и тому же соединению меди (пунктирные линии на схеме) и попытаемся установить между ними связи, это и будут звенья искомой цепочки превращений. Некоторые связи отчетливо видны сразу. Например, элемент K фигурирует только в строке 3 и строке 5, Na – в строке 9 и строке 10. Эти связи показаны на схеме стрелками справа. Направление стрелки показывает соответствующее превращение соединений меди, если в качестве реагентов и продуктов рассматриваются вещества из второго столбца. Далее, рассмотрим строки 6, 7. Присутствие в них элемента Cl заставляет нас связать эти строки со строками 1-го блока (строки 1–4). При этом разница между строками 6 и 7 состоит в присутствии в строке 6 группы атомов HCl . Ровно так же отличаются

строки 2 и 4, поэтому логично связать строку 6 со строкой 2, а строку 7 со строкой 4. Строку 12 (начало цепочки) можно связать либо со строкой 1, либо со строкой 8. Если связать ее со строкой 1, то строки 8–11 окажутся «оторванными» от цепочки превращений (не войдут в нее), чего быть не должно, поэтому делаем вывод, что строка 12 должна быть связана со строкой 8. А строка 11 в этом случае автоматически свяжется со строкой 1.

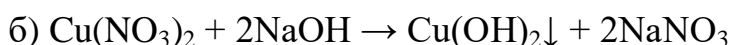
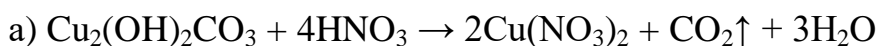
1.	CuCl ₂	HCl	
2.	CuCl ₂	HCl	
3.	CuCl ₂	KCl	
4.	CuCl ₂	—	
5.	CuI	KI, I ₂	
6.	[Cu(NH ₃) ₄]Cl ₂	NH ₄ Cl	
7.	[Cu(NH ₃) ₄]Cl ₂	NH ₃	
8.	Cu(NO ₃) ₂	HNO ₃	
9.	Cu(NO ₃) ₂	NaNO ₃	
10.	Cu(OH) ₂	NaOH	
11.	Cu(OH) ₂	H ₂ O	
12.	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	CO ₂ , H ₂ O	

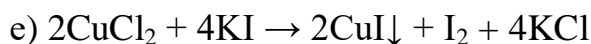
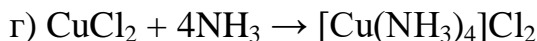
Таким образом, мы установили логические связи в цепочке химических превращений. Интересно, что сделали мы это практически без привлечения знаний по химии, а просто внимательно сопоставляя формулы веществ (на самом деле, один раз мы все-таки неявно химические знания использовали, когда отказались от возможности соединить строки 12 и 11, что соответствовало бы гидролизу основного карбоната меди до гидроксида меди).

Окончательно имеем следующую цепочку превращений:



4. Составим уравнения химических реакций с учетом веществ из второго столбца схемы:





5. Химик N покупал реактивы в магазине А, поскольку там есть все требуемые для осуществления химических превращений вещества, а отсутствуют только соединения, фигурирующие в уравнениях реакций как продукты. В магазине Б отсутствует исходное вещество ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) и KI, а в магазине В – KI и NH_3 , что сделало бы выполнение синтеза невозможным.

6. По условию масса CuI составила 1,0 кг. Тогда теоретическая масса

$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ составит: $m = \frac{m(\text{CuI})}{2M(\text{CuI})} \cdot M(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 0,58$ кг. Если выход каждой стадии равен 91 % (или 0,91), то выход конечного продукта после 6-ти стадий составлял $0,91^6 = 0,57$. Значит, практическая масса сырья должны была составлять $0,58 \text{ кг} / 0,57 = 1,0$ кг.

Найти количество стадий и решить таким образом задачу, минуя составление уравнений химических реакций, можно было бы и по-другому. Для этого подсчитаем общее число формул – их 25. Как правило, в химических реакциях фигурируют два реагента и два продукта, то есть 4 вещества. Разделим 25 на 4 – получим величину близкую к 6. Значит, в цепочке 6 стадий.

Система оценивания:

	Элементы решения	Оценка
1.	Установление элемента X	2 балла
2.	Установление исходного и конечного вещества – по 1 баллу	2 балла
3.	Восстановление цепочки – по 1 баллу за стадию	6 баллов
4.	Уравнения реакций – по 1 баллу (за неверно уравненные – по 0,5 балла)	6 баллов
5.	Обоснованный выбор магазина (если нет обоснования – 1 балл)	2 балла

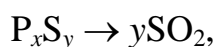
6.	Расчет массы сырья	2 балла
		ИТОГО: 20 баллов

Задача 9-5 (Сапарбаев Э. С.)

1. Обозначим формулу **A** P_xS_y . При его горении в избытке кислорода образуются $P_4O_{10}(тв)$ и $SO_2(г)$.

$$n(SO_2) = PV / RT = 98.6 \cdot 0.01567 / (8.314 \cdot 273) = 6.81 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Вся сера, которая содержалась в P_xS_y , перешла в SO_2 :



$$n(P_xS_y) = 6.81 \cdot 10^{-4} / y,$$

$$M(P_xS_y) = m / n = 50.0 \cdot 10^{-3} / (6.81 \cdot 10^{-4} / y) = 73.4y.$$

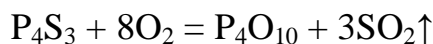
$$31x + 32y = 73.4y$$

$$x = 1.335y$$

$$x = 4, y = 3.$$

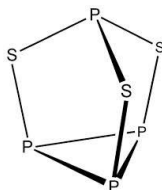
Простейшая формула вещества **A** – P_4S_3 . Из условия о молярной массе следует, что простейшая формула совпадает с молекулярной.

Уравнение реакции горения:



(принимается также уравнение с P_2O_5).

Структурная формула **A**:



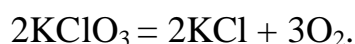
2. Пусть молекула (формульная единица) **B** содержит n атомов кислорода, тогда масса кислорода в одном моле соединения равна $16n$ г, а общая масса двух других элементов равна $16n \cdot 0.6082 / 0.3918 = 24.84n$ г/моль. Варьируя число атомов кислорода, составим таблицу:

*ВсОШ по химии, Региональный этап
2016–2017 учебный год
Решения задач теоретического тура*

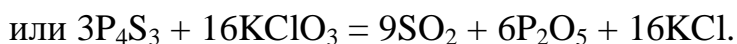
<i>n</i>	24.84<i>n</i>	Возможный двухэлементный фрагмент
1	24.84	–
2	49.68	NaAl, KB, N ₂ B ₂ – не подходят
3	74.52	KCl – подходит

Значит, вещество **В** – KClO₃.

Реакция термического разложения **В**:



Реакция **А** с **В**:



Найдём соотношение масс **А** и **В**:

$$n(\text{P}_4\text{S}_3) : n(\text{KClO}_3) = 3 : 16,$$

$$M(\text{P}_4\text{S}_3) = 220 \text{ г/моль}, M(\text{KClO}_3) = 122.5 \text{ г/моль},$$

$$m(\text{P}_4\text{S}_3) : m(\text{KClO}_3) = (220 \cdot 3) : (122.5 \cdot 16) = 660 : 1960 = 1 : 2.97 \approx 1 : 3.$$

$$m(\text{P}_4\text{S}_3) = 0.1 \cdot (1/4) = 0.025 \text{ г}, m(\text{KClO}_3) = 0.1 \cdot (3/4) = 0.075 \text{ г}.$$

3. Запишем уравнения реакций горения пропана и бутана:



Рассчитаем теплоты реакций:

$$Q_1 = -Q_{\text{обр}}(\text{C}_3\text{H}_{8(\text{г})}) - 5Q_{\text{обр}}(\text{O}_{2(\text{г})}) + 3Q_{\text{обр}}(\text{CO}_{2(\text{г})}) + 4Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) =$$

$$= -104 + 3 \cdot 393.5 + 4 \cdot 242 = 2044.5 \text{ кДж/моль},$$

$$Q_2 = -Q_{\text{обр}}(\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г})}) - 6.5Q_{\text{обр}}(\text{O}_{2(\text{г})}) + 4Q_{\text{обр}}(\text{CO}_{2(\text{г})}) + 5Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) =$$

$$= -126 + 4 \cdot 393.5 + 5 \cdot 242 = 2658 \text{ кДж/моль}.$$

Рассчитаем теплоту сгорания 1 г газовой смеси. Мольные доли газов в смеси: $\chi(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.7$, $\chi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0.3$. Обозначим *n* – число молей смеси.

$$44 \cdot 0.7n + 58 \cdot 0.3n = 1 \text{ г}.$$

$$n = 0.0207 \text{ моль}.$$

Теплота сгорания смеси равна сумме теплот обеих реакций:

*ВсОШ по химии, Региональный этап
2016–2017 учебный год
Решения задач теоретического тура*

$$Q = 0.0207 \cdot (0.7 \cdot 2044.5 + 0.3 \cdot 2658) = 46.2 \text{ кДж.}$$

Эта теплота больше теплоты сгорания спичечных головок в $46.2/4.4 = 10.5$ раз.

Ответ.

1. **A** – P_4S_3 .
2. **B** – KClO_3 . 0.025 г P_4S_3 , 0.075 г KClO_3 .
3. В 10.5 раз.

Система оценивания:

	Элементы решения	Оценка
1	Определение формулы вещества A со всеми приведёнными расчётами – 4 баллов (указание на SO_2 – 1 балл, расчёт количества SO_2 – 1 балл) Уравнение реакции горения A – 1 балл Структурная формула A – 2 балла	7 баллов
2	Определение формулы вещества B с расчётами – 3 балла Уравнение реакции разложения B – 1 балл Уравнение реакции A с B – 2 балла Расчёт масс A и B – 1 балл	7 баллов
3	Уравнения реакций сгорания (по 0.5 балла) – 1 балл Расчёт теплот реакций (по 1 баллу) – 2 балла Расчёт количества газов в смеси – 1 балл Расчёт отношения теплот – 2 балла	6 баллов
ИТОГО: 20 баллов		