

Девятый класс

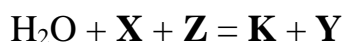
Решение задачи 9-1

1) Внимательно рассмотрим 4 данных уравнения. Нам известно, что вещество **К** – продукт, который должен оказаться справа, **Х** – реагент, который должен оказаться слева, **У** – катализатор, который не должен остаться в конечной схеме. Также видно, что вещество **О** встречается в схеме только один раз – значит, это тоже реагент. Соединения **Z**, **G** и **L** – по-видимому, промежуточные вещества, которые тоже должны сократиться в конечной схеме.

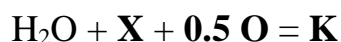
Обратимся к реакции **IV**, в которой соединение **Х** находится слева. Скомбинируем её с реакцией **III**, чтобы исключить промежуточное вещество **L**. Получим:



Используем реакцию **II**, чтобы исключить промежуточное соединение **G**. Получим:



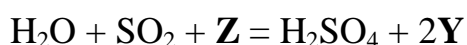
Реакция **I** позволит исключить вещества **Z** и **Y**. Итоговая реакция синтеза **К** имеет следующий вид:



2) Попробуем определить соединение **К**. Видно, что в его синтезе используется вода, следовательно, оно содержит кислород и водород. С учётом того, что это крупнотоннажный неорганический продукт химической промышленности, получаемый из газа, понимаем, что это кислота. Среди вариантов H_2SO_4 , HNO_3 и H_3PO_4 последняя не подходит сразу, поскольку она не образуется из газа. На 1 молекулу воды образуется 1 молекула **К**, что позволяет исключить и азотную кислоту. Итак, **К** – H_2SO_4 .

Серную кислоту получают из диоксида серы. Тогда **Х** – SO_2 , **О** – O_2 .

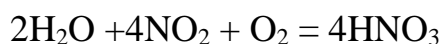
Рассмотрим имеющиеся уравнения реакций с учётом полученных ранее данных:





Из этих двух реакций видно, что **Y** и **Z** отличаются на 1 атом кислорода, причём **Y** легко окисляется. Кроме того, при пропускании этих веществ через раствор серной кислоты образуется ионное соединение **G**. Анион в этом соединении – очевидно, сульфат или гидросульфат. Следовательно, газ **Y** способен образовывать катионы. В тексте задачи также может быть найдена информация о **P**, похожем по свойствам на H_2SO_4 и обусловленном наличием **Y** в каталитической схеме. Всё это указывает на то, что **Y** – NO , **Z** – NO_2 . Тогда **G** – $NOHSO_4$ ($NO^+ HSO_4^-$), **L** – HNO_2 .

3) **P** – азотная кислота HNO_3 . Она образуется при пропускании смеси кислорода и диоксида азота через воду:



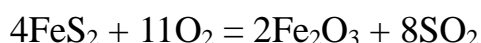
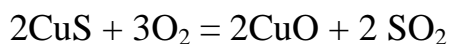
4) Данный метод получения серной кислоты называется *нитрозным* или *башенным*.

5) В приведённой схеме образуется только 1 моль **K**, поскольку **K**, образующийся в реакции **III**, затрачивается в реакции **II**. Соединение **X** (SO_2) используется только на последней стадии, поэтому на 1 моль **K** необходимо, с учётом выхода, $1/0.74 = 1.35$ моль **X**. Соединение **O** (O_2) проходит через все 4 стадии, а по схеме на 1 моль **K** необходимо 0.5 моль O_2 . Тогда, с учётом выхода, необходимое количество **O** равно $0.5/(0.74 \cdot 0.87 \cdot 0.88 \cdot 0.48) = 1.84$ моль.

В 1 тонне чистого **K** содержится 10 204 моль. На получение этого количества понадобится $10204 \cdot 1.35 \cdot 64 / 1\ 000\ 000 = \underline{0.882\ \text{т}}\ \mathbf{X}$ (SO_2) и $10\ 204 \cdot 1.84 \cdot 32 / 1\ 000\ 000 = \underline{0.601\ \text{т}}\ \mathbf{O}$ (O_2).

Катализатор в ходе реакции не расходуется, поэтому его количество считать не следует.

б) SO_2 преимущественно получают при обжиге сульфидных минералов, главным образом, пирита или сульфидов меди:



Система оценивания:

1	Суммарное уравнение получения К	3 балла
2	Неизвестные соединения X, Y, Z, K, O, G, L , по 1 баллу	7 баллов
3	Соединение P – 1 балл уравнение реакции – 2 балла	3 балла
4	Название метода	1 балл
5	Расчёт массы X – 2 балла, расчёт массы O – 3 балла; <i>за расчёты количества вещества – 1 и 2 балла соответственно</i>	5 баллов
6	Уравнение реакции обжига сульфидного минерала	1 балл
		ИТОГО: 20 баллов

Решение задачи 9-2

1. Определим неизвестный элемент **X**. Условия задачи предусматривают, как минимум, два варианта решения, основанные на количественной информации.

После завершения реакции **X** с хлоридом аммония в сосуде образовалась смесь газов со средней молярной массой:

$$M_{\text{ср}} = D_{\text{Ar}} M_{\text{Ar}} = 0,0877 * 39,948 = 3,50 \text{ г/моль}$$

Из столь малого значения средней молярной массы следует, что в ходе реакции выделяется водород. Определим мольные доли газов в образовавшейся смеси:

$$M_{\text{ср}} = M_{\text{Ar}} * \chi + M_{\text{H}_2} * (1 - \chi) = 39,948 * \chi + 2,016 - 2,016\chi = 3,50,$$

где χ – мольная доля аргона в смеси, тогда:

$$\chi(\text{Ar}) = 0,04; \chi(\text{H}_2) = 0,96$$

Найдём количество аргона, помещенное в сосуд до начала реакции и оставшееся постоянным:

$$PV = \nu RT \Rightarrow \nu(\text{Ar}) = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 * 30 * 10^{-6}}{8,314 * 273,15} = 1,321 * 10^{-3} \text{ моль}$$

Общее количество вещества газов после завершения реакции:

$$\nu_{\text{общ}} = \frac{\nu(\text{Ar})}{\chi(\text{Ar})} = \frac{1,321 * 10^{-3}}{0,04} = 0,033 \text{ моль}$$

Количество образовавшегося водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = \nu_{\text{общ}} - \nu(\text{Ar}) = 0,033 - 1,321 * 10^{-3} = 0,032 \text{ моль}$$

Пусть из n моль X (молярная масса M_X г/моль) образуется m моль H_2 ,

тогда:

$$\frac{0,591}{M_X} = \frac{n}{m} * 0,032 \Rightarrow M_X = 18,47 \frac{m}{n}$$

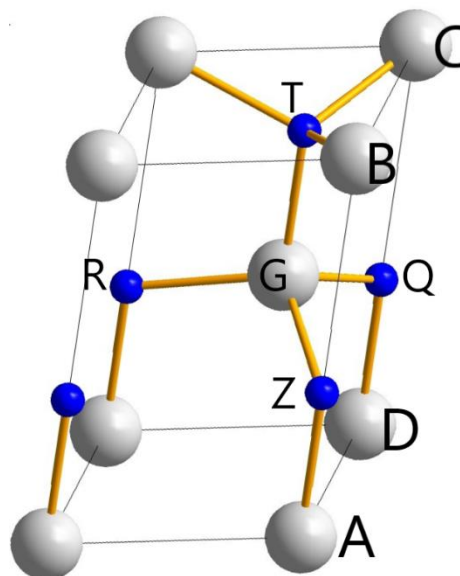
n \ m	1	2	3	4	5
1	18,47	36,94	55,41	73,88	92,35
2	~Be	18,47	~Al	36,94	46,18
3	6,15	~C	18,47	~Mg	~P
4	4,62	~Be	~N	18,47	~Na
5	~Be	~Li	~B	14,78	18,47

Сопоставив полученные результаты с химией X , описанной в задаче, делаем вывод, что $X - \text{Al}$.

Исходя из условия задачи вещество B образуется при взаимодействии элемента X с аммиаком, а значит, в его состав наряду с элементом X должен входить азот. Используя параметры ячейки приведённые в условии задачи элемент X можно определить следующим образом.

Рассмотрим изображённую структуру. Для удобства обозначим некоторые атомы латинскими буквами.

В основании элементарной ячейки лежит ромб, причём т.к. угол $\gamma = 120^\circ$, другой угол равен 60° , а значит треугольник RZQ является правильным, и $TRQZ$ – правильный тетраэдр, причём $ZQ = b = 3,021 \text{ \AA}$. Разумно предположить, что длины всех связей между атомами одинаковые, а значит G является центром описанной вокруг тетраэдра сферы. Согласно приведенной формуле радиус GT сферы, описанной около тетраэдра $TRQZ$ равен: $GT = \frac{ZQ * \sqrt{6}}{4} = \frac{3,021 * \sqrt{6}}{4} = 1,85 \text{ \AA}$, что соответствует сумме ионных радиусов атомов, соединенных на рисунке



отрезком GT. Одним из этих атомов по условиям получения является азот с координационным числом 4, табличное значение ионного радиуса для N^{3-} с к.ч. 4 равен 0,39 Å. Тогда ионный радиус атома X: $1,85 - 0,39 = 1,46\text{Å}$. Из соотношения атомов в ячейке 1 : 1 можно сделать вывод, что нужно искать трёхзарядный катион с к.ч. = 4. Всем этим условиям соответствует ион Al^{3+} .

Кроме того, из описания метода получения B следует, что элемент X образует амфотерный гидроксид D, из состава продукта взаимодействия X с аммиаком ясно, что элемент X образует нитрид состава XN, т.е. образует трёхзарядные катионы. Упоминание в начале задачи о распространённости элемента почти не оставляет других вариантов кроме X – это Al. Что, однако, необходимо подтвердить одним из расчётных способов.

Таким образом, X – Al, A – H_2 , B – Al_2O_3 , B – AlN.

Рассмотрим описанный в задаче синтез нанотрубок оксида алюминия*.

При добавлении щёлочи к раствору соли алюминия выпадает гидроксид D – $Al(OH)_3$. В избытке щёлочи он растворяется, а при нагревании из щелочного раствора кристаллизуется E, причём, при его разложении образуется оксид алюминия, а значит E не содержит катионов натрия. E не может быть гидроксидом, т.к. гидроксид обозначен буквой D, значит E – оксогидроксид $AlOOH$.

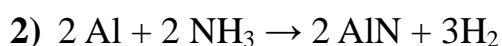
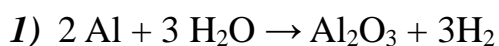
Рассчитаем молярную массу Г в расчёте на 1 атом алюминия:

$$M(\Gamma) = \frac{m_{\Gamma} \cdot \eta}{2 \cdot \nu(Al_2O_3)} = \frac{0,991 \cdot 0,86}{2 \cdot \left(\frac{0,180}{101,961}\right)} = 241,38 \frac{\text{г}}{\text{моль}},$$

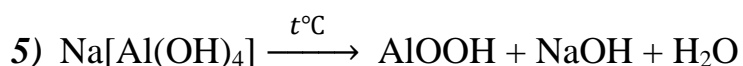
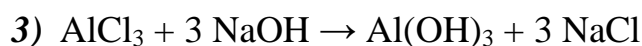
что соответствует гидрату хлорида алюминия. Г – $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

Таким образом, Г – $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, D – $Al(OH)_3$, E – $AlOOH$.

2. Уравнения реакций:



* Kuang, Dai-Bin, Yueping Fang, Hanqin Liu, Christoph Frommen and Dieter Fenske, "Fabrication of boehmite $AlOOH$ and $\gamma-Al_2O_3$ nanotubes via a soft solution route" // *Journal of Materials Chemistry*, 2003, V. 13, P. 660-662, DOI:[10.1039/B212885C](https://doi.org/10.1039/B212885C)

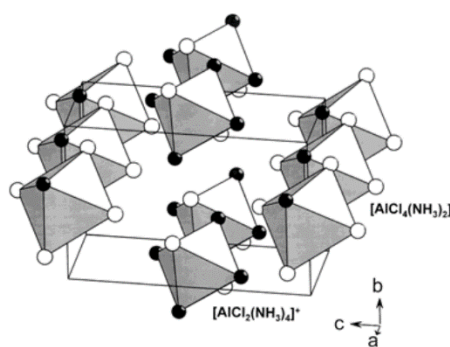


3. Найдём молярную массу **Ж** исходя из данных о плотности вещества (ρ), объёме элементарной ячейки ($V_{\text{Я}}$) и числе формульных единиц (Z):

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{Z \cdot M}{N_A \cdot V_{\text{Я}}} \Rightarrow M = \frac{\rho \cdot V_{\text{Я}} \cdot N_A}{Z} =$$

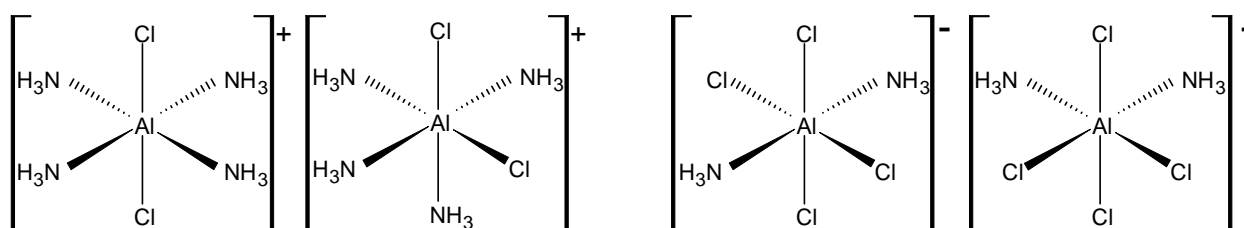
$$= \frac{3.434 \cdot 356.96 \cdot 10^{-24} (\text{см}^3) \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{2} = 368.97 \text{ г/моль}$$

В состав соединения могут входить Al, N, Cl, H, причём алюминий входит как в состав катиона, так и в состав аниона, его к.ч. рано шести в обоих случаях, катион и анион однозарядные, т.е. состав катиона $[\text{AlCl}_2 \dots]^+$, а состав аниона $[\text{AlCl}_4 \dots]^-$. Исходя из этого в



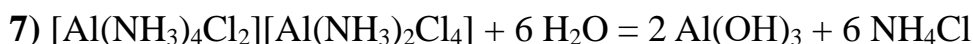
состав **Ж** должно входить ещё 6 нейтральных частиц: **Ж** – $[\text{Al(NH}_3)_4\text{Cl}_2][\text{Al(NH}_3)_2\text{Cl}_4]^*$, что согласуется с вычисленной молярной массой. Данное соединение чувствительно к влаге воздуха и при взаимодействии с водой гидролизуется с образованием гидроксида алюминия и аммиака.

Для катиона и аниона возможно по два изомера *цис*- и *транс*-:



*Stephan Bremm, Gerd Meyer, «Metallampullen als Mini-Autoklaven: Synthese und Kristallstrukturen der Ammoniakate $[\text{Al(NH}_3)_4\text{Cl}_2][\text{Al(NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ und $(\text{NH}_4)_2[\text{Al(NH}_3)_4\text{Cl}_2][\text{Al(NH}_3)_2\text{Cl}_4]\text{Cl}_2$ » // Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 2001, 627(3):407-410

4. Уравнения реакций:



5. В п.1 решения данной задачи приведён расчёт общего количества вещества газов в реакционном сосуде после завершения реакции.

$$\nu_{\text{общ}} = 0,033 \text{ моль}$$

Давление в сосуде рассчитываем по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$P = \frac{\nu_{\text{общ}} * R * T}{V} = \frac{0,033 * 8.314 * 298.15}{30 * 10^{-6}} = 2726701 \text{ Па} \approx 27 \text{ атм}$$

6. Для вычисления плотности необходимо найти объём ячейки и её массу:

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 \cdot c = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3.021^2 \cdot 5.082 = 40.167 \text{ \AA}^3 = 40.167 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3$$

$$m = \frac{M}{N_A} Z = \frac{40.989}{6.02 \cdot 10^{23}} \cdot 2 = 13.62 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{13.62 \cdot 10^{-23}}{40.167 \cdot 10^{-24}} = 3.391 \text{ г/см}^3$$

Система оценивания:

1	Металл X – 1 балл Расчёт (любой вариант подтверждения X) – 2 балла Вещества A – E по 0,5 балла – 3 балла Расчёт молярной массы Г – 1 балл	7 баллов
2	Уравнения реакций 1 – 5 по 1 баллу	5 баллов
3	Расчёт молярной массы Ж – 1 балл Состав Ж – 1 балл Изомеры – 2 балла	4 балла
4	Реакции 6 и 7 по 1 баллу	2 балла
5	Расчёт давления в сосуде	1 балл
6	Плотность B	1 балл
ИТОГО:20 баллов		

Решение задачи 9-3

1. Судя по описанию последней части анализа, анионы, образующие соли **X**₁ – **X**₃, можно превратить в осаждаемый с помощью катионов **Ba**²⁺ анион. К таким относятся: **SO**₃²⁻, **SO**₄²⁻, **CO**₃²⁻, **SiO**₃²⁻ и **PO**₄³⁻. Обратим

внимание, что раствор смеси «Охоне» в воде имеет кислую среду – таким образом, в состав смеси **точно** не могут входить карбонаты, сульфиты и силикаты: в первых двух случаях неминуемо происходит выделение газов из раствора, а в третьем – выпадение осадка. Таким образом, скорее всего, речь в задаче идёт о солях фосфорсодержащих или серосодержащих кислот.

По методу определения содержания соли X_1 в смеси можно догадаться, что она представляет собой окислитель, так как способна окислять иодид-ионы, содержание которых затем определяется иодометрическим титрованием.

Так как средние соли серной и фосфорной кислот не могут давать раствор с $pH = 2.3$, можно понять, что солью X_2 , которую анализируют, используя кислотно-основное титрование, является либо гидросульфат, либо один из гидрофосфатов.

Наконец, в фиолетовый цвет пламя окрашивают соли калия. Таким образом, смесь образуют элементы К, Н, О и (S или P). Осталось определиться с последним элементом. Можно воспользоваться тем фактом, что фосфорная кислота является слабой по 2-й и 3-й ступеням и даже чистый 1%-й (по массе) раствор дигидрофосфата калия не способен дать такой низкий pH ($K_{a2} = 1 \cdot 10^{-7}$). *Данный аргумент является довольно специфическим, но далее будет показано, что вариант с фосфором действительно не соответствует многим условиям задачи.*

Тогда однозначно **речь идёт о соединениях, состоящих из элементов К, Н, О и S** – гидросульфат-ион является кислотой средней силы ($K_{a2} = 10^{-2}$) и способен создать такую кислотность в растворе. Тогда X_2 – **гидросульфат калия $KHSO_4$** .

По высокой устойчивости соли X_3 и нейтральной среде её водного раствора можно заключить, что X_3 – **сульфат калия K_2SO_4** .

Рассчитаем общее количество серы в навеске «Охоне». В порции раствора 50мл через массу осаждённого сульфата бария:

$$v(S) = \frac{m(\text{BaSO}_4)}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{0.304 \text{ г}}{233.39 \text{ г/моль}} = 1.303 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

А в исходной навеске содержится

$$v(S) = \frac{225}{50} \cdot 1.303 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 5.863 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Теперь можно рассчитать количество отдельных компонентов.

Массовое содержание KHSO_4 рассчитать проще всего по закону эквивалентов, при этом необходимо помнить о том, что объём титранта дан на одну аликвоту, а не на весь объём:

$$c(\text{KHSO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V_{\text{аликвоты}}} = \frac{0.0100 \text{ М} \cdot 13.0 \text{ мл}}{20.0 \text{ мл}} = 6.50 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

В навеске 0.901 г «Охоне» содержится $6.50 \cdot 10^{-3} \cdot 0.225 = 1.463 \cdot 10^{-3}$ моль KHSO_4 .

$$m(\text{KHSO}_4) = 1.463 \cdot 10^{-3} \cdot 136.17 = 0.199 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KHSO}_4) = \frac{m(\text{KHSO}_4)}{m_{\text{образца}}} = \frac{0.199}{0.901 \text{ г}} \cdot 100\% = \mathbf{22.1\%}.$$

Соединения серы(VI) не обладают ярко выраженными окислительными свойствами (за исключением концентрированной серной кислоты); с учётом этого, можно предположить, что соль \mathbf{X}_1 обладает окислительными свойствами за счёт наличия пероксидной группы в структуре аниона. Такая гипотеза поддерживается тем, что при нагревании происходит выделение газа без цвета и запаха, что можно объяснить диспропорционированием кислорода в степени окисления -1 . Таких солей можно подобрать несколько: KHSO_5 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, KHS_2O_8 . Однако сразу же можно отмести последний вариант – водный раствор соли KHS_2O_8 должен иметь кислую среду, а не нейтральную. Из оставшихся двух солей по условию об одинаковом с \mathbf{X}_2 качественном составе подходит только KHSO_5 , отсюда можно заключить, что \mathbf{X}_1 – **монопероксосульфат калия KHSO_5** . Среда в его водном растворе практически нейтральная (см. п. 2).

Теперь можно установить содержание KHSO_5 в смеси. Сначала KHSO_5 окисляет иодид-ионы в триодид-ионы, количество которых затем

определяется иодометрическим титрованием:



Тогда можно рассчитать количество KHSO_5 как половину количества тиосульфата, затраченного на титрование:

$$c(\text{KHSO}_5) = \frac{c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{2 \cdot V_{\text{аликвоты}}} = \frac{0.0500 \text{ М} \cdot 10.4 \text{ мл}}{2 \cdot 20.0 \text{ мл}} = 0.013 \text{ М}$$

В навеске 0.901 г «Охоне» содержится $0.013 \cdot 0.225 = 2.925 \cdot 10^{-3}$ моль KHSO_5 .

$$m(\text{KHSO}_5) = 2.925 \cdot 10^{-3} \cdot 152.17 = 0.445 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{KHSO}_5) = \frac{m(\text{KHSO}_5)}{m_{\text{образца}}} = \frac{0.445 \text{ г}}{0.901 \text{ г}} \cdot 100\% = \mathbf{49.4\%}.$$

Тогда массовая доля сульфата калия равна: $100\% - 49.4\% - 22.1\% = \mathbf{28.5\%}$. В навеске 0.901 г «Охоне» содержится $\frac{0.285 \cdot 0.901}{174.26} = 1.474 \cdot 10^{-3}$ моль K_2SO_4 .

Таким образом, в навеске 0.901 г «Охоне» содержится

$$\nu(\text{S}) = 1.474 \cdot 10^{-3} + 2.925 \cdot 10^{-3} + 1.463 \cdot 10^{-3} = 5.862 \cdot 10^{-3} \text{ моль серы}.$$

Что согласуется с вычисленным ранее значением на основании массы сульфата бария.

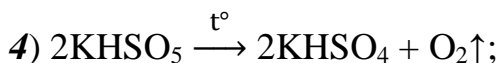
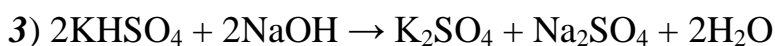
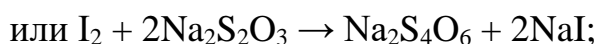
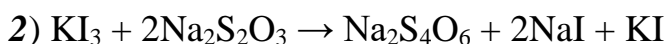
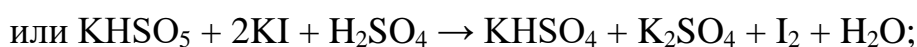
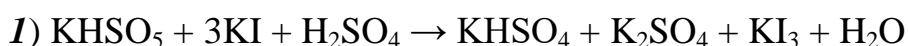
Состав чистой смеси «Охоне» также выражают как тройную соль: **$2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$** .

Примечание: данный расчёт является одним из вариантов решения; альтернативные расчёты, приводящие к верным результатам, оцениваются полным баллом.

Стоит отметить, что аналогичные результаты расчёта дадут соли KN_2PO_5 (**X₁**) (соль реально существующей пероксофосфорной кислоты), KN_2PO_4 (**X₂**) и K_2HPO_4 (**X₃**), в предположении, что весовой формой фосфора является гидрофосфат бария BaHPO_4 (который не столь термически устойчив, как сульфат, вследствие отщепления воды при нагревании уже при 400 °С). Однако при этом раствор KN_2PO_5 будет изначально иметь слабокислую среду,

а раствор K_2HPO_4 – щелочную среду, что не соответствует условиям. Также K_2HPO_4 при нагревании отщепляет воду и превращается в пиррофосфат, в то время как X_3 по условию плавится без разложения при достаточно высокой температуре. Следует также отметить, что осадок соли бария промывали соляной кислотой, что должно было бы привести к растворению фосфатов. Четыре указанных пункта **не позволяют** рассматривать соли фосфорных кислот как альтернативное решение задачи.

Уравнения реакций, использованных при анализе:



5) $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4 \downarrow$ (засчитываются уравнения реакций, соответствующих данной сокращённой ионной форме).

2. Структурные формулы кислот и их сила по каждой ступени приведены ниже.

Кислота	Серная кислота (соли X_2 и X_3)	Кислота Каро (соль X_1)
Структурная формула		
Сила кислот	по 1-й ступени <u>сильная</u> по 2-й ступени <u>средней силы</u>	по 1-й ступени <u>сильная</u> (примерно как H_2SO_4 по 1-й ступени) по 2-й ступени <u>слабая</u> (примерно как H_2O_2 по 1-й ступени)

3. При нагревании **раствора 1** разлагается только $KHSO_5$, причём согласно уравнению 4 при разложении 2 моль вещества выделяется 1 моль кислорода.

$$v(O_2) = \frac{v(KHSO_5)}{2} = \frac{c(KHSO_5) \cdot V(KHSO_5)}{2} = \frac{0.013 \text{ М} \cdot 0.05 \text{ л}}{2} = 3.25 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$V(O_2) = v(O_2) \cdot 22.4 \text{ л} = 7.28 \text{ мл}$$

Источник информации: DuPont™ Oxone® Monopersulfate Compound, General Technical Attributes (URL-ссылка: <http://www.waterguardinc.com/files/90708730.pdf>).

Система оценивания:

1.	Вывод о каждом из элементов – по 1 балл	4 балла
	<i>Достаточно наличия элементов в составе предлагаемых соединений для оценивания полным баллом за каждый из элементов</i>	
	Определение состава солей X ₁ – X ₃ – по 1 баллу	3 балла
	Установление массовых долей компонентов – по 1 баллу	3 балла
	<i>Если сделан расчёт для неверно установленных соединений – 0 баллов; Ответы без расчёта – 0 баллов</i>	
1.	Уравнения пяти реакций – по 1 баллу	5 баллов
	<i>Реакции с верными сокращёнными ионными формами, но неверными полными – по 1 баллу; реакции с неверно установленными соединениями – 0 баллов</i>	
2.	Структурные формулы кислот – по 1 баллу	2 балла
	Сила кислот по каждой ступени – по 0.5 балла	2 балла
	<i>Если верно сделано для неверно установленных кислот – по 0.25 балла</i>	
3.	Объём кислорода	1 балл
ИТОГО:		20 баллов

Решение задачи 9-4

1. Анализируя таблицу, можно заметить, что в результате опытов 2, 3, 5 и 7 получился белый продукт. Можно предположить, что в 7 опыте происходит присоединение кислорода, т.к. при 700°C SO₃ разлагается. Таким образом, масса навески в 5 опыте увеличится на 36.4%

2. Летучее вещество Y, образующееся при обработке X хлором вероятно ковалентный галогенид, который при реакции с SO₃ превратится в вещество, состоящее из кислорода, хлора и неизвестного элемента Э. Запишем формулу вещества как Эⁿ_xOCl_y, где n > 2. Тогда можно составить два уравнения, первое исходя из валентности, а второе – из массовой доли кислорода:

$$\begin{cases} n \cdot x = 2 + y \\ M_{\text{Э}} \cdot x + 35.5 \cdot y = 269 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = n \cdot x - 2 \\ M_{\text{Э}} \cdot x + 35.5 \cdot y = 269 \end{cases}$$

$$M_{\text{Э}} = (340 - 35.5 \cdot n \cdot x) / x = 340/x - 35.5 \cdot n$$

Перебором x и n можно найти состав соединения как $\text{Э}^n\text{OCl}_y$ и элемент Э:

$x \backslash n$	1	2	3
2	269.0	99.0	42.3
3	233.5	63.5	6.8
4	198.0	28.0 (Si)	-28.7
5	162.5	-7.5	-64.2
6	127.0 (Te)	-43.0	-99.7

При взаимодействии с парами воды и SO_3 масса меняется на одну и ту же величину, что может быть связано с присоединением кислорода. При взаимодействии с кислородом возможно изменение степени окисления на Δn или больше, что соответствует изменению молярной массы на $\sim \Delta n \cdot 8 \text{ г/моль}$. Тогда $\frac{\Delta n \cdot 8}{M_{\text{X}}} = 0,364$, следовательно $\Delta n \cdot 22 = M_{\text{X}}$. Это позволяет проверить варианты, полученные в предыдущем расчёте. При $\Delta n = 2$ $\text{X} = \text{SiO}$, $\text{Y} = \text{SiCl}_4$, $\text{Z} = \text{Si}_2\text{OCl}_6$

3. Степень окисления +2 для кремния нестабильна и при нагревании монооксид диспропорционирует при нагревании:



При взаимодействии хлора с монооксидом кремния должно происходить окисление. Вычислим потерю массы в г/моль: $44 \cdot 0,318 = 14 = \frac{1}{2} M(\text{Si})$, что соответствует образованию SiO_2 и удалению кремния в виде SiCl_4 .

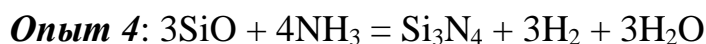


При взаимодействии с парами воды, кислородом и SO_3 образуется диоксид кремния, а второй реагент при этом восстанавливается:



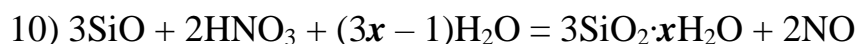
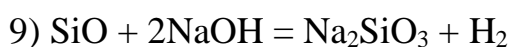
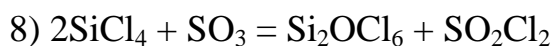
При взаимодействии с аммиаком происходит небольшое изменение

молярной массы $M = 44 \cdot 1,061 \cdot n = 46,684 \cdot n$, где n – число атомов кремния на формульную единицу. Для $n = 3$ $M = 140$ г/моль, что соответствует Si_3N_4 :



При нагревании SiO в атмосфере водорода не происходит восстановление (это привело бы к потере массы), диспропорционирование также не наблюдается, т.к. это должно было бы привести к изменению цвета. Таким образом в **Опыте 6** никаких реакций не протекает.

4. Уравнения реакций:



Система оценивания:

1	Обоснованный ответ об изменении массы навески в 5 опыте	2 балла
2	Вещества X, Y, Z по 2 балла	6 баллов
3	Реакции в опытах 1-5 и 7 по 1 баллу	6 баллов
4	Реакции 8 – 10 по 2 балла	6 баллов
ИТОГО: 20 баллов		

Решение задачи 9-5

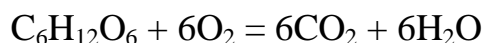
1). Количество теплоты, выделяемой в сутки:

$$\Delta H = 2100 \cdot 4.184 = 8786.4 \text{ кДж} = 8786400 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, выделяемой в секунду:

$$P = 8786400 / 24 / 60 / 60 \approx 102 \text{ Дж/с} = 102 \text{ Вт}$$

2). Уравнение реакции окисления глюкозы:



$$\Delta_r H = 6 \cdot \Delta_f H (\text{CO}_2) + 6 \cdot \Delta_f H (\text{H}_2\text{O}) - \Delta_f H (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -2820 \text{ кДж/моль}$$

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \Delta H / -\Delta_r H = 8786.4 \text{ кДж} / 2820 \text{ кДж/моль} = 3.12 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.12 \text{ моль} \cdot 180 \text{ г/моль} = 562 \text{ г}$$

3). Количество кислорода, необходимое в сутки:

$$n(\text{O}_2) = 6 \cdot n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \cdot 3.12 = 18.7 \text{ моль}$$

4). Количество кислорода, расходуемое в минуту:

$$n(\text{O}_2 \text{ в минуту}) = 18.7 / 24 / 60 = 0.0130 \text{ моль}$$

Количество кислорода, получаемое с каждым вдохом:

$$n(\text{O}_2 \text{ с вдохом}) = \frac{pV}{RT} \cdot 0.21 \cdot 0.25 = \frac{101.3 \cdot 0.5}{8.31 \cdot 298} \cdot 0.21 \cdot 0.25 = 0.00107 \text{ моль}$$

Число вдохов в минуту:

$$N(\text{вдохов}) = 0.0130 / 0.00107 = 12$$

5). Работа, совершаемая в минуту:

$$W = p \cdot \Delta V \cdot N(\text{вдохов}) = 101.3 \text{ кПа} \cdot 0.5 \text{ л} \cdot 12 = 608 \text{ Дж/мин}$$

6). Масса воды, теряемой за один вдох, равна: массе воды в выдыхаемом воздухе за вычетом массы воды во вдыхаемом воздухе, то есть

$$\begin{aligned} \Delta m = m_2 - m_1 &= \frac{p_2 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_2} - \frac{p_1 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_1} = \frac{p_{s_2} \cdot \varphi_2 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_2} - \frac{p_{s_1} \cdot \varphi_1 \cdot V \cdot M}{R \cdot T_1} = \\ &= \frac{6.28 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 18}{8.31 \cdot 310} - \frac{3.17 \cdot 0.4 \cdot 0.5 \cdot 18}{8.31 \cdot 298} = 0.0173 \text{ г} \end{aligned}$$

Масса воды, теряемой за один час:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \Delta m \cdot 12 \cdot 60 = 12.5 \text{ г}$$

Система оценивания:

1.	Общее количество теплоты – 1 балл Количество теплоты, выделяемой в секунду – 1 балл	2 балла
2.	Уравнение реакции – 1 балл Тепловой эффект реакции – 1 балл Количество глюкозы – 1 балл Масса глюкозы – 1 балл	4 балла
3.	Количество кислорода в сутки – 1 балл Правильный расчёт с неверным количеством глюкозы (из п. 2) – полный балл	1 балл
4.	Количество кислорода в минуту – 1 балл Количество кислорода с каждым вдохом – 3 балла Число вдохов в минуту – 1 балл Правильный расчёт с неверным количеством кислорода (из п. 3) – полный балл	5 баллов
5.	Работа, совершаемая за один вдох – 1 балл Работа, совершаемая в минуту – 1 балл Правильный расчёт с неверным числом вдохов (из п. 4) – полный балл	2 балла
6.	Масса воды, теряемой за один вдох – 5 баллов Масса воды, теряемой за один час – 1 балл Правильный расчёт с неверным числом вдохов (из п. 4) – полный балл	6 баллов
ИТОГО: 20 баллов		