

**Решение задачи 1:**

1. Вещество **А** даёт белый творожистый осадок с  $\text{AgNO}_3$ , что намекает на выпадение  $\text{AgCl}$ , следовательно, **А** содержит  $\text{Cl}^-$ . Раствор окрашивает пламя в жёлтый цвет, следовательно, **А** имеет в составе катион  $\text{Na}^+$ . Теперь несложно догадаться, что пищевая добавка **А** =  $\text{NaCl}$ .

Вещество **Б** 3% водный раствор, антисептик, отбеливатель, малоустойчиво, разлагается с выделением газа **В**, поддерживающего горение. По описанию отлично подходит: **Б** =  $\text{H}_2\text{O}_2$ , **В** =  $\text{O}_2$ .

Описание вещества **Г** намекает на йод: простое вещество, спиртовой раствор – антисептик. Проверим расчетом: единственный стабильный изотоп по условию содержит 74 нейтрона. Для йода: атомный номер 53, массовое число =  $53 + 74 = 127 \rightarrow {}^{127}\text{I}$ .

Йод плохо растворим в воде, но растворим в  $\text{KI}$  с образованием соли  $\text{KI}_3$ . В  $\text{KI}_3$  мольная доля  $\text{K} = 1/4 = 25\%$  (1 атом  $\text{K}$  на 3 атома  $\text{I}$ ). Таким образом: **Г** =  $\text{I}_2$ .

Вещество **Д** используется для чистки и как разрыхлитель, в реакции с  $\text{HCl}$  выделяет газ плотностью 1,964 г/л. Молярная масса газа:  $\rho \cdot V_m = 1,964 \cdot 22,4 \approx 44$  г/моль – это  $\text{CO}_2$ , поэтому веществом **Д** может быть карбонат или гидрокарбонат. Раствор **Д** окрашивает пламя в желтый цвет, значит, это натриевая соль. Карбонат натрия плавится без разложения и устойчив при температурах менее  $1000^\circ\text{C}$ . Таким образом, наиболее вероятен вариант с гидрокарбонатом. Проверим потерю массы:  $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

$(18+44)/168 = 62/168 \approx 0,369$ , что соответствует условию, а значит **Д** =  $\text{NaHCO}_3$ .

Вещество **Е** основной компонент природного газа, бесцветный газ. Разумным видится только вариант **Е** =  $\text{CH}_4$  (метан).

Вещество **Ж** добавляется к метану для запаха, содержит 51,6 масс. %  $\text{S}$ , а также  $\text{C}$  и  $\text{H}$  в соотношении 1:3 (по числу атомов).

Пусть формула  $\text{C}_x\text{H}_y\text{S}$ . Атомное соотношение  $\text{C}:\text{H} = 1:3 \Rightarrow y = 3x$ .

Молярная масса:  $12x + 3x + 32 = 15x + 32$ .

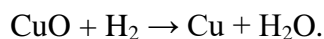
Массовая доля  $\text{S} = 32/(15x + 32) = 0,516 \Rightarrow 32 = 0,516 \cdot (15x + 32) \Rightarrow 32 = 7,74x + 16,512 \Rightarrow 15,488 = 7,74x \Rightarrow x \approx 2$ .

Тогда  $x = 2$ ,  $y = 6$ , формула  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$  – этилмеркаптан (допустимо  $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$  или  $((\text{CH}_3)_2\text{S})$ ). **Ж** =  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$ .

Водный раствор с резким запахом, используется для приведения в чувство – нашатырный спирт. В реакции с парами соляной кислоты образуются белые кристаллы хлорида аммония. **З** = NH<sub>3</sub>.

Рассчитаем молярную масса газа **И**. При 40°C (313 К) и 1,5 атм 56 г газа занимают 20 л.  $n = PV/(RT) = (1,5 \cdot 20)/(0,0821 \cdot 313) \approx 30 / 25,7 \approx 1,167$  моль.  $M = 56 / 1,167 \approx 48$  г/моль. Кроме того, газ **И** окисляет чёрный PbS до белого PbSO<sub>4</sub> с выделением O<sub>2</sub> (газ **В**). Подходящим вариантом является только озон (**И** = O<sub>3</sub>).

Вещество **К** – металл для изготовления кабелей и проводки, образует черный оксид. Это очень напоминает свойства меди. Проверим расчетом: на восстановление 1,0 г оксида тратится 0,282 л H<sub>2</sub> (н.у.)  $\Rightarrow n(\text{H}_2) = 0,282/22,4 \approx 0,01259$  моль.



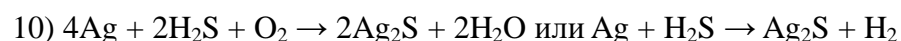
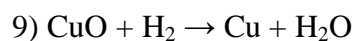
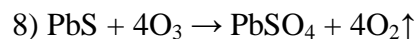
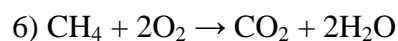
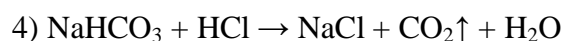
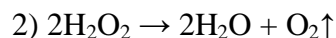
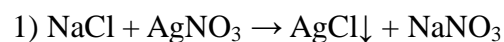
$n(\text{CuO}) = n(\text{H}_2) = 0,01259$  моль, масса CuO =  $0,01259 \cdot (63,5+16) \approx 0,01259 \cdot 79,5 \approx 1,00$  г – сходится с условием. **К** = Cu.

Далее определим металл **Л**. В 1 моль H<sub>2</sub>O – 3 моля атомов, значит, для расчета удобно взять 1/3 моль H<sub>2</sub>O. Масса этой воды =  $(1/3) \cdot 18 = 6$  г. Тогда масса **Л** =  $18 \cdot 6 = 108$  г  $\Rightarrow M(\text{Л}) = 108$  г/моль – это серебро (**Л** = Ag). По описанию серебро также отлично подходит, так как действительно используется для изготовления украшений и со временем темнеет на воздухе.

Таким образом:

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>Д</b>	<b>Е</b>	<b>Ж</b>	<b>З</b>	<b>И</b>	<b>К</b>	<b>Л</b>
NaCl	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> SH	NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	Cu	Ag

2. Уравнения реакций:



3.

Плотность смеси по водороду  $D = 18$  г/моль  $\Rightarrow$  средняя молярная масса  $M = 18 \cdot 2 = 36$  г/моль.

Пусть массовая доля  $O_2$  равна  $\omega$ , тогда  $O_3$   $1-\omega$ .

Средняя молярная масса через массовые доли:

$$\frac{1}{\frac{\omega}{32} + \frac{1-\omega}{48}} = 36$$

$$\frac{\omega}{32} + \frac{1-\omega}{48} = \frac{1}{36}$$

Приводим к общему знаменателю 96:

$$\frac{3\omega + 2(1-\omega)}{96} = \frac{1}{36} \Rightarrow \frac{\omega + 2}{96} = \frac{1}{36}$$

$$36(\omega + 2) = 96 \Rightarrow 36\omega + 72 = 96 \Rightarrow 36\omega = 24 \Rightarrow \omega = \frac{2}{3}$$

Итого:

$$\omega(O_2) = \frac{2}{3} \approx 66,7\%, \quad \omega(O_3) = \frac{1}{3} \approx 33,3\%$$

**Система оценивания:**

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Соединения А-Л по 2 балла. В случае отсутствия подтверждения расчетом или обоснования – 0 баллов	22
2.	По 2 балла за каждое верное уравнение реакции	20
3.	Верный ответ – 3 балла (при наличии расчета)	3
	<b>ИТОГО:</b>	<b>45 баллов</b>

**Решение задачи 2:**

1. Начнем решение с расчета молярной массы А. Воспользуемся формулой из условия, чтобы найти сколько атомов А приходится на 1 ячейку (т.е. найдем  $Z$  – число формульных единиц).

$$\sum N_{\text{атомов}} = \frac{N_{\text{атомоввершинах}}}{8} + \frac{N_{\text{атомовнаребрах}}}{4} + \frac{N_{\text{атомовнагранях}}}{2} + N_{\text{атомоввнутриэл.яч.}} = 8/8 + 0/4 + 0/2 + 1 = 2$$

Т.е.  $Z = 2$ . Воспользуемся формулой из условия для расчета молярной массы А:

$$M = \frac{19,28 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot (3,1589 \cdot 10^{-8})^3}{2} = 183,0 \text{ г/моль}$$

Полученное значение близко к атомной массе вольфрама, он также отлично подходит по описанию (тяжелый тугоплавкий металл, который используется в лампах накаливания). **A = W**.

Найдем молярную массу газа в лампе:  $M = 1,784 \cdot 22,4 = 39,96 \text{ г/моль}$ . **B = Ar**, что также отлично подходит по логике: аргон инертный газ и обеспечивает защиту вольфрама от окисления при высоких температурах накаливания лампы.

Анализ кристаллической решетки соединения **Ж** показывает, что маленьких шариков на одну ячейку приходится в 3 раза больше, чем больших, что позволяет найти формулу оксида **Ж = WO<sub>3</sub>**. Оксид вольфрама (VI) действительно имеет желтый цвет.

В реакции  $\text{WO}_3$  с металлическим натрием оксид вольфрама является окислителем, а натрий – восстановителем. Атмосфера водорода способствует восстановлению оксида вольфрама. Образуются так называемые «**вольфрамовые** бронзы».

**B** – нестехиометрическое соединение  $\text{Na}_x\text{WO}_3$ ,  $w(\text{Na}) = 2,89\%$ .

$$\frac{22,99x}{22,99x + 183,84 + 48} = 0,0289$$

$$22,99x = 0,0289(22,99x + 231,84) \Rightarrow 22,99x = 0,664x + 6,70$$

$$22,326x = 6,70 \Rightarrow x \approx 0,30$$

**B = Na<sub>0,3</sub>WO<sub>3</sub>**.

Из имеющихся в условии данных можно легко рассчитать число электронов на формульную единицу соединения **Г**:

$$\frac{7,588 \cdot 10^{25}}{6,022 \cdot 10^{23}} \approx 126$$

Вычтем отсюда электроны вольфрама (74) и четырех кислородов (32) и останется ровно 40, что соответствует кальцию. Таким образом, **Г = CaWO<sub>4</sub>** – минерал шеелит.

**E** – галогенид **W**,  $w(\text{W}) = 63,35\%$ . Пусть  $\text{WX}_n$ .

$$\frac{183,84}{183,84 + nM_X} = 0,6335 \Rightarrow 183,84 = 0,6335(183,84 + nM_X)$$

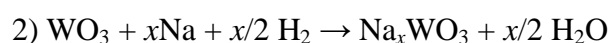
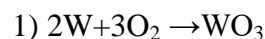
$$183,84 = 116,46 + 0,6335nM_X \Rightarrow 67,38 = 0,6335nM_X \Rightarrow nM_X = 106,36$$

Из рисунка легко устанавливается состав соединения:  $W_6X_{18}$ , т.е.  $n = 3$ , тогда молярная масса галогена равна 35,5 г/моль, что соответствует хлору.  $E = W_6Cl_{18}$  или  $[W_6Cl_{12}]Cl_6$ .

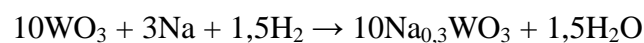
Таким образом:

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>Д</b>	<b>Е</b>	<b>Ж</b>
W	Ar	$Na_{0,3}WO_3$	$CaWO_4$	WC	$W_6Cl_{18}$	$WO_3$

2. Уравнения реакций:



Или для  $x = 0,3$ :



3. Пункт решается применением теоремы Пифагора.

Решётка ОЦК. Атомы касаются по диагонали куба:

$$4r = a\sqrt{3} \Rightarrow r = \frac{a\sqrt{3}}{4}$$

$$a = 3,1589 \text{ \AA}, \quad \sqrt{3} = 1,73205$$

$$r = \frac{3,1589 \cdot 1,73205}{4} = \frac{5,472}{4} = 1,368 \text{ \AA}$$

**Система оценивания:**

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Соединения А-Ж по 3 балла. В случае отсутствия подтверждения расчетом или обоснования – 0 баллов	21
2.	По 2 балла за каждое верное уравнение реакции	4
3.	Верный ответ – 5 баллов (при наличии расчета и обоснования)	5
	<b>ИТОГО:</b>	<b>30 баллов</b>

**Решение задачи 3:**

Установим формулы минералов, используя данные из условия. Для соединения I даны массовые доли: Ca – 18,52%, Mg – 11,11%, Si – 25,93%, O – 44,44%. Значит в 100 г соединения I

содержится:  $m(\text{Ca}) = 18,52$  г,  $m(\text{Mg}) = 11,11$  г,  $m(\text{Si}) = 25,93$  г,  $m(\text{O}) = 44,44$  г. Тогда  $n(\text{Ca}) = 18,52/40,08 \approx 0,462$  моль;  $n(\text{Mg}) = 11,11/24,31 \approx 0,457$  моль;  $n(\text{Si}) = 25,93/28,09 \approx 0,923$ ;  $n(\text{O}) = 44,44/16,00 = 2,7775$  моль. Отношение  $n(\text{Ca}) : n(\text{Mg}) : n(\text{Si}) : n(\text{O}) = 0,462 : 0,457 : 0,923 : 2,7775 \approx 1:1:2:6$ . Итого **I** =  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ .

Нахождение брутто-формулы соединения **II** удобно начать с определения оксидов металлов по массовым долям кислорода методом перебора. Массовой доле  $\omega(\text{O}) = 20,11\%$  соответствует оксид  $\text{CuO}$ , а массовой доле  $\omega(\text{O}) = 30,06\%$  – оксид  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Мольное отношение оксидов 10:1, следовательно,  $n(\text{Cu}):n(\text{Fe})=10:2=5:1$  – такое соотношение медь и железо имеют в искомом минерале.

Газ, который дает осадок с известковой водой и обесцвечивает кислый раствор перманганата калия –  $\text{SO}_2$ . Тогда осадок  $\text{CaSO}_3$  (0,479 г,  $M=120$  г/моль), следовательно,  $n(\text{SO}_2) = 0,479/120 \approx 0,004$  моль.

Искомый минерал при сгорании выделяет 0,004 моль  $\text{SO}_2$ , а также образует оксиды меди и железа в отношении 5:1, т.е. имеет формулу  $\text{Cu}_5\text{FeS}_c$

Масса навески  $m = 0,500$  г.

Молярная масса минерала:

$$M_{\text{мин}} = 5 \cdot 63,5 + 1 \cdot 56 + c \cdot 32 = 317,5 + 56 + 32c = 373,5 + 32c \text{ г/моль}$$

Количество минерала:

$$n_{\text{мин}} = \frac{0,500}{373,5 + 32c}$$

Из серы:  $n(\text{SO}_2) = c \cdot n_{\text{мин}} = 0,004$  моль.

$$c \cdot \frac{0,500}{373,5 + 32c} = 0,004$$

$$0,500c = 0,004(373,5 + 32c)$$

$$0,500c = 1,494 + 0,128c$$

$$0,500c - 0,128c = 1,494$$

$$0,372c = 1,494 \Rightarrow c = \frac{1,494}{0,372} = 4,016 \approx 4$$

Итого **II** =  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ .

Для минерала **III**: масса 0,176 г, объём вытесненной воды 0,050 мл, следовательно, можем оценить плотность минерала:  $\rho = 0,176/0,050 = 3,52 \text{ г/см}^3$ . Кубическая решётка,  $a = 0,357 \text{ нм}$ , 8 атомов в ячейке.  $\rho = (8 \cdot M)/(N_A \cdot a^3)$ , а значит,  $M = (3,52 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot (0,357 \cdot 10^{-7})^3)/8 \approx 12,0 \text{ г/моль}$ .

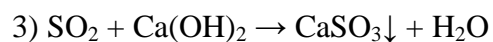
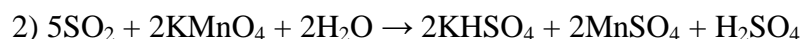
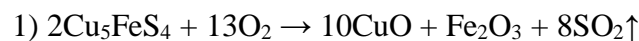
Итого: **III** = С.

«Трикальций-диалюминий-три(ортосиликат)» это  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , «трикальций-диалюминий-диортосиликат-тетрагидроксид» это  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_4$ . А.С. давал подсказку, что **I** и **IV** содержат в своем составе три одинаковых элемента и один отличающийся. **I** это  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , поэтому подходит только  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (в случае  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_4$  было бы два отличающихся элемента Н и Al). Итого **IV** =  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ .

Таким образом:

<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	С	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

2. Уравнения реакций:



3. Алмаз

4. Хром ( $\text{Cr}^{3+}$ ), что следует из характерной окраски и названия минерала

**Система оценивания:**

Пункт	Элементы решения	Оценка
1.	Соединения <b>I-IV</b> по 4 балла. В случае отсутствия подтверждения расчетом или обоснования – 0 баллов	<b>16</b>
2.	По 2 балла за каждое верное уравнение реакции	<b>6</b>
3.	Верный ответ – 1 балл	<b>1</b>
4.	Верный ответ – 2 балла	<b>2</b>
	<b>ИТОГО:</b>	<b>25 баллов</b>