

ПРОЕКТНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА

9 класс

Решение №1

1) Поваренная соль: NaCl

Гашеная известь: Ca(OH)_2

2) Приведем формулы веществ:

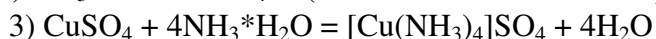
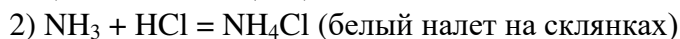
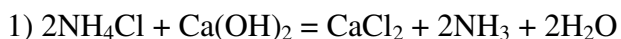
Описание свойств вещества **Y** позволяет установить, что речь идет об аммиаке (хорошо растворимый в воде газ с резким запахом, образует васильково-синий раствор при взаимодействии с сульфатом меди).

Если вещество **X** при взаимодействии с гашеной известью выделяет аммиак, значит, в составе вещества есть катион аммония. Известно, что **X** содержит тот же ион, что и в составе поваренной соли, значит, речь идет о хлориде аммония.

Веществу **Z** отвечает комплексная соль сульфат тетраамминмеди.

X	Y	Z
NH_4Cl	NH_3	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$

3) Уравнения реакций:



4) Номенклатурное название «нушадира» - хлорид аммония.

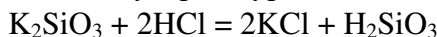
Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. За каждую формулу вещества с тривиальным названием - 2 балла	4 балла
2. За вещества X, Y, Z – 2 балла	6 баллов
2. За уравнения реакций 1-2 – 2 балла За уравнение реакции 3 – 4 балла	8 баллов
3. Номенклатурное название – 2 балла	2 балла
ИТОГО:	20 баллов

Решение №2

1) Приведем пример взаимодействия соли слабой кислоты с сильной кислотой:

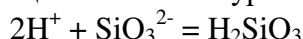
Молекулярное уравнение:



Полное ионное уравнение:



Сокращенное ионное уравнение:



2) Назовем вещества из условия:

Мел	Уксусная кислота	Купоросное масло
CaCO_3	CH_3COOH	H_2SO_4

3) В результате взаимодействия уксусной кислоты с мелом (карбонат кальция) образуется хорошо растворимый в воде и уксусной кислоте ацетат кальция $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$:



При действии купоросного масла (серная кислота) на поверхности карбоната кальция (мел) образуется малорастворимый в воде сульфат кальция, который препятствует дальнейшему проникновению серной кислоты к мелу:



Критерии оценивания:

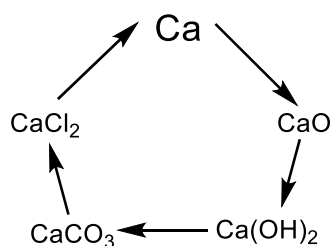
Пункт	Балл
1. За молекулярное, полное ионное и сокращенное ионное уравнения (любой разумный вариант) – 2 балла за каждое	6 баллов
2. За формулы веществ: Мел – 2 балла Уксусная кислота – 2 балла Купоросное масло – 4 балла	8 баллов
3. За уравнения реакций – 2 балла за каждое Объяснение явления: указание на образование малорастворимого сульфата кальция – 2 балла	6 баллов
ИТОГО:	20 баллов

Решение №3

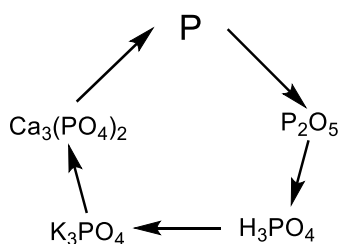
1) Разумно начать заполнение схемы с выбора простого вещества. Простые вещества можно представить как металлы и неметаллы. Рассмотрим оба варианта.

В первом варианте, когда простое вещество металл, нужно предложить такой металл, оксид которого способен образовывать основание при взаимодействии с водой. Таким образом, круг выбора металлов сужается до щелочных и щелочно-земельных металлов. Следующее, на что следует обратить внимание, это превращение соли №2 в простое вещество – щелочной или щелочно-земельный металл. Для этого вспомним, что основным способом получения щелочных и щелочно-земельных металлов является электролиз расплавов хлоридов этих металлов. Поэтому соль №2 разумно сделать хлоридом какого-то активного металла. Значит, соль №1 должна легко превращаться в хлорид активного металла.

Ниже представлен возможный вариант заполнения схемы превращений, если простое вещество металл.



Во втором варианте, когда простое вещество неметалл, следует обратить внимание на превращение соли №2 в простое вещество, а дальше выбирать неметалл, исходя из этого превращения. По возможности, стоит выбрать такой неметалл, который легко образует кислотный оксид. Ниже представлен возможный вариант заполнения схемы превращений, если простое вещество неметалл.



2) Уравнения реакций:
Превращения с кальцием:

- 1) $2\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$
- 2) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$
- 3) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{CaCl}_2 = \text{Ca} + \text{Cl}_2$ (электролиз расплава)

Превращения с фосфором:

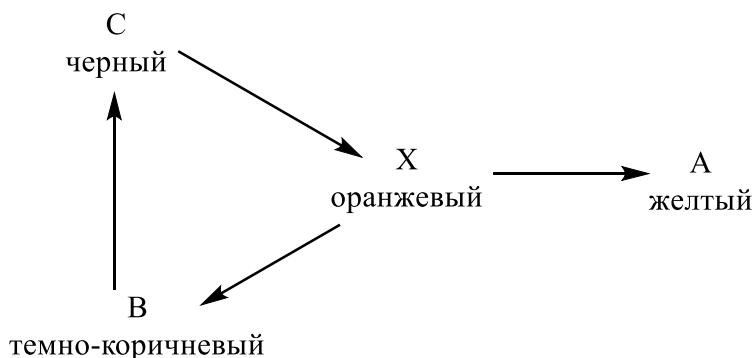
- 1) $4\text{P} + 5\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5$
- 2) $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{PO}_4$
- 3) $\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{KOH} = \text{K}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) $2\text{K}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaCl}_2 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{KCl}$
- 5) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 5\text{C} + 3\text{SiO}_2 = 2\text{P} + 3\text{CaSiO}_3 + 5\text{CO}$

Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Предложено 5 любых веществ, удовлетворяющих схеме превращений – за каждое вещество 2 балла	10 баллов
2. За каждое уравнение реакции – 2 балла.	10 баллов
ИТОГО:	20 баллов

Решение №4

1) Начнем решение с записи схемы описанной схемы превращений – запишем вещества, их цвета и превращения:



Так как нам даны элементарные ячейки веществ **A** и **B**, а для веществ **C** и **X** известно содержание кислорода, предположим, что речь идет о кислородных соединениях, так как даны доли кислорода, а проекции ячеек явно принадлежат бинарным веществам (шарики двух цветов). Начнем решение с вывода общих формул веществ **A** и **B** (неизвестный элемент обозначим **Z**).

Вещество **A**:

Установим, сколько атомов принадлежат элементарной ячейке. Начнем с темных атомов. Имеется 8 атомов в вершинах, каждый атом в вершине ячейки принадлежит 8 ячейкам одновременно – четверем сверху и четверем снизу, а, значит, принадлежит изображенной ячейке на $1/8$. Вместе с тем имеется по 2 атома в центре верхней и нижней грани. Атом, расположенный на грани, принадлежит двум ячейкам, а, значит, принадлежит изображенной ячейке на $1/2$. Таким образом, темных атомов: $8 \cdot 1/8 + 2 \cdot 1/2 = 1 + 1 = 2$

Вернемся к светлым атомам. Имеется 4 атома, расположенных на гранях, поступим с ними так же, как и с темными атомами: $4 \cdot 1/2 = 2$

Таким образом, формулу вещества можно представить как Z_2O_2 , что эквивалентно ZO .

Вещество **B**:

Начнем с темных атомов. Имеется 8 атомов в вершинах, каждый из которых принадлежит ячейке на 1/8, и 1 атом в центре ячейке, который полностью принадлежит ячейке. Таким образом, темных атомов: $8 \cdot 1/8 + 1 \cdot 1 = 1 + 1 = 2$

Вернемся к светлым атомам. Имеется 4 атома, расположенных на гранях, каждый из которых принадлежит ячейке на 1/2, и 2 атома в центре ячейки, каждый из которых полностью принадлежит ячейке. Таким образом, светлых атомов: $4 \cdot 1/2 + 2 \cdot 1 = 2 + 2 = 4$

Формула вещества можно представить как Z_2O_4 , что эквивалентно ZO_2 .

Перейдем к выводу формул веществ **С** и **Х**. Воспользуемся методом направленного перебора.

Вещество **С**:

Формула	Z_2O	ZO	Z_2O_3	ZO_2
Молекулярная масса	$M(Z_2O) =$ $M(O)/w(O) =$ $16/0,1038 =$ 154 г/моль	$M(ZO) =$ $M(O)/w(O) =$ $16/0,1038 =$ 154 г/моль	$M(Z_2O_3) =$ $M(O)/w(O) =$ $(16 \cdot 3)/0,1038 =$ 462 г/моль	$M(ZO_2) =$ $M(O)/w(O) =$ $(16 \cdot 2)/0,1038 =$ 308 г/моль
Молекулярная масса элемента	$M(Z) =$ $0,5 \cdot (M(Z_2O) -$ $M(O)) = 0,5 \cdot$ $(154 - 16) =$ 69 г/моль	$M(Z) =$ $M(ZO) - M(O) =$ $154 - 16 = 168$ г/моль	$M(Z) =$ $0,5 \cdot (M(Z_2O_3) -$ $M(O)) = 0,5 \cdot$ $(462 - 16 \cdot 3) = 207$ г/моль	$M(Z) =$ $M(ZO_2) - M(O) =$ $308 - 16 \cdot 2 =$ 276 г/моль
Комментарий	Похоже на Ga	Похоже на La	Отлично подходит Pb	-

Дальнейший перебор не дает адекватных значений атомной массы неизвестного элемента. Проанализируем полученные результаты – для Ga образование одновалентного оксида нехарактерно, ровно как и для La – двухвалентного. К тому же ни Ga, ни La не образуют кислородных соединений с окраской, описанной в условии.

Посмотрим на Pb. Действительно, соединение Pb_2O_3 не вписывается в классические рамки химии свинца. Однако свинец действительно образует желтый оксид состава PbO (вещество **А**) и темно-коричневый оксид PbO_2 (вещество **В**). Оксид Pb_2O_3 представляет собой оранжевое соединение состава $PbO \cdot PbO_2$ (вещество **С**).

Установим формулу вещества **Х**. Мы знаем, что оно состоит из свинца и кислорода, содержание которого известно. Найдем содержание свинца:

$$w(Pb) = 100 - w(O) = 100 - 9,33 = 90,67\%$$



$$w(Pb)/M(O) : w(O)/M(O)$$

$$90,67/207 : 9,33/16$$

$$0,438 : 0,583 \mid : 0,438$$

$$1 : 1,33$$

$$1 : 4/3 \mid \cdot 3$$

$$3 : 4$$



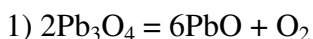
Pb_3O_4 подходит под описание в условии – вещество красного цвета.

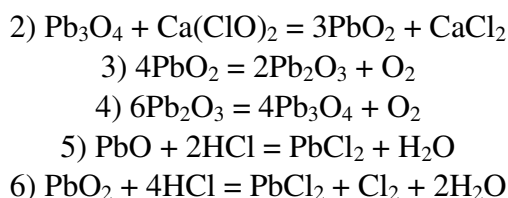
Описание взаимодействия веществ **А** и **В** с соляной кислотой позволяет легко идентифицировать вещества.

Таким образом, зашифрованные вещества:

Х	А	В	С	Д	Е
Pb_3O_4	PbO	PbO_2	Pb_2O_3	$PbCl_2$	Cl_2

2) Уравнения реакций:





Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Установлены элементарные формулы веществ A и B – 2 балла Установлена формула вещества C – 3 балла Установлена формула вещества X – 3 балла Формулы веществ D и E – 1 балл	12 баллов
2. Уравнения реакций 1,3,4,5 – 1 балл Уравнения реакций 2,6 – 2 балла	8 баллов
ИТОГО:	20 баллов

Решение №5

1) Установим формулу уротропина. Известно, что уротропин является органическим веществом, значит, в его составе обязательно есть углерод. Найдем долю углерода в составе уротропина:

$$w(\text{C}) = 100 - w(\text{H}) - w(\text{N}) = 100 - 8,63 - 39,97 = 51,40\%$$

Зная доли элементов в составе вещества, установим формулу:

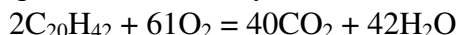
$$\begin{aligned}
&\text{C} : \text{H} : \text{N} \\
&w(\text{C})/M(\text{C}) : w(\text{H})/M(\text{H}) : w(\text{N})/M(\text{N}) \\
&51,41/12 : 8,63/1 : 39,97/14 \\
&4,284 : 8,63 : 2,855 \mid : 2,855 \\
&1,5 : 3 : 1 \mid \cdot 2 \\
&3 : 6 : 1 \\
&\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_2
\end{aligned}$$

В условии дополнительно присутствует пункт «молекулярная масса вещества находится в интервале между 100 и 150 г/моль». Проверим соответствие этому условию – молекулярная масса вещества состава $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_2$ 70 г/моль. Чтобы вещество удовлетворяло условию соответствия молекулярной массе, необходимо удвоить формулу, так как $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_2$ является элементарной формулой вещества, потому что в составе молекулы не может быть «полтора атома». Таким образом, уротропин имеет формулу $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ с молекулярной массой 140 г/моль.

2) Уравнения реакций сгорания уротропина и парафина:



(состав продуктов сгорания соответствует качественному составу воздуха)



3) Вычислим тепловые эффекты реакций:

Уротропин:

$$\begin{aligned}
\Delta Q^\circ_r &= 2 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{N}_2) + 6 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{H}_2\text{O}) + 6 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{CO}_2) - 9 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{O}_2) - \Delta Q^\circ_f(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4) = 2 \cdot 0 + \\
&6 \cdot 241,81 + 6 \cdot 393,51 - 9 \cdot 0 - 99,2 = 3712,72 \text{ кДж}
\end{aligned}$$

Парафин:

$$\begin{aligned}
\Delta Q^\circ_r &= 42 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{H}_2\text{O}) + 40 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{CO}_2) - 61 \cdot \Delta Q^\circ_f(\text{O}_2) - 2 \Delta Q^\circ_f(\text{C}_{20}\text{H}_{42}) = 42 \cdot 241,81 + 40 \cdot 393,51 \\
&- 61 \cdot 0 - 2 \cdot 456,07 = 24984,28 \text{ кДж}
\end{aligned}$$

4) Чтобы определить, использование какого из видов топлива более экономично, найдем количество каждого топлива для нагрева требуемого количества воды. Для этого определим, какое количество теплоты требуется сообщить воде массой 250 г, чтобы она закипела:

$$Q = cm\Delta t = 4200 \cdot 0,25 \cdot (100 - 20) = 84000 \text{ Дж} = 84 \text{ кДж}$$

Вычислим массу и стоимость каждого вида топлива для нагрева воды.

Масса уротропина:

$$\frac{1 \text{ моль}}{x \text{ моль}} = \frac{3712,72 \text{ кДж}}{84 \text{ кДж}}$$

$x = 0,0226$ моль уротропина требуется для нагрева воды

$$m(\text{уротропин}) = n(\text{уротропина}) \cdot M(\text{уротропина}) = 0,0226 \cdot 140 = 3,16 \text{ г}$$

Стоимость уротропина:

$$\frac{1000 \text{ г}}{3,16 \text{ г}} = \frac{174 \text{ руб}}{x \text{ руб}}$$

$$x = 0,55 \text{ руб}$$

Масса парафина:

$$\frac{2 \text{ моль}}{x \text{ моль}} = \frac{24984,28 \text{ кДж}}{84 \text{ кДж}}$$

$x = 0,0067$ моль парафина требуется для нагрева воды

$$m(\text{парафина}) = n(\text{парафина}) \cdot M(\text{парафина}) = 0,0067 \cdot 282 = 1,89 \text{ г}$$

Стоимость парафина:

$$\frac{1000 \text{ г}}{1,89 \text{ г}} = \frac{1908 \text{ руб}}{x \text{ руб}}$$

$$x = 3,6 \text{ руб}$$

Таким образом, использование уротропина оказывается выгоднее, чем использование парафина.

5) Уротропин используется в качестве пищевой добавки. В названии задачи код пищевой добавки по системе Евросоюза.

Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Найдено содержание углерода – 1 балл Установлена элементарная формула – 2 балла Сделана проверка молекулярной массы – 1 балл Удвоена элементарная формула – 1 балл	5 баллов
2. Уравнение реакции сгорания уротропина – 2 балла Уравнение реакции сгорания парафина – 1 балл	3 балла
3. Тепловой эффект реакции сгорания уротропина – 2 балла Тепловой эффект реакции сгорания парафина – 2 балла	4 балла
4. Найдено количество теплоты для нагрева воды – 2 балла Масса уротропина для нагрева воды – 1 балл Стоимость уротропина для нагрева воды – 1 балл Масса парафина для нагрева воды – 1 балл Стоимость парафина для нагрева воды – 1 балл Вывод об экономичности – 1 балл	7 баллов
5. Название задачи – 1 балл	1 балл
ИТОГО:	20 баллов

Решение №6

1) Начнем с установления качественного состава смеси. Пункт 2 хода анализа позволяет установить, что смесь состоит из двух натриевых солей – ионы натрия окрашивают пламя в желтый цвет.

Пункт 3 позволяет установить наличие хлорид-иона: выпадение белого творожистого осадка с раствором AgNO_3 – классическая качественная реакция на хлорид-ионы.

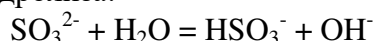
Таким образом, веществом **Y** является NaCl , т.к. вещество **X** дальше количественно анализировали.

Установим вещество **X**. Известно, что раствор пробы имеет щелочную среду. Так как NaCl не подвергается гидролизу в растворе, значит, гидролизуется именно вещество **X**. Известно, что вещество **X** является натриевой солью, а так как имеет щелочной pH, значит, имеет в составе анион слабой кислоты. Выделение при действии кислот бесцветного газа с резким запахом, проявляющего восстановительные свойства (обесцвечивание нейтрального раствора KMnO_4), позволяет определить, что речь идет об SO_2 (бесцветный газ с резким запахом). SO_2 способен выделяться из сульфитов, растворы которых имеют щелочную среду из-за гидролиза по аниону.

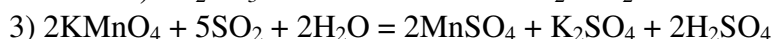
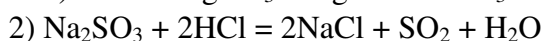
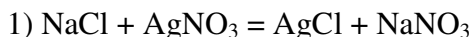
Таким образом, веществом **X** является Na_2SO_3 .

Вещество X	Вещество Y
Na_2SO_3	NaCl

2) Сульфит натрия – соль сильного основания и слабой кислоты. В растворе подвергается гидролизу по аниону, в результате которого накапливаются ионы OH^- , создающие щелочную среду. Уравнение гидролиза:

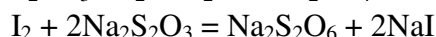


3) Уравнения реакций качественного анализа:



4) Определение сульфитов основано на их окислении до сульфатов с последующим титрованием тиосульфатом избытка непрореагировавшего иода.

Запишем уравнения реакций в ходе количественного анализа:



Найдем количество непрореагировавшего йода.

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,10 \cdot 0,003 = 0,0003 \text{ моль} - \text{ушло на реакцию с иодом.}$$

По уравнению реакции количество вещества иода в два раза меньше:

$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} \cdot 0,0003 = 0,00015 \text{ моль} - \text{непрореагировавший иод}$$

Найдем исходное количество внесенного йода:

$$n(\text{I}_2) = C(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2) = 0,10 \cdot 0,005 = 0,0005 \text{ моль} - \text{внесено иода}$$

Оставшийся йод:

$$n(\text{I}_2) = n(\text{I}_2)_{\text{внесенный}} - n(\text{I}_2)_{\text{непрореагировавший}} = 0,0005 - 0,00015 = 0,00035 \text{ моль} - \text{ушло на окисление сульфита.}$$

По уравнению реакции окисления сульфита йодом количества веществ иода и сульфита равны. Таким образом, можем найти количество вещества сульфита в аликвоте:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_3)_{\text{аликвота}} = n(\text{I}_2) = 0,00035 \text{ моль}$$

Во всей пробе вещества будет в 100 раз больше, так как пробу растворили в 1 литре (1000 мл), а проанализировали 10 мл (аликвота).

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_3)_{\text{всего}} = n(\text{Na}_2\text{SO}_3)_{\text{аликвота}} \cdot 100 = 0,035 \text{ моль}$$

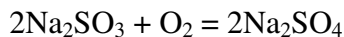
Зная количество вещества, можем найти массу соли:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = n(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,035 \cdot 126 = 4,4 \text{ г}$$

Теперь можем найти массовое содержание сульфита натрия в смеси:

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_3) = m(\text{Na}_2\text{SO}_3) / m(\text{смеси}) = 4,4 / 5 \cdot 100\% = 88\%$$

5) Сульфит натрия способен сам окисляться при хранении, не давая окисляться продуктам:



Критерии оценивания:

Пункт	Балл
1. Установлено вещество Y – 1 балл Установлено вещество X – 2 балла	3 балла
2. Обоснование щелочной среды – 2 балла	2 балла
3. Уравнения реакций 1 и 2 качественного анализа – 1 балл Уравнение реакции 3 качественного анализа – 2 балла	4 балла
4. Уравнения реакций количественного анализа – 1 балл Найдено количество йода в реакции окисления сульфитов – 4 балла Найдено общее количество сульфитов – 2 балла Найдена масса сульфита – 1 балл Найдена массовая доля сульфита – 1 балл	10 баллов
5. Объяснение антиокислительных свойств сульфитов – 1 балл	1 балл
ИТОГО:	20 баллов