

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ. 2017–2018 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС



Задания, ответы, критерии оценивания

Общие указания: если в задаче требуются расчёты, они обязательно должны быть приведены в решении. Ответ, приведённый без расчётов или иного обоснования, не засчитывается.

Задание 1. Правые части

По правой части уравнения с коэффициентами восстановите формулы веществ и коэффициенты в левой части уравнений реакций:

- 1) ... + ... = BaSiO₃ + 2Ba
- 2) ... + ... = 2BaO + BaO₂
- 3) ... + ... = Ba(NO₃)₂ + Hg + O₂
- 4) ... + ... = Ba₃(PO₄)₂ + 4Na₃PO₄ + 12H₂O
- 5) ... + ... = BaS + 4H₂O

Задание 2. Синтез аммиака

200 л азотоводородной смеси с плотностью по водороду $D_{H_2} = 3,6$ пропустили через контактный аппарат, а затем через избыток раствора серной кислоты. В результате осталась смесь газов с плотностью по водороду $D_{H_2} = 3,0$. Определите объём образовавшегося аммиака (объёмы газов измерены при одинаковых условиях). Приведите уравнения описанных реакций.

Задание 3. Неизвестная соль

Соль **X** представляет собой мелкокристаллический порошок белого цвета хорошо растворимый в воде. В 100 мл воды растворили 1,00 г соли **X**, а затем добавили избыток соляной кислоты, при этом выделилось 266,7 мл (н. у.) газа без цвета и запаха.

1. Определите соль **X**. Ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнение реакции взаимодействия соли **X** с соляной кислотой.
2. Напишите уравнение реакции разложения соли **X** при нагревании.
3. Назовите не менее двух областей применения соли **X**.
4. Какое тривиальное название имеет соль **X**?

Задание 4. Сильный органический окислитель

Жидкое органическое вещество **A**, известное ещё с середины XIX века, является сильным окислителем и со многими другими органическими веществами образует взрывчатые смеси. Один из способов синтеза **A** заключается в следующем: вначале ацетилен подвергают деструктивному нитрованию избытком концентрированной азотной кислоты (*реакция 1*), при этом образуются углекислый газ, оксид азота(IV) и вещество **B**, которое имеет следующий состав 7,95 мас. % C, 0,66 % H, 63,58 % O.

Затем к образовавшейся смеси добавляют концентрированную серную кислоту, при этом **B** превращается в конечный продукт **A** (*реакция 2*). Реакцию проводят при температуре 45–50 °C в присутствии нитрата ртути (II).

Вещество **A** состоит из трёх элементов и имеет следующий состав – 6,12 мас. % C, 65,31 % O. При обработке **A** водным раствором гидроксида калия образуются две неорганические соли и вода (*реакция 3*). Если же **A** обработать спиртовым раствором гидроксида калия, то образуются вещество **B** и неорганическая соль (*реакция 4*).

Определите формулы и структуры веществ **A** и **B**. Ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнения реакций 1–4.

Задание 5. Химия для города



*Я тучка, тучка, тучка,
Я вовсе не медведь*

Чтобы дождь не помешал проведению больших праздников или важных государственных мероприятий, в области скопления облаков распыляют специальные вещества.

Микрочастицы распылённого реагента выступают как центры кристаллизации – на них замерзают капельки воды (или к ним прилипают кристаллики льда), из которых состоит облако, и, когда разросшийся кристалл становится достаточно тяжёлым, он падает вниз, превращаясь на подлёте к земле в воду. Распыление проводят с учётом направления ветра не менее чем за 50 километров от места, над которым должно быть обеспечено чистое небо. Впервые «разгон» облаков был осуществлён в 1995 году в Москве во время празднования 50-летия Победы.

В зависимости от типа облаков в основном применяются следующие реагенты – индивидуальные вещества **X** и **Y**, а также порошок **Z**, представляющий собой смесь оксидов и имеющий переменный состав. Вещество **X** представляет собой простое газообразное вещество с плотностью 1,25 г/л (н. у.). Индивидуальное соединение **Y** жёлтого цвета представляет собой галогенид металла, нерастворимый в воде. Массовая доля металла в **Y** составляет 45,96 %.

В состав порошка **Z** входят четыре оксида – **Z**₁, **Z**₂, **Z**₃, **Z**₄. Один из наиболее распространённых вариантов **Z** имеет следующий состав 67 % (масс.) **Z**₁, 22 % **Z**₂, 5 % **Z**₃ и 3 % **Z**₄. Про исследуемый порошок известно, что:

- в **Z**₁ массовая доля металла составляет 71,43 %;
- **Z**₂ представляет собой кислотный оксид, который нерастворим в воде, а при взаимодействии с **Z**₁ образует соль, в которой массовая доля металла равна 34,48 %;

- степень окисления металлов в **Z**₃ и **Z**₄ одинаковая;
- массовая доля кислорода в **Z**₃ в 1,57 раз больше, чем в **Z**₄;
- общее содержание кислорода в исследуемом порошке **Z** равно 34,12 %.

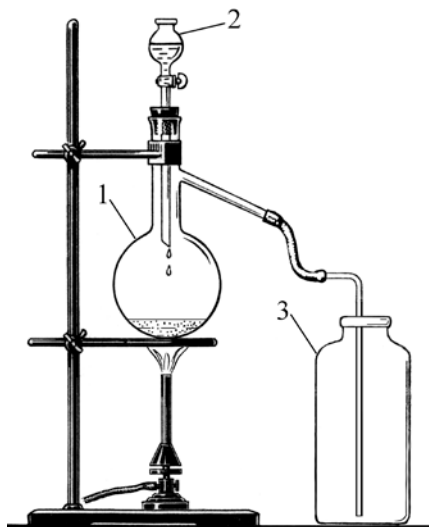
1. Определите вещества **X**, **Y**, **Z**₁–**Z**₄. Ответ подтвердите расчётом.

2. Напишите уравнения реакций **Z**₁ с **Z**₂ и с **Z**₃.

3. В каком виде применяют вещество **X**?

Задание 6. Неорганический эксперимент

Смешали оксид некоторого металла **X** с галогенидом металла **Y**. Полученную смесь поместили в колбу Вюрца 1 (см. рисунок). С помощью капельной воронки 2 добавили серную кислоту и нагрели. В банке 3 начал собираться тяжёлый газ жёлто-зелёного цвета с резким запахом – **Z** (простое вещество).



1. Определите металлы **X** и **Y**, если известно, что они находятся в одном периоде периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Массовая доля **X** в оксиде составляет 63,2 %, а массовая доля **Y** в галогениде – 52,4 %. Ответ подтвердите расчётом.

2. Какой газ получили в ходе данного опыта? Напишите уравнение реакции, о которой идёт речь в условии задачи.

3. Предложите ещё два способа получения газа **Z** в лаборатории. Приведите соответствующие уравнения реакций.

Не забудьте перенести Ваши ответы в бланк работы!

Решения и система оценивания

В итоговую оценку из 6 задач засчитываются 5 решений, за которые участник набрал наибольшие баллы, то есть одна из задач с наименьшим баллом не учитывается.

Задание 1. Правые части

Решение

- 1) $3\text{BaO} + \text{Si} = \text{BaSiO}_3 + 2\text{Ba}$
- 2) $3\text{Ba} + 2\text{O}_2 = 2\text{BaO} + \text{BaO}_2$
- 3) $\text{BaO}_2 + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 = \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Hg} + \text{O}_2$
- 4) $3\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 12\text{NaOH} = \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{Na}_3\text{PO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{BaSO}_4 + 4\text{H}_2 = \text{BaS} + 4\text{H}_2\text{O}$

Критерии оценивания

За исходные вещества – по 1 баллу, всего – 5 баллов.

За уравнения с коэффициентами – по 1 баллу, всего – 5 баллов.

Итого 10 баллов.

Задание 2. Синтез аммиака

Решение:

- 1) Найдём состав исходной смеси.

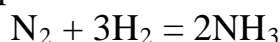
Пусть $V(\text{N}_2) = x$ л, тогда $V(\text{H}_2) = (200 - x)$ л.

Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{ср}} = \frac{28x + 2(200 - x)}{200} = 3,6 \cdot 2 = 7,2 \text{ г/моль}$$

$x = 40$ л.

- 2) Выразим состав конечной смеси через объём образовавшегося аммиака:



Пусть $V(\text{NH}_3) = y$ л, тогда в реакцию вступило $y/2$ л N_2 и $3y/2$ л H_2 . Объёмы газов в конечной смеси:

$V(\text{N}_2) = (40 - y/2)$ л, $V(\text{H}_2) = (160 - 3y/2)$ л.

Аммиак поглощается избытком серной кислоты:



- 3) Найдём объём аммиака:

$$M_{\text{ср}} = \frac{28\left(40 - \frac{y}{2}\right) + 2\left(160 - \frac{3y}{2}\right)}{\left(40 - \frac{y}{2}\right) + \left(160 - \frac{3y}{2}\right)} = 3,0 \cdot 2 = 6,0$$

$V(\text{NH}_3) = y = 48$ л.

Возможны и другие решения, в которых средняя молярная масса выражается через объёмные или мольные доли.

Критерии оценивания:

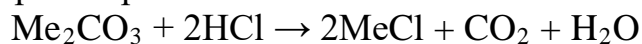
Расчёт средней молярной массы исходной смеси –	1 балл
Выражение для средней молярной массы через объёмы, моли или объёмные доли –	1 балл
Определение состава исходной смеси –	2 балла
Уравнения реакций синтеза аммиака и его поглощения (по 1 баллу)	2 балла
Расчёт средней молярной массы конечной смеси –	1 балл
Расчёт объёма аммиака –	3 балла
Итого 10 баллов.	

Задание 3. Неизвестная соль

Решение и критерии оценивания

1. Так как соль X хорошо растворима в воде, а при добавлении избытка соляной кислоты выделяется газ без цвета и запаха, скорее всего, искомая соль – карбонат или гидрокарбонат щелочного металла, а бесцветный газ – углекислый газ.

Проверим карбонат:

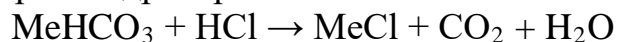


$$n(\text{CO}_2) = 0,2667 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,0119 \text{ моль},$$

$$M(\text{Me}_2\text{CO}_3) = 1,00 / 0,0119 = 84 \text{ г/моль},$$

следовательно, $M = 12$ г/моль – такого металла нет.

Проверим гидрокарбонат:



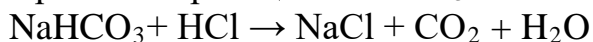
$$M(\text{MeHCO}_3) = 1,00 / 0,0119 = 84 \text{ г/моль},$$

следовательно, $M = 23$ г/моль – натрий (Na).

Искомая соль X – NaHCO_3 , гидрокарбонат натрия.

4 балла

Уравнение реакции NaHCO_3 с соляной кислотой:



1 балл

2. Уравнение реакции разложения:



2 балла

3. Гидрокарбонат натрия применяется в химической (для производства красителей, пенопластов и других органических продуктов, товаров бытовой химии), пищевой (хлебопечении, производстве кондитерских изделий, приготовлении напитков), лёгкой (в производстве подошвенных резин и искусственных кож, кожевенном производстве и текстильной промышленности), медицинской (как нейтрализатор ожогов кожи и слизистых оболочек человека кислотами и для снижения кислотности желудочного сока) и фармацевтической промышленности.

За любое применение – 1 балл, всего – 2 балла

4. Тривиальное название – питьевая (пищевая) сода.

1 балл

Итого 10 баллов.

Задание 4. Сильный органический окислитель

Решение и критерии оценивания:

1. Определим состав вещества В.

Сумма массовых долей водорода, углерода и кислорода не равна 100%, следовательно, в состав В входит ещё один элемент. Поскольку В образуется при взаимодействии азотной кислоты с ацетиленом, единственно возможный вариант недостающего элемента – это азот.

$$\omega(\text{N})_{\text{В}} = 100 \% - 7,95 \% - 0,66 \% - 63,58 \% = 27,81 \%$$

Для состава $\text{C}_k\text{H}_l\text{O}_m\text{N}_n$ имеем:

$$k : l : m : n = \frac{7,95}{12} : 0,66 : \frac{63,58}{16} : \frac{27,81}{14} = 1 : 1 : 6 : 3, \text{ или } \text{CHO}_6\text{N}_3$$

1 балл

Т. к. азотная кислота является нитрующим агентом, логично предположить, что в состав В входит нитрогруппа, тогда

В – $\text{CH}(\text{NO}_2)_3$ – тринитрометан

1 балл

Определим состав вещества А:

$$\omega(\text{N})_{\text{А}} = 100 \% - 6,12 \% - 65,31 \% = 28,57 \%$$

Для состава $\text{C}_x\text{O}_y\text{N}_z$ имеем

$$x : y : z = \frac{6,12}{12} : \frac{65,31}{16} : \frac{28,57}{14} = 1 : 8 : 4, \text{ или } \text{CO}_8\text{N}_4$$

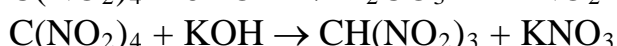
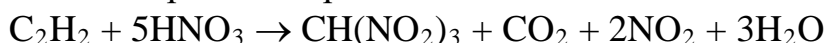
0,5 балла

Так как А – это дальнейший продукт нитрования В, получаем, что

А – $\text{C}(\text{NO}_2)_4$ – тетранитрометан

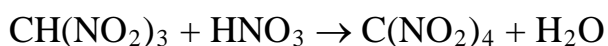
0,5 балла

2. Уравнения реакций:



6 баллов

(за каждое уравнение по 2 балла,
в случае неверных коэффициентов – 1 балл)



1 балл

Итого 10 баллов.

Задание 5. Химия для города

Решение и критерии оценивания:

1. Определение веществ **X**, **Y** и **Z₁ – Z₄**.

Определение вещества **X**:

$M(\mathbf{X}) = 1,25 \times 22,4 = 28$ г/моль. Так как согласно условию задачи, **X** – простое газообразное вещество, единственный возможный вариант – это азот.

X – N₂ (азот)

0,5 балла

Определение вещества **Y**.

Согласно условию задачи **Y** – жёлтый галогенид металла, нерастворимый в воде. Из известных галогенидов с такими свойствами мы знаем иодид и бромид серебра, а также иодид свинца. Вариант со свинцом маловероятен ввиду токсичности его солей. Тогда пусть **Y** имеет состав **AgHal**.

$$M(\text{Hal}) = \frac{108}{0,4596} - 108 = 127 \text{ г/моль, следовательно Hal} = \text{I}$$

Y – AgI (иодид серебра)

2 балла

(если **AgI** найден без каких-либо обоснований – 0 баллов, без расчётов, но с указанием цвета и невозможности **PbI₂** – 1 балл)

Определение веществ **Z₁–Z₄**:

Пусть **Z₁** имеет формулу **Me₂O_n**, тогда

$$0,7143 = \frac{2M(\text{Me})}{2M(\text{Me}) + 16n} \Rightarrow M(\text{Me}) = 20n$$

При $n = 2$ имеем $M(\text{Me}) = 40$ г/моль, что соответствует кальцию (**Ca**).

Z₁ – CaO (оксид кальция)

1 балл

Наиболее известный кислотный оксид, нерастворимый в воде – это оксид кремния(IV) (**SiO₂**), который при взаимодействии с **CaO** образует соль состава **CaSiO₃**.

$$\omega(\text{Ca}) = \frac{40}{116} \times 100 \% = 34,48 \%, \text{ что сходится с условием задачи, тогда}$$

Z₂ – SiO₂ (оксид кремния (IV)).

1 балл

Пусть состав **Z₃ – A₂O_m**, тогда **Z₄ – B₂O_m**.

Возьмём массу порошка **Z** равной 100 г, тогда масса кислорода в этом порошке, согласно условию, составит 34,12 г. С другой стороны,

$$m(\text{O/Z}) = m(\text{O/CaO}) + m(\text{O/SiO}_2) + m(\text{O/Z}_3) + m(\text{O/Z}_4);$$

$$m(\text{O/Z}) = \omega(\text{O/CaO}) \times m(\text{CaO}) + \omega(\text{O/SiO}_2) \times m(\text{SiO}_2) + \omega(\text{O/Z}_3) \times m(\text{Z}_3) + \omega(\text{O/Z}_4) \times m(\text{Z}_4).$$

Так как согласно условию $\omega(\text{O}/\text{Z}_3) = 1,57\omega(\text{O}/\text{Z}_4)$, а также известен процентный состав порошка **Z**, получаем:

$$\begin{aligned} m(\text{O}/\text{Z}) &= \omega(\text{O}/\text{CaO}) \times 67 + \omega(\text{O}/\text{SiO}_2) \times 22 + 1,57\omega(\text{O}/\text{Z}_4) \times 5 + \omega(\text{O}/\text{Z}_4) \times 3 \\ m(\text{O}/\text{Z}) &= 0,2857 \times 67 + 0,5333 \times 22 + 10,85\omega(\text{O}/\text{Z}_4) = 34,12 \end{aligned}$$

Тогда $\omega(\text{O}/\text{Z}_4) = 0,2991$

2 балла

Z₄ – В₂О₃, $\omega(\text{O}/\text{Z}_4) = 0,2991$

$$0,2991 = \frac{16m}{2M(\text{B}) + 16m} \Rightarrow M(\text{B}) = 18,73m$$

При $m = 3$ имеем $M(\text{B}) = 56$ г/моль, что соответствует железу, тогда

Z₄ – Fe₂O₃ (оксид железа (III)).

1 балл

Так как согласно условию задачи, степень окисления металлов в **Z**₃ и **Z**₄ одинаковая, то **Z**₃ имеет следующую формулу: А₂О₃.

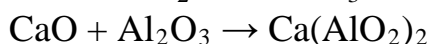
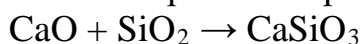
Причём, $\omega(\text{O}/\text{Z}_3) = 1,57\omega(\text{O}/\text{Z}_4) = 1,57 \times 0,2991 = 0,4696$.

$$0,4696 = \frac{48}{2M(\text{A}) + 48} \Rightarrow M(\text{A}) = 27 \text{ г/моль (Al)}$$

Z₃ – Al₂O₃ (оксид алюминия).

1 балл

2. Уравнения реакций:



1 балл

(за каждое верное уравнение – 0,5 балла)

3. Азот применяется в жидком виде.

0,5 балла

Итого 10 баллов.

Задание 6. Неорганический эксперимент

Решение и критерии оценивания.

1. Формулу оксида можно записать в виде X_2O_n , где n — валентность **X** в данном оксиде, тогда

$$\begin{aligned} \frac{2M(\text{X})}{2M(\text{X}) + 16n} &= 0,632, \\ M(\text{X}) &= 13,74n. \end{aligned}$$

Решение имеет смысл при $n = 4$, $M(\text{X}) = 55$, т. е.

металл **X** — Mn, а оксид — MnO₂.

2 балла

Из условия задачи следует, что в ходе реакции выделяется хлор Cl₂ — **Z**. Тогда можно предположить, что галогенид является хлоридом, формула которого YCl₃, где m — валентность металла **Y**.

$$\frac{M(\text{Y})}{M(\text{Y}) + 35,5m} = 0,524,$$
$$M(\text{Y}) = 39m.$$

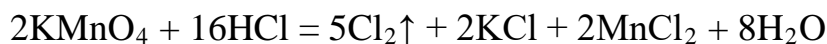
Решение имеет смысл при $m = 1$, $M(\text{Y}) = 39$, т. е. металл **Y** – калий, а хлорид – **KCl**.

Марганец и калий находятся в IV периоде. **2 балла**

2. Получили хлор Cl_2 : **1 балл**

$\text{MnO}_2 + 2\text{KCl} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Cl}_2\uparrow + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ **1 балл**

3. Хлор можно получать в лаборатории различными способами. Например, действием концентрированной соляной кислоты на кристаллический перманганат калия:



или электролизом водного раствора хлорида натрия с использованием инертного анода:



По 2 балла за каждый правильный способ.

Итого 10 баллов.