



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ 2019–2020 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
10 КЛАСС

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. Реакция между газами

Смесь оксида азота(II) и азота общим объёмом 60 мл смешали с 50 мл воздуха, после окончания реакции объём полученной смеси составил 100 мл. Затем к полученной смеси добавили ещё 100 мл воздуха. Окончательный объём смеси составил 185 мл. Все объёмы измерены при одних и тех же условиях (температуре и давлении).

1. Приведите уравнение реакции.
2. Определите объёмы газов в исходной смеси.
3. Определите объёмы газов в смеси после первого смешивания с воздухом.
4. Определите объёмы газов в смеси после второго смешивания с воздухом.

При решении задачи приведите необходимые рассуждения и расчёты, считая, что воздух состоит только из азота и кислорода в объёмном соотношении 4 : 1.

Задание 2. Неорганическая «угадайка»

На суспензию бинарного соединения **A** в эфире подействовали хлоридом алюминия массой 26,7 г. Получили раствор вещества **B** и осадок соли **C** массой 25,5 г. При взаимодействии **B** с водой в соотношении 1 : 4 образуется соль **D** и выделяется водород количеством вещества, равным количеству вещества воды. При взаимодействии **B** с соляной кислотой в соотношении 1 : 4 образуются соль **C**, хлорид алюминия, и выделяется водород количеством вещества, равным количеству вещества хлороводорода. При нагревании **B** в кислороде образуются вещество **E** и вода. Известно, что все вещества **A**, **B**, **C**, **D** и **E** содержат в своём составе один и тот же одновалентный металл, а **B** не содержит хлора.

1. Определите вещества **A**, **B**, **C**, **D** и **E**, укажите их формулы и названия. Ответ подтвердите рассуждениями и расчётами.
2. Напишите уравнения всех перечисленных реакций.

Задание 3. Анализ смеси по продуктам сгорания

При сгорании смеси двух органических соединений **A** и **B** образуются только углекислый газ и вода. Общая масса продуктов сгорания составляет 24,0 г, а массовая доля углерода в смеси продуктов равна 15 %. В промышленности из соединения **A** получают соединение **B**.

1. Установите качественный состав исходной смеси.
2. Вычислите массы соединений **A** и **B**, если известно, что массовая доля водорода в их смеси составляет 15,0 %.
3. Приведите уравнения реакций, лежащих в основе промышленного получения соединения **B** из соединения **A**. Укажите условия проведения этих реакций.

Задание 4. Малорастворимая соль

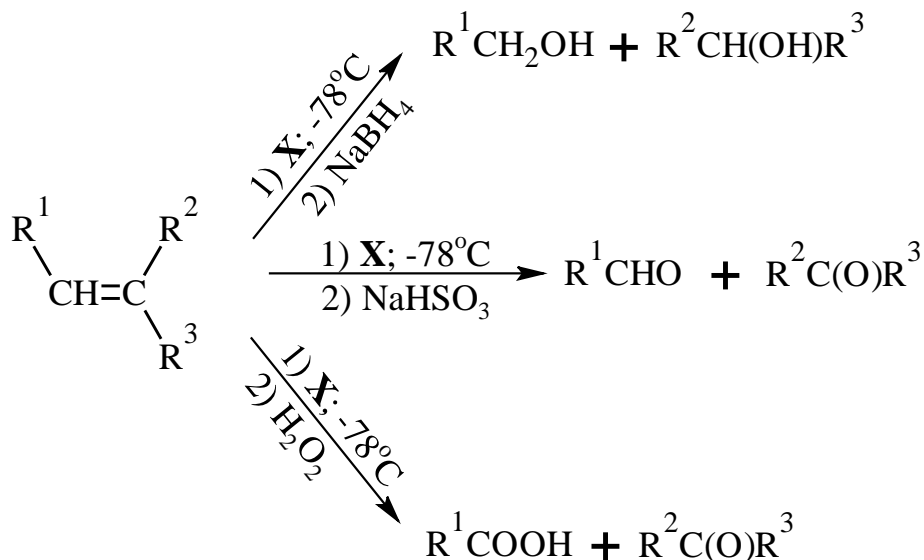
В школьной таблице растворимости солей, кислот и оснований в воде все соединения натрия и калия хорошо растворимы в воде. Однако, существуют соли этих металлов, которые обладают низкой растворимостью. Одной из таких солей является соль **X**.

Для получения соли **X** 1,000 г металла **M** сожгли при 300 °С в избытке хлора (*реакция 1*). Образовавшиеся красно-коричневые кристаллы аккуратно растворили в воде и добавили к концентрированному раствору соли **Y** (*реакция 2*). Выпадающую в осадок соль **X** отфильтровали, высушили и взвесили. В итоге получили 2,492 г.

1. Рассчитайте состав соли **Y**, если дополнительно известно, что при добавлении к 1,49 г соли **Y** избытка раствора нитрата серебра выпадает 2,87 г белого творожистого осадка (*реакция 3*).
2. Определите металл **M** и соль **X**, если содержание неметалла в соли **X** равно 43,83 %.
3. Напишите уравнения реакций 1–3.
4. Напишите уравнение реакции растворения металла **M** в царской водке, если в качестве одного из продуктов образуется кислота **Z**, в составе которой присутствует анион соли **X**.

Задание 5. Полезный газ

Газ **X** находит широкое применение в органическом синтезе. Одна из областей его применения – окислительная деструкция алкенов по двойной связи. Продукты реакции зависят от последующей обработки промежуточного продукта. Ниже представлена схема синтезов на основе газа **X**:



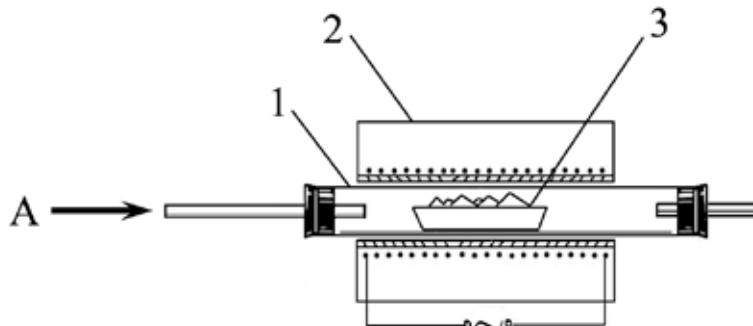
1. Определите газ **X**, если его плотность при н.у. равна 2,143 г/л. Приведите структурную формулу газа **X**.

2. Реакция алкенов с газом **X** часто применяется для установления их строения. В таблице ниже представлены продукты взаимодействия алкенов с газом **X**. Приведите структурные формулы всех зашифрованных веществ.

Алкен	Основной(ые) продукт(ы) реакции		
	1) X ; -78°C 2) NaBH ₄	1) X ; -78°C 2) NaHSO ₃	1) X ; -78°C 2) H ₂ O ₂
Бутен-2	C ₂ H ₅ OH	A ₁	A ₂
B	C ₂ H ₅ OH + (CH ₃) ₂ CHOH	A ₁ + B ₁	A ₂ + B ₁
C	C ₁	C ₂	HOOC(CH ₂) ₄ COOH

Задание 6. Синтез и свойства неорганического вещества

В термостойкую трубку (на рис. показана цифрой 1) поместили керамическую лодочку с металлическим калием (3). В эту же трубку подавали газ А. Известно, что газ А входит в состав земной атмосферы и поддерживает горение.



С помощью электронагревателя (2) трубку (1) нагрели, калий воспламенился и сгорел ослепительным пламенем. По окончании реакции из лодочки (3) извлекли продукт реакции – соединение В оранжево-жёлтого цвета.

Вещество В реагирует с газом С, при этом образуется карбонат калия и выделяется газ А. На 2 объёма газа С, вступившего в реакцию, выделяется 3 объёма газа А.

Если на вещество В подействовать концентрированной серной кислотой, то выделяется газ D. Этот газ собрали в колбу и плотно закрыли. Через некоторое время в колбе обнаружили только газ А, а газа D в ней не осталось.

1. Определите вещества А, В, С и D.

2. Напишите уравнения следующих реакций: взаимодействие газа А с калием в трубке (3); взаимодействие соединения В с газом С, В с концентрированной серной кислотой.

3. Где и с какой целью применяется реакция взаимодействия вещества В с газом С?

4. Объясните тот факт, что в плотно закрытой колбе с газом D остаётся только газ А. Приведите соответствующее уравнение реакции. Как изменяется давление газа в этой колбе?

5. Реакция вещества В с порошком алюминия протекает очень бурно, сопровождается взрывом. Предложите возможное уравнение данной реакции.

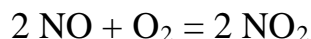
Решения и критерии оценивания олимпиадных заданий

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. Реакция между газами

Решение:

1. При смешивании исходной смеси газов с воздухом будет протекать реакция

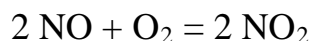


2–4. В 50 мл воздуха содержится 10 мл кислорода и 40 мл азота. Тогда 20 мл NO из исходной смеси прореагирует с O₂ и образуется 20 мл NO₂



20 мл 10 мл 20 мл

Объём смеси газов после второго смешивания с воздухом составил 185 мл, а не 200 (100 + 100), значит произошла реакция, при которой объём уменьшился на 15 мл. Уменьшение объёма происходит за счёт прореагировавшего кислорода.



30 мл 15 мл 30 мл

Значит, в исходной смеси было 20 + 30 = 50 мл NO и 10 мл N₂.

Состав смеси, образующейся после первого смешивания с воздухом:

$V_1(\text{N}_2) = 50 \text{ мл} (10_{\text{исх.}} + 40_{\text{от воздуха}})$, $V_1(\text{NO}_2)_{\text{обр.}} = 20 \text{ мл}$, $V_1(\text{NO})_{\text{ост.}} = 50 - 20 = 30 \text{ мл}$.

Состав смеси после второго смешивания с воздухом:

$V_2(\text{N}_2) = 130 \text{ мл} (50 + 80_{\text{от воздуха}})$, $V_2(\text{NO}_2) = 20 + 30 = 50 \text{ мл}$;

$V_2(\text{O}_2)_{\text{итог.}} = 185 - 130 - 50 = 5 \text{ мл}$.

Кислород останется в избытке после второго смешивания.

Критерии оценивания:

Уравнение реакции

1 балл

Определение состава исходной смеси с расчётами и рассуждениями **3 балла**

(Ответ без расчётов – 0 баллов.)

Определение состава смеси после первого смешивания с расчётами и рассуждениями **3 балла**

(Из них 1 балл – за объём кислорода в воздухе. Ответ без расчётов – 0 баллов.)

Определение состава смеси после второго смешивания с расчётами и рассуждениями **3 балла**

(Из них 1 балл – за объём кислорода в воздухе. Ответ без расчётов – 0 баллов.)

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 2. Неорганическая «угадайка»

Решение:

Схема процессов:

- 1) $A + AlCl_3 \xrightarrow{3/4} B + 3C \downarrow$
- 2) $B + 4H_2O \rightarrow D + 4H_2 \uparrow$
- 3) $B + 4HCl \rightarrow C + AlCl_3 + 4H_2 \uparrow$
- 4) $B + O_2 \xrightarrow{3/4} E + H_2O \uparrow$

Так как вещество **C** – хлорид, то он содержит столько же хлора, сколько его в $AlCl_3$.

$$n(AlCl_3) = \frac{26,7}{133,5} = 0,2 \text{ моль, тогда } n(C) = 0,6 \text{ моль, а молярная масса вещества C}$$

равна $M(C) = \frac{25,5}{0,6} = 42,5 \text{ г/моль}$. **C** – хлорид одновалентного металла, поэтому

$M(Me) = M(C) - M(Cl) = 42,5 - 35,5 = 7 \text{ г/моль}$, что соответствует литию (**Li**).
Литий входит в состав веществ **A**, **B**, **C**, **D** и **E**.

Вещество **A** – бинарное, а при гидролизе **B** выделяется водород, следовательно, **A** – гидрид лития LiH .

B – алюмогидрид лития $Li[AlH_4]$, что согласуется с соотношением 1 : 4.

C – хлорид лития $LiCl$. Будучи ионным соединением, он не растворится в эфире.

D – тетрагидроксоалюминат лития $Li[Al(OH)_4]$;

E – метаалюминат лития $LiAlO_2$.

Уравнения реакций

- 1) $4LiH + AlCl_3 \xrightarrow{3/4} Li[AlH_4] + 3LiCl \downarrow$
- 2) $Li[AlH_4] + 4H_2O \rightarrow Li[Al(OH)_4] + 4H_2 \uparrow$
- 3) $Li[AlH_4] + 4HCl \rightarrow LiCl + AlCl_3 + 4H_2 \uparrow$
- 4) $Li[AlH_4] + 2O_2 \xrightarrow{3/4} LiAlO_2 + 2H_2O \uparrow$

Критерии оценивания:

За расчёты и нахождение металла **Li**

1 балл

За определение каждого вещества **A**, **B**, **C**, **D** и **E** – по 1 баллу (0,5 балла за название, 0,5 балла за формулу), всего

5 баллов

За каждое уравнение по 1 баллу, всего

4 балла

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 3. Анализ смеси по продуктам сгорания

Решение:

1. По условию задачи в составе органических соединений могут находиться только углерод, водород и кислород. Найдём соотношение углерода и водорода в конечной смеси:

$$m(\text{C})_{\text{в продуктах сгорания}} = 24,0 \cdot 0,15 = 3,6 \text{ г}, n(\text{C}) = 3,6 / 12 = 0,3 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль}; m(\text{CO}_2) = 0,3 \cdot 44 = 13,2 \text{ г}.$$

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{в продуктах сгорания}} = 24 - 13,2 = 10,8 \text{ г}; n(\text{H}_2\text{O}) = 10,8 / 18 = 0,6 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = 1,2 \text{ моль}.$$

Обратим внимание на соотношение количеств вещества углерода и водорода в продуктах сгорания: $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 0,3 : 1,2 = 1 : 4$. Такое большое количество водорода возможно только в двух веществах (при отсутствии азота): метан CH_4 – соединение **A** и метанол CH_3OH – соединение **B**.

2. Пусть $n(\text{CH}_4) = a$ моль, $n(\text{CH}_3\text{OH}) = b$ моль; тогда $a + b = 0,3$ моль, так как $n(\text{C}) = 0,3$ моль.

$$n(\text{H})_{\text{в CH}_4} = 4a \text{ моль}, n(\text{H})_{\text{в CH}_3\text{OH}} = 4b \text{ моль}; m(\text{H})_{\text{в исходной смеси}} = (4a + 4b) \text{ г}.$$

$$m_{\text{исходной смеси}} = (16a + 32b) \text{ г}$$

$$\omega(\text{H})_{\text{в исходной смеси}} = 0,15 = (4a + 4b) / (16a + 32b),$$

откуда $2a = b$.

$$a = 0,1; b = 0,2.$$

$$m(\text{CH}_4) = 0,1 \times 16 = 1,6 \text{ г}; m(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,2 \times 32 = 6,4 \text{ г}.$$

3. Метанол по значению и масштабам производства является одним из важнейших крупнотоннажных продуктов, выпускаемых современной химической промышленностью. Метанол получают из синтез-газа ($\text{CO} + \text{H}_2$), который образуется при паровой конверсии природного газа:



Реакция обратимая, является сильно эндотермической и протекает с увеличением объёма. Поэтому, в соответствии с принципом Ле Шателье, реакцию для смещения равновесия вправо нужно осуществлять при возможно более высоких температурах (800–1000 °С) и при пониженных давлениях. Процессы конверсии целесообразно осуществлять с избытком водяного пара и в присутствии никелевых катализаторов.

В основе получения метанола лежит реакция:



Реакция обратимая, экзотермическая и протекает с уменьшением объёма. Поэтому равновесие можно сместить в сторону выхода продукта при повышении давления и понижении температуры. Однако, ввиду того, что при низких температурах скорость реакции снижается, прибегают к нагреванию. Процесс осуществляют на цинк-хромовых и медьсодержащих катализаторах.

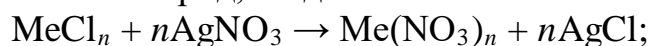
Критерии оценивания:

1. Установление качественного состава исходной смеси **4 балла**
 2. Вычисление масс органических веществ, входящих в состав исходной смеси **4 балла**
 3. Уравнения реакций, лежащих в основе промышленного получения метанола из метана, с указанием условий, необходимых для их протекания **2 балла**
- Всего за задачу – 10 баллов**

Задание 4. Малорастворимая соль

Решение:

1. Выпадение белого творожистого осадка позволяет предположить, что соль **Y** – это хлорид, тогда



$$h(\text{AgCl}) = 2,87 / 143,5 = 0,02 \text{ моль.}$$

$$M(\text{MeCl}_n) = \frac{1,49 \cdot n}{0,02} = 74,5n \text{ г/моль, тогда}$$

$M(\text{Me}) = 39n$, при $n = 1$ получаем $M(\text{Me}) = 39$ г/моль, следовательно

Y – хлорид калия (KCl).

2. Так как **Y** – хлорид калия, следовательно, **X** – также соль калия, а неметалл в её составе – это хлор. Найдём массовую долю металла **M** в соли **X**:

$$\omega(\text{M}) = \frac{1}{2,492} \cdot 100\% = 40,13\%.$$

Предположим, что в состав соли **X** входят три элемента, тогда

$$\omega(\text{K}) = 100 - 40,13 - 43,83 = 16,04\%.$$

Для соли состава $\text{K}_x\text{M}_y\text{Cl}_z$, найдём соотношение калия и хлора

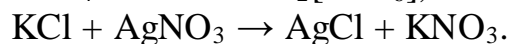
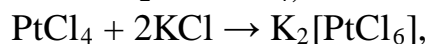
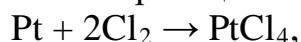
$$x : z = \frac{16,04}{39} : \frac{43,83}{35,5} = 0,41 : 1,235 = 1 : 3,$$

тогда

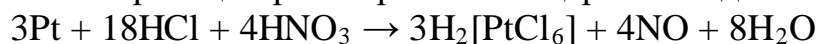
$$M(\text{M}) = \frac{35,5 \cdot 3k}{0,4383} \cdot 0,4013 = 97,5k \text{ г/моль.}$$

При $k = 2$, $M(\text{M}) = 195$ г/моль, что соответствует платине (Pt), следовательно, **X – K₂[PtCl₆].**

3, Уравнения реакций:



4. Уравнение реакции растворения Pt в царской водке:



или



Система оценивания:

Пункт	Критерий	Оценка
1	Вывод о том, что исследуемая соль Y – хлорид	0,5 балла
	Расчёт $\nu(\text{AgCl})$	0,5 балла
	Вывод формулы соли Y: с расчётом без расчёта	1 балл 0 баллов
	Всего за п.1	2 балла
2	Расчёт массовой доли M в X	1 балл
	Определение металла M: с расчётом без расчёта	1 балла 0 баллов
	Формула соли X	1 балл
	Всего за п.2	3 балла
3	За каждое уравнение реакции с неправильными коэффициентами	1 балл 0,5 балла
	Всего за п.3	3 балла
4	Уравнение реакции с неправильными коэффициентами	2 балла 1 балл
	Всего за п.4	2 балла

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 5. Полезный газ

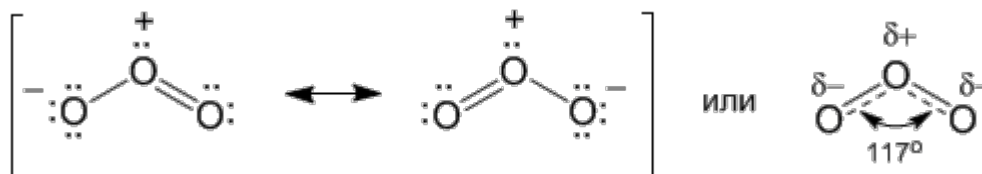
Решение:

1. Определим газ X:

$$M(X) = 22,4 \cdot 2,143 = 48 \text{ г/моль,}$$

что соответствует озону, следовательно газ X – O₃.

Строение молекулы озона:



2. Структурные формулы:

A ₁	A ₂	B	B ₁
CH ₃ CHO	CH ₃ COOH	H ₃ CCH=C(CH ₃) ₂	(CH ₃) ₂ C=O
C	C ₁	C ₂	
	HO(CH ₂) ₆ OH	O=HC(CH ₂) ₄ CH=O	

Система оценивания:

Пункт	Критерий	Балл
1	Вывод газа X	1 балл
	Структурная формула озона (любая из трёх)	2 балла
	Всего за п.1	3 балла
2	Структурная формула одного зашифрованного вещества	1 балл
	Всего за п.2	7 баллов

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 6. Синтез и свойства неорганического вещества

Решение и система оценивания:

1. **A** – O₂, **B** – KO₂, **C** – CO₂, **D** – O₃.

По 1 баллу за каждое вещество, всего 4 балла

2. $K + O_2 = KO_2$

$4KO_2 + 2CO_2 = 2K_2CO_3 + 3O_2 \uparrow$

Данная реакция позволяет установить состав вещества **B** – KO₂ на основании анализа объёмных соотношений CO₂ и O₂, указанных в условии задачи.

По 0,5 балла за каждое уравнение, всего 1 балл

$2KO_2 + H_2SO_{4 \text{ конц.}} = K_2SO_4 + H_2O + O_3 \uparrow$

1 балл

3. Эта реакция используется для регенерации воздуха в подводных лодках, в дыхательных аппаратах изолирующего типа.

1 балл

4. Озон (газ **D**) – неустойчивое вещество, самопроизвольно превращается в кислород (газ **A**):

$2O_3 = 3O_2$

1 балл

Количество газа в колбе возрастает, т. к. из 2 моль озона образуется 3 моль кислорода, поэтому давление в колбе растёт (при неизменной температуре).

1 балл

5. Возможное уравнение реакции:

$Al + KO_2 = KAlO_2$

(принимаются любые разумные варианты алюмотермии).

1 балл

Всего за задачу – 10 баллов