

## 9 класс

### Задание 1.

#### *А на том берегу*

Образец породы, отобранный на берегу Волги вблизи Камско-Устьинского гипсового рудника, состоит из двух нерастворимых в воде веществ **P** и **Q**. Бинарное соединение **P** можно перевести в раствор действием плавиковой кислоты либо сплавлением со щёлочью. Соединение **Q** легко растворимо во многих кислотах.

Для анализа состава 22.00 г образца обработали уксусной кислотой, при этом выделилось 4.44 л (н.у.) бесцветного газа **R** массой 8.73 г и образовался раствор соли **S** над осадком **P**, масса которого после отделения и высушивания составила 2.15 г.

1. Определите массовые доли **P** и **Q** в исследуемой породе.
2. Определите вещества **P**, **Q**, **R**, **S**. Ответ подтвердите расчётами.
3. Запишите уравнения реакций растворения **P** в плавиковой кислоте и сплавления со щёлочью.

### Задание 2.

#### *Процессы и превращения*

Метод термогравиметрии позволяет изучать изменение массы образца в ходе его нагревания. Этот метод позволяет изучать превращения, протекающие при нагревании химических веществ на воздухе: разложение, отщепление кристаллизационной воды, окисление и сгорание. В приведённой таблице приведены данные термогравиметрического анализа пяти веществ (уменьшение исходной массы образца после нагревания в процентах) и тип протекающего процесса:

Исходное вещество	Потеря массы	Процесс
<b>I</b>	6.90%	Разложение оксида металла до простых веществ
<b>II</b>	9.45%	Разложение пероксида металла до оксида
<b>III</b>	44.0%	Разложение карбоната металла до оксида металла без изменения степеней окисления элементов
<b>IV</b>	51.4%	Разложение нитрата металла с образованием только двух оксидов и изменением степени окисления металла
<b>V</b>	15.7%	Отщепление от соли металла 1,5 молекул кристаллизационной воды

Известно, что два из пяти веществ содержат один и тот же металл.

1. Определите вещества **I-V**, ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнения реакций разложения.
2. Термогравиметрические анализаторы обычно могут нагревать образцы до температур 1000–1700 °С. Какие из веществ **I-V** могут продолжать терять массу при более сильном нагревании?

### Задание 3.

#### *Геометрические тела*

На столе лежит три образца металлов в виде:

- куба с длиной ребра  $a$ ;
- шара, радиус которого равен длине ребра куба;
- цилиндра, диаметр основания и высота которого равны длине ребра куба.

Известно, что один из них изготовлен из бериллия (плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>), другой из алюминия (плотность 2,70 г/см<sup>3</sup>), а третий из магния (плотность 1,74 г/см<sup>3</sup>).

Все три образца поместили в избыток 10% раствора NaOH. Самый большой объем водорода выделился при растворении цилиндра. Известно, что при растворении в избытке соляной кислоты наибольший объем водорода выделился бы из другого образца.

1. Запишите уравнения реакций, протекающих при растворении указанных металлов в растворе гидроксида натрия и в растворе соляной кислоты. Если реакция не идёт, укажите это.
2. Установите, из какого металла выполнена каждая из фигур.
3. Во сколько раз суммарный объем водорода (н.у.), который может выделиться при растворении всех образцов в соляной кислоте, превышает суммарный объем всех образцов?

Перед экспериментом все три фигуры взвесили вместе, их масса составила 20.0 г.

4. Найдите длину ребра куба  $a$ .

Примечание: объем шара радиуса  $r$  вычисляется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ .

### Задание 4.

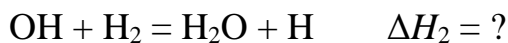
#### *Простейшая реакция*

Несмотря на то, что горение водорода кажется простой реакцией, механизм этого процесса очень сложен и включает в себя огромное количество стадий. Каждую из стадий можно охарактеризовать величиной изменения энтальпии  $\Delta H$ . Рассмотрим упрощённую схему горения водорода (все частицы находятся в газообразном состоянии).

Реакция начинается в присутствии небольшого количества водяных паров. Молекулы воды диссоциируют согласно уравнению:



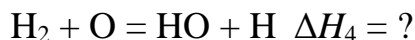
На следующей стадии гидроксильный радикал OH реагирует с молекулой водорода:



Радикалы водорода реагируют с молекулами кислорода:



Свободные атомы кислорода способствуют образованию новых радикалов, реагируя с водородом:



При столкновении свободные радикалы соединяются, образуя молекулы воды:



1. Чему равна энтальпия  $\Delta H_2$ , если энергия связи в молекуле водорода равна 436 кДж/моль?
2. Оцените энергию связи в молекуле кислорода. Примите, что энергии связи между кислородом и водородом одинаковы в воде и гидроксильном радикале.
3. Чему равны энтальпии  $\Delta H_4$  и  $\Delta H_5$ ?
4. Вычислите молярную энтальпию сгорания водорода.

## 10 класс

### Задание 1.

#### *Непростой газ*

В сосуде объёмом 1.00 л при н.у. содержится 1.25 г неизвестного газа.

1. Установите молярную массу газа. Предложите формулы двух газов, имеющих такую молярную массу.

В молекуле неизвестного газа (состоящей из наиболее распространенных в природе изотопов соответствующих элементов) количество протонов на 4 превышает количество нейтронов.

2. Установите количество протонов, нейтронов и электронов в молекуле неизвестного газа.

Описанным выше условиям соответствует два газа, один из которых, **X**, при сгорании даёт твёрдый остаток, а второй, **Y**, сгорает без образования твёрдых продуктов. Один из продуктов сгорания обоих газов одинаков.

3. Установите формулы газов **X** и **Y** и запишите уравнения реакций их сгорания.

Смесь неизвестного газа с кислородом в колбе загорелась после поднесения зажженной спички.

4. Какой газ – **X** или **Y** – находился в колбе?

### Задание 2.

#### *Английский алфавит*

Нагреванием смеси твёрдых простых веществ **A** (массой 2.0 г) и **B** (массой 1.2 г) может быть получено соединение **C**. Последнее неустойчиво к действию воды и растворяется в ней с выделением газа **D** и появлением белой мути, обусловленной образованием в растворе вещества **E**. Газ **D** хорошо горит, образуя воду и газ **F**, который при пропускании через раствор **E** даёт белый осадок **G**, растворяющийся при пропускании избытка **F**. Если все превращения протекают количественно, то максимальная масса **G**, которую можно получить из указанных навесок **A** и **B**, равна 5.0 г.

1. Установите формулы веществ **A-G**.

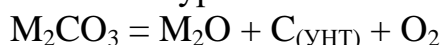
2. Запишите уравнения описанных реакций.

### Задание 3.

#### Углеродные нанотрубки

В конце двадцатого века в химии углерода было сделано немало открытий, к числу которых относится и открытие углеродных нанотрубок (УНТ) – нового класса материалов, представляющего собой свёрнутые в трубку слои  $sp^2$ -гибридного углерода.

В настоящее время существует несколько способов синтеза УНТ. К числу недавних открытий стоит отнести электролитический метод, в котором расплав карбоната подвергают продолжительному электролизу, что ведёт к образованию УНТ в соответствии с уравнением:

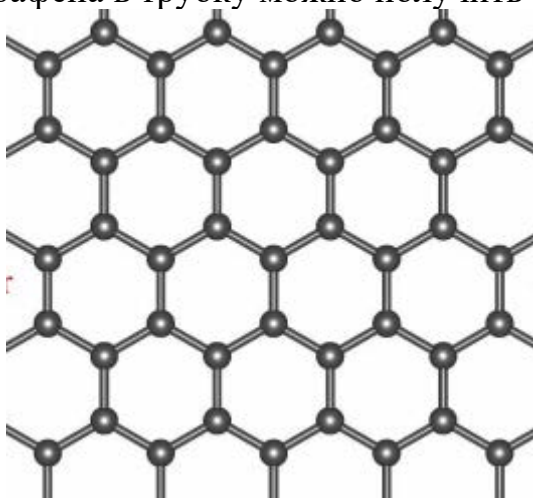


1. При использовании карбоната некоторого металла теоретически возможный выход УНТ составляет 0.162 г материала на 1 г карбоната. Определите металл, соль которого используется в синтезе.

Вне зависимости от используемого метода в результате синтеза обычно образуется смесь одно- и многостенных нанотрубок. Для их разделения может быть использовано центрифугирование, в результате чего трубки с большей плотностью оседают на дно, а трубки с меньшей плотностью остаются наверху.

2. Какие трубки – одно- или многостенные – в результате центрифугирования окажутся на дне?

Структура листа графена представлена на рисунке. Расстояние между двумя ближайшими атомами углерода равно 0.142 нм. При мысленном сворачивании листа графена в трубку можно получить одностенную УНТ.



3. Одностенная нанотрубка, образованная 36000 атомами углерода, имеет радиус 0.3 нм. Чему равна длина трубки?

4. В процессе синтеза с последующим разделением была получена фракция одностенных УНТ диаметром 0.6 нм и длиной 1200 нм общей массой 3 мг. Определите количество (в штуках) полученных нанотрубок.

В многостенных нанотрубках расстояние между слоями составляет 0.35 нм, а минимально возможный радиус внутренней трубки равен 0.15 нм.

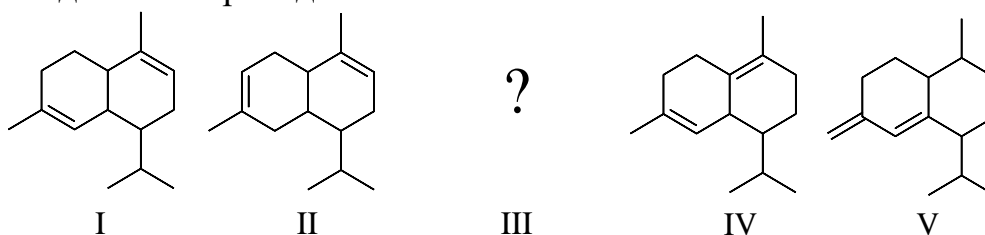
5. Какое максимальное количество слоёв возможно для нанотрубки со внешним радиусом 1.5 нм?

Примечание: 1 нм =  $10^{-9}$  м

#### Задание 4.

#### Кадинены

Название «кадинен» относится к семейству из пяти изомерных терпеноидов состава  $C_{15}H_{24}$ , отличающихся положением двойных связей. Структуры данных соединений приведены ниже:

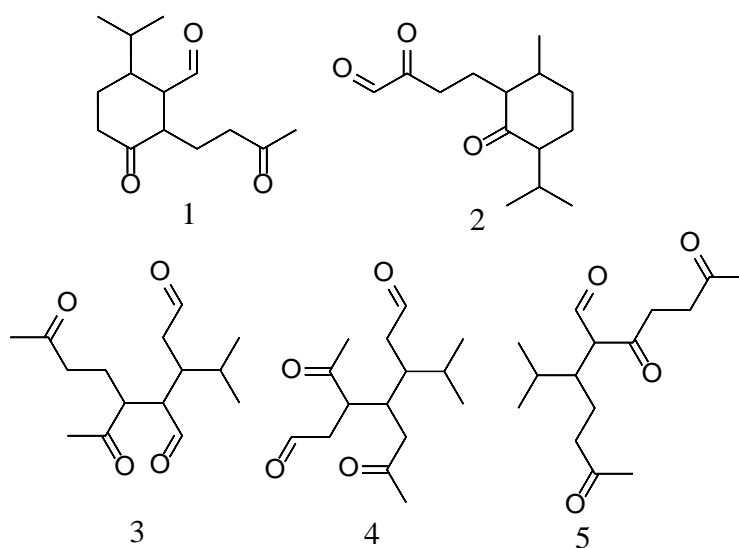


Известны теплоты образования и сгорания изомерных кадиненов в жидком состоянии.

Кадинен	I	II	III	IV	V
$Q_{\text{обр}}$ , кДж/моль	156.6	156.6	145.4	?	?
$Q_{\text{сгор}}$ , кДж/моль	9173.1	?	?	9164.0	9166.0

1. Чему равна теплота реакции изомеризации кадинена I в кадинен III? Чему равна теплота реакции изомеризации кадиена I в кадиен V?
2. Вычислите пропущенные в таблице характеристики изомерных кадиненов на основании представленных данных.

Раньше одним из способов подтверждения структуры органических соединений, в частности, терпеноидов, был восстановительный озонлиз с последующим анализом продуктов. При озонлизе кадиненов I-V были получены следующие вещества:



3. Соотнесите продукты озонлиза 1-5 со структурами исходных молекул и приведите структурную формулу кадинена III.

Полное дегидрирование кадиненов ведёт к образованию одного и того же соединения X.

4. Изобразите структурную формулу X.

## 11 класс

### Задание 1.

#### *Поглотители*

Вещество с брутто-формулой  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$  сожгли в замкнутом сосуде, заполненном избытком кислорода. Содержимое сосуда после сжигания пропустили последовательно через ряд поглотительных трубок: сначала через трубку с оксидом фосфора (V), затем с оксидом марганца (IV), затем с гидроксидом калия. Масса последней трубки увеличилась на 8.8 г, а объем не поглотившегося остатка газа (н.у.) составил 5.0 л.

1. Запишите формулу сожженного вещества в привычном виде, если известно, что оно имеет ионное строение. Укажите его название.
2. Запишите уравнения реакций, протекающих в ходе пропускания смеси газов через поглотители.
3. Рассчитайте величину изменения масс трубок 1 и 2, а также объем взятого для сжигания кислорода (н.у.)
4. Теплоты сгорания водорода, углерода и серы составляют 143, 32.75 и 9.28 кДж/г соответственно. Найдите количество теплоты, выделившегося при проведении опыта, если молярная теплота образования сожженного вещества составляет +82 кДж/моль.

### Задание 2.

#### *Куда же без него*

Элемент **X** с давних пор известен человечеству, и масштабы его добычи растут из года в год. Некоторые химические свойства **X** проиллюстрированы на схеме ниже. Растворение **X** в соляной кислоте даёт хлорид **A**, массовая доля хлора в котором в 1.172 раза меньше, чем в продукте прямого взаимодействия **X** с хлором, **B**.

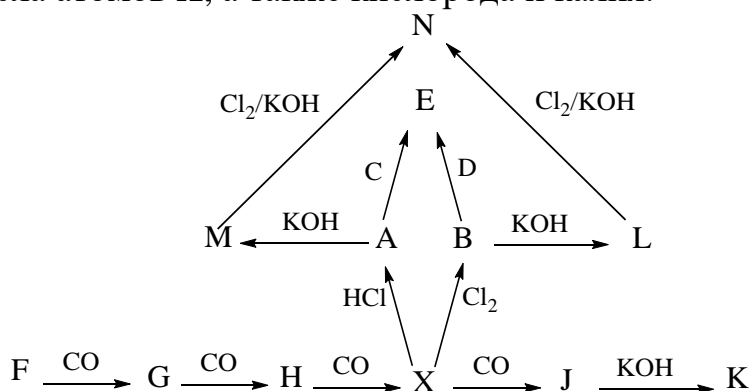
Добавление к **A** соли **C**, а к **B** – похожей соли **D** приводит к образованию окрашенного осадка **E**. Это широко известные качественные реакции на соединения элемента **X**.

В металлургии **X**, как правило, получают из его оксидов. При этом восстановлением высшего оксида **F** угарным газом возможно получить промежуточные оксиды **G** и **H** и само простое вещество **X**, которое при определённых условиях способно реагировать с избытком угарного газа, образуя соединение **J**. При реакции **J** с раствором гидроксида калия образуется вещество **K** ( $w(\text{X}) = 22.72\%$ ), в котором **X** проявляет необычную степень окисления.

Хлориды **X** при добавлении щёлочи образуют нерастворимые продукты **L** и **M**. Осадки **L** и **M** растворяются при пропускании через их подщелоченную взвесь газообразного хлора, что приводит к изменению цвета раствора на фиолетовый. Продукт этой реакции **N** является сильным неорганическим



окислителем. Добавление соляной кислоты к раствору, содержащему 1.98 г **N**, приводит к выделению 365 мл (н.у.) хлора. Соединения **N** и **K** содержат одинаковые числа атомов **X**, а также кислорода и калия.



1. Определите элемент **X** и приведите формулы соединений **A–N**.
2. Запишите уравнения реакций превращения **L** в **N**, взаимодействия **J** с гидроксидом калия, а также взаимодействия **N** с раствором соляной кислоты. (Уравнения всех остальных описанных реакций записывать не нужно).
3. Установите степень окисления **X** в соединении **K**.

### Задание 3.

#### Формилирование

Одним из способов функционализации органических соединений являются реакции формилирования. Ниже приведены варианты проведения этой реакции:

Реакция	Реагент	Катализатор
Гаттермана-Коха	CO + HCl	AlCl <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
Адамса	Zn(CN) <sub>2</sub> + HCl*	AlCl <sub>3</sub>
Вильсмейера-Хаака	<b>X</b> *	<b>Y</b>

\*с последующей обработкой водой

1. Приведите структурную формулу основных продуктов гидроформилирования бензола; толуола; нитробензола.

В реакции Гаттермана-Коха в качестве промежуточной частицы, реагирующей с бензольным кольцом, выступает незаряженная молекула, образующаяся при взаимодействии неорганических реагентов.

2. Приведите структурную формулу данной молекулы.

Для реакции Адамса в качестве промежуточной частицы предполагается молекула состава C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl, не содержащая разветвлений, циклов и связей между одинаковыми элементами.

3. Приведите структурную формулу предполагаемого интермедиата.

В качестве реагента в реакции Вильсмейера-Хаака используется органическое соединение **X**, широко применяемое также в качестве растворителя. Массовое содержание кислорода и азота в нём составляет 21.89 % и 19.16 % соответственно.

4. Установите брутто-формулу и приведите структурную формулу **X**. Какое название носит данное соединение?

Катализатор для реакции Вильсмейера-Хаака получают частичным гидролизом высшего галогенида **Z** по уравнению:  $Z + H_2O = Y + 2HCl$ . При этом массовая доля хлора в **Y** на 15.76 % ниже, чем в **Z**.

5. Установите формулы соединений **Y** и **Z**.

#### Задание 4.

#### *Хром как лекарство*



Пиколинат хрома – препарат, используемый для лечения сахарного диабета и содержащий в качестве активного компонента органическую соль трёхвалентного хрома ( $w(Cr) = 12.43\%$ ).

Для подтверждения состава этой соли провели следующий опыт. 1.000 г соли сожгли в избытке кислорода, получив 0.182 г твёрдого продукта и газовую смесь. После конденсации паров воды смесь оставшихся газов пропустили через раствор гидроксида калия, после чего ее объём уменьшился в 13 раз. Известно, что органическая кислота, образующая соль, содержит в своем составе четыре элемента.

1. Установите брутто-формулу соли.

Координационное число хрома в молекуле соединения равно 6, при этом каждый из лигандов связан с хромом атомами двух разных элементов.

2. Изобразите структурную формулу соли

Одна капсула препарата имеет цилиндрическую форму с диаметром 5.0 мм и длиной 10.0 мм; плотность таких капсул равна  $1.4 \text{ г/см}^3$ . При этом каждая капсула содержит по 200 мкг Cr(III).

3. Установите массовое содержание активного компонента в препарате (в %).

## Задание 5.

### *Растворы и осадки*

Для термодинамического описания процессов растворения малорастворимых соединений используют величину, называемую произведением растворимости (ПР), которая для реакции растворения ионного соединения  $K_nA_m$ :



может быть записана следующим образом:

$$ПР = [K^{z^+}]^n[A^{z^-}]^m$$

где  $[K^{z^+}]$  и  $[A^{z^-}]$  – равновесные молярные концентрации (моль/л) катиона и аниона, соответственно. Произведение равновесных концентраций в соответствующих степенях не может превышать значение произведения растворимости; если это происходит, то образуется осадок малорастворимого соединения.

1. Запишите выражения для произведения растворимости следующих соединений:  $Al(OH)_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $MgNH_4PO_4$ .

Другой способ выражения растворимости соединений – отношение массы растворённой соли в насыщенном растворе к массе воды. Здесь и далее полагайте плотность всех растворов равной 1 г/мл.

2. Растворимость хлорида свинца составляет 0.474 г/100 г воды. Чему равно произведение растворимости хлорида свинца?

3. Произведение растворимости сульфата бария равно  $1.1 \cdot 10^{-10}$ . Вычислите растворимость данного вещества, выраженную в г в-ва/100 г воды.

Во многих случаях равновесия над несколькими различными малорастворимыми соединениями устанавливаются независимо друг от друга.

4. К раствору, содержащему 0.02 М  $OH^-$ , 0.02 М  $SO_4^{2-}$  и 0.002 М  $PO_4^{3-}$ , по каплям добавляют насыщенный раствор нитрата кальция. В каком порядке будут осаждаться гидроксид, сульфат и фосфат кальция, если соответствующие произведения растворимости равны  $5.5 \cdot 10^{-6}$ ,  $1.3 \cdot 10^{-4}$  и  $1 \cdot 10^{-29}$ ?