

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА ОЛИМПИАДЫ  
ПО ХИМИИ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СОСТЯЗАНИЙ ШКОЛЬНИКОВ

(основной комплект)

2016–2017

## Оглавление

<b>Пояснительная записка .....</b>	<b>3</b>
<b>Задания теоретического тура.....</b>	<b>4</b>
Девятый класс .....	4
<u>Задача 9-1 .....</u>	<u>4</u>
<u>Задача 9-2 .....</u>	<u>4</u>
<u>Задача 9-3 .....</u>	<u>5</u>
<u>Задача 9-4 .....</u>	<u>7</u>
<u>Задача 9-5 .....</u>	<u>8</u>
Десятый класс .....	10
<u>Задача 10-1 .....</u>	<u>10</u>
<u>Задача 10-2 .....</u>	<u>10</u>
<u>Задача 10-3 .....</u>	<u>11</u>
<u>Задача 10-4 .....</u>	<u>12</u>
<u>Задача 10-5 .....</u>	<u>14</u>
Одиннадцатый класс .....	16
<u>Задача 11-1 .....</u>	<u>16</u>
<u>Задача 11-2 .....</u>	<u>17</u>
<u>Задача 11-3 .....</u>	<u>19</u>
<u>Задача 11-4 .....</u>	<u>20</u>
<u>Задача 11-5 .....</u>	<u>21</u>
<b>Задания экспериментального тура .....</b>	<b>23</b>
Девятый класс .....	23
Десятый класс .....	24
Одиннадцатый класс .....	26

## Пояснительная записка

Региональный этап Олимпиады по химии проводится в 2 тура. Для трех возрастных параллелей: 9-х, 10-х и 11-х классов подготовлен отдельный комплект заданий теоретического и практического туров. В задание теоретического тура входит 5 задач из различных разделов химии для каждой возрастной параллели участников, причем в каждом комплекте заданий есть поощрительные и дифференцирующие задачи. Задание экспериментального тура построено как небольшое исследование. В нем содержится подробная инструкция для выполнения работы и описаны правила оформления полученных результатов.

Длительность каждого тура составляет 5 (пять) астрономических часов.

Распределение тематики задач по классам представлено в таблице:

Задача Класс	1	2	3	4	5
9	Неорганическая химия				Физическая химия
10	Неорганическая химия			Органическая химия	Физическая химия
11	Неорганическая химия		Органическая химия		Физическая химия

## Задания теоретического тура

### Девятый класс

#### Задача 9-1

Найдите четыре различные комбинации трех химических элементов – X, Y и Z, расположенных подряд в периодической системе (где X – элемент с наименьшим порядковым номером, а Z – с наибольшим), соответствующих одному из условий, указанных в пунктах 1-4. **В каждом пункте тройки разные.**

1. Может протекать реакция  $\text{XZ}_{(\text{газ})} + \text{YZ}_{2(\text{газ})} = \text{XZ}_{2(\text{газ})} + \text{YZ}_{(\text{газ})}$ . Напишите уравнение реакции.

2. X образует только один оксид белого цвета (A), Y образует фиолетовый (B) и белый (C) оксиды, последний содержит 40 % кислорода по массе, Z образует несколько оксидов различного состава чёрного цвета и оранжевый оксид (D).

Запишите формулы оксидов A – D. Состав C подтвердите расчетом.

3. Простые вещества, образованные X, Y и Z были взяты в мольном соотношении 1 : 1 : 1, при этом их массы составили 1,00 г, 2,07 г и 0,57 г соответственно. Приведите по одному уравнению реакции между простыми веществами образованными X и Z, а также Y и Z.

4. X в большинстве своих соединений проявляет степень окисления +3, в редких случаях он способен проявлять степень окисления +2, степень окисления Y – в соединениях только +3, а Z – в основном проявляет степень окисления +4 и очень редко +2 и +3.

#### Задача 9-2

Для определения состава неизвестного минерала красного цвета небольшой его кусок поместили в сосуд с кислородом, закрыли сосуд и нагрели. На стенках сосуда при этом образовался жёлтый налёт, который исчез при

дальнейшем увеличении температуры. Минерал сгорел без остатка, а в сосуде удалось обнаружить лишь бесцветный газ с плотностью по азоту 4.009. При охлаждении сосуда на стенках конденсировались капельки тёмной жидкости **Y** с металлическим отливом (в оставшемся газе содержание **Y** пренебрежимо мало). Плотность газа после конденсации **Y** уменьшилась на 52.48 %. При пропускании оставшегося после охлаждения газа через раствор гашеной извести его объем уменьшается в три раза, а в склянке с известью выпал белый осадок.

1. Объясните образование жидкости при охлаждении. Рассчитайте состав всех газов. Определите состав минерала.

2. Напишите уравнения двух реакций, использовавшихся для определения состава вещества.

3. Напишите тривиальное название минерала.

4. Напишите уравнение реакции темной жидкости с хлоридом железа (III). Для чего она может использоваться?

5. Что представляет собой жёлто-оранжевый налет на стенках сосуда, образующийся при сгорании минерала? Почему данное соединение сложно получить в условиях описанного эксперимента?

### **Задача 9-3**

Третьекласснику в наследство от дедушки досталась небольшая домашняя химическая лаборатория, представляющая собой семь банок с веществами. Все реактивы в них представляли собой чистые индивидуальные вещества или водные растворы чистых индивидуальных веществ. Юный химик пронумеровал банки и решил узнать, что получится, если их смешивать. Ниже приведены некоторые из его опытов с наблюдениями (номера банок совпадают с номерами находящихся в них веществ):

1. При нагревании порошка апельсинового цвета из банки **1** из него летят искры и образуется зеленый порошок **X** (**реакция 1**).

Апельсиновый порошок растворяется в воде, а если добавить к раствору вещество **2**, то он желтеет (**реакция 2**).

2. Синие кристаллы из банки **3** при осторожном нагревании белеют (**реакция 3**). Если кинуть побелевшие кристаллы в воду, образуется голубой раствор. При добавлении в этот голубой раствор небольшого количества вещества из банки **2** получается синий осадок **Y** (**реакция 4**), который при дальнейшем прибавлении вещества **2** растворяется (**реакция 5**).

3. На банке **4** написано «85 %». Если каплю ее содержимого погреть на плитке, она густеет. Содержимое этой банки по консистенции похоже на вязкий сироп.

4. Вещество из банки (**5**) в воде не очень хорошо растворяется. Оно «шипит» (выделяется газ без запаха), если прилить к нему жидкость из банки **4** (**реакция 6**). Если нагреть твердое вещество **5** или его водный раствор, выделяется такой же газ, как и в реакции **6** (**реакция 7**).

5. Добавление вещества из банки **2** в воду приводит к ее нагреванию. Если налить туда еще вязкого сиропа **4**, то раствор еще сильнее нагревается. При добавлении к вязкому сиропу небольшого избытка вещества из банки **2** протекает **реакция 8** и образуется раствор **A**.

6. Вещество из банки (**6**) гигроскопично (поглощает воду из воздуха, если вынуть его из банки). Оно тоже «шипит», если прилить к нему вязкого сиропа **4**, при этом выделяется газ с отвратительным запахом (**реакция 9**).

Если вещество **6** перемешать с синими кристаллами из банки **3**, то они почернеют (осадок **W**) (**реакция 10**).

7. Жидкость из банки **7** плохо пахнет. Юный химик вспомнил, что так пахло вещество, которое дед капал на детали, когда их паял. Если в жидкость **7**

насыпать апельсинового порошка **1** и погреть, то выделяется желтоватый газ **G**, который пахнет еще резче, чем вещество **7** (реакция **11**).

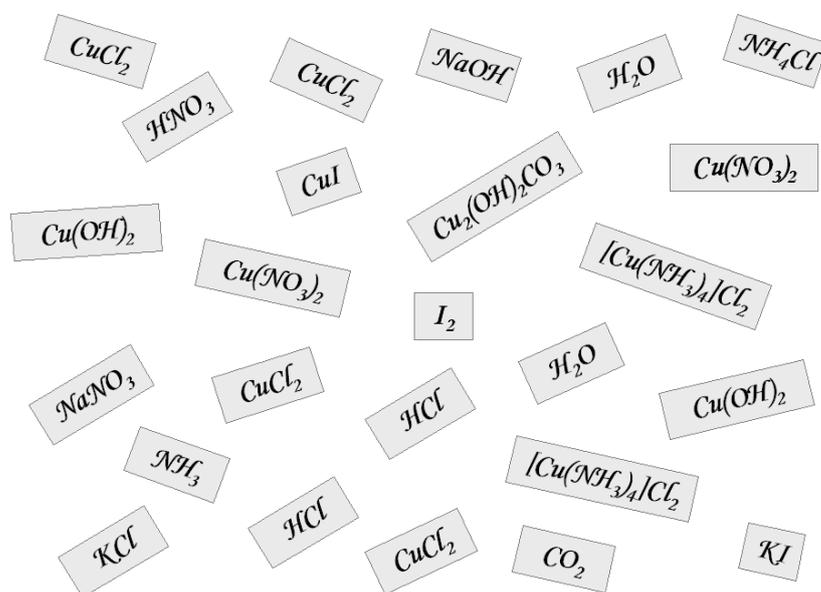
8. При добавлении раствора **A** (см. пункт 5) к голубому раствору вещества **3** образуется голубой осадок **Z** (реакция **12**).

Известно, что во всех упомянутых соединениях содержится всего 3 различных металла.

1. Определите формулы реактивов **1–7**. Учтите, что это распространенные вещества, которые есть практически в каждой школьной лаборатории.
2. Что представляют собой осадки **X**, **Y**, **Z**, **W**, газ **G** и вещество **A**?
3. Запишите уравнения всех реакций (**1–12**), которые наблюдал юный химик.

### Задача 9-4

Химик Колбочкин расследовал вместе с полицией интересное дело. Требовалось узнать, какую цепочку химических превращений элемента **X** осуществил в своей лаборатории химик **N**. Однако **N** сжег свой лабораторный журнал, и спасти удалось только страницу, на которой, **N** писал вещества, которые ему были необходимы для проведения реакций и продукты реакций. Итак, в распоряжении Колбочкина находятся лишь формулы, вот они:



Известно, что цепочка превращений линейная, а все реакции протекают без нагревания. В реакциях участвуют только приведенные вещества, причем все они задействованы (лишних формул нет).

Помогите Колбочкину справиться с этой задачей. Для этого:

1. Укажите элемент **X**.
2. Ответьте на вопрос, что было сырьем для **N** (исходным веществом в цепочке превращений)? Что являлось конечным продуктом?
3. Восстановите «утерянную» цепочку превращений.
4. Составьте уравнения химических реакций искомой цепочки превращений. Расставьте коэффициенты.
5. Известно, что **N** мог купить исходное вещество и реактивы в одном из химических магазинов – А, Б или В. В магазине А есть в продаже все указанные выше реактивы, кроме  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{I}_2$ ; в магазине Б – все, кроме  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{KI}$ ; в магазине В – все, кроме  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{KI}$ . В каком магазине покупал реактивы **N**? Ответ обоснуйте.

Вычислите массу купленного реактива-сырья (исходного вещества в цепочке превращений), если масса полученного продукта составила 1,0 кг, а выход каждой стадии цепочки был равен 91 %.

### Задача 9-5

Спички – одно из самых важных изобретений человечества.

Благодаря этому чудо-изобретению мы без труда, не используя никаких электроприборов, можем получить жизненно важные для нас вещи – свет и тепло. Для этого всего лишь нужно чиркнуть спичкой о коробок! Давайте попробуем разобраться, из чего сделаны современные спички.



Основой спичечной головки являются компоненты **A** и **B**. Трения компонента **A** о спичечный коробок достаточно для его возгорания, а разложение компонента **B** способствует полному сгоранию **A**.

1. Компонент **A** состоит из двух элементов – фосфора и серы и имеет молекулярное строение. Молярная масса **A** не превышает 300 г/моль. При сжигании 50.0 мг компонента **A** в избытке кислорода удалось собрать 15.67 мл газа (измерено при 0 °С и 98.6 кПа). Определите молекулярную формулу вещества **A**. Напишите уравнение реакции. Предложите структурную формулу **A**, если известно, что атомы фосфора в молекуле имеют валентность III, а серы – валентность II.

2. О втором компоненте спичечной головки – веществе **B** – известно, что в его состав входят 3 элемента, один из которых кислород ( $\omega_{\text{масс}}(\text{O}) = 39.18\%$ ), а два других находятся между собой в эквимольном соотношении. Определите вещество **B**. Напишите уравнения реакций его термического разложения и взаимодействия компонентов **A** и **B**. Рассчитайте массы **A** и **B** в спичечной головке массой 0.1 г, если известно, что они находятся в стехиометрическом соотношении.

3. Существенно позднее спичек появились газовые зажигалки, содержащие в качестве горючего смесь пропана и бутана. Рассчитайте, во сколько раз пропаново-бутановая смесь ( $n(\text{C}_3\text{H}_8) : n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 7 : 3$ ) даёт при сгорании больше теплоты, чем спичечные головки такой же массы. Удельная теплота сгорания последних равна 4.4 кДж/г.

Вещество	$\text{C}_3\text{H}_8$ (газ)	$\text{C}_4\text{H}_{10}$ (газ)	$\text{CO}_2$ (газ)	$\text{H}_2\text{O}$ (газ)
$Q_{\text{обр}}$ , кДж/моль	104	126	393.5	242

## Десятый класс

### Задача 10-1

Неизвестный газ с плотностью 1.50 г/л (н. у.) пропустили через бесцветный раствор, содержащий 1.00 г неорганической соли **X**, вызывающей фиолетовое окрашивание пламени. После прохождения через раствор плотность газа уменьшилась до 1.43 г/л (н. у.), а его объем остался неизменным. При выпаривании раствора был получен белый порошок **Y** массой 1.289 г, который также может быть получен при окислении **X**. Если исходный газ пропустить через раствор **X** в присутствии крахмала, то наблюдается синее окрашивание.

1. Определите вещества **X** и **Y**
2. Определите состав исходного газа – напишите формулы веществ, входящих в его состав и два уравнения реакций одного из этих веществ с веществом **X**.
3. Определите мольные доли газов в смеси.
4. Что происходит при смешении растворов **X** и **Y** в кислой среде?  
Напишите уравнение реакции в ионной форме.
5. Изобразите геометрическое строение аниона в **Y**.
6. Какое применение находит исходный газ?
7. В кислой среде из водного раствора **Y** кристаллизуется соль **Z**, содержащая 24.6 % кислорода по массе. Определите формулу **Z** и изобразите геометрическую структуру ее аниона.

### Задача 10-2

Химик Колбочкин заинтересовался проблемой химических отходов. Он решил рассчитать состав слива после экспериментов. Известно, что в слив последовательно выливали растворы следующих реактивов в указанных количествах:

Реактив	MgCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	Ba(OH) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	ZnCl <sub>2</sub>	NaOH
Концентрация, М	0,1	0,05	0,1	0,5	0,2	0,01	1
Объём раствора, мл	100	140	80	20	180	100	45

Помогите Колбочкину справиться с этой задачей. Для этого выполните следующие задания:

1. Ответьте на вопрос, какие вещества находятся в выпавшем осадке? Рассчитайте состав (в массовых %) этого осадка. Считайте гидроксиды стехиометрическими соединениями. При расчетах пренебречь реакциями гидролиза и изменением объема раствора при выделении газов и выпадении осадков.
2. Какие ионы находятся в сливе над осадками и в каком количестве (ммоль)?
3. Рассчитайте значение рН раствора над осадком.
4. Какое значение рН будет иметь раствор над осадком после добавления 52 мл 1 М HCl?

### **Задача 10-3**

Минерал **А** имеет большое промышленное значение. **А** можно получить взаимодействием **Х** с простым веществом, представляющим собой порошок желтого цвета (**реакция 1**). Обжигом **А** получают **Х** (**реакция 2**). Металл **Х** известен человеку с древних времён, но принадлежность его к металлам удалось доказать лишь в 1759 году. Алхимики для представления элемента использовали символ планеты Меркурий.

**Х** – малоактивный металл, с трудом растворяется в серной кислоте при нагревании с образованием соли **Е** (**реакция 3**). Если при растворении в крепкой азотной кислоте взять избыток HNO<sub>3</sub>, то получится соль **С** (**реакция 4**), а если разбавленную HNO<sub>3</sub> и избыток **Х**, то соль **Д** (**реакция 5**). Разложением красного бинарного соединения **В** при нагревании, Дж. Пристли получил кислород (**реакция 6**), при этом масса навески **В** уменьшилась на 7,4 %.

1) Расшифруйте металл **X** и вещества **A** – **E**. Все вещества содержат **X**, а вещества **C** и **D** имеют одинаковый качественный состав. Состав вещества **B** подтвердите расчетом.

2) Назовите тривиальное название соли **A**. Приведите еще 2 реакции, которые можно использовать для получения кислорода.

При добавлении к раствору вещества **C** иодида калия выпадает красный осадок **F** (реакция 7), который растворяется в избытке раствора иодида калия с образованием бесцветного раствора **G** (реакция 8).

3) Напишите уравнения всех реакций, описанных в условии (1–8).

Соединение **G**, так же известное как реактив Несслера, используется для качественного определения аммиака в присутствии щелочи. При этом образуется бурый осадок иодида основания Милона.

В реактиве Несслера  $\omega(X) = 25,5\%$  и  $\omega(I) = 64,5\%$ .

В иодиде основания Милона  $\omega(X) = 71,6\%$ ,  $\omega(N) = 2,5\%$ ,  $\omega(I) = 22,7\%$ .

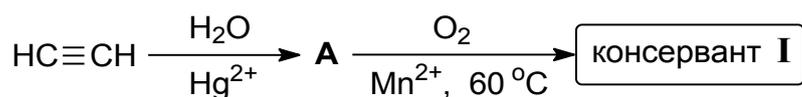
4) Используя данные о массовых долях, расшифруйте формулы реактива Несслера и иодида основания Милона. Напишите уравнение качественной реакции определения аммиака в щелочной среде.

#### Задача 10-4

##### **Пищевые консерванты**

Каждый год, начиная с середины лета, наши мамы и бабушки занимаются заготовками выращенного урожая впрок – варят разнообразные варенья, засаливают и маринуют овощи. Незаменимыми помощниками для сохранности этих вкусностей в банках являются консерванты природного или искусственного происхождения.

Наиболее часто используемым консервантом в быту для засолки или маринования является соединение **I**, которое можно получить из ацетилена по следующей схеме.



1. Приведите структурные формулы соединений **A** и **I**. Как называется вещество **I**?

Рецептов приготовления хрустящих маринованных огурчиков, конечно же, существует множество. По одному из таких рецептов для приготовления маринада рекомендуется на 1 л воды добавлять 1 чайную ложку (5 мл) 70%-го (по массе) водного раствора консерванта **I**.

2. Оцените: **а)** молярную концентрацию соединения **I** в маринаде; **б)** pH маринада. Плотность всех упомянутых растворов примите  $1,0 \text{ г/см}^3$ , константа диссоциации **I** равна  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

Поскольку для получения соединения **A** по приведенной на схеме реакции в качестве катализатора используются ядовитые соли ртути, этот метод в промышленности сейчас используется редко. На смену ему пришёл Вакер-процесс – каталитическое окисление этилена кислородом воздуха.

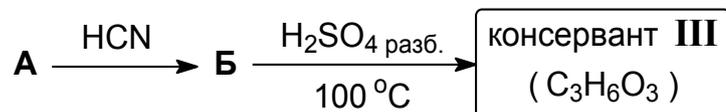
3. Напишите суммарное уравнение реакции, соответствующей Вакер-процессу, а также попробуйте вспомнить используемый при этом катализатор.

В промышленности при консервировании пищевых продуктов также добавляют консерванты. Для этой цели, помимо упомянутого выше вещества **I**, используют и другие вещества, о некоторых из которых пойдет речь ниже.

Внимательно рассматривая этикетку какого-либо продукта, можно часто встретить консервант **II** – карбоновую кислоту, которую в лаборатории можно получить при кипячении толуола с водным раствором перманганата калия в присутствии избытка разбавленной серной кислоты.

4. Приведите структурную формулу и название соединения **II**, а также напишите уравнение описанной реакции его получения.

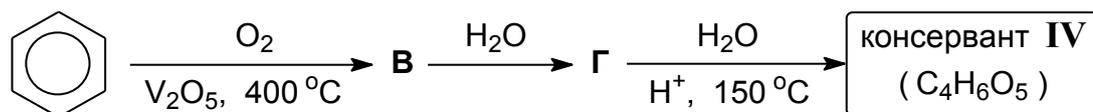
Консервант **III** можно получить синтетически (в виде смеси оптических изомеров) из соединения **A** по приведенной ниже схеме или при ферментативном брожении глюкозы под действием особого рода бактерий.



5. Приведите структурные формулы соединений **B** и **III**, а также тривиальное название **III**.

6. Напишите уравнение реакции ферментативного брожения глюкозы, приводящего к образованию соединения **III**.

Консервант **IV** содержится во многих незрелых фруктах и ягодах (яблоках, винограде, рябине, малине и др.). Синтетически его можно получить из бензола по следующей схеме.



7. Приведите структурные формулы соединений **B**, **Г** и **IV**, а также тривиальное название **IV**.

8. Соединение **Г** в водном растворе под действием света в присутствии каталитического количества минеральных кислот изомеризуется, при этом выпадает осадок вещества, также используемого в качестве консерванта **V**. Приведите структурную формулу вещества **V**, которая иллюстрирует различие строения молекул **Г** и **V**.

### Задача 10-5

#### Восстановление азотной кислоты

Один моль железа растворили в разбавленной азотной кислоте, при этом выделилось 382.0 кДж теплоты и образовался бесцветный газ легче воздуха, не взаимодействующий с кислородом при обычных условиях. Рассчитайте объём газа (н. у.) и определите, какие соли и каком количестве (в молях) содержатся в

полученном растворе. Напишите уравнения реакций в молекулярной и ионной форме. При решении используйте справочные данные, приведённые ниже.

Вещество (ион в растворе)	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}$	$\text{N}_2\text{O}$	$\text{NO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
$Q_{\text{обр}}$ , кДж/моль	48.5	205	0	132.5	-90	-82	-33	286

## Одиннадцатый класс

### Задача 11-1

Металл **A** входит в состав нержавеющей сталей, используется в качестве покрытий стальных и бронзовых изделий для придания им коррозионной стойкости и декоративного блеска. В природе металл **A** в соединениях проявляет степени окисления +3 и +6.

Компактный металл неактивен, но в виде порошка при нагревании он реагирует с хлором (**реакция 1**), при этом образуется фиолетовый хлорид **B**, практически нерастворимый в воде. При растворении порошка металла в соляной кислоте в инертной атмосфере (без доступа воздуха) образуется голубой раствор хлорида **C** (**реакция 2**). При добавлении к солянокислому раствору **C** избытка насыщенного раствора ацетата натрия выпадает красный осадок вещества **D** (**реакция 3**). Если через раствор **C** пропустить ток кислорода или оставить его на длительное время в открытом сосуде на воздухе цвет раствора изменяется (**реакция 4**) при упаривании этого раствора можно получить зеленые кристаллы **E**. Из раствора **E** действием раствора карбоната натрия осаждается вещество **F** (**реакция 5**). При взаимодействии порошка металла **A** с кислородом образуется зеленое вещество **G** (**реакция 6**). **G** можно получить также термическим разложением **F** (**реакция 7**).

При сплавлении **G** с KOH в инертной атмосфере при 300 °C образуется вещество **H**. (**реакция 8**)

Добавление в расплав KClO<sub>3</sub> приводит к образованию **I**. (**реакция 9**)

А если **G** сплавить с избытком KOH при температуре 850 °C в атмосфере аргона, то образуется вещество **J** (**реакция 10**).

Вещество	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
Массовая доля A, %	32.81	27.55	19.44	42.24	26.78	22.29

Вопросы:

1. Определите вещества **A – J**, ответ обоснуйте. Состав **B, D, E, H, I, J** подтвердите расчетом.
2. Напишите уравнения реакций **1– 10**.
3. Объясните различие в окраске веществ **B** и **E**.
4. Используя правило Сиджвика, определите чему равна кратность связи между атомами металла **A**, если координационное число иона **A** равно 6 (координационное число - это число ближайших соседей). Правило Сиджвика или правило 18 электронов утверждает, что наиболее устойчивой является 18-ти электронная валентная оболочка.

### Задача 11-2

Элемент **X** известен с древних времён, его соединения находили разнообразное применение.

Простое вещество **X** не реагирует с  $H_2SO_4$ , легко растворяется в 30%-ной  $HNO_3$  с образованием раствора вещества **A** (реакция 1). Раствор **A** при реакции с разбавленным раствором  $NaOH$  даёт осадок **B** (реакция 2), а при реакции с кислотой **C** – объёмный белый осадок **D** (реакция 3), растворимый в избытке **C** при нагревании с образованием **E** (реакция 4) или просто в горячей воде. Бинарное соединение **F** (44,9 % **X**) получается в виде желтого осадка при действии на раствор **A** раствором иодида калия (реакция 5). Перекристаллизация продукта позволяет получить **E** в виде красивых золотистых чешуек.

Ряд соединений элемента **X** использовался раньше или используется до сих пор в качестве пигментов. Например, добавление к раствору **A** раствора  $Na_2CO_3$  в присутствии  $NH_3$  приводит к выпадению основного карбоната **G** (реакция 6), содержащего 81,5 % **X**, который ранее использовали как белила.

Добавление к **A** жёлтого раствора соли **H**, содержащей 26,8 % переходного элемента **Y**, приводит к жёлтому осадку **I** (*реакция 7*), растворяющемуся в  $\text{HNO}_3$  (*реакция 8*). Это соединение до сих пор используется в качестве жёлтого пигмента. **H** встречается в природе в виде красивого оранжево-красного минерала, в частности, на Урале. Именно в этом минерале был впервые открыт элемент **Y**.

Один из недостатков соединения **G** при его использовании в качестве белил – его постепенное потемнение на воздухе (по этой причине со временем тускнеют иконы и фрески), связанное с образованием вещества **J** (86,6 % **X**) (*реакция 9*), где помимо **X** присутствует только неметалл **Z**. Вещество **J** встречается в природе в виде минерала чёрно-серого цвета с металлическим блеском и является одним из основных источников **X**. Соединение **J** не растворимо в воде. При реставрационных работах для возвращения изображению первоначального цвета его обрабатывают водным раствором перекиси водорода, что приводит к переходу **J** в белое вещество **K** (*реакция 10*), которое нерастворимо в кислотах, но растворимо в концентрированных щелочах при нагревании (*реакция 11*).

Соединения **X** проявляют высокую токсичность, что связано, в том числе, с высоким сродством этого элемента к непереходному элементу **Z**. Это проявляется, например, в виде чрезвычайно низкой растворимости соединения **I** в воде.

При реакции **X** с алкил хлоридом, содержащим 55 % хлора, в присутствии металлического натрия (*реакция 12*) образуется жидкость **L** (массовая доля **X** 64,1 %), ещё совсем недавно имевшая большое промышленное значение.

### Вопросы

1. Установите все неизвестные вещества (**A–L**) и элементы **X**, **Y** и **Z**, а также напишите 12 уравнений реакций, описанных в тексте задачи. Учтите, что желтый раствор соли **H** при подкислении становится оранжевым.

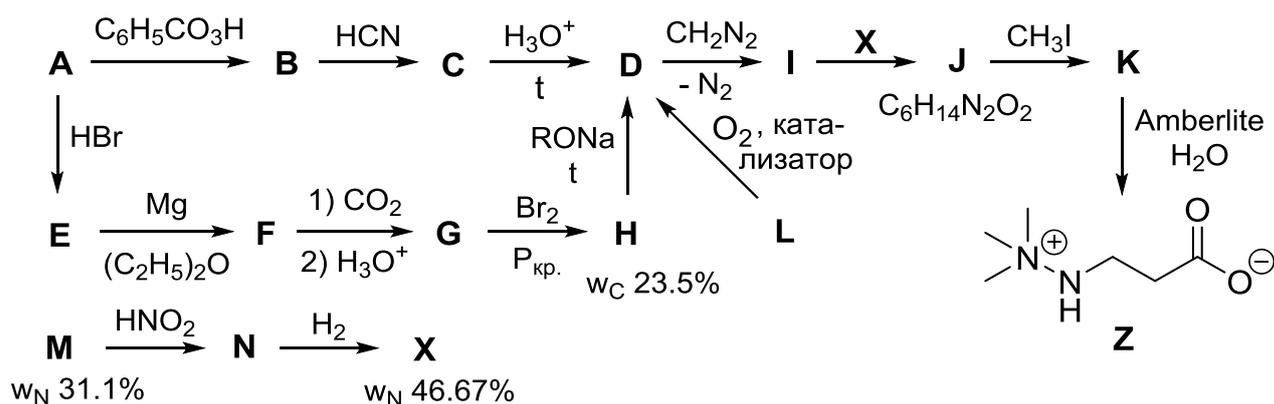
2. Как будет вести себя осадок **В** при действии на него: а) избытка щёлочи; б) избытка раствора  $\text{NH}_3$ ? Напишите уравнения протекающих реакций.
3. Где в электрохимическом ряду напряжений металлов находится **X** (до или после водорода)? Чем обусловлена инертность **X** к  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?
4. Где в организме человека в основном содержится элемент **Z**?
5. Какова степень окисления **X** в соединении **L**? Ответ обоснуйте.

### Задача 11-3

*“Play True”*

*World Anti-Doping Agency*

В 2016 году средства массовой информации широко освещали многочисленные дисквалификации спортсменов за применение допинга. В качестве модулятора метаболизма в соревновательный период было запрещено применение мельдония (**Z**), схема синтеза которого приведена ниже. Соединение **Z** изначально было описано в виде цвиттер-иона, а идея его синтеза возникла в связи с необходимостью утилизации ракетного топлива **X**, которое получают из другого крупнотоннажного продукта **M**. Простейшее в своем классе вещество **A** является самым производимым органическим соединением в мире и используется для получения в одну стадию наиболее распространенного полимера, широко применяемого в повседневной жизни, а также соединения **B**, занимающего второе место по объему использования **A**. Соединение **L** – ближайший гомолог **A**; оно также в большом масштабе используется для получения полимеров. Вещества **D** и **I** применяются при производстве лакокрасочных материалов и в качестве мономеров для получения высокомолекулярных соединений.



1. Напишите структурные формулы соединений А–N и X. Дополнительно известно, что Amberlite IRA-400 – сильноосновная анионообменная смола.

2. Приведите формулы для описанных в условии задачи полимеров, полученных из соединений I и L.

3. Напишите уравнения реакций полного окисления X в ракетном топливе такими окислителями, как: а) кислород, б) тетраоксид диазота и в) азотная кислота.

#### Задача 11-4

Сложные эфиры – это производные кислот, формально являющиеся продуктами замещения атомов водорода карбоксильной группы на углеводородный остаток (обычно алкильный). Гидролиз сложного эфира А, содержащего два типа атомов водорода в соотношении 1:1 и три типа атомов углерода, приводит к образованию соединений В и С, а его восстановление действием сильного восстановителя  $LiAlH_4$  (общая схема после нейтрализации смеси;  $RC(O)OR' + LiAlH_4 \rightarrow RCH_2OH + R'OH$ ) даёт смесь соединений С и D. При гидролизе сложного эфира Е при комнатной температуре образуются соединения С, D и F в соотношении 1:1:1. Если же гидролиз проводить при кипячении с раствором сильной кислоты, выделяется газ и образуются соединения В, С и D. Восстановление Е действием  $LiAlH_4$  даёт С, D и G. Смесь этих же соединений образуется при восстановлении сложного эфира H,

гидролиз которого даёт **G**, **B** и **I**. Наконец, обработка  $\text{LiAlH}_4$  сложного эфира **J**, содержащего два типа атомов водорода в соотношении 3 : 1 и три типа атомов углерода, приводит к образованию единственного продукта **K**, являющегося изомером **G**, а гидролиз приводит к единственному продукту **L**.

Напишите структурные формулы соединений **A–L**.

### Задача 11-5

Многие элементы в природе находятся в виде смеси изотопов – как устойчивых, так и радиоактивных. Так, водород имеет два устойчивых природных изотопа: протий ( $^1\text{H}$ ) и дейтерий ( $^2\text{H}$ ), остальные изотопы радиоактивны. Природный углерод также состоит из двух стабильных изотопов с относительными атомными массами 12 и 13. В связи с этим даже чистые вещества, полученные из природного сырья, содержат различные виды молекул – изотопологи (молекулы одинакового химического состава и строения, но состоящие из разных изотопов).

**1.** Сколько разных изотопологов, состоящих только из природных изотопов, содержится в: а) метане, б) этилене.

**2.** Сколько разных значений может принимать относительная молекулярная масса изотопологов бутана, если относительную атомную массу каждого из изотопов считать целой?

Между молекулами возможны процессы изотопного обмена. Простейший пример – реакция между водородом ( $\text{H}_2$ ) и дейтерием ( $\text{D}_2$ ) с образованием дейтероводорода ( $\text{HD}$ ). Эта реакция обратима, и в реакционной смеси при определённых условиях устанавливается равновесие.

В смеси, в которой начальные давления  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  и  $\text{HD}$  равны 1 атм, реакция идёт в сторону образования  $\text{HD}$  при комнатной температуре, но при очень низких температурах, всего на несколько десятков градусов превышающих температуру конденсации водорода, она идёт в сторону образования  $\text{H}_2$  и  $\text{D}_2$ .

**3.** Определите знаки изменения энтальпии и энтропии в реакции  $\text{H}_2 + \text{D}_2 = 2\text{HD}$ . Объясните. *Указание:*  $\Delta_r G = \Delta_r H - T \cdot \Delta_r S$ , реакция идёт в направлении, для которого  $\Delta_r G < 0$ . Считайте, что  $\Delta_r H$  и  $\Delta_r S$  не зависят от температуры.

**4.** За смещением равновесия в обратимых газовых реакциях часто следят по изменению плотности газовой смеси в сосуде с постоянным давлением. Этот метод, однако, неприменим к данной реакции. Почему?

При температуре 670 К константа равновесия реакции  $\text{H}_2 + \text{D}_2 = 2\text{HD}$  равна 3.78. В сосуд объёмом 2.00 л ввели смесь водорода и дейтерия в таком соотношении, что начальное давление и плотность при указанной температуре составили 2.785 бар и 0.161 г/л.

**5.** Рассчитайте количества (моль) введённых в сосуд водорода и дейтерия.

**6.** Рассчитайте равновесный состав (моль) смеси трёх видов молекул.

## Задания экспериментального тура

### Девятый класс

**Задание:** в восьми пронумерованных пробирках находятся растворы следующих веществ:  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{HCl}$ .

Используя только эти растворы, определите вещества в пробирках. Обоснуйте Ваш ответ.

Для этого:

1. Составьте таблицу, в которой укажите признаки реакций при попарном сливании растворов (цвета выпадающих осадков, выделение пузырьков газов, запах, изменения при добавлении избытка одного из данных реактивов и.т.д.) В случае отсутствия признаков - ставьте прочерк:

№ пробирки	1	2	3	4	5	6	7	8
вещество	$\text{MgSO}_4$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Na}_2\text{S}$	$\text{NaOH}$	$\text{KI}$	$\text{MnSO}_4$	$\text{HCl}$
$\text{MgSO}_4$								
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$								
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$								
$\text{Na}_2\text{S}$								
$\text{NaOH}$								
$\text{KI}$								
$\text{MnSO}_4$								
$\text{HCl}$								

2. Напишите уравнения реакций, сопровождающихся аналитическими признаками (всего 10 реакций).

**Реактивы:** растворы: 0,5M  $\text{MgSO}_4$ , 0,5M  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , 0,5M  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 0,5M  $\text{Na}_2\text{S}$ , 1M  $\text{NaOH}$ , 0,5M  $\text{KI}$ , 0,5M  $\text{MnSO}_4$ , 1M  $\text{HCl}$ .

**Оборудование:** штатив с пробирками (8 пробирок с веществами и 7-10 чистых), пипетка для отбора проб, палочка для перемешивания, стакан для промывания пипетки, водяная баня.

## Десятый класс

### Задание

Есть мнение, что первый прообраз школьной доски появился в Индии в XI веке, где писали кусочками известняка по обожженным дочерна деревянным дощечкам. Один древнеиндийский философ обронил кусочек своего мелка для письма в песок. Со временем мелок рассыпался и смешался с песком... Археологи взяли пробы этого песка и попросили химика Колбочкина установить массу мелка, которым писал философ.

Помогите Колбочкину справиться с этой задачей. Перед Вами небольшая часть образца песка, содержащего остатки  $\text{CaCO}_3$ . Используя имеющиеся на столе оборудование и реактивы:

1. Установите точную концентрацию выданной Вам 1 М  $\text{HCl}$ .
2. Установите массовую долю  $\text{CaCO}_3$  в выданном Вам образце.
3. Рассчитайте массу мелка философа, если известно, что общая масса песка, переданного археологами, составляла 30 г. Примите массовую долю  $\text{CaCO}_3$  в мелке равной 100 %.
4. Запишите уравнения химических реакций, протекающих в ходе анализа.

**Реактивы:** 0,1 М  $\text{NaOH}$ , стандартный раствор (точная концентрация указана на склянке), 1 М  $\text{HCl}$ , индикатор фенолфталеин.

**Оборудование:** химический стакан или бюкс на 50 мл с анализируемым образцом, бюретка на 50 мл, воронка для заполнения бюретки, градуированная пипетка на 5 или 10 мл, груша резиновая или пипетатор, колба для титрования на 200 мл (1 – 2 шт), стеклянная палочка.

### Методика стандартизации 1 М $\text{HCl}$

С помощью градуированной пипетки перенесите точный объем в интервале 1 – 2 мл раствора  $\text{HCl}$  в коническую колбу для титрования, добавьте

20 мл дистиллированной воды, 1 – 2 капли фенолфталеина и титруйте стандартным раствором NaOH до бледно-розовой устойчивой в течении как минимум 10 секунд окраски. Запишите объем NaOH, пошедший на титрование. Эксперимент повторите до достижения трех результатов, отличающихся не более чем на 0,1 мл. Усредните эти результаты и рассчитайте точную концентрацию HCl.

### **Методика определения CaCO<sub>3</sub>**

К выданному Вам образцу песка, содержащего CaCO<sub>3</sub>, с помощью градуированной пипетки прибавьте аликвоту 5,0 мл соляной кислоты. Дождитесь окончания выделения газа, периодически перемешивая смесь в стакане стеклянной палочкой. Добавьте пипеткой в стакан 5,0 мл воды, перемешайте смесь. Дайте суспензии немного отстояться, после чего с помощью пипетки перенесите аликвоту 5,0 мл раствора над песком в коническую колбу для титрования, стараясь не переносить песок. Добавьте в колбу 5 – 10 мл воды, 1 – 2 капли фенолфталеина и оттитруйте стандартным раствором NaOH из бюретки до бледно-розовой устойчивой в течении как минимум 10 секунд окраски. Затем перенесите оставшийся исходный раствор над песком в другую коническую колбу, стараясь не переносить сам песок. Ополосните песок, стенки стакана и палочку небольшим количеством дистиллированной воды, дайте суспензии отстояться и перенесите раствор над песком в ту же колбу. Операцию повторите 1 – 2 раза. Добавьте в колбу 1 – 2 капли фенолфталеина и оттитруйте HCl стандартным раствором NaOH до бледно-розовой устойчивой в течении как минимум 10 секунд окраски. Результаты двух титрований усредните. Рассчитайте массу CaCO<sub>3</sub> в анализируемом образце.

## Одиннадцатый класс

**Задание:** Вам выдана точная навеска смеси трех веществ, состоящая из карбонатов натрия, кальция и содержащая в качестве примеси хлорид калия.

1. Напишите методику определения в смеси каждого из трех веществ на основе титриметрического определения  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с использованием имеющихся реактивов и оборудования. Запишите уравнения реакций.
2. Определите массовую долю (%) каждого вещества.

**Реактивы:** 0,1М NaOH, 0,1М HCl, индикатор метиловый оранжевый  
 $\Delta\text{pH} = 3,5\text{--}4,4$ .

**Оборудование:** термостойкая коническая колба на 100 мл или высокий химический стакан на 150 мл (1шт), мерная колба на 100 мл с пробкой (1шт), воронки для заполнения бюретки (1шт) и фильтрования (1шт), мерный цилиндр на 25 мл (1шт), бюретка на 25мл (1шт), пипетка Мора на 10 мл (1–2шт), груша резиновая или пипетатор (1шт), фильтр бумажный, глазная пипетка, колба для титрования на 100 мл (1–2шт), электроплитка.