

**ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКОГО** ТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА ВСЕ-  
РОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО **ХИМИИ**  
(основной комплект)

2017–2018

## Оглавление

<b>Пояснительная записка.....</b>	<b>3</b>
<i>Девятый класс .....</i>	<i>4</i>
<u>Задача 9-1.....</u>	<u>4</u>
<u>Задача 9-2.....</u>	<u>4</u>
<u>Задача 9-3.....</u>	<u>6</u>
<u>Задача 9-4.....</u>	<u>7</u>
<u>Задача 9-5.....</u>	<u>7</u>
<u>Задача 9-6.....</u>	<u>8</u>
<i>Десятый класс .....</i>	<i>10</i>
<u>Задача 10-1 .....</u>	<u>10</u>
<u>Задача 10-2 .....</u>	<u>11</u>
<u>Задача 10-3 .....</u>	<u>12</u>
<u>Задача 10-4 .....</u>	<u>14</u>
<u>Задача 10-5 .....</u>	<u>14</u>
<u>Задача 10-6 .....</u>	<u>16</u>
<i>Одиннадцатый класс.....</i>	<i>18</i>
<u>Задача 11-1 .....</u>	<u>18</u>
<u>Задача 11-2 .....</u>	<u>19</u>
<u>Задача 11-3 .....</u>	<u>20</u>
<u>Задача 11-4 .....</u>	<u>22</u>
<u>Задача 11-5 .....</u>	<u>23</u>
<u>Задача 11-6 .....</u>	<u>24</u>

## **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 6 задач из различных разделов химии для каждой возрастной параллели участников. Проверке подлежат все 6 задач, при подсчете рейтинга участников в суммарном балле за теоретический тур учитываются баллы только ПЯТИ задач. Баллы за задачу с минимальным числом баллов не суммируются.

Распределение тематики задач по классам представлено в таблице:

Задача \ Класс	1	2	3	4	5	6
<b>9</b>	Неорганическая химия				Физическая химия	
<b>10</b>	Неорганическая химия			Орг. химия	Физическая химия	
<b>11</b>	Неорг. химия		Органическая химия		Физическая химия	

### Девятый класс

В зачет идут только ПЯТЬ задач из шести. Задача с минимальным числом баллов не учитывается при подсчете суммы баллов за теоретический тур.

#### Задача 9-1

##### Венская известь

Венская известь образуется при сильном прокаливании природного минерала **X**, причем из **1** кг **X** может быть получено **521.7** г извести. Венская известь бурно реагирует с водой, увеличиваясь в объеме и образуя **619.5** г белого кристаллического продукта. При растворении этого продукта в избытке соляной кислоты получается бесцветный раствор, из которого добавлением избытка насыщенного сульфата натрия может быть теоретически выделено **934.8** г белого кристаллического вещества **Y** нерастворимого в кислотах. Навеска этого вещества массой **10** г при нагревании до  $350^{\circ}\text{C}$  теряет **2.093** г.

##### **Вопросы:**

- 1) Определите состав венской извести в массовых процентах, если известно, что она окрашивает пламя в кирпично-красный цвет
- 2) Найдите формулу минерала **X** и вещества **Y**. Приведите тривиальные названия этих веществ
- 3) Запишите уравнение реакции взаимодействия **X** с соляной кислотой. Рассчитайте минимальный объем 20%-ной соляной кислоты (плотность 1.1 г/мл), необходимой для перевода в раствор **1** г минерала **X**.

#### Задача 9-2

##### Чудотворный носитель света

При восстановлении фосфата кальция углём с добавлением оксида кремния отгоняют пары простого вещества **A** (р-ция 1), которые конденсируются в виде желтоватых кристаллов. **A** способно самовоспламеняться на воздухе, сгорая до крайне гигроскопичного **B** (р-ция 2). При нагревании **A** без доступа воздуха образуется красное вещество **B** (р-ция 3). Кипячение **A** с концентрированным раствором гидроксида натрия приводит к диспропорционированию с вы-

**Задания теоретического тура**

делением газа **Г** и образованию в растворе соли **Д** (**р-ция 4**). Соль **Д** является сильным восстановителем. Из 0.25 г **А** может быть получено 45.2 мл (н.у.) **Г**.

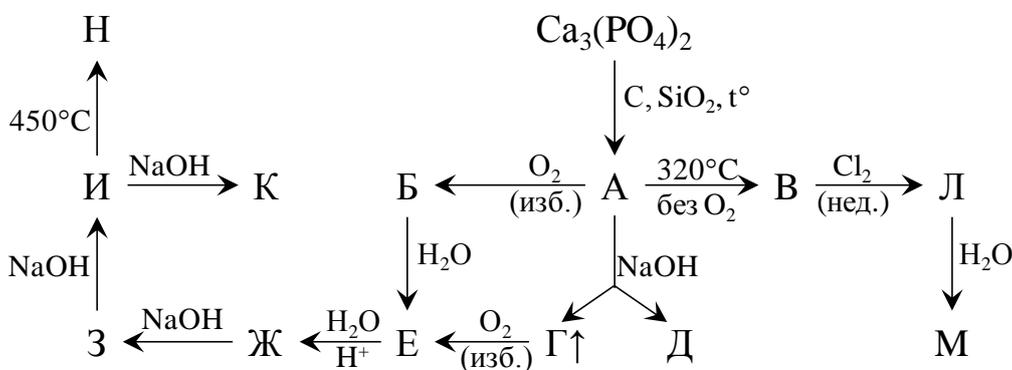
Газ **Г** легко воспламеняется при поджигании на воздухе образуя кислоту **Е** (**р-ция 5**), при растворении которой в воде образуется известная каждому школьнику кислота **Ж** (**р-ция 6**). Кислота **Е** образуется также если оставить **Б** на влажном воздухе (**р-ция 7**).

При нейтрализации **Ж** раствором гидроксида натрия, последовательно образует соли **З**, **И** и **К** (**р-ции 8-10**).

При хлорировании **В** в недостатке хлора можно получить жидкость **Л** (**р-ция 11**), при гидролизе которой образуется кислота **М** (**р-ция 12**).

При пиролизе **И** образуется средняя соль **Н** еще одной кислоты (**р-ция 13**), содержащей мостиковый (соединенный с двумя атомами фосфора) атом кислорода.

Все перечисленные вещества **А – Н** содержат элемент **Х**. Ниже приведена схема описанных превращений:



**Вопросы:**

Определите элемент **Х** и вещества **А – Н**. Напишите уравнения реакций всех описанных превращений.

Из водного раствора соль **Д** выделяется в виде кристаллогидрата, содержащего 16.98 % воды. Определите его состав.

Предложите структурные формулы кислот **Ж**, **М**, а так же кислот соответствующих солям **Д** и **Н**. Для каждой кислоты определите и обоснуйте основность.

**Задача 9-3**

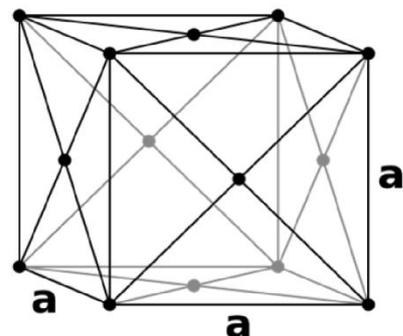
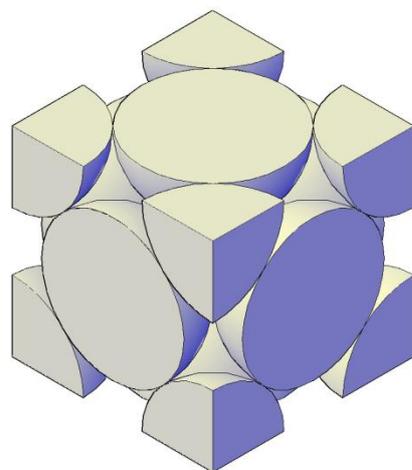
Благородный металл жёлтого цвета **X** имеет кубическую гранецентрированную кристаллическую решетку (см. рисунок, атомы располагаются в вершинах куба, и в центре каждой его грани). Плотность металла  $19.30 \text{ г/см}^3$ , параметр **a** элементарной ячейки равен  $4.0781 \text{ \AA}$ .

1. Рассчитайте радиус атома **X**, определите число атомов в элементарной ячейке, учитывая, что атомы могут принадлежать одновременно нескольким ячейкам. Рассчитайте молярную массу **X**, используя данные задачи. Определите металл **X**.

При сплавлении в автоклаве металла **X** с легкоплавким активным металлом **Y** золотистого цвета образуется прозрачное кристаллическое вещество жёлтого цвета **Z**. Элементарная ячейка вещества **Z** изображена на рисунке (атомы одного сорта располагаются в вершинах куба, атом другого сорта располагается в центре куба). Плотность вещества составляет  $7.08 \text{ г/см}^3$ , параметр **a** элементарной ячейки равен  $4.262 \text{ \AA}$ .

2. В каком мольном отношении **X** и **Y** входят в это соединение? Рассчитайте молярную массу **Y**, используя данные задачи. Определите металл **Y**.

3. Вещество **Z** имеет ионное строение, какие степени окисления **X** и **Y** в этом соединении, ответ обоснуйте. Оцените (больше или меньше какой-то величины) ионные радиусы, ответ обоснуйте. Назовите **Z**.



4. Запишите уравнения реакций металла **Y** и вещества **Z** с водой. Обсудите возможность взаимодействия **X**, **Y** и **Z** с кислородом, запишите уравнения реакций (не менее 3-х) и условия их протекания.

**Задача 9-4**

Широко распространенный в природе минерал **А** представляет собой оксид, массовая доля кислорода в котором составляет 30.0%. Он применяется в металлургии, входит в состав некоторых видов керамики, используется в качестве пигмента, а также катализатора в некоторых химических процессах.

1. Определите его молекулярную формулу.
2. Как называется этот минерал?

Если 2.4 г вещества **А** поместить в сосуд объемом 1.0 л (при н.у.), герметично закрыть и нагреть до 1470 °С, то после резкого охлаждения системы до 0 °С давление в сосуде увеличится на 5.6 % по сравнению с исходным. При этом в результате полного разложения вещества **А** образуется соединение **В**.

3. Установите формулу соединения **В** и запишите уравнение реакции разложения вещества **А** при данных условиях (**р-ция 1**).

4. Составьте уравнения реакций взаимодействия соединения **В** с соляной кислотой (**р-ция 2**) и концентрированной азотной кислотой (**р-ция 3**).

Сплавление минерала **А** с кальцинированной содой (карбонат натрия) (**р-ция 4**) и последующим гидролизом получившегося остатка (**р-ция 5**) положены в основу одного из способов производства вещества **С**, применяемого во многих отраслях промышленности.

5. Запишите уравнения описанных выше реакций.
6. В чем заключается преимущество данного метода? Назовите еще два промышленных способа получения вещества **С**.
7. Какую максимальную массу вещества **С** можно получить, если в качестве исходного сырья использовали 130.4 кг горной породы, содержащей 92.0% минерала **А** и 88.0 кг соды?

**Задача 9-5**

**Реакции между газами**

Газообразные при нормальных условиях вещества **А** – **Г** попарно реагируют между собой при нагревании, образуя во всех случаях одни и те же продукты – два вещества, входящие в состав воздуха. Данные об относительной плот-

ности газовых смесей, участвующих в реакции, приведены в таблице. Реагенты во всех случаях взяты в стехиометрическом соотношении.

Реагирующие вещества	Плотность по водороду $D_{H_2}$ исходной смеси	Плотность по водороду $D_{H_2}$ смеси продуктов при 200 °С
<b>А + Б</b>	11.5	11.5
<b>В + Б</b>	8.0	10.67
<b>В + Г</b>	12.4	11.27

1. Определите формулы веществ **А – Г** (подтвердите расчётом). Напишите уравнения всех реакций.

2. Газообразное вещество **Е** реагирует с **Г** в объёмном соотношении 3 : 4, превращаясь в те же продукты, что и в п. 1. Эти же газы реагируют между собой в водном растворе в соотношении 1 : 1, образуя две соли одинакового качественного состава. Определите вещество **Е** и напишите уравнения обеих реакций.

### Задача 9-6

#### Тепловые эффекты химических реакций

Тепловым эффектом химической реакции называется теплота, которая выделяется (или поглощается) в химической реакции. Для измерения тепловых эффектов химических реакций используют специальные приборы – калориметры.

Теплотой образования вещества называется тепловой эффект реакции образования этого вещества из простых веществ. Например, теплота образования глюкозы – это тепловой эффект реакции



Однако тепловой эффект этой реакции нельзя непосредственно измерить в калориметре, поскольку такая реакция не идет.

1. Предложите способ, с помощью которого можно определить теплоту образования глюкозы. Тепловые эффекты каких реакций нужно измерить для этого? Запишите эти реакции и покажите, как с их помощью узнать теплоту образования глюкозы.

**Задания теоретического тура**

**2.** Спиртовое брожение глюкозы – сложный ферментативный процесс, который описывается следующей суммарной реакцией:



Тепловой эффект этой реакции тоже нельзя непосредственно измерить в калориметре. Для его определения были проделаны следующие измерения.

В калориметре сожгли 0.976 г бензойной кислоты ( $C_6H_5COOH$ ), в результате температура калориметра повысилась на 3.69 К. Теплота сгорания бензойной кислоты равна 3230 кДж/моль.

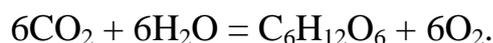
**а).** Запишите уравнение сгорания бензойной кислоты до  $CO_2$  и  $H_2O$ . Рассчитайте теплоемкость калориметра.

При сжигании в этом калориметре 1.35 г глюкозы температура повысилась на 3.00 К, а при сжигании 0.644 г этанола – на 2.74 К.

**б).** Запишите уравнения сгорания глюкозы и этанола ( $C_2H_5OH$ ) до  $CO_2$  и  $H_2O$ . Рассчитайте теплоты сгорания глюкозы и этанола.

**в).** Покажите, как с помощью этих данных рассчитать тепловой эффект реакции спиртового брожения глюкозы, и рассчитайте его.

**3.** Одним из важнейших процессов на Земле является процесс фотосинтеза, протекающий в растениях под действием солнечного света. Этот сложный процесс можно представить в виде следующей суммарной реакции:



Предложите способ, с помощью которого можно определить тепловой эффект этой реакции. Можно ли его определить из имеющихся у вас данных? Если да, то чему он равен?

### Десятый класс

В зачет идут только ПЯТЬ задач из шести. Задача с минимальным числом баллов не учитывается при подсчете суммы баллов за теоретический тур.

#### Задача 10-1

Основным компонентом достаточно редкого минерала является бинарное соединение **A** (содержит 63.15 % (по массе) металла **M**). При взаимодействии вещества **A** с раствором соляной кислоты образуется практически бесцветный раствор соединения **B** и выделяется газ **B**, имеющий запах тухлых яиц (**р-ция 1**). Если соединение **A** обработать концентрированной азотной кислотой при нагревании, газ **B** не образуется, а вместо него наблюдается выделение газа **Г** бурого цвета (**р-ция 2**).

К раствору **B** добавили водный раствор аммиака (**р-ция 3**), в результате чего выпал студнеобразный светло-розовый осадок **Д**, который на воздухе постепенно превращается в оксид **Е** (**р-ция 4**). При взаимодействии **Е** с концентрированной соляной кислотой при нагревании выделяется желто-зеленый газ **Ж** (**р-ция 5**).

Если твердый оксид **Е** сплавить с гидроксидом калия в присутствии нитрата калия образуется соединение **З** (**р-ция 6**), водный раствор которого имеет зеленую окраску. При разбавлении раствора **З** водой постепенно образуется осадок **Е** и получается раствор **И** малинового цвета (**р-ция 7**).

1. Определите состав соединения **A**, являющегося основным компонентом упомянутого редкого минерала металла **M**. Приведите необходимые расчеты, подтверждающие Ваш ответ.

2. Приведите формулы веществ **B – И**, а также напишите уравнения реакций **1 – 7**.

3. Газы **B**, **Г** и **Ж** взаимодействуют с растворами щелочей, причем состав продуктов может быть разным в зависимости от условий проведения реакций. Напишите уравнения пяти возможных реакций указанных газов (по отдельности) с раствором NaOH и укажите условия их проведения.

**Задания теоретического тура**

4. В лабораторной практике для получения кислорода часто используют реакцию термического разложения твердого соединения **И**. Напишите уравнение этой реакции.

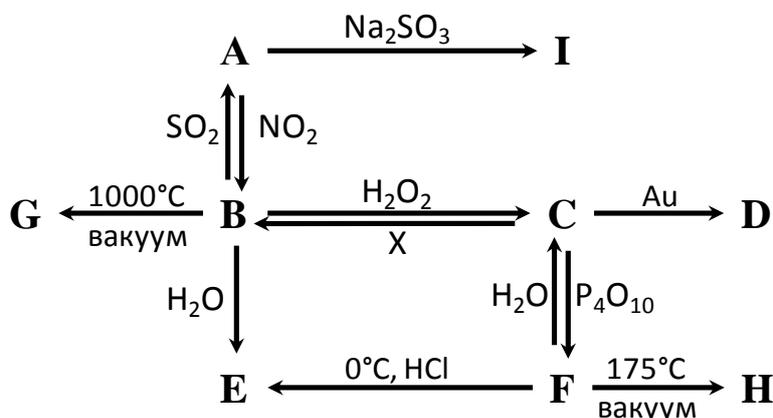
5. Для получения соединения **И** в промышленности используют два способа. Первый – обработка раствора соединения **З** газом **Ж**. Второй (современный способ) – электролиз водного раствора соединения **З**. Напишите уравнения реакций, соответствующих этим двум способам.

**Задача 10-2**

*Света первого сестра,  
Образ нежности в печали,  
Вкруг тебя туманы встали,  
Как фата из серебра.*

*(Иоганн Гёте)*

Вашему вниманию предлагается схема превращений, где все зашифрованные вещества содержат элемент **X**, химические свойства соединений которого отчасти напоминают свойства соединений серы:



Про приведённые вещества известно следующее:

**A** - простое вещество, **C** и **E** – двухосновные кислоты;

на титрование аликвоты (20.0 мл) раствора 1.00 г **C** в 200 мл уходит 19.7 мл 0.0700 М раствора NaOH;

в реакции **B** → **G** потеря массы составляет 14.42%;

**Задания теоретического тура**

соединение **Н** может быть также получено при нагревании смеси **В** и **Е**, взятых в соотношении 1 : 1.144 по массе, **Н** имеет полимерное строение.

Для синтеза вещества **Д** используют концентрированный раствор **С**, синтез проводят в автоклаве при 250°C в течение 10 часов. Массовая доля **Х** в **Д** равна 29.95%, массовая доля **Аи** – 49.81%, вещество имеет жёлто-оранжевый цвет.

Вещество **Г** состоит из четырех элементов, массовая доля **Х** равна 38.52%.

**Вопросы:**

1. Определите элемент **Х**. Расшифруйте указанные в схеме вещества **А - Г**.

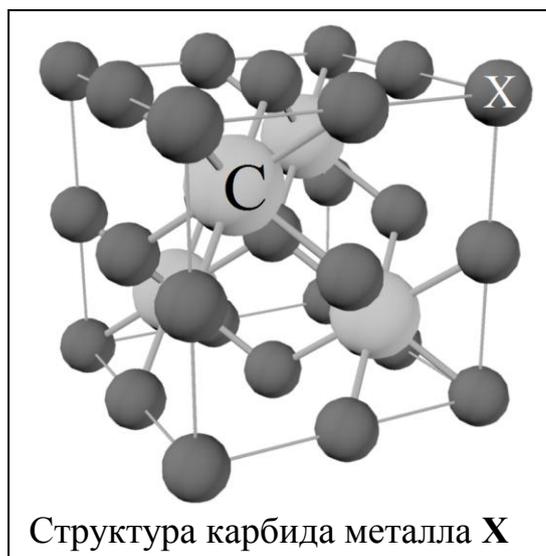
Ответ обоснуйте, состав **С, В, Д, Г, Г, Н** подтвердите расчетом.

Напишите уравнения всех реакций, приведённых на схеме (каждая стрелка соответствует реакции).

**Задача 10-3**

Элемент **Х** незаслуженно поверхностно изучается в рамках школьной программы. Тем не менее, он обладает уникальной областью применения, благодаря тому, что это твердый, довольно устойчивый к коррозии металл, плавящийся при высокой температуре. К примеру, он используется в ракетостроении, ядерной энергетике, рентгенографии и даже для изготовления клюшек для гольфа!

Этот металл проявляет так называемое диагонально сходство с элементом **У**, из-за чего в XIX веке **Х** считали трехвалентным. Так **Х** и **У** растворяются в растворах кислот и щелочей, оба пассивируются концентрированной азотной кислотой, имеют ионное строение карбидов и даже образуют общие минералы.



**Задания теоретического тура**

Первоначальное наименование **X** было дано в связи со сладковатым вкусом его солей. А современное название **X** получил от своего важнейшего минерала с формулой  $X_3Y_2Si_6O_{18}$ .

При действии раствора аммиака на раствор сульфата **X** выпадает белый осадок **A** (**р-ция 1**). Этот осадок после отделения от маточного раствора и промывания растворяется в водном растворе гидрокарбоната калия (**р-ция 2**). Из полученного раствора этанолом экстрагируют вещество **B**, которое при медленном упаривании спирта кристаллизуется **C**. При нагревании **C** до  $120^\circ\text{C}$  образуется **B**, а потеря массы составляет 16.32% (**р-ция 3**), а дальнейшее нагревание до  $500^\circ\text{C}$  приводит к дополнительной потере массы в 17.08% (от массы **C**) (**р-ция 4**). Твердый остаток состоит из веществ **D** и **E** (массовая доля **E** составляет 80.56%), а потеря массы связана с образованием газа **F**. При действии избытка  $\text{HCl}$  на 0.30 г **E** выделяется 48.6 мл газа **F** (**р-ция 5**).

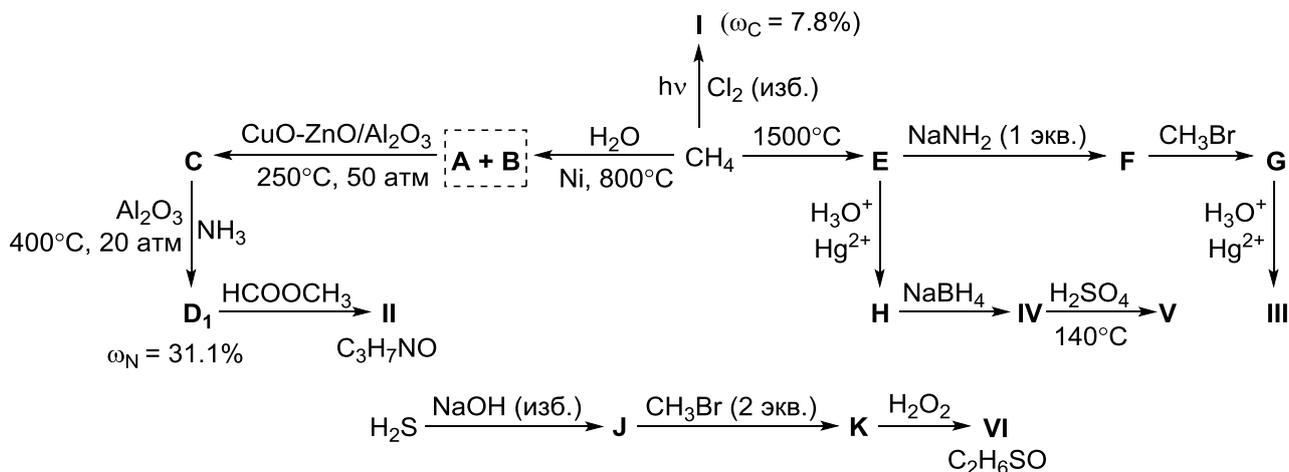
**Вопросы:**

1. Назовите элементы **X** и **Y**;
2. Напишите уравнения реакций взаимодействия металла **X** с растворами  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaOH}$ ;
3. Напишите реакции взаимодействия карбида **X** с раствором  $\text{HCl}$ .
4. Приведите исторически первое название элемента **X**.
5. Минералы  $X_3Y_2Si_6O_{18}$ , содержащие примеси переходных металлов, заслужили всеобщее признание как драгоценные камни благодаря окраске, приведите название хотя бы одного из них.
6. Определите вещества **A – F**, составы **B**, **C**, **D**, **E** подтвердите расчетом, этанол в состав **C** не входит.
7. Напишите уравнения реакций **1 – 5**,
8. Напишите уравнение реакции, которая может протекать между **D** и **E**, если прокалывать их смесь при высокой температуре.

### Задача 10-4

Растворители – это одни из самых используемых в мире химических веществ; они применяются в парфюмерной промышленности, в химчистке, в быту, а также в химическом синтезе, где порой от выбора растворителя зависит, пойдёт реакция или нет.

Далее Вашему вниманию представлены схемы синтеза шести растворителей I–VI, которые часто применяются в органическом синтезе.



### Вопросы:

1. Напишите формулы веществ I–VI, A–C, D<sub>1</sub>, E–H, J и K. Для органических соединений используйте структурные формулы.
2. При взаимодействии вещества C с аммиаком образуется смесь продуктов D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>, которую затем разделяют перегонкой. Напишите структурные формулы соединений D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>.
3. Какие два из растворителей I–VI могут реагировать друг с другом в присутствии кислотного катализатора? Изобразите структурную формулу продукта их взаимодействия.

### Задача 10-5

#### Закон Рауля

Французский химик Ф.-М. Рауль в конце 19-го века обнаружил, изучая растворы разного состава, что давление пара растворителя над раствором не за-

**Задания теоретического тура**

висит от того, какое вещество в нем растворено, а зависит только от содержания растворителя:

$$P = xP^*$$

В этой формуле  $P$  – давление пара растворителя над раствором,  $x$  – мольная доля растворителя,  $P^*$  – давление пара чистого растворителя при данной температуре. Если оба компонента раствора летучи, то закон Рауля выполняется для каждого вещества по отдельности:

$$P_1 = x_1P_1^*$$

$$P_2 = x_2P_2^*$$

Растворы, для которых выполняется закон Рауля, называют идеальными. В данной задаче все растворы – именно такие.

1. Растворитель сероуглерод ( $\text{CS}_2$ ) при комнатной температуре имеет давление пара 360.0 Торр. В 68.4 г  $\text{CS}_2$  растворили 9.60 г нелетучего простого вещества, давление пара над раствором оказалось равным 345.6 Торр. Определите формулу этого простого вещества.

2. Смешали два летучих жидких вещества. Раствор, содержащий 20 мольных % первого вещества, кипит при 714.8 Торр, а раствор, содержащий 20 мольных % второго вещества, – при 1191.2 Торр.

а). Рассчитайте давления пара чистых веществ.

б). В каком мольном соотношении надо смешать эти вещества, чтобы раствор закипел при нормальном атмосферном давлении?

3. При температуре 20 °С давление пара над чистой водой равно 17.54 Торр, над 20%-м раствором глюкозы ( $M_r = 180$ ) – 17.11 Торр, а над раствором, содержащим 5.0 масс. %  $\text{NaCl}$  – 17.05 Торр.

а) В каких процентах указано содержание глюкозы в растворе – мольных или массовых? Объясните или подтвердите расчетом.

б) Почему давление пара над раствором хлорида натрия меньше, чем ожидается из закона Рауля? Какую информацию дает закон Рауля в этом случае?

### Дополнительные сведения

1 атм = 760 мм рт. ст. = 760 Торр.

Жидкость кипит, если давление паров над ней равно атмосферному.

### Задача 10-6

#### Криоскопия

Один из известных методов определения молярной массы веществ – измерение понижения температуры плавления раствора вещества по сравнению с температурой плавления чистого растворителя. Этот метод называется криоскопией.

Если температура плавления чистого растворителя равна  $T$ , а температура плавления раствора недиссоциирующего вещества в нем равна  $T_1$ , то понижение температуры плавления можно найти по формуле:

$$\Delta T = T - T_1 = K_f \cdot m \quad (1),$$

где  $m$  – моляльность раствора (количество моль растворенного вещества в 1 кг растворителя),  $K_f$  – криоскопическая константа, которая является характеристикой данного растворителя. Для воды  $K_f = 1.86 \text{ К} \cdot \text{кг}/\text{моль}$ .

Интересно, что величина  $\Delta T$  для идеальных растворов не зависит от природы растворенных частиц, а зависит только от их концентрации. Поэтому если вещество диссоциирует в растворе на ионы, то формула (1) остаётся справедливой, с тем лишь уточнением, что  $m$  – суммарное количество моль частиц (в том числе ионов, образовавшихся при диссоциации) на 1 кг растворителя.

Вещества  $A_1$  и  $B_1$  молекулярного строения, имеющие сходные структурные формулы и отличающиеся лишь одним атомом, были получены нагреванием соответственно солей  $A_2$  и  $B_2$ . При этом массы твёрдой фазы в ходе обоих превращений не изменяются. Водный раствор, содержащий 100 г воды и 1,00 г  $A_1$ , плавится на 0,310 К ниже, чем вода. Водный раствор с таким же массовым содержанием  $B_1$  плавится на 0,244 К ниже воды. Оба вещества в воде не диссоциируют на ионы.

***Задания теоретического тура***

Рассчитайте молярные массы веществ **A<sub>1</sub>** и **B<sub>1</sub>**, считая плотность растворов равной 1,00 г/мл.

Определите формулы веществ **A<sub>1</sub>** и **B<sub>1</sub>**, если известно, что молекулы каждого этих веществ состоят из 8 атомов. Приведите структурные формулы **A<sub>1</sub>** и **B<sub>1</sub>**.

Определите формулы солей **A<sub>2</sub>** и **B<sub>2</sub>**.

Объясните, почему свежеприготовленный раствор вещества **A<sub>1</sub>** и раствор **A<sub>1</sub>**, приготовленный за несколько дней до проведения эксперимента, имеют разные температуры плавления? У какого раствора она ниже?

При какой температуре (в °С) будет плавиться свежеприготовленный раствор 1 г соли **A<sub>2</sub>** в 100 г воды?

### Одиннадцатый класс

В зачет идут только ПЯТЬ задач из шести. Задача с минимальным числом баллов не учитывается при подсчете суммы баллов за теоретический тур.

#### Задача 11-1

Оксохлорид **X**, представляющий собой дымящую на воздухе жидкость с резким запахом, используется как неводный растворитель, как осушитель или как хлорирующий реагент в органической и неорганической химии.

Оксохлорид **X** наряду с оксидом **B** получается при реакции бинарных соединений **A** и **B** (**р-ция 1**). При взаимодействии **Г** с **B** также получается **X** и оксохлорид **Д** (**р-ция 2**). **Д** получается при реакции **Г** с **Е** (**р-ция 3**). **A** является продуктом каталитического окисления **B** кислородом (**р-ция 4**).

Хлорид **Г** массой 1.000 г при растворении в воде дает смесь двух кислот (**р-ция 5**), при добавлении к которой избытка нитрата серебра выпадает 3.442 г белого осадка (**р-ция 6**), растворимого в растворе аммиака (**р-ция 7**) и концентрированной соляной кислоте (**р-ция 8**), при добавлении раствора гидроксида натрия до полного выделения осадка из фильтрата выпадает дополнительно 2.010 г желтого осадка (**р-ции 9, 10**), растворимого в азотной кислоте (**р-ция 11**).

**X** используется также для обезвоживания кристаллогидратов некоторых хлоридов. Так для обезвоживания 3.000 г кристаллогидрата хлорида магния ( $w(\text{H}_2\text{O}) = 53.15\%$ ) необходимо 10.539 г **X** (**р-ция 12**). В результате реакции получена газовая смесь, содержащая **B** и **HCl** в мольном соотношении 1:2, и безводный хлорид магния. Объем газовой смеси при нормальных условиях составил 5.953 л.

1. Определите плотность смеси **B** и **HCl**. Ответ дайте в г/л. Приведите Ваши расчеты.
2. Рассчитайте молярную массу **B** и определите формулу **B**. Ответ подтвердите расчетом.
3. Определите формулы соединений **A**, **B**, **Г**, **Д**, **Е**, **X** и кристаллогидрата хлорида магния, если дополнительно известно, что **Е** – это высший оксид

**Задания теоретического тура**

элемента, содержащегося в хлориде **Г**, а массовая доля элемента, содержащегося в оксиде **В**, в веществе **Б** равна 31.14%. Приведите Ваши расчеты состава веществ **Б**, **Г**, кристаллогидрата хлорида магния.

4. Напишите уравнения реакций **1 – 12**.

**Задача 11-2**

Элементы **X**, **Y** и **Z** образуют простые вещества **A**, **B** и **C** соответственно, которые при н.у. являются газами без цвета и запаха. На их основе можно получить ряд бинарных соединений **D – F** (содержат только элементы **X** и **Z**) и **G – J** (содержат только элементы **X** и **Y**).

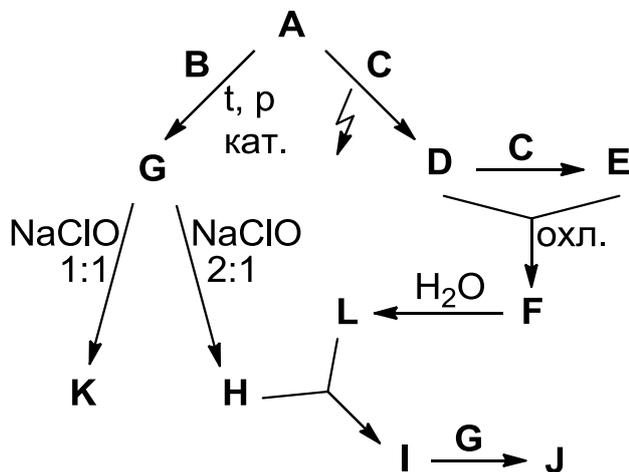
**D** может образоваться при взаимодействии простых веществ при действии электрического разряда (**р-ция 1**). **E** образуется при смешении **D** и **C** при комнатной температуре (**р-ция 2**). При охлаждении смеси газов **D** и **C** образуется жидкость **F** синего цвета (**р-ция 3**). При растворении **F** в ледяной воде образуется раствор неустойчивого вещества **L** (**р-ция 4**), окрашивающий лакмусовую бумажку в красный цвет.

**G** – бесцветный газ с резким запахом, важный продукт химической промышленности. Для его производства используется катализатор на основе железа (**р-ция 5**). Продукт окисления **G** гипохлоритом натрия зависит от соотношения реагентов и условий проведения реакции. Разбавленный раствор **K** может быть получен при действии эквимольного количества  $\text{NaClO}$  на раствор **G** (**р-ция 6**). В свободном виде **K** неустойчиво и при температурах выше  $-40^\circ\text{C}$  разлагается. **H** – бесцветная жидкость, которая входит в состав ракетного топлива. Водный раствор **H** образуется при взаимодействии  $\text{NaClO}$  с избытком раствора **G** (**р-ция 7**).

Из **H** и **L** можно получить ещё одно бинарное соединение **I** (**р-ция 8**), обладающее окислительными свойствами. При действии **G** на **I** образуется ионное соединение **J** (**р-ция 9**).

**Вопросы:**

1. Приведите структурные формулы всех зашифрованных соединений **A – L**.
2. Напишите уравнения всех описанных превращений, изображённых на схеме (р-ции 1 – 9).



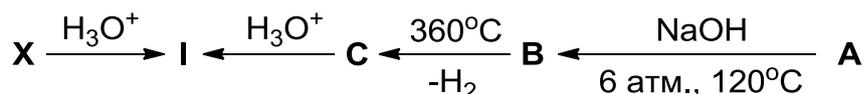
3. Оцените значения валентных углов ( $\sim 60^\circ, 90^\circ, 109.5^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ ) в катионе и анионе **J**. **Ответ обоснуйте.**
4. Сравните длины связей ( $>, <, =$ ) в соединениях **D** и **E**. **Ответ обоснуйте.**
5. Почему **E** не образуется сразу при взаимодействии **A** с избытком **C** в электрическом разряде?
6. Как ведут себя соединения **D** и **E** при охлаждении? **Ответ обоснуйте, напишите уравнения протекающих реакций.**

**Задача 11-3**

**Великолепная пятёрка**

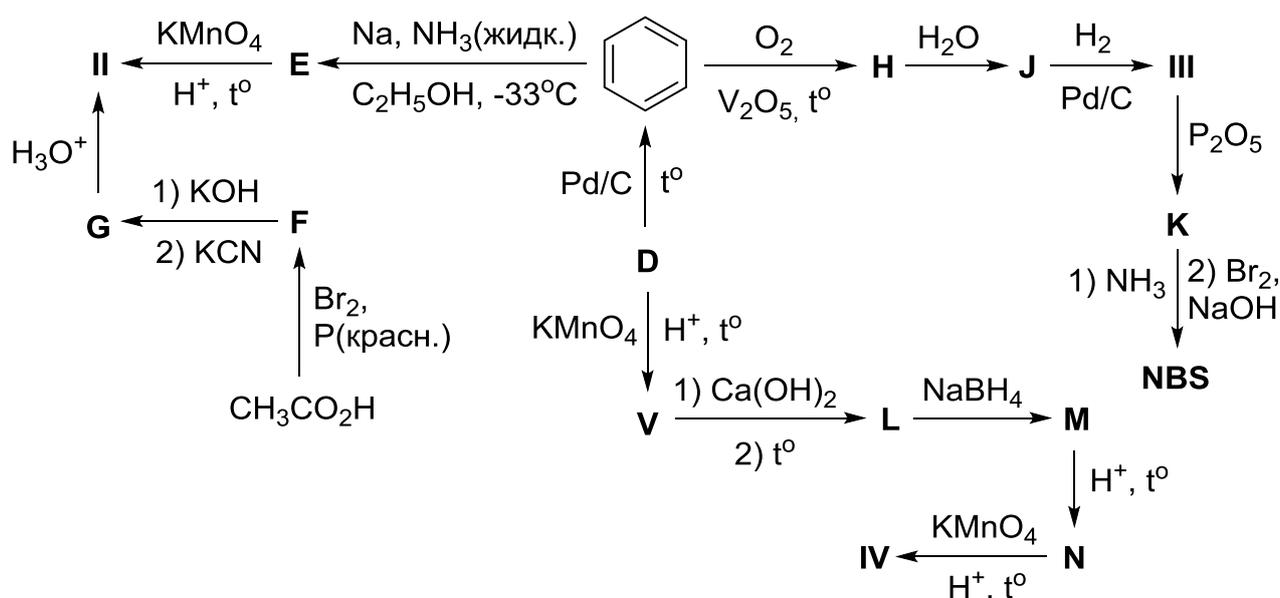
В данной задаче речь пойдёт о пяти веществах **I–V**, представителях одного и того же класса органических соединений. Вещество **I**, содержащееся в щавеле, ревене и карамболе, впервые было получено немецким химиком Фридрихом Вёлером в 1824 году из бинарного газа **X**, в котором массовая доля углерода составляет 46,15%. В настоящее время в промышленности **I** получают по следующей схеме из несолеобразующего оксида **A**:

Задания теоретического тура



Соединение **II** широко встречается в природе и используется для синтеза различных аминокислот. Вещество **III** играет огромную роль в жизненных циклах; помимо этого, из него можно получить весьма важный для органического синтеза реактив NBS.  $\alpha$ -кетопроизводное вещества **IV** играет чрезвычайно важную роль в цикле Кребса. Наконец, вещество **V** используется как пищевая добавка E355, а также в производстве нейлона.

Вещества **II–V** можно получить из моноциклического вещества **D** ( $\text{C}_6\text{H}_{10}$ ) в разное число стадий по следующей схеме; помимо этого, приведены некоторые дополнительные пути синтеза:



Дополнительная информация:

- $\omega_{\text{C}}(\text{X}) - \omega_{\text{C}}(\text{I}) = 0.1948$  ( $\omega_{\text{C}}$  – массовые доли углерода в веществах);
- соединение **C** не содержит водорода;
- **II** является единственным продуктом окисления **E**, содержащим углерод, а **V** является единственным органическим продуктом окисления **D**;
- соединение **F** имеет в своём составе один атом брома;
- молекула **NBS** представляет собой пятичленный цикл с одним гетероатомом и содержит связь **N–Br**.

**Вопросы:**

1. Приведите структурные формулы веществ **I–V**, **A–N**, **X** и NBS.
2. Приведите тривиальные названия веществ **I–V**.

При решении задачи используйте целочисленные массы элементов.

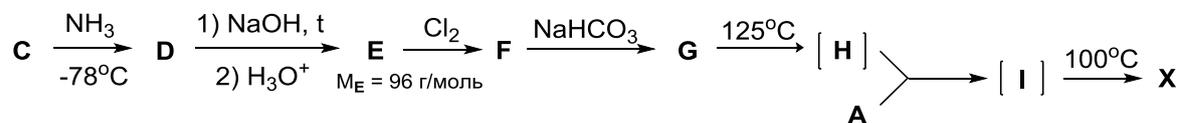
**Задача 11-4**

Углеводород **A**, содержащий 9.1% водорода по массе, обладает слабыми кислотными свойствами и при хранении димеризуется с образованием бициклического соединения **B**. Для превращения димера **B** обратно в **A**, **B** нагревают до 160°C и отгоняют образующийся мономер **A** из реакционной смеси.

1. Нарисуйте структурные формулы **A** и **B**, при условии, что **B** содержит в своей структуре шестичленный цикл.

Вещество **A** используется для промышленного получения вещества **X**, которое, в свою очередь, используется как растворитель в органическом синтезе.

Схема синтеза **X** представлена на схеме ниже:



Дополнительно известно (все указанные % по массе):

- **C** – газ с плотностью по воздуху 3.45;
- **D** – циклическое соединение; включает в себя углерод, водород и азот с содержанием 31.2, 1.3, 18.2 %, соответственно, а также некий галоген;
- в молекуле **D** имеется два типа атомов углерода, а все атомы водорода, азота и галогена одинаковы (имеется по одному типу атомов этих элементов);
- в образовании **D** участвуют три молекулы **C**;
- **[H]** – высокореакционноспособная частица, которая может существовать, как в триплетном, так и синглетном состоянии;
- содержание неизвестного галогена в **H**, **I** и **X**: 76.0, 32.7 и 19.8% соответственно.

2. Установите и нарисуйте структурные формулы веществ **C – I** и **X**.

### Задача 11-5

#### Необычное бинарное вещество

Бинарное вещество **X**, содержащее 74.07 % кислорода по массе, обладает многими необычными свойствами. В газовой фазе оно состоит из молекул, а в твердом виде – из ионов. Вещество **X** легко разлагается по реакции 1-го порядка, причем во всех реакциях разложения, как в газовой фазе, так и во многих органических растворителях, энергия активации – практически одна и та же.

1. Установите формулу вещества **X**. Назовите хотя бы одно бинарное вещество, в котором массовая доля кислорода – больше, чем в **X**. Ответ подтвердите расчетом.

2. Напишите структурные формулы молекулы **X** и ионов, из которых состоит твердое вещество **X**, учитывая, что во всех этих частицах один из элементов имеет валентность IV, а правило октета выполняется для всех атомов. Предскажите геометрическую форму каждого иона.

3. При полном разложении **X** в газовой фазе при постоянной температуре давление увеличивается в 2.5 раза. Напишите уравнение реакции.

4. В газовой фазе при температуре 318 К вещество **X** разлагается со скоростью 5 % в минуту, а при 328 К – со скоростью 15 % в минуту. Определите период полураспада **X** при 318 К и рассчитайте энергию активации.

5. В хлороформе реакция разложения **X** протекает немного быстрее, чем в газовой фазе: период полураспада при 318 К равен 10 мин. При какой температуре период полураспада будет в 2 раза больше?

#### Справочная информация

Зависимость количества вещества от времени в реакции 1-го порядка (при постоянном объеме):

$$\ln n(t) = \ln n_0 - kt.$$

Зависимость константы скорости от температуры (уравнение Аррениуса):

$$\ln k(T) = \text{const} - E_a / (RT).$$

### **Задача 11-6**

#### **Диссоциация воды и реакция нейтрализации**

Вода является слабым электролитом. Упрощённое уравнение её диссоциации выглядит так:



Поскольку в чистой воде и разбавленных растворах концентрация воды остается постоянной, то вместо константы равновесия реакции автопротолиза воды обычно рассматривают константу  $K_w = [\text{OH}^-] \cdot [\text{H}^+]$ , которую называют константой автопротолиза воды или ионным произведением воды.

1. Рассчитайте молярную концентрацию воды в а) чистом веществе (плотность 1.00 г/мл), б) 20%-м растворе хлорида натрия (плотность раствора 1.148 г/мл).

Известны значения  $K_w$  при двух температурах:

<i><b>T, °C</b></i>	<i><b>K<sub>w</sub></b></i>
25	$1.00 \cdot 10^{-14}$
60	$1.26 \cdot 10^{-13}$

2. Качественно предскажите знак энтальпии диссоциации воды. Ответ объясните.

3. Рассчитайте энтальпию диссоциации воды. Считайте, что она не зависит от температуры.

4. Каков pH чистой воды при 60 °C? Какова среда раствора при этом?

5. При какой температуре pH чистой воды будет составлять 6.30?

6. Известно, что при проведении реакции нейтрализации происходит нагревание раствора. Выберите из следующих величин те, которые можно рассчитать исходя из данных задачи и результатов Ваших расчётов, и рассчитайте их. Для величин, которые нельзя рассчитать, приведите обоснованное объяснение причин, по которым этого нельзя сделать:

а) количество теплоты, которое выделится при реакции 100 г 10 % раствора гидроксида бария с 100 г 10 % раствором серной кислоты;

**Задания теоретического тура**

б) количество теплоты, которое выделится при реакции 100 г 7.0 % раствора гидроксида калия с 0,20 л 0,70 М раствором соляной кислоты.

**Дополнительная информация:**

$$\text{pH} = -\lg([\text{H}^+])$$

$$\ln(K) = -\frac{\Delta H}{RT} + \text{const}, R = 8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$