

**Задания отборочного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по химии  
2019/2020 учебного года**

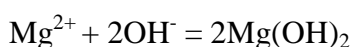
**8 класс**

**Задача 1 (25 баллов)**

1. Навеску кристаллогидрата соли магния массой 36,9 г растворили в 250 мл воды, получив при этом раствор с массовой долей 6,273%. Магний из образовавшегося раствора можно полностью осадить с помощью 12 г гидроксида натрия. Установите формулу исходного гидрата.

*Решение*

$$n(\text{NaOH}) = 12/40 = 0.3 \text{ моль}$$



$$n(\text{Mg}^{2+}) = 0,3/2 = 0.15 \text{ моль}$$

$$m(\text{соли}) = (250+36,9) \cdot 0,06273 = 17,99 \text{ г}$$

Если магний 1 в соли, то

$$M(\text{соли}) = 17.99/0.15 = 120 \text{ г/моль, это сульфат.}$$

$$m(\text{воды в кристаллогидрате}) = 36.9 - (120 \cdot 0.15) = 18,9 \text{ г}$$

$$n(\text{воды в кристаллогидрате}) = 18,9/18 = 1,05 \text{ моль.}$$

$$N(\text{MgSO}_4):(\text{H}_2\text{O}) = 0,15:1,05 = 1:7$$

*Ответ  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$*

2. Навеску кристаллогидрата соли меди массой 32,5 г растворили в 250 мл воды, получив при этом раствор с массовой долей 7,363%. Медь из образовавшегося раствора можно полностью осадить с помощью 10,4 г гидроксида натрия. Установите формулу исходного гидрата.

*Ответ  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$*

3. Навеску кристаллогидрата некоторого сульфата массой 32,5 г, растворили в 250 г воды, получив при этом раствор с массовой долей 7,363%. Образовавшийся раствор может полностью прореагировать с 27,04 г хлорида бария. Установите формулу исходного гидрата.

*Ответ  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$*

4. Навеску кристаллогидрата некоторого сульфата массой 36,9 г, растворили в 250 г воды, получив при этом раствор с массовой долей 6,273%. Образовавшийся раствор может полностью прореагировать с 31,2 г хлорида бария. Установите формулу исходного гидрата

*Ответ*  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

### Задача 2 (25 баллов)

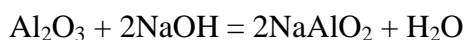
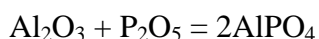
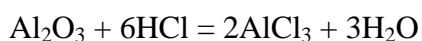
1. Соотношение масс элемента и кислорода в оксиде составляет 9:8. Установите формулу оксида, напишите три реакции с разными классами соединений, иллюстрирующие свойства этого оксида.

*Решение*

В общем виде формула оксида  $Э_2O_x$

$$2:x = n(Э):n(O) = \frac{m(Э)}{M(Э)} : \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{9}{M(Э)} : \frac{8}{16}$$

$M(Э)=9x$  где  $x$  – степень окисления элемента. При  $x = 3$  получаем Al. Оксид  $Al_2O_3$



*Ответ – оксид алюминия*

2. Соотношение масс элемента и кислорода в оксиде составляет 7:20. Установите формулу оксида, напишите три реакции с разными классами соединений, иллюстрирующие свойства этого оксида.

*Ответ*  $N_2O_5$

3. Соотношение масс элемента и кислорода в оксиде составляет 5:2. Установите формулу оксида, напишите три реакции с разными классами соединений, иллюстрирующие свойства этого оксида.

*Ответ*  $As_2O_3$

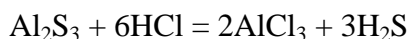
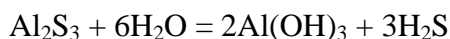
### Задача 3 (25 баллов)

1. При сплавлении 1 г стехиометрической смеси металла и неметалла образовалось белое бинарное соединение. Полученное вещество разделили на три равные части. Первую обработали водой, в результате выпал белый осадок и выделился газ с запахом тухлых яиц. Вторую часть обработали соляной кислотой, при этом образование осадка не наблюдалось, но газ по-прежнему выделялся. Третью часть обработали раствором щелочи, в результате образовался прозрачный раствор и не выделялся газ. Какие простые вещества могли быть взяты для проведения описанных экспериментов? Напишите

уравнения проведенных реакций. Определите объем выделившегося газа при н.у. и массу образовавшегося осадка при обработке его водой.

*Решение*

Газ с запахом тухлых яиц – сероводород. Следовательно, бинарное соединение – сульфид металла. При обработке водой полностью гидролизуется с образованием белого осадка – гидроксида металла, проявляющего амфотерные свойства (в кислоте и щелочи осадка нет). Таким металлом может быть Al.



Так как смесь стехиометрическая, значит  $3 \cdot n(\text{Al}) = 2 \cdot n(\text{S})$  или  $n(\text{S}) = 1,5 \cdot n(\text{Al})$ . Пусть алюминия было  $x$  моль, масса смеси 1 г, тогда

$$32 \cdot 1,5x + 27x = 1, \quad x = 0,013 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{S})/3 = 0,0067 \text{ моль (так как вещество разделили на три равные части)}$$

$$V(\text{H}_2\text{S}) = 0,147 \text{ л}$$

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,00223 \cdot 78 = 0,174 \text{ г}$$

*Ответ – сульфид алюминия*

2. При сплавлении 1 г стехиометрической смеси металла и неметалла образовалось черно-коричневое бинарное соединение. Полученное вещество разделили на три равные части. Первую обработали водой, в результате выпал зелёный осадок и выделился газ с запахом тухлых яиц. Вторую часть обработали соляной кислотой, при этом образование осадка не наблюдалось, но газ по-прежнему выделялся. Третью часть обработали раствором щелочи, в результате образовался прозрачный раствор и не выделялся газ. Какие простые вещества могли быть взяты для проведения описанных экспериментов? Напишите уравнения проведенных реакций. Определите объем выделившегося газа при н.у. и массу образовавшегося осадка при обработке его водой.

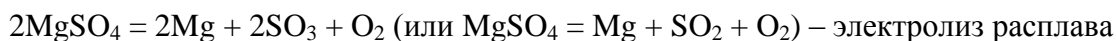
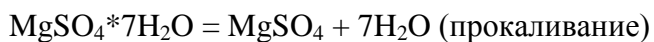
*Ответ – сульфид хрома.*

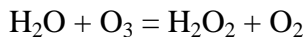
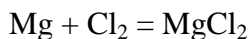
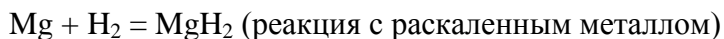
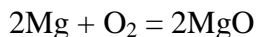
#### Задача 4 (25 баллов)

1. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** английскую соль и хлороводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

*Решение*

Задачи имеют много решений. Ниже приведен один из вариантов.





2. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

3. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** кальцит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

4. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и иодоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

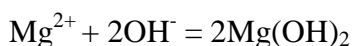
## 9 класс

### Задача 1 (15 баллов)

5. Навеску кристаллогидрата соли магния массой 36,9 г растворили в 250 мл воды, получив при этом раствор с массовой долей 6,273%. Магний из образовавшегося раствора можно полностью осадить с помощью 12 г гидроксида натрия. Установите формулу исходного гидрата.

*Решение*

$$n(\text{NaOH}) = 12/40 = 0.3 \text{ моль}$$



$$n(\text{Mg}^{2+}) = 0,3/2 = 0.15 \text{ моль}$$

$$m(\text{соли}) = (250+36,9) \cdot 0,06273 = 17,99 \text{ г}$$

Если магний 1 в соли, то

$$M(\text{соли}) = 17.99/0,15 = 120 \text{ г/моль, это сульфат.}$$

$$m(\text{воды в кристаллогидрате}) = 36.9 - (120 \cdot 0.15) = 18,9 \text{ г}$$

$$n(\text{воды в кристаллогидрате}) = 18,9/18 = 1,05 \text{ моль.}$$

$$N(\text{MgSO}_4):(\text{H}_2\text{O}) = 0,15:1,05 = 1:7$$

*Ответ*  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

6. Навеску кристаллогидрата соли меди массой 32,5 г растворили в 250 мл воды, получив при этом раствор с массовой долей 7,363%. Медь из образовавшегося раствора можно полностью осадить с помощью 10,4 г гидроксида натрия. Установите формулу исходного гидрата.

*Ответ*  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

7. Навеску кристаллогидрата некоторого сульфата массой 32,5 г, растворили в 250 г воды, получив при этом раствор с массовой долей 7,363%. Образовавшийся раствор может полностью прореагировать с 27,04 г хлорида бария. Установите формулу исходного гидрата.

*Ответ*  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

8. Навеску кристаллогидрата некоторого сульфата массой 36,9 г, растворили в 250 г воды, получив при этом раствор с массовой долей 6,273%. Образовавшийся раствор

может полностью прореагировать с 31,2 г хлорида бария. Установите формулу исходного гидрата.

Ответ  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

### Задача 2 (15 баллов)

Объясните данные наблюдения с точки зрения равновесий с участием электролитов в растворе. Напишите уравнения химических реакций, подтверждающие Ваши гипотезы.

Вариант 1

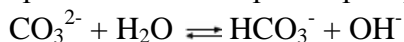
- 1) Дистиллированная вода имеет слабокислую среду ( $pH = 5-6$ )
- 2) Для стирки раньше использовали раствор кальцинированную соду, в то время как пищевая сода не эффективна для стирки.
- 3) Твердый нитрат железа(III) (кристаллогидрат) – белая соль. Водный раствор нитрата железа(III) – ярко желтый.
- 4) Для травления медных печатных плат с целью растворения меди используют водный раствор хлорного железа

Решение

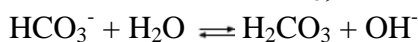
- 1) Дистиллированная вода имеет слабокислую среду, так как обычно в ней растворен углекислый газ из воздуха, который при реакции с водой образует слабую угольную кислоту, частичная диссоциация которой и дает слабокислую среду:



- 2) Кальцинированную соду,  $Na_2CO_3$ , использовали для стирки вследствие щелочной среды её водного раствора в результате гидролиза по аниону  $CO_3^{2-}$ :



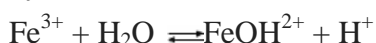
Пищевая сода  $NaHCO_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $HCO_3^-$ :



Вследствие того, что угольная кислота гораздо лучше диссоциирует по первой ступени, чем по второй, реакция гидролиза для карбонат-иона сильнее смещена в сторону образования продуктов, чем для гидрокарбонат-иона. В результате, раствор кальцинированной соды имеет сильнощелочную среду, а пищевой соды –слабощелочную. Щелочная среда необходима для омыления жиров, которые составляют существенную часть грязи на одежде. Слабощелочная среда (низкая концентрация гидроксид-ионов) раствора пищевой соды недостаточна для эффективного омыления жиров.

- 3) В кристаллогидрате нитрата железа(III) ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$  или  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) ион железа(III) существует в виде бесцветного аквакомплекса  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$ , который гидролизует в водной среде с образованием гидроксокомплексов желтого цвета  $[Fe(H_2O)_6]^{3+} + H_2O \rightleftharpoons [Fe(H_2O)_5OH]^{2+} + H^+ + H_2O$

или



- 4) Для травления медных печатных плат с целью растворения меди используют водный раствор хлорного железа  $FeCl_3$ , т.к. металлическая медь реагирует с солями железа(III), растворяя её
- $$2FeCl_3 + Cu = 2FeCl_2 + CuCl_2$$

## Вариант 2

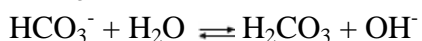
- 1) Газированная вода обычно имеет слабоокислую среду ( $\text{pH} = 4-5$ )
- 2) Для полоскания рта и горла используют раствор пищевой соды, в то время как попытка прополоскать рот или горло кальцинированной содой окончится химическим ожогом
- 3) Водный раствор хлорного железа имеет бурый цвет и ещё более темнеет при нагревании.
- 4) Если монетку 10 или 50 копеек опустить в раствор нитрата ртути(II), то монетка станет блестяще-серебристой

### Решение

- 1) Газированная вода имеет слабоокислую среду, так как в ней растворено большое количество углекислого газа, который при реакции с водой образует слабую угольную кислоту, частичная диссоциация которой и дает слабоокислую среду:



- 2) Для полоскания рта и горла используют раствор пищевой соды  $\text{NaHCO}_3$  вследствие слабощелочной среды её водного раствора в результате гидролиза по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :

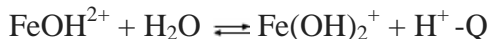
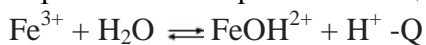


Кальцинированная сода,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{CO}_3^{2-}$ :

$$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$$

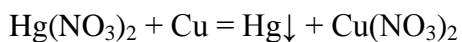
Вследствие того, что угольная кислота гораздо лучше диссоциирует по первой ступени, чем по второй, реакция гидролиза для карбонат-иона сильнее смещена в сторону образования продуктов, чем для гидрокарбонат-иона. В результате, раствор кальцинированной соды имеет сильнощелочную среду, а пищевой соды – слабощелочную. Использование для полоскания рта раствора, имеющего сильнощелочную среду, приводит к ожогу слизистой оболочки рта, а слабощелочную – нет.

- 3) В растворе хлорного железа (III) ион железа(III) гидролизует по катиону с образованием окрашенных гидроксокомплексов:



Данные реакции являются эндотермическими и увеличение температуры приводит к усилению гидролиза, увеличению концентрации окрашенных гидроксокомплексов и усилению окраски.

- 4) Монетка в 10 и 50 копеек имеет в своем составе медь, которая является более активным металлом, чем ртуть, вытесняя её из соли. Образующаяся металлическая ртуть – металл серебристого цвета.

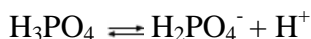
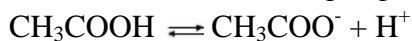


## Вариант 3

- 1) pH кока-колы и столового уксуса примерно одинаков, а концентрация уксусной кислоты в столовом уксусе существенно выше концентрации фосфорной кислоты в кока-коле
- 2) Раствор пищевой соды и раствор хозяйственного мыла мыльные на ощупь.
- 3) Раствор хлорида цинка используют в качестве паяльного флюса для удаления оксидной пленки с поверхности металлов
- 4) Серебряные украшения быстро темнеют при купании в термальных источниках

#### Решение

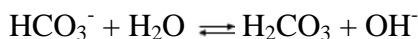
- 1) Уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$  является гораздо более слабой кислотой, чем ортофосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , степень диссоциации уксусной кислоты гораздо меньше степени диссоциации ортофосфорной кислоты:



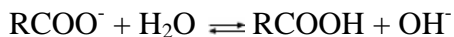
Одинаковый pH соответствует одинаковой концентрации ионов водорода. Следовательно, для получения одной и той же концентрации водорода следует использовать раствор уксусной кислоты намного большей концентрации, чем ортофосфорной.

- 2) Мыльность растворов пищевой соды и хозяйственного мыла обусловлены щелочной средой данных растворов в результате гидролиза по аниону.

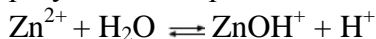
Пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$  гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :



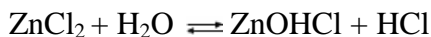
Хозяйственное мыло состоит из натриевых солей жирных кислот  $\text{RCOONa}$ , которые гидролизуются по аниону жирных кислот:



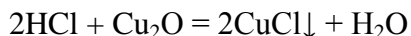
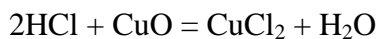
- 3) Раствор хлорида цинка используют в качестве паяльного флюса для удаления оксидной пленки с поверхности металлов вследствие кислой среды данного раствора в результате гидролиза по катиону цинка:



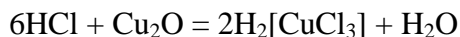
или



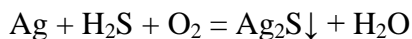
На меди образуется оксидная пленка, состоящая из  $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$ , которая растворяется под действием кислоты:



или



- 4) Серебряные украшения быстро темнеют при купании в термальных источниках из-за реакции серебра с сероводородом, которым насыщены термальные воды, в присутствии кислорода:



Образующийся сульфид серебра окрашен в черный цвет.

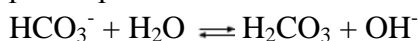


#### Вариант 4

- 1) Многие минеральные воды после нагревания и удаления газов имеют слабощелочную среду
- 2) При кипячении как пищевой, так и кальцинированной соды происходит активное выделение газа
- 3) При долгом нахождении открытой банки с раствором медного купороса на воздухе, на дне часто образуется осадок
- 4) Частое мытье рук хозяйственным мылом сушит кожу

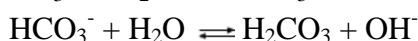
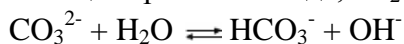
#### Решение

1) После нагревания минеральной воды и удаления углекислого газа, из—за которого газированная вода имеет кислую среду, минеральная вода представляет из себя раствор солей, в том числе большое количество растворимых гидрокарбонатов, которые гидролизуются с образованием гидроксид-анионов, обуславливающих щелочную среду раствора:

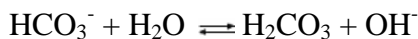


2) При кипячении как пищевой, так и кальцинированной соды происходит активное выделение газа

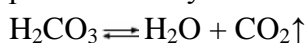
Кальцинированная сода,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :

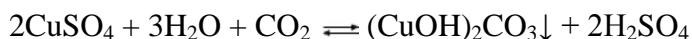


Увеличение температуры ведет к уменьшению растворимости углекислого газа в воде, разложению угольной кислоты:

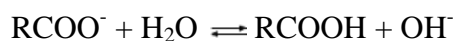


В результате, равновесие смещается в сторону усиления гидролиза.

3) При долгом нахождении открытой банки с раствором медного купороса на воздухе, на дне часто образуется осадок в результате взаимодействия сульфата меди(II)  $\text{CuSO}_4$  с углекислым газом воздуха  $\text{CO}_2$  с образованием нерастворимого гидрокарбоната меди(II) (совместный гидролиз).



4) Хозяйственное мыло состоит из натриевых солей жирных кислот  $\text{RCOONa}$ , которые гидролизуются по аниону жирных кислот:



В результате гидролиза, раствор хозяйственного мыла имеет щелочную среду.

Верхний, липидный, слой кожи, который защищает внутренние слои (в том числе от потери влаги), наполовину состоит из жирных кислот, которые переходят в соли в щелочной среде. Таким образом, частое мытье рук хозяйственным мылом сушит кожу в

результате разрушения липидного слоя кожи в щелочной среде водного раствора хозяйственного мыла.

### Задача 3 (15 баллов)

3-1. Подвешенный на нити цинковый кубик с длиной ребра  $a$  опустили в стакан с 20% соляной кислотой. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Кубик разрезали по диагонали на две равные части, подвесили их на нить и опустили в стакан с той же кислотой. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Температура раствора в обоих опытах была одинакова.

*Ответ: увеличится в 1,47 раза.*

3-2. Подвешенный на нити алюминиевый шарик радиусом  $r$  опустили в стакан, содержащий серную кислоту с концентрацией 2 моль/л. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Шарик разрезали пополам, обе части подвесили их на нить и опустили в стакан с серной кислотой с концентрацией 18 моль/л. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Оба опыта проводились при температуре 20 °С.

*Ответ: скорость стала равной нулю (пассивация).*

3-3. Железный кубик с длиной ребра  $a$  поместили на дно химического стакана и прилили к нему 10%-ную соляную кислоту. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Кубик разрезали на 8 одинаковых кубиков и поместили их на дно стакана так, чтобы с собой они не соприкасались. После этого в стакан прилили ту же кислоту, что и в первом опыте. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Температура раствора в обоих опытах была одинакова.

*Решение.*

Как известно, для гетерогенных реакций скорость прямо пропорциональна площади соприкосновения. В первом случае скорость реакции прямо пропорциональна  $S_1 = 5a^2$  (так как одной стороной кубик лежал на дне). Когда кубик разрезали, длина ребра стала равной  $a/2$ . Тогда площадь контакта металла с кислотой составляет  $S_2 = 8 \cdot (5(a/2)^2) = 10a^2$ . Соответственно, скорость реакции увеличится в 2 раза.

### Задача 4 (15 баллов)

4-1. С навеской железных опилок известной массы проделали следующую последовательность опытов:

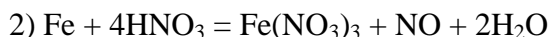
- 1) прибавили при 25 °С 10 мл концентрированной азотной кислоты;
- 2) добавили 10 мл воды;
- 3) прибавили избыток нашатырного спирта;
- 4) добавили избыток каустической соды и пропустили ток хлора;

5) прибавили эквимольное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято железа) сульфата аммония и концентрированную соляную кислоту.

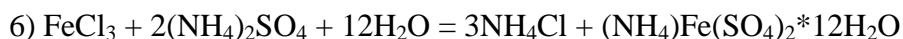
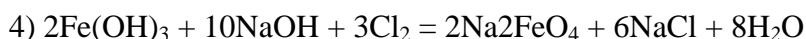
Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений. Обратите внимание, что в конечном продукте примесь простого вещества металла отсутствовала.

*Решение:*

1) реакции нет – пассивация;



3)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{NO}_3$  (возможны варианты с гидратированным оксидом, метагидроксидом)



Получатся железоаммонийные квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

4-2. С навеской алюминиевых известной массы проделали следующую последовательность опытов:

1) прибавили при 25 °С 15 мл концентрированной серной кислоты;

2) добавили 15 мл воды;

3) прибавили избыток каустического поташа;

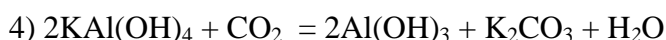
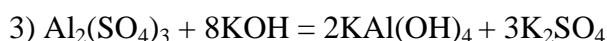
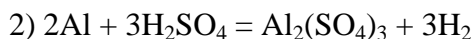
4) пропустили ток углекислого газа;

5) прибавили эквимольное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято алюминия) сульфата калия и концентрированную соляную кислоту.

Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений.

*Решение:*

1) реакции нет – пассивация;



Получатся алюмокалиевые квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

4-3. С навеской порошка хрома проделали следующую последовательность опытов:

- 1) прибавили при 25 °С 10 мл концентрированной азотной кислоты;
- 2) добавили 10 мл воды;
- 3) прибавили избыток каустической соды и пропустили ток хлора;
- 4) прибавили концентрированную соляную кислоту, эквимолярное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято хрома) сульфата калия и нагрели.

Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений. Обратите внимание, что в конечном продукте примесь простого вещества металла отсутствовала.

*Решение:*

- 1) реакции нет – пассивация;
- 2)  $\text{Cr} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $2\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + 16\text{NaOH} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 6\text{NaNO}_3 + 6\text{NaCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 4)  $2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 14\text{HCl} = 2\text{CrCl}_3 + 2\text{NaCl} + 7\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $\text{CrCl}_3 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O} = 3\text{KCl} + \text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

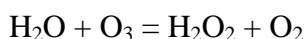
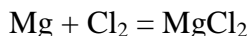
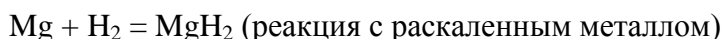
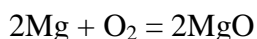
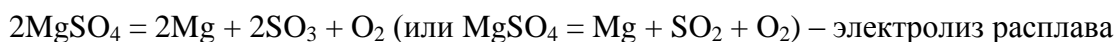
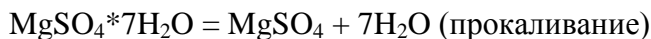
Получатся хромокалиевые квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

### Задача 5 (20 баллов)

5-1. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** английскую соль и хлороводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

*Решение*

Задачи имеют много решений. Ниже приведен один из вариантов.



5-2. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

5-3. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** кальцит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

5-4. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и иодоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

### Задача 6. (20 баллов)

Вариант 1.

Юный химик засыпал 10 г натрия большим количеством снега, однако ожидаемого взрыва не последовало, лишь выделилось немного газа и часть снега растаяла. Рассчитайте массу растаявшего снега, если теплота плавления льда составляет 330 кДж/кг, стандартные теплоты образования:  $Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{кр.}}) = 292$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{NaOH}_{\text{р-р}}) = 469$  кДж/моль. Начальную температуру снега считайте равной  $0^\circ\text{C}$ . Рассчитайте объем выделившегося при этом газа.

*Решение*

Термохимическое уравнение реакции:



Тепловой эффект реакции (на 1 моль Na) равен  $Q_{\text{р-ии}} = Q_{\text{обр}}(\text{NaOH}_{\text{р-р}}) - Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{кр.}}) = 469$  кДж/моль - 292 кДж/моль = 177 кДж/моль

Количество вещества натрия  $\nu(\text{Na}) = 10 \text{ г} / 23 \text{ г/моль} = 0,435$  моль

Выделилось водорода  $0,435 \text{ моль} / 2 = 0,218$  моль

Объем выделившегося водорода (н.у.)  $0,218 \text{ моль} * 22,4 \text{ л/моль} = 4,88 \text{ л}$

Выделилось тепла  $Q = 177 \text{ кДж/моль} * 0,435 \text{ моль} = 77 \text{ кДж}$

Масса растаявшего снега равна отношению количества поглощенного тепла к теплоте плавления льда.

$m(\text{снега}) = 77 \text{ кДж} / 330 \text{ кДж/кг} = 0,233 \text{ кг} = 233 \text{ г}$

*Ответ:*  $\text{Na}_{(\text{мет.})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{кр.})} = \text{NaOH}_{(\text{р-р})} + 0,5\text{H}_{2(\text{г.})} + 177 \text{ кДж}$ ;  $V(\text{H}_2 \text{ н.у.}) = 4,88 \text{ л}$ ;  $m(\text{снега}) = 233 \text{ г}$

Вариант 2.

Юный химик засыпал 10 г калия большим количеством снега, однако ожидаемого взрыва не последовало, лишь выделилось немного газа и часть снега растаяла. Рассчитайте массу растаявшего снега, если теплота плавления льда составляет 330 кДж/кг, стандартные теплоты образования:  $Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{кр.}}) = 292$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{KOH}_{\text{р-р}}) = 371$  кДж/моль. Начальную температуру снега считайте равной 0°C. Рассчитайте объем выделившегося при этом газа.

*Ответ:*  $\text{K}_{(\text{мет.})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{кр.})} = \text{KOH}_{(\text{р-р})} + 0,5\text{H}_{2(\text{г.})} + 79 \text{ кДж}; V(\text{H}_{2 \text{ н.у.}}) = 2,87 \text{ л}; m(\text{снега}) = 61 \text{ г}$

### Вариант 3.

Юный химик засыпал 10 г гидрида натрия большим количеством снега, при этом выделилось немного газа и часть снега растаяла. Рассчитайте массу растаявшего снега, если теплота плавления льда составляет 330 кДж/кг, стандартные теплоты образования:  $Q_{\text{обр}}(\text{NaN}_{\text{кр}}) = 70$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{кр.}}) = 292$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{NaOH}_{\text{р-р}}) = 469$  кДж/моль. Начальную температуру снега считайте равной 0°C. Рассчитайте объем выделившегося при этом газа.

*Ответ:*  $\text{NaN}_{\text{кр.}} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{кр.})} = \text{NaOH}_{(\text{р-р})} + \text{H}_{2(\text{г.})} + 107 \text{ кДж}; V(\text{H}_{2 \text{ н.у.}}) = 9,34 \text{ л}; m(\text{снега}) = 135 \text{ г}$

### Вариант 4.

Юный химик засыпал 10 г гидрида калия большим количеством снега, выделилось немного газа и часть снега растаяла. Рассчитайте массу растаявшего снега, если теплота плавления льда составляет 330 кДж/кг, стандартные теплоты образования:  $Q_{\text{обр}}(\text{KN}_{\text{кр}}) = 59$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{кр.}}) = 292$  кДж/моль,  $Q_{\text{обр}}(\text{KOH}_{\text{р-р}}) = 371$  кДж/моль. Начальную температуру снега считайте равной 0°C. Рассчитайте объем выделившегося при этом газа.

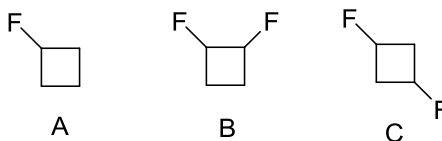
*Ответ:*  $\text{KN}_{\text{кр.}} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{кр.})} = \text{KOH}_{(\text{р-р})} + \text{H}_{2(\text{г.})} + 20 \text{ кДж}; V(\text{H}_{2 \text{ н.у.}}) = 5,6 \text{ л}; m(\text{снега}) = 15 \text{ г}$

## 10 класс

### Задача 1. (15 баллов)

1. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

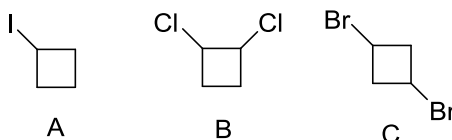
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



Правильный ответ: A – 1, B – 3, C – 2

2. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

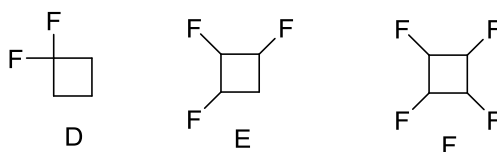
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



Правильный ответ: A – 1, B – 3, C – 2

3. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

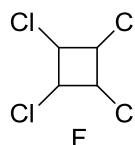
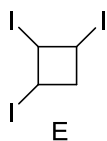
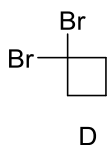
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



D – 1, E – 4, F – 4

4. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

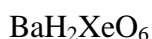
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



D – 1, E – 4, F – 4

### Задача 2 (15 баллов)

2-1. В составе некоторого соединения массовые доли водорода, кислорода и *чужестранного элемента* составляют 0,55%; 26,18% и 35,81%, соответственно. Определите состав этого вещества, приведите его структурную формулу. К какому классу соединений оно относится? Предложите 2 реакции, характеризующие важнейшие химические свойства этого вещества.



2-2. В составе некоторого соединения массовые доли водорода, кислорода и *земляного элемента* составляют 1,31%; 31,39% и 41,72%, соответственно. Определите состав этого вещества, приведите его структурную формулу. К какому классу соединений оно относится? Предложите 2 реакции, характеризующие важнейшие химические свойства этого вещества.



2-3. В составе некоторого соединения массовые доли водорода, кислорода и *фиалкового элемента* составляют 0,68%; 32,67% и 43,18%, соответственно. Определите состав этого вещества, приведите его структурную формулу. К какому классу соединений оно относится? Предложите 2 реакции, характеризующие важнейшие химические свойства этого вещества.

*Решение*



1. Очевидно, что сумма массовых долей приведенных в задаче элементов не равна 100%. Следовательно, в состав соединения входит еще как минимум один дополнительный элемент.

2. Для определения брутто-формулы соединения примем, что в ней присутствует один атом иода. Далее вычислим количество других элементов:

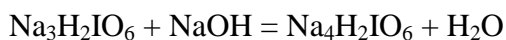
$$n(\text{H}) = 127 \cdot 0,68 / 43,18 = 2$$

$$n(\text{O}) = 127 \cdot 32,67 / (43,18 \cdot 16) = 6$$

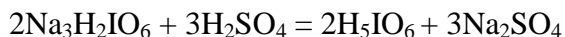
3. Найдем суммарную массу оставшегося элемента (элементов). Она составит

$m = 127 \cdot (100 - 32,67 - 0,68 - 43,18) / 43,18 = 69$  а.е.м., что может соответствовать трем атомам натрия. Тогда искомое вещество – кислая соль дигидропериодат натрия,  $\text{Na}_3\text{H}_2\text{IO}_6$ .

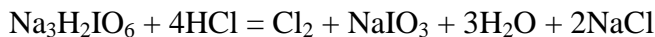
4. Данное соединение, как и любая кислая соль, проявляет свойства кислоты:



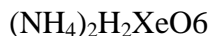
Будучи солью слабой кислоты это вещество может реагировать с сильными кислотами:



Также периодаты обладают окислительными свойствами:



2-4. В составе некоторого соединения массовые доли водорода, кислорода и *чужестранного элемента* составляют 3,80%; 36,17% и 49,47%, соответственно. Определите состав этого вещества, приведите его структурную формулу. К какому классу соединений оно относится? Предложите 2 реакции, характеризующие важнейшие химические свойства этого вещества.



### Задача 3 (15 баллов)

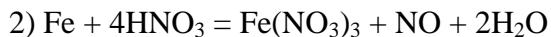
3-1. С навеской железных опилок известной массы проделали следующую последовательность опытов:

- 1) прибавили при 25 °С 10 мл концентрированной азотной кислоты;
- 2) добавили 10 мл воды;
- 3) прибавили избыток нашатырного спирта;
- 4) добавили избыток каустической соды и пропустили ток хлора;
- 5) прибавили эквимольное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято железа) сульфата аммония и концентрированную соляную кислоту.

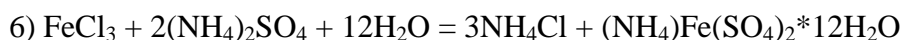
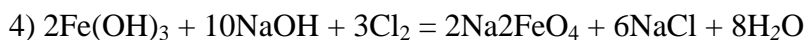
Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений. Обратите внимание, что в конечном продукте примесь простого вещества металла отсутствовала.

*Решение:*

1) реакции нет – пассивация;



3)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{NO}_3$  (возможны варианты с гидратированным оксидом, метагидроксидом)



Получатся железоаммонийные квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

3-2. С навеской алюминиевых известной массы проделали следующую последовательность опытов:

1) прибавили при 25 °С 15 мл концентрированной серной кислоты;

2) добавили 15 мл воды;

3) прибавили избыток каустического поташа;

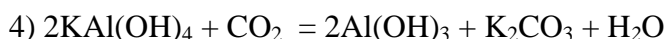
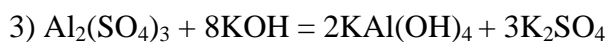
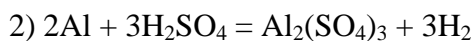
4) пропустили ток углекислого газа;

5) прибавили эквимольное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято алюминия) сульфата калия и концентрированную соляную кислоту.

Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений.

*Решение*

1) реакции нет – пассивация;



Получатся алюмокалиевые квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

3-3. С навеской порошка хрома проделали следующую последовательность опытов:

1) прибавили при 25 °С 10 мл концентрированной азотной кислоты;

- 2) добавили 10 мл воды;
- 3) прибавили избыток каустической соды и пропустили ток хлора;
- 4) прибавили концентрированную соляную кислоту, эквимольное количество (т.е., то же количество вещества, сколько было взято хрома) сульфата калия и нагрели.

Приведите уравнения указанных реакций, а также тривиальное название конечного продукта превращений. Обратите внимание, что в конечном продукте примесь простого вещества металла отсутствовала.

*Решение:*

- 1) реакции нет – пассивация;
- 2)  $\text{Cr} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $2\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + 16\text{NaOH} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 6\text{NaNO}_3 + 6\text{NaCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 4)  $2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 14\text{HCl} = 2\text{CrCl}_3 + 2\text{NaCl} + 7\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $\text{CrCl}_3 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O} = 3\text{KCl} + \text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

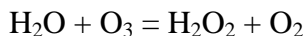
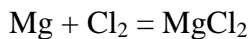
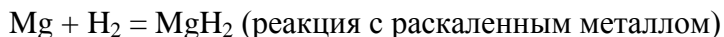
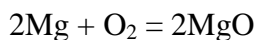
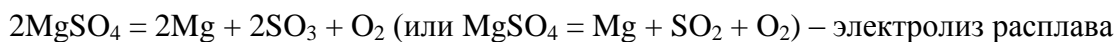
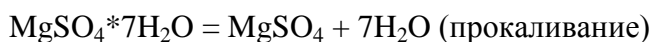
Получатся хромокалиевые квасцы – их образование обусловлено низкой растворимостью вещества

#### Задача 4 (15 баллов)

4-1. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** английскую соль и хлороводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

*Решение*

Задачи имеют много решений. Ниже приведен один из вариантов.



4-2. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и бромоводород. Укажите

условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

4-3. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** кальцит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

4-4. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и иодоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

### Задача 5. (20 баллов)

Вариант 1.

Известно, что наиболее стабильной аллотропной модификацией углерода является графит. Стабильность другой аллотропной модификации углерода – алмаза – обуславливается низкой скоростью фазового перехода из алмаза в графит при комнатной температуре вследствие высокой энергии активации данного процесса (160 кДж/моль). Однако при высоких температурах алмаз с легкостью превращается в графит. Так, при нагревании алмаза до 2000 °С без доступа воздуха алмаз превращается в графит за 15 минут. Рассчитайте, сколько времени займет превращение из алмаза в графит при температуре 25, 1000 и 3000 °С

*Решение:*

Время протекания химической реакции обратно пропорционально скорости химической реакции  $t \sim 1/v$ .

Воспользуемся уравнением Аррениуса:

$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ , где  $k$  – константа скорости реакции,  $A$  – предэкспоненциальный множитель,  $E_a$  – энергия активации,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура в Кельвинах)

Для одной и той же реакции, протекающей при различной температуре можно записать отношение времен протекания при температуре  $T_1$  и  $T_2$

$$\frac{t_{T_2}}{t_{T_1}} = \frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}} = e^{-\frac{E_a}{R}(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$
$$t_{T_2} = t_{T_1} e^{-\frac{E_a}{R}(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})}$$

Таким образом, время превращения алмаза в графит при 293 К (20 °С) займет

$$t_{293} = 15 \text{ мин} * e^{-\frac{160000}{8,31}(\frac{1}{2273} - \frac{1}{293})} = 1,1 \cdot 10^{26} \text{ мин} = 2,1 \cdot 10^{20} \text{ лет}$$

Время превращения алмаза в графит при 1273 К (1000 °С) займет

$$t_{1273} = 15 \text{ мин} * e^{-\frac{160000}{8,31}(\frac{1}{2273} - \frac{1}{1273})} = 11640 \text{ мин} = 8 \text{ суток}$$

Время превращения алмаза в графит при 3273 К (3000 °С) займет

$$t_{3273} = 15 \text{ мин} * e^{-\frac{160000}{8,31}(\frac{1}{2273} - \frac{1}{3273})} = 1,12 \text{ мин}$$

Ответ:  $2,1 \cdot 10^{20}$  лет, 8 суток, 1,12 минут

Вариант 2.

Известно, что наиболее стабильной аллотропной модификацией углерода является графит. Стабильность другой аллотропной модификации углерода, алмаза, обуславливается низкой скоростью фазового перехода из алмаза в графит при комнатной температуре вследствие высокой энергии активации данного процесса (160 кДж/моль). Однако при высоких температурах алмаз с легкостью превращается в графит. Так, при нагревании алмаза до 2000 °С без доступа воздуха алмаз превращается в графит за 15 минут. Рассчитайте, сколько времени займет превращение из алмаза в графит при температуре 10, 1500 и 250 °С.

Ответ:  $2,1 \cdot 10^{21}$  лет, 2,72 часа, 3,26 минут

Вариант 3.

Известно, что наиболее стабильной аллотропной модификацией углерода является графит. Стабильность другой аллотропной модификации углерода, алмаза, обуславливается низкой скоростью фазового перехода из алмаза в графит при комнатной температуре вследствие высокой энергии активации данного процесса (160 кДж/моль). Однако при высоких температурах алмаз с легкостью превращается в графит. Так, при нагревании алмаза до 2000 °С без доступа воздуха алмаз превращается в графит за 15 минут. Рассчитайте, сколько времени займет превращение из алмаза в графит при температуре 0, 700 и 2700 °С.

Ответ:  $2,5 \cdot 10^{22}$  лет, 854 суток, 2,04 минут

Вариант 4.

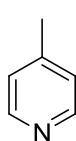
Известно, что наиболее стабильной аллотропной модификацией углерода является графит. Стабильность другой аллотропной модификации углерода, алмаза, обуславливается низкой скоростью фазового перехода из алмаза в графит при комнатной температуре вследствие высокой энергии активации данного процесса (160 кДж/моль). Однако при высоких температурах алмаз с легкостью превращается в графит. Так, при нагревании алмаза до 2000 °С без доступа воздуха алмаз превращается в графит за 15 минут. Рассчитайте, сколько времени займет превращение из алмаза в графит при температуре 45, 1200 и 2800 °С.

Ответ:  $1,2 \cdot 10^{18}$  лет, 24,88 часов, 1,65 минут

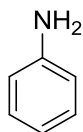
**Задача 6. (20 баллов)**

1. Изомеры **A, B, C** имеют общую формулу  $C_6H_7N$ . Известно, что **A** и **B** взаимодействуют с хлороводородом образуя соль, **C** – легко полимеризуется. При реакции с бромной водой **B** дает осадок. Предложите структурные формулы изомеров и напишите уравнения реакций, если во всех изомерах присутствует ароматическая  $\pi$ -система и плоскость симметрии перпендикулярная ей.

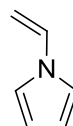
Ответ



**A**



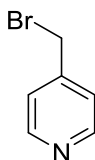
**B**



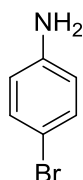
**C**

2. Изомеры **A, B, C** имеют общую формулу  $C_6H_6NBr$ . Известно, что **A** и **B** взаимодействуют с хлороводородом образуя соль, **C** – легко полимеризуется. При реакции с бромной водой **B** дает осадок. Предложите структурные формулы изомеров и напишите уравнения реакций, если во всех изомерах присутствует ароматическая  $\pi$ -система и плоскость симметрии перпендикулярная ей.

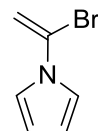
Ответ



**A**



**B**



**C**

## 11 класс

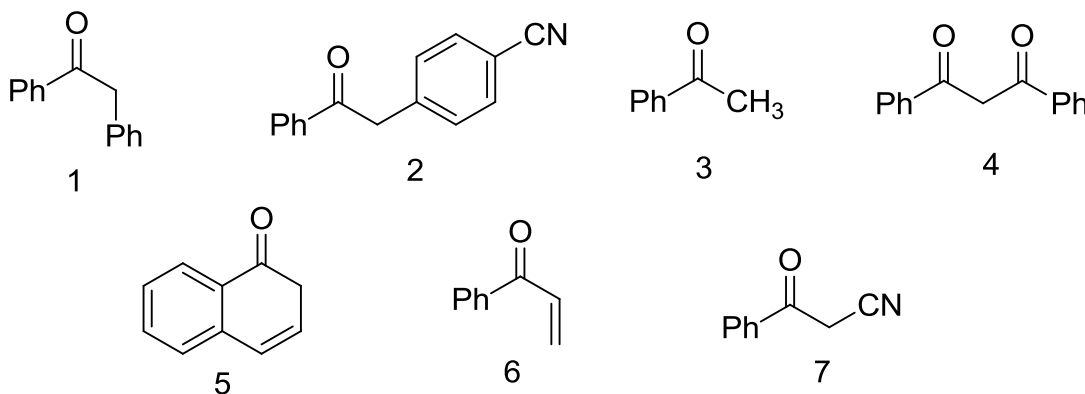
### Задача 1. (15 баллов)

#### Вариант 1.

Хорошо известно, что кетоны, содержащие атом водорода в альфа-положении к карбонильной группе, могут существовать как в кетонной, так и в енольной форме. Многие химические превращения карбонильных соединений протекают именно с участием енольного таутомера. Для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать вклад енольной формы в таутомерном равновесии, который в первую очередь определяется характером заместителей в молекуле.

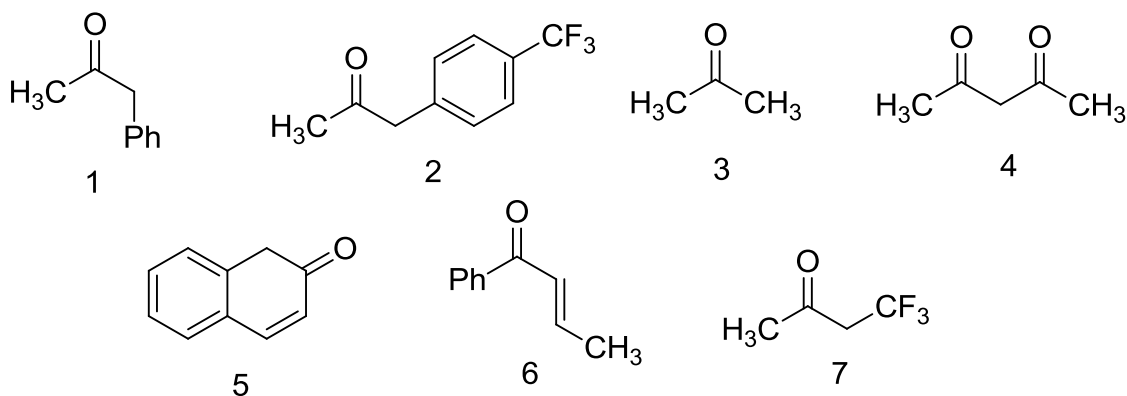
Расположите соединения в порядке увеличения устойчивости енольной формы.

#### Вариант 1а.



Ответ:  $6 < 3 < 1 < 2 < 7 < 4 < 5$

#### Вариант 1б.

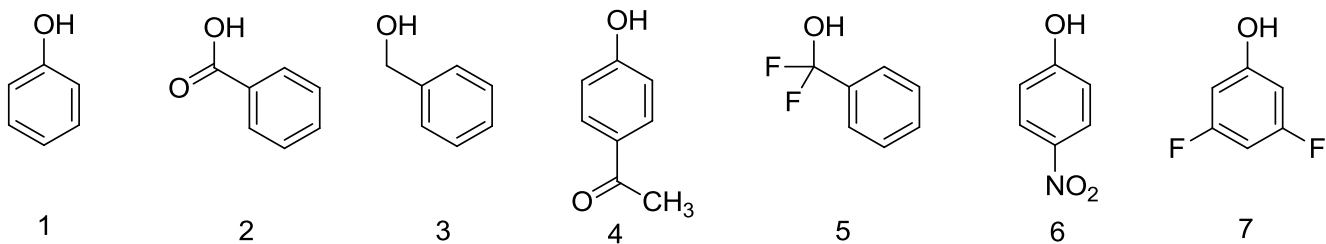


Ответ:  $6 < 3 < 1 < 2 < 7 < 4 < 5$

**Вариант 2.** Кислотность органических молекул выступает в качестве важнейшего фактора, определяющего их реакционную способность, поскольку многие органические реакции включают элементарную стадию отщепления протона. Поэтому для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать их кислотно-основные свойства.

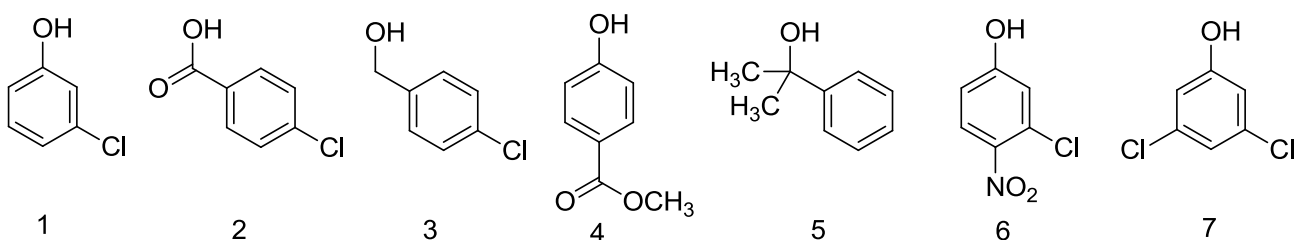
Расположите указанные соединения в порядке увеличения кислотности.

Вариант 2а.



Ответ:  $3 < 5 < 1 < 7 < 4 < 6 < 2$

Вариант 2б.



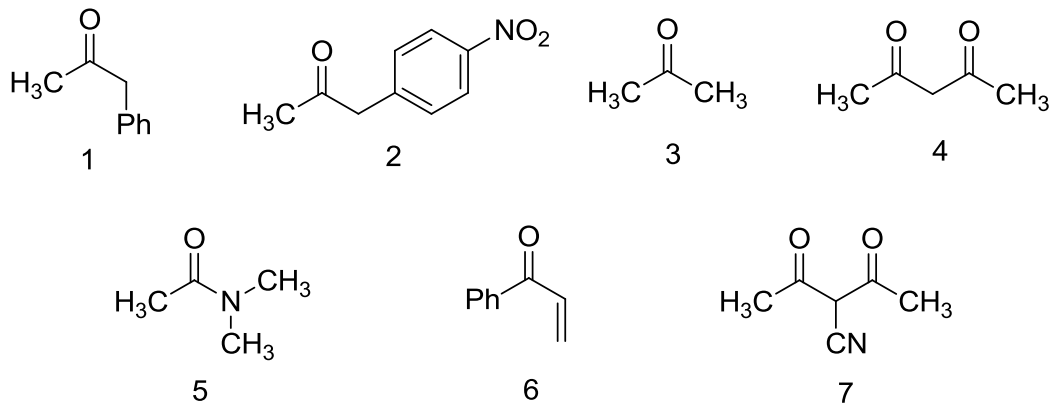
Ответ:  $5 < 3 < 1 < 7 < 4 < 6 < 2$

Вариант 3.

СН-Кислотность органических молекул зачастую выступает в качестве ключевого фактора, определяющего их реакционную способность. Способность к отщеплению протона от углеродного скелета молекулы с образованием карбаниона определяет возможность протекания широкого круга превращений с его участием. Поэтому для предсказания реакционной способности СН-кислотных соединений с различными электрофилами важно уметь оценивать легкость отщепления протона, обусловленную наличием заместителя(ей), способных к делокализации электронной плотности.

Расположите соединения в порядке увеличения СН-кислотности.

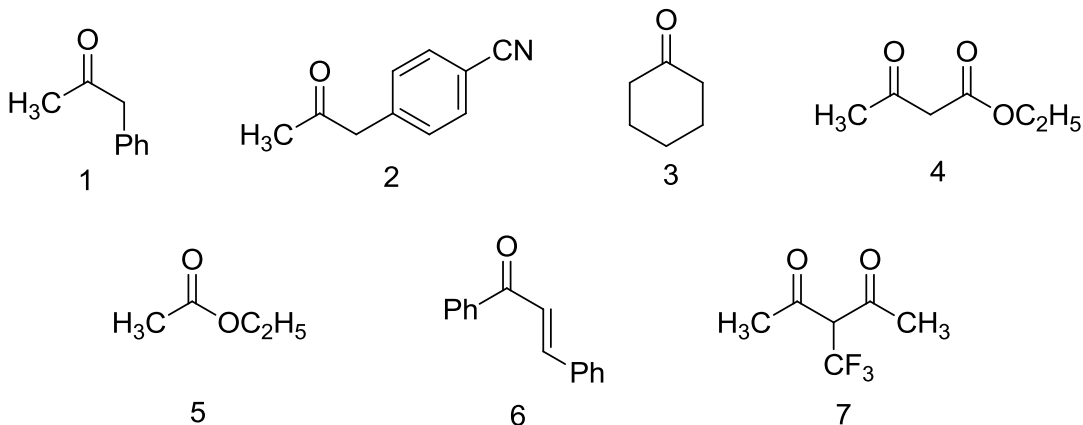
Вариант 3а.



Ответ:  $6 < 5 < 3 < 1 < 2 < 4 < 7$



Вариант 3б.

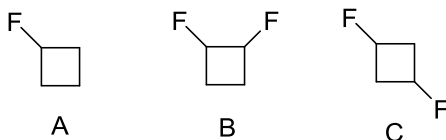


Ответ:  $6 < 5 < 3 < 1 < 2 < 4 < 7$

### Задача 2. (10 баллов)

1. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

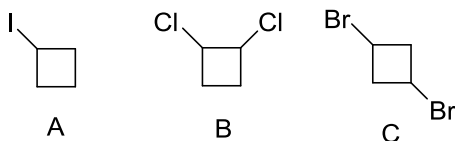
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



: A – 1, B – 3, C – 2

2. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

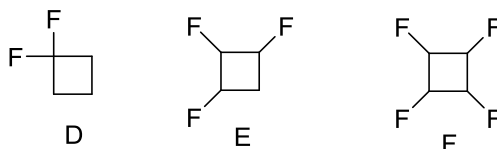
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



: A – 1, B – 3, C – 2

3. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

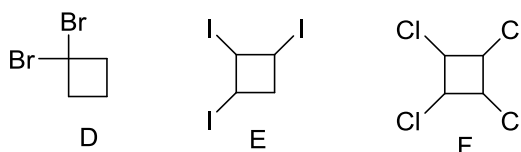
Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



D – 1, E – 4, F – 4

4. Многие физические свойства и химическое поведение веществ зависит не только от порядка связывания атомов и групп атомов в молекуле, но и от их взаимного пространственного расположения. Понимание количества возможных стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров) для заданной структурной формулы позволяет выбрать оптимальный стереоселективный путь получения соединения(ий) с конкретной конфигурацией.

Сколько стереоизомеров (включая энантиомеры) соответствует каждой из приведенных структур.



D – 1, E – 4, F – 4

### Задача 3 (10 баллов)

Объясните данные наблюдения с точки зрения равновесий с участием электролитов в растворе. Напишите уравнения химических реакций, подтверждающие Ваши гипотезы.

Вариант 1

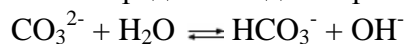
- 5) Дистиллированная вода имеет слабокислую среду ( $\text{pH} = 5-6$ )
- 6) Для стирки раньше использовали раствор кальцинированную соду, в то время как пищевая сода не эффективна для стирки.
- 7) Твердый нитрат железа(III) (кристаллогидрат) – белая соль. Водный раствор нитрата железа(III) – ярко желтый.
- 8) Для травления медных печатных плат с целью растворения меди используют водный раствор хлорного железа

*Решение*

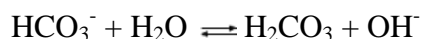
- 5) Дистиллированная вода имеет слабокислую среду, так как обычно в ней растворен углекислый газ из воздуха, который при реакции с водой образует слабую угольную кислоту, частичная диссоциация которой и дает слабокислую среду:



- 6) Кальцинированную соду,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , использовали для стирки вследствие щелочной среды её водного раствора в результате гидролиза по аниону  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :



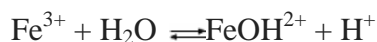
Вследствие того, что угольная кислота гораздо лучше диссоциирует по первой ступени, чем по второй, реакция гидролиза для карбонат-иона сильнее смещена в сторону образования продуктов, чем для гидрокарбонат-иона. В результате, раствор кальцинированной соды имеет сильнощелочную среду, а пищевой соды –слабощелочную.

Щелочная среда необходима для омыления жиров, которые составляют существенную часть грязи на одежде. Слабощелочная среда (низкая концентрация гидроксид-ионов) раствора пищевой соды недостаточна для эффективного омыления жиров.

- 7) В кристаллогидрате нитрата железа(III) ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) ион железа(III) существует в виде бесцветного аквакомплекса  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , который гидролизует в водной среде с образованием гидроксокомплексов желтого цвета



или



- 8) Для травления медных печатных плат с целью растворения меди используют водный раствор хлорного железа  $\text{FeCl}_3$ , т.к. металлическая медь реагирует с солями железа(III), растворяя её
- $$2\text{FeCl}_3 + \text{Cu} = 2\text{FeCl}_2 + \text{CuCl}_2$$

## Вариант 2

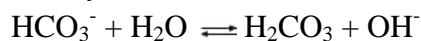
- 5) Газированная вода обычно имеет слабокислую среду ( $\text{pH} = 4-5$ )
- 6) Для полоскания рта и горла используют раствор пищевой соды, в то время как попытка прополоскать рот или горло кальцинированной содой окончится химическим ожогом
- 7) Водный раствор хлорного железа имеет бурый цвет и ещё более темнеет при нагревании.
- 8) Если монетку 10 или 50 копеек опустить в раствор нитрата ртути(II), то монетка станет блестяще-серебристой

*Решение*

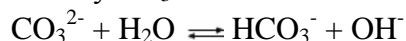
- 5) Газированная вода имеет слабокислую среду, так как в ней растворено большое количество углекислого газа, который при реакции с водой образует слабую угольную кислоту, частичная диссоциация которой и дает слабокислую среду:



- 6) Для полоскания рта и горла используют раствор пищевой соды  $\text{NaHCO}_3$  вследствие слабощелочной среды её водного раствора в результате гидролиза по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :



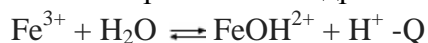
Кальцинированная сода,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Вследствие того, что угольная кислота гораздо лучше диссоциирует по первой ступени, чем по второй, реакция гидролиза для карбонат-иона сильнее смещена в сторону образования продуктов, чем для гидрокарбонат-иона. В результате, раствор кальцинированной соды имеет сильнощелочную среду, а пищевой соды – слабощелочную.

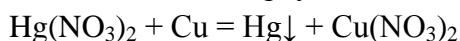
Использование для полоскания рта раствора, имеющего сильнощелочную среду, приводит к ожогу слизистой оболочки рта, а слабощелочную – нет.

- 7) В растворе хлорного железа (III) ион железа(III) гидролизует по катиону с образованием окрашенных гидроксокомплексов:



Данные реакции являются эндотермическими и увеличение температуры приводит к усилению гидролиза, увеличению концентрации окрашенных гидроксокомплексов и усилению окраски.

- 8) Монетка в 10 и 50 копеек имеет в своем составе медь, которая является более активным металлом, чем ртуть, вытесняя её из соли. Образующаяся металлическая ртуть – металл серебряного цвета.

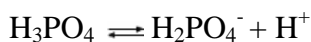
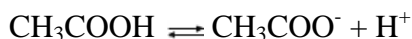


### Вариант 3

- 5) pH кока-колы и столового уксуса примерно одинаков, а концентрация уксусной кислоты в столовом уксусе существенно выше концентрации фосфорной кислоты в кока-коле
- 6) Раствор пищевой соды и раствор хозяйственного мыла мылкие на ощупь.
- 7) Раствор хлорида цинка используют в качестве паяльного флюса для удаления оксидной пленки с поверхности металлов
- 8) Серебряные украшения быстро темнеют при купании в термальных источниках

### Решение

- 5) Уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$  является гораздо более слабой кислотой, чем ортофосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , степень диссоциации уксусной кислоты гораздо меньше степени диссоциации ортофосфорной кислоты:

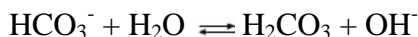


Одинаковый pH соответствует одинаковой концентрации ионов водорода.

Следовательно, для получения одной и той же концентрации водорода следует использовать раствор уксусной кислоты намного большей концентрации, чем ортофосфорной.

- 6) Мылкость растворов пищевой соды и хозяйственного мыла обусловлены щелочной средой данных растворов в результате гидролиза по аниону.

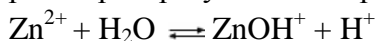
Пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$  гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :



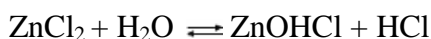
Хозяйственное мыло состоит из натриевых солей жирных кислот  $\text{RCOONa}$ , которые гидролизуются по аниону жирных кислот:



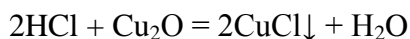
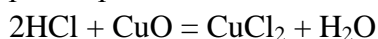
- 7) Раствор хлорида цинка используют в качестве паяльного флюса для удаления оксидной пленки с поверхности металлов вследствие кислой среды данного раствора в результате гидролиза по катиону цинка:



или



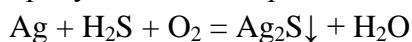
На меди образуется оксидная пленка, состоящая из  $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$ , которая растворяется под действием кислоты:



или



- 8) Серебряные украшения быстро темнеют при купании в термальных источниках из-за реакции серебра с сероводородом, которым насыщены термальные воды, в присутствии кислорода:



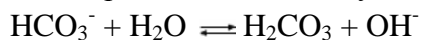
Образующийся сульфид серебра окрашен в черный цвет.

#### Вариант 4

- 5) Многие минеральные воды после нагревания и удаления газов имеют слабощелочную среду
- 6) При кипячении как пищевой, так и кальцинированной соды происходит активное выделение газа
- 7) При долгом нахождении открытой банки с раствором медного купороса на воздухе, на дне часто образуется осадок
- 8) Частое мытье рук хозяйственным мылом сушит кожу

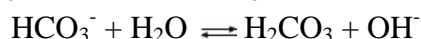
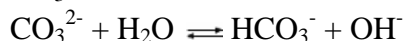
*Решение*

- 5) После нагревания минеральной воды и удаления углекислого газа, из—за которого газированная вода имеет кислую среду, минеральная вода представляет из себя раствор солей, в том числе большое количество растворимых гидрокарбонатов, которые гидролизуются с образованием гидрокид-анионов, обуславливающих щелочную среду раствора:

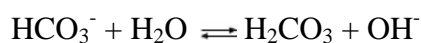


- 6) При кипячении как пищевой, так и кальцинированной соды происходит активное выделение газа

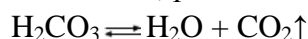
Кальцинированная сода,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{CO}_3^{2-}$ :



Пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$ , также гидролизует в водном растворе по аниону  $\text{HCO}_3^-$ :

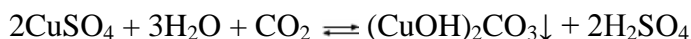


Увеличение температуры ведет к уменьшению растворимости углекислого газа в воде, разложению угольной кислоты:

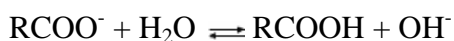


В результате, равновесие смещается в сторону усиления гидролиза.

- 7) При долгом нахождении открытой банки с раствором медного купороса на воздухе, на дне часто образуется осадок в результате взаимодействия сульфата меди(II)  $\text{CuSO}_4$  с углекислым газом воздуха  $\text{CO}_2$  с образованием нерастворимого гидрокарбоната меди(II) (совместный гидролиз).



- 8) Хозяйственное мыло состоит из натриевых солей жирных кислот  $\text{RCOONa}$ , которые гидролизуются по аниону жирных кислот:



В результате гидролиза, раствор хозяйственного мыла имеет щелочную среду.

Верхний, липидный, слой кожи, который защищает внутренние слои (в том числе от потери влаги), наполовину состоит из жирных кислот, которые переходят в соли в щелочной среде. Таким образом, частое мытье рук хозяйственным мылом сушит кожу в результате разрушения липидного слоя кожи в щелочной среде водного раствора хозяйственного мыла.

#### Задача 4 (10 баллов)

4-1. Подвешенный на нити цинковый кубик с длиной ребра  $a$  опустили в стакан с 20% соляной кислотой. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Кубик разрезали по диагонали на две равные части, подвесили их на нить и опустили в стакан с той же кислотой. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Температура раствора в обоих опытах была одинакова.

*Ответ: увеличится в 1,47 раза.*

4-2. Подвешенный на нити алюминиевый шарик радиусом  $r$  опустили в стакан, содержащий серную кислоту с концентрацией 2 моль/л. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Шарик разрезали пополам, обе части подвесили их на нить и опустили в стакан с серной кислотой с концентрацией 18 моль/л. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Оба опыта проводились при температуре 20 °С.

*Ответ: скорость стала равной нулю (пассивация).*

4-3. Железный кубик с длиной ребра  $a$  поместили на дно химического стакана и прилили к нему 10%-ную соляную кислоту. Начальная скорость выделения водорода составила  $V$  мл/мин. Кубик разрезали на 8 одинаковых кубиков и поместили их на дно стакана так, чтобы с собой они не соприкасались. После этого в стакан прилили ту же кислоту, что и в первом опыте. Какой стала теперь начальная скорость выделения водорода? Температура раствора в обоих опытах была одинакова.

*Решение*

Как известно, для гетерогенных реакций скорость прямо пропорциональна площади соприкосновения. В первом случае скорость реакции прямо пропорциональна  $S_1 = 5a^2$  (так как одной стороной кубик лежал на дне). Когда кубик разрезали, длина ребра стала равной  $a/2$ . Тогда площадь контакта металла с кислотой составляет  $S_2 = 8 \cdot (5(a/2)^2) = 10a^2$ . Соответственно, скорость реакции увеличится в 2 раза.

### **Задача 5 (15 баллов)**

5-1. При сжигании 2,00 г некоторого вещества **X**, содержащего углерод, водород и металл, получено 2,35 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ , 2,37 г воды и 0,89 г белого порошка. Определите состав исходного вещества **X** и запишите уравнение реакции горения этого вещества. Приведите не менее трех возможных структурных формул вещества **X**.

1. Из текста задачи очевидно, что вещество сожгли в кислороде. Определим соотношение углерода и водорода в исходном веществе.

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 2,35/22,4 = 0,105 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 2,37/18 = 0,26(3) \text{ моль}$$

Соотношение  $\text{C}:\text{H} = 2:5$ .

В составе исходного вещества присутствовало  $2 - 0,105 \cdot 12 - 0,263 \cdot 1 = 0,4767$  г металла, которые присоединили  $0,89 - 0,4767 = 0,4133$  г кислорода. Металлом, дучше всего удовлетворяющим этим условиям, является алюминий.

Тогда в исходной навеске вещества **X** присутствует:

0,0175 моль алюминия,

0,105 моль углерода,

0,26(3) моль водорода,

Что соответствует брутто-формуле  $\text{AlC}_6\text{H}_{15}$ . Некоторые из возможных вариантов:  
 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ,  $\text{Al}(\text{CH}_3)(\text{C}_2\text{H}_5)(\text{C}_3\text{H}_7)$ ,  $\text{Al}(\text{CH}_3)(\text{C}_2\text{H}_5)(i\text{-C}_3\text{H}_7)$

5-2. При сжигании 2,50 г некоторого вещества **X**, содержащего углерод, водород и элемент, получено 3,60 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ , 3,38 г воды и 0,62 г белого порошка. Определите состав исходного вещества **X** и запишите уравнение реакции горения этого вещества. Приведите не менее трех возможных структурных формул вещества **X**.

Ответ:  $\text{BC}_9\text{H}_{21}$

5-3. При сжигании 4,50 г некоторого вещества **X**, содержащего углерод, водород и металл, получено 4,56 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ , 4,28 г воды и 2,12 г белого порошка. Определите состав исходного вещества **X** и запишите уравнение реакции горения этого вещества. Приведите не менее трех возможных структурных формул вещества **X**.

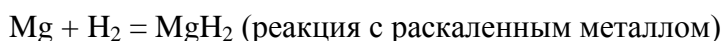
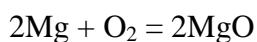
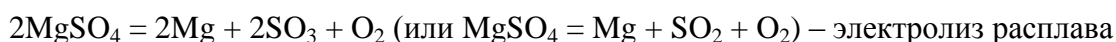
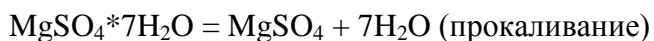
Ответ:  $\text{GaC}_9\text{H}_{21}$

### Задача 6 (10 баллов)

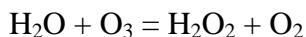
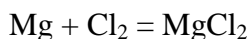
6-1. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** английскую соль и хлороводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

Решение

Задачи имеют много решений. Ниже приведен один из вариантов.







6-2. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

6-3. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** кальцит и бромоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

6-4. Предложите не менее 10 веществ, которые можно получить в одну или несколько стадий, используя в качестве исходных веществ **только** азурит и иодоводород. Укажите условия протекания реакций. Набор оборудования считать неограниченным (кроме необходимого для ядерных превращений).

### Задача 7. (15 баллов)

Вариант 1.

Многие соединения, являющиеся сильными электролитами в водных растворах, являются слабыми электролитами в жидком аммиаке. Так, константа диссоциации хлороводорода в жидком аммиаке составляет 0,0013. Рассчитайте степень диссоциации соляной кислоты в растворе, полученным растворением 22,4 мл газообразного хлороводорода (н.у.) в 1 л жидкого аммиака. Рассчитайте концентрации ионов в растворе, если ионное произведение (константа автопротолиза) аммиака составляет  $2 \cdot 10^{-33}$ .

*Решение*

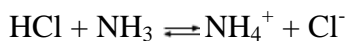
Уравнение автопротолиза аммиака:



Константа автопротолиза аммиака:



Диссоциация хлороводорода в жидком аммиаке:



Константа диссоциации хлороводорода в жидком аммиаке:

$$K_{\text{HCl}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{Cl}^-]}{[\text{HCl}]}$$

Начальная концентрация хлороводорода равна:

$$C_0(\text{HCl}) = (22,4 \cdot 10^{-3} \text{ л} / 22,4 \text{ моль}) / 1 \text{ л} = 0,001 \text{ моль/л}$$

Пусть концентрация ионов аммония в результате диссоциации хлороводорода стала  $x$  моль/л

Тогда уравнение константы диссоциации можно переписать как:

$$K_{\text{HCl}} = \frac{x^2}{C_0(\text{HCl}) - x}$$
$$\frac{x^2}{0,001 - x} = 0,0013$$

$$x^2 + 0,0013x - 1,3 \cdot 10^{-6} = 0$$

Решая данное квадратное уравнение получаем

$$x = 6,62 \cdot 10^{-4}$$

$$[\text{NH}_4^+] = [\text{Cl}^-] = 6,62 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Степень диссоциации HCl равна:  $\alpha(\text{HCl}) = [\text{Cl}^-] / C_0(\text{HCl}) \cdot 100\% = 66,2\%$

Концентрацию  $\text{NH}_2^-$  находим из уравнения константы автопротолиза аммиака

$$[\text{NH}_2^-] = [\text{NH}_2^-] = K_{\text{NH}_3} / [\text{NH}_4^+] = 2 \cdot 10^{-33} / 6,62 \cdot 10^{-4} = 3,02 \cdot 10^{-30} \text{ моль/л}, \text{ что значительно менее } 1 \text{ молекулы на } 1 \text{ л раствора, следовательно } [\text{NH}_2^-] = 0$$

Ответ:  $\alpha(\text{HCl}) = 66,2\%$  ;  $[\text{NH}_4^+] = [\text{Cl}^-] = 6,62 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$

Вариант 2.

Многие соединения, являющиеся сильными электролитами в водных растворах, являются слабыми электролитами в жидком аммиаке. Так, константа диссоциации бромоводорода в жидком аммиаке составляет 0,0024. Рассчитайте степень диссоциации бромоводородной кислоты в растворе, полученным растворением 22,4 мл газообразного бромоводорода (н.у.) в 1 л жидкого аммиака. Рассчитайте концентрации ионов в растворе, если ионное произведение (константа автопротолиза) аммиака составляет  $2 \cdot 10^{-33}$ .

Ответ:  $\alpha(\text{HBr}) = 76\%$ ;  $[\text{NH}_4^+] = [\text{Br}^-] = 7,60 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$

Вариант 3.

Многие соединения, являющиеся сильными электролитами в водных растворах, являются слабыми электролитами в жидком аммиаке. Так, константа диссоциации азотной кислоты в жидком аммиаке составляет 0,0043. Рассчитайте степень диссоциации азотной кислоты в растворе, полученным растворением 0,63 г 100% азотной кислоты в 1 л жидкого аммиака. Рассчитайте концентрации ионов в растворе, если ионное произведение (константа автопротолиза) аммиака составляет  $2 \cdot 10^{-33}$ .

Ответ:  $\alpha(\text{HNO}_3) = 47,5 \%$ ;  $[\text{NH}_4^+] = [\text{NO}_3^-] = 4,75 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$

#### Вариант 4.

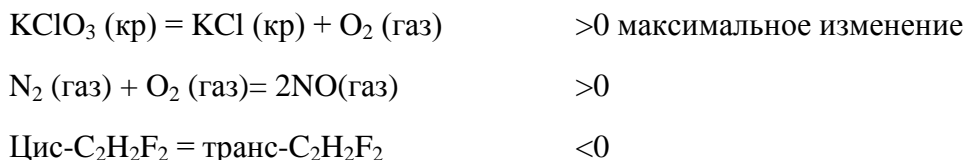
Многие соединения, являющиеся сильными электролитами в водных растворах, являются слабыми электролитами в жидком аммиаке. Так, константа диссоциации хлорной кислоты в жидком аммиаке составляет 0,0054. Рассчитайте степень диссоциации хлорной кислоты в растворе, полученным растворением 0,1 г 100% хлорной кислоты в 1 л жидкого аммиака. Рассчитайте концентрации ионов в растворе, если ионное произведение (константа автопротолиза) аммиака составляет  $2 \cdot 10^{-33}$ .

Ответ:  $\alpha(\text{HClO}_4) = 86,2 \%$ ;  $[\text{NH}_4^+] = [\text{ClO}_4^-] = 8,62 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$

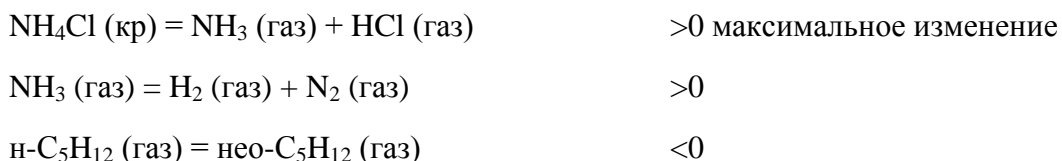
#### Задача 8 (15 баллов)

Одной из важнейших характеристик химической реакции наряду с изменением теплоты, является также и изменение такой важной характеристики как энтропия, которую можно определить как «меру неупорядоченности». Ниже приведены 3 реакции. Обратите особое внимание на агрегатное состояние веществ. Укажите как по вашему в ходе этих реакций изменяется энтропия (увеличивается или уменьшается), а также предположите в какой из 3 реакций изменение энтропии (по модулю) максимально:

#### Вариант 1

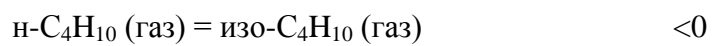


#### Вариант 2



#### Вариант 3





Вариант 4

