

**Межрегиональная предметная олимпиада  
Казанского федерального университета  
по предмету «Химия»**

**Очный тур**

**2023-2024 учебный год**

**8 класс**

**Задача 1. Кислые и некие соли**

Хорошо известно, что при взаимодействии многоосновных кислот с основаниями может произойти полное или частичное замещение водорода на металл. При этом образуются нормальные или кислые соли.

Так, например, при взаимодействии кислоты  $K_1$  с гидроксидом натрия в зависимости от взятого соотношения реагентов могут получиться только соли  $C_1$  и  $C_2$ , причем соль  $C_1$  способна дальше взаимодействовать со щелочью, а  $C_2$  – нет. При реакции кислоты  $K_2$  с гидроксидом калия могут получиться соли  $C_3$ – $C_5$ , из которых  $C_5$  не способна реагировать со щелочью, а  $C_3$  и  $C_4$  могут реагировать дальше, причем с одним молем взятой соли  $C_3$  может прореагировать больше щелочи, чем с одним молем  $C_4$ .

1. Приведите формулы и названия кислот  $K_1$  и  $K_2$ , а также солей  $C_1$ – $C_5$ , если дополнительно известно, что кислоты  $K_1$  и  $K_2$  являются кислородсодержащими и имеют одинаковую молярную массу 98 г/моль.

2. Напишите уравнения реакций образования солей  $C_1$ – $C_5$  из соответствующей кислоты и гидроксида. Не забудьте расставить коэффициенты.

Следует отметить тот факт, что в некоторых случаях не все протоны из состава кислоты способны замещаться на ионы металла. Так, например, в случае кислоты  $K_3$ , содержащей 3,69% водорода по массе, только лишь два водорода являются кислыми и могут замещаться при образовании солей, а в кислоте  $K_4$ , содержащей 4,58% водорода, может подвергнуться замещению лишь один протон.

3. Установите формулы кислот  $K_3$  и  $K_4$ , ответ подтвердите расчетом. Дополнительно известно, что кислоты  $K_2$ – $K_4$  образованы одним и тем же элементом.

Одноосновные кислоты неспособны образовывать кислые соли, поскольку имеют в своем составе лишь один протон, который можно заместить на атом металла. Однако это правило не всегда выполняется. Так, например, одноосновная кислота  $K_5$  может образовывать с гидроксидом калия как нормальную, так и кислые соли. Кислота  $K_5$  является бинарным веществом, причем один из элементов является элементом второго периода Периодической системы.

4. Приведите формулу и название кислоты  $K_5$ , а также уравнения трех реакций, когда с одним молем гидроксида калия реагирует один, два и три моля кислоты  $K_5$  соответственно.

### Задача 2. Загадка...

Химик Аким оказался гостем далекой галактики, некоторые естественные показатели которой отличаются от нашей. Аким нашел обитаемую планету, на которой главной используемой жидкостью является вещество **A**. Увидев знакомую на вид и по свойствам жидкость, Аким обрадовался и решил остаться и исследовать планету, так похожую на Землю. Довольно быстро он обнаружил, однако, что некоторые свойства **A** несколько отличаются от привычных. Чтобы объяснить это, он измерил давление, которое создаёт 1,000 г паров этой жидкости в сосуде объёмом 1,00 л при температуре 400 К: барометр показал 166,3 кПа.

1. Какую жидкость обнаружил Аким на планете?

2. Рассчитайте молярную массу **A** с этой планеты. Чем объясняется расхождение с ожидаемой молярной массой? Как обычно записывают формулу такой жидкости?

3. Какие физические свойства **A** могут помочь Акиму удостовериться в том, что на данной планете эта жидкость не вполне обычная?

Воздух планеты не принес, в отличие от **A**, сюрпризов: его молярная масса почти точно равна 29 г/моль. Аким решил исследовать промышленность планеты. Оказалось, что производство аммиака на планете начинается с нагревания паров **A** с газом **Б**, который является основным компонентом природного газа на данной планете. При этом образуется только самый легкий на данной планете газ **В** с плотностью по воздуху 0,14 и газ **Г** с плотностью по воздуху 1,00. последний факт удивил Акима, так же, как и то, что расчеты в записях местного химика-технолога показывали, что реакция **A** с **Б** протекает согласно стехиометрии в массовом соотношении 1:1,05.

На второй стадии **В** реагирует при повышенном давлении в присутствии катализатора с азотом, что для Акима новостью уже не было.

4. Что представляют собой газы **Б**, **В** и **Г**?

5. Запишите уравнение реакции **A** с **Б**, описанное в задаче, и уравнение реакции получения аммиака.

6. Какую массу аммиака можно получить из 1 м<sup>3</sup> (н.у.) природного газа на этой планете, если выход первой реакции составляет 60%, второй – 55%, объёмная доля **Б** в природном газе составляет 85%?

7. Исходя из химического состава данной планеты, стоит ли Акиму оставаться жить на этой планете? Объясните.

Чувствуя масштаб проблемы и уникальность случая, Аким понял, что и массовый элементный состав живых организмов на этой планете должен отличаться от земного.

8. Какими были бы массовые доли кислорода, водорода, углерода и азота в теле человека на этой планете? У земных людей эти величины составляют в среднем 65, 10, 18 и 3% соответственно.

*Дополнительная информация:* уравнение Менделеева-Клапейрона:  $pV = nRT$ .

### Задача 3. Таинственные превращения

Вещество **X** получают простой реакцией обмена соли **A**, окрашивающей пламя горелки в фиолетовый цвет, с бескислородной солью **B**, содержащей 34,05% хлора по массе. Выпадающий осадок **X** представляет собой кристаллогидрат, при аккуратном обезвоживании которого масса твердой фазы уменьшается в 1,046 раз. При дальнейшем нагревании остатка он разлагается с выделением смеси газов, которая при охлаждении разделяется на красно-бурую жидкость **B**, представляющей собой простое вещество, и газ **Г**, поддерживающий горение. При этом масса образовавшейся жидкости **B** составляет 38,87% от массы изначального **X**.

1. Определите вещества **X**, **A**, **B**, **B**, **Г**.
2. Запишите уравнения описанных реакций (3 реакции).
3. Как **X** реагирует с а) разбавленным раствором серной кислоты, б) раствором  $\text{HBr}$ ? Запишите уравнения реакций.

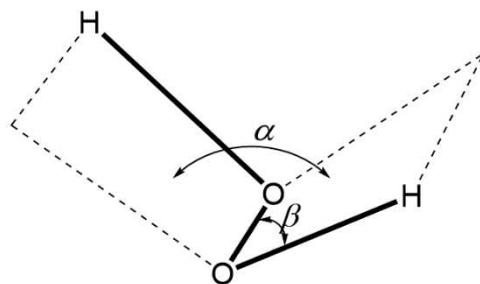
Для определения плотности **X** образец его кристаллов взвесили на точных весах (показания составили 128,5 мН), а затем взвесили тот же образец в состоянии, погруженном в холодную воду (вес в таком состоянии составил 96,3 мН).

4. Рассчитайте плотность твердого **X**.
5. Какую массу **X** можно выделить из 200 г насыщенного при  $100^\circ\text{C}$  раствора при его охлаждении до  $10^\circ\text{C}$ ? При  $10^\circ\text{C}$  в 100 г чистой воды можно растворить  $0,110 \text{ см}^3 \text{ X}$ , а при  $100^\circ\text{C}$  –  $1,351 \text{ см}^3 \text{ X}$ .

### Задача 4. Структурная химия

Структура молекул определяет свойства вещества, поэтому в химии принято подробно описывать геометрию молекул.

Интересный пример геометрического разнообразия представляет собой молекула перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), в которой атомы кислорода и водорода образуют сложную фигуру, в которой два атома кислорода и каждый из атомов водорода образуют плоскость. Угол между такими плоскостями (на рисунке обозначен  $\alpha$ ) называется диэдральным углом, а угол между связями (O–O и O–H) – валентным углом (на рисунке обозначен  $\beta$ ). Валентный угол определяется отталкиванием связей и пар электронов атома кислорода друг от друга, а диэдральный – дополнительно химическим окружением молекулы.



1. При каком значении диэдрального угла атомы водорода располагаются:  
 а) максимально близко друг к другу, б) максимально далеко друг от друга?

Диэдральный угол влияет на полярность молекулы перекиси водорода: суммарный дипольный момент (характеристика полярности) молекулы является векторной суммой дипольных моментов (векторов смещения электронной плотности вдоль связи) отдельных связей.

2. Какие связи в молекуле  $\text{H}_2\text{O}_2$  полярны, а какие – неполярны? К какому из атомов смещена электронная плотность по полярным связям?

3. В газовой фазе диэдральный угол в молекуле  $\text{H}_2\text{O}_2$  составляет  $90,2^\circ$ , а в твердой фазе –  $111,5^\circ$ . В каком состоянии молекулы перекиси водорода более полярны – в газе или в кристаллическом состоянии? Коротко объясните.

Для описания химического связывания важна симметрия молекулы, которая определяется наличием:

- центра симметрии (для каждого атома в молекуле существует другой такой же атом, расположенный с первым атомом и центром симметрии на одной прямой на том же расстоянии от центра симметрии, что первый атом);

- плоскости симметрии (для каждого атома в молекуле существует другой такой же атом, расположенный по другую сторону от плоскости на том же расстоянии от нее, причем перпендикуляры из атомов на эту плоскость образуют одну прямую);

- осей симметрии  $n$ -го порядка (прямых, при вращении молекулы вокруг которых на угол  $360^\circ/n$  молекула переходит сама в себя).

4. Рассмотрите молекулу перекиси водорода с диэдральным углом  
 а)  $180^\circ$ , б)  $0^\circ$ . Определите, какие элементы симметрии присутствуют в такой молекуле (если есть оси симметрии – укажите, какого порядка).

Интересным примером геометрии молекул является геометрия  $S_2F_{10}$ : в ней все валентные углы близки к  $90^\circ$ . При этом диэдральный угол F–S–S–F (атомы для примера отмечены на рисунке) определяется тем, что пары электронов атомов фтора отталкиваются друг от друга и максимально удаляют связи сера-фтор друг от друга.

5. Сколько неподеленных электронных пар имеет каждый атом фтора в составе  $S_2F_{10}$ ?

6. Каков диэдральный угол в молекуле  $S_2F_{10}$ ?

7. Ось симметрии какого порядка есть в молекуле  $S_2F_{10}$ ? Сколько у этой молекулы плоскостей симметрии? Есть ли в этой молекуле центр симметрии?