

**Межрегиональная предметная олимпиада
Казанского федерального университета
по предмету «Химия»
2022-2023 учебный год
8 класс
Задача 1. Основной ацетат алюминия**

В медицине в качестве антисептика и вяжущего средства иногда применяют так называемую жидкость Бурова – раствор «основного ацетата алюминия». В расчетах примем, что растворенным веществом является гидроксоацетат состава $\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2$.

В лаборатории жидкость Бурова можно получить растворением гидроксида алюминия в уксусной кислоте (CH_3COOH) (*реакция 1*). Интересно, что в этой реакции фактически невозможно получить среднюю соль. Сам гидроксид алюминия рекомендуют приготавливать смешением с мелом раствора алюмокалиевых квасцов (*реакция 2*) либо раствора сульфата алюминия (*реакция 3*). В последних двух реакциях из смеси выделяется газ без цвета и запаха с плотностью по воздуху 1,52 и образуется малорастворимая соль, а в *реакции 2* одна растворимая соль остается в водной среде. Осадок малорастворимой соли, получаемый при проведении *реакции 1* отделяется фильтрованием.

1. Запишите уравнение *реакций 1-3*. Выпишите отдельно формулы мела, алюмокалиевых квасцов, сульфата алюминия.

Допустимыми считаются массовые доли $\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в растворе в диапазоне от 7,6 до 9,2%, причем это регулируется добавкой воды после проведения всех реакций. Согласно методике, для приготовления жидкости Бурова используются строго необходимые по уравнениям реакций количества мела и уксусной кислоты.

2. Рассчитайте, какую массу мела и какой объём 30%-й уксусной кислоты (плотность 1,04 г/см³) необходимо взять для полного превращения 100 г сульфата алюминия в основной ацетат? Сколько мл воды необходимо использовать (суммарно для приготовления раствора сульфата алюминия и добавки после всех реакций), чтобы жидкость Бурова была допустимой концентрации? Приведите верхнюю и нижнюю границу.

3. В действительности сульфат алюминия существует в виде кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Какие массы кристаллогидрата, мела, 30% уксусной кислоты и воды необходимы для получения 1,00 л жидкости Бурова плотностью 1,042 г/мл и массовой долей основного ацетата алюминия 8,0%?

Состав жидкости Бурова описывается вышеупомянутой формулой лишь очень приблизительно: на самом деле, в растворе ацетата алюминия присутствует целый ряд катионов, например, частицы следующего состава: $\text{AlC}_2\text{H}_{12}\text{O}_7$,

$\text{Al}_2\text{C}_2\text{H}_{17}\text{O}_{10}$, $\text{Al}_2\text{C}_4\text{H}_{19}\text{O}_{11}$. В формулах катионов опущены заряды. Все эти катионы содержат, кроме Al^{3+} только ацетат-ионы, молекулы воды и гидроксид-ионы, соединенные с атомами алюминия.

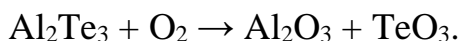
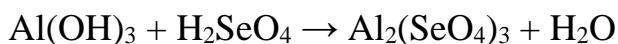
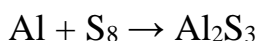
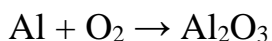
4. Установите заряд каждого упомянутого катиона.

5. При кипячении раствора ацетата алюминия образуется соль состава $[\text{Al}_3\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{H}_2\text{O})_3](\text{CH}_3\text{COO})$. Запишите уравнение реакции ее образования из жидкости Бурова (считая, что в ней присутствует $\text{Al}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO})_2$, а другими участниками или продуктами реакции могут быть только вода и уксусная кислота).

Задача 2. Великий уравнитель

Химические реакции протекают в соответствии с законом сохранения массы: масса реагентов равна массе образовавшихся продуктов. Это означает, что суммарное количество атомов каждого элемента слева и справа (в реагентах и в продуктах) одинаково. Для выполнения этого требования в реакциях расставляют коэффициенты (уравнивают), например: $2\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

1. Расставьте коэффициенты в данных химических реакциях, чтобы уравнять их и соблюсти закон сохранения массы:



2. Некоторые реакции можно уравнивать несколькими способами, что связано со сложностью протекающих процессов. Одна из таких реакций – взаимодействие перекиси водорода (H_2O_2) с перманганатом калия (KMnO_4) в водном растворе. Один из способов ее уравнивать представлен ниже:



а) Предложите ещё два способа уравнивать эту реакцию целыми коэффициентами, оставив теми же реагенты и продукты. Не забудьте, что коэффициенты должны быть несократимы (их НОД = 1).

б) Может ли при тех же требованиях (целые несократимые коэффициенты и те же реагенты и продукты) коэффициент при KMnO_4 быть равным 1? Если да – приведите пример такого уравнения с коэффициентами, если нет – докажите.

в) Может ли при тех же требованиях (целые несократимые коэффициенты и те же реагенты и продукты) коэффициент при H_2O_2 быть равным 1? Если да – приведите пример такого уравнения с коэффициентами, если нет – докажите.

3. Некоторые реакции могут быть записаны несколькими способами не в силу математических причин, а в силу образования продукта переменного состава. Примером такой реакции может служить взаимодействие раствора нитрата цинка с раствором карбоната натрия.

а) запишите уравнение описанной реакции, если образуется осадок средней соли;

б) запишите уравнение описанной реакции, если образуется осадок основной соли, в которой атомов цинка и гидроксид-ионов равное количество (при этом в реакции газов не выделяется);

в) запишите уравнение описанной реакции, если образуется осадок основной соли, в которой гидроксид-ионов в 3 раза меньше, чем карбонат-ионов (при этом в реакции газов не выделяется).

Задача 3. Растворение металлов в азотной кислоте

Хорошо известно, что многие металлы способны растворяться в азотной кислоте. При этом, как правило, образуются нитраты соответствующих металлов, а продукт восстановления азотной кислоты зависит от активности металла, концентрации азотной кислоты и температуры. Ниже приведены некоторые сведения о растворении металлов M_1 - M_4 в азотной кислоте.

При взаимодействии металла M_1 с концентрированной азотной кислотой образуется голубой раствор и выделяется газ A_1 с относительной плотностью по водороду 23. Растворение металла M_2 в разбавленной горячей азотной кислоте сопровождается выделением газа A_2 , 1 л которого при н.у. (нормальных условиях) весит 1,34 г. Внесение металла M_3 в разбавленную азотную кислоту приводит к выделению газа A_3 , содержащего 36,35% кислорода (по массе). При реакции металла M_4 с очень разбавленной азотной кислотой не выделяется никакого газа, а в растворе помимо нитрата металла образуется еще одна соль A_4 , содержащая 35,00% азота по массе.

1. Установите формулы веществ A_1 - A_4 . Ответ подтвердите расчетом.

2. Определите металлы M_1 - M_4 , если известно, что массовые доли металлов в получающихся при их растворении нитратах составляют 33,88%, 23,09%, 16,39% и 34,52% соответственно. Дополнительно известно, что валентности трех металлов в образующихся нитратах одинаковы, а валентность четвертого отличается на единицу. Не забудьте подтвердить свой ответ расчетом.

Однако не всегда при растворении металлов в азотной кислоте образуются нитраты металлов. Так, например, при взаимодействии металла M_5 с концентри-

рованной азотной кислотой образуется соединение A_5 , содержащее 21,23% кислорода по массе и не содержащее азота. Кроме того, в этой реакции выделяется уже известный нам газ A_1 .

3. Установите формулу вещества A_5 и определите металл M_5 . Ответ подтвердите расчетом.

4. Приведите уравнения растворения металлов M_1 – M_5 в азотной кислоте, расставив коэффициенты методом электронного баланса.

Задача 4. Физика на службе химии и химия на службе физики

Никита, любивший химию, и Володя, любивший физику, решили установить состав стабильного на воздухе металла M . Никита нашёл у себя раствор соляной кислоты и газовую бюретку (для измерения объёма газа).

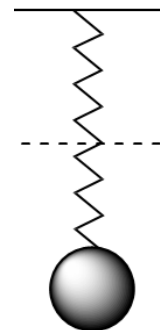
– Как же мы без весов воспользуемся всем этим? – расстроился Володя. И достал то, с помощью чего планировал обойти недостаток оборудования: штангенциркуль, растяжимую пружину, линейку со штативом и зажимами и секундомер.

– Мы с тобой опять превратили обычную задачу в какую-то Межрегиональную Олимпиаду...

– По химии?

– Не уверен, – вздохнул, смеясь, Никита.

Ребята все же принялись за дело и зафиксировали всю необходимую информацию. Диаметр шарика оказался равным 17,50 мм. При подвешивании на пружину, длина её увеличилась на 8,40 см. Затем шарик, всё ещё подвешенный на пружине, поместили в раствор соляной кислоты (плотность которого, как выяснил Никита предварительно, равна 1020 кг/м^3), при этом растяжение пружины уменьшилось до 6,95 см.



Володя что-то считал, азартно записывая промежуточные результаты. Через некоторое время он разочарованно бросил расчеты:

– То ли я считать разучился, то ли металл наш не из тех, чью плотность я помню из школьного задачника по физике.

Пока Володя считал, металл постепенно растворялся в кислоте, выделяя газ, заполняющий газовую бюретку, а удлинение пружины всё уменьшалось, приподнимая кусочек металла.

Никита, выключив секундомер, принялся тоже записывать, комментируя:

– Пока ты считал, и я кое-что намерил: скорость выделения газообразного водорода при растворении нашего металла составляет $53,02 \text{ мл/мин}$, а скорость

постепенного поднятия шарика на пружинке – 2,63 см/ч. Если ты действительно плотность посчитал, то сейчас мы всё доведем до конца!

1. Какой из перечисленных приборов ребята использовали для измерения диаметра шарика, а какой – для измерения удлинения пружины?

2. По экспериментальным данным, полученным ребятами, рассчитайте плотность металла M и коэффициент жесткости пружины k (в Н/м). Приведите пример одного металла тяжелее металла M и одного металла легче металла M .

3. Рассчитайте скорость растворения металла (в граммах в минуту, г/мин). Считайте, что газ моментально покидает раствор и поверхность металла благодаря интенсивному перемешиванию раствора Никитой, а потому не участвует в балансе сил в системе. Изменением концентрации и, соответственно, плотности соляной кислоты в ходе эксперимента пренебречь.

4. Определите скорость выделения водорода (в моль/мин), если молярный объём газов в условиях эксперимента составляет 23,54 л/моль.

5. Что за металл исследовали Володя с Никитой? Ответ обоснуйте расчетом.

Учитель застал Володю с Никитой за завершением расчетов и подведением итогов. Заметив их нескрываемую радость, учитель, смеясь, указал на дно сосуда, в котором все еще находился подвешенный кусочек металла.

– Кажется, ваш металл можно было установить и одним лишь этим наблюдением! – отметил учитель.

6. Что и почему обнаружили ребята на дне?

Дополнительная информация:

$$\text{Объем сферы } V_{\text{сф.}} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\text{Ускорение свободного падения } g = 9,81 \text{ м/с}^2$$