

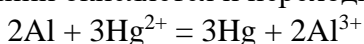
Задача 1.

Доставая с полки реактив, лаборант случайно уронил колбу с бесцветным раствором. Колба разбилась, раствор разлился, и часть его залила алюминиевую ложку, лежащую на столе. Лаборант собрал осколки, вытер стол, затем вытер ложку и положил её в стакан с водой, чтобы помыть позднее. Каково же было его удивление, когда он увидел, что на поверхности ложки появились пузырьки газа, а сама ложка расплывается, превращаясь в сероватые чешуйки. Что мог представлять собой разлитый раствор? Объясните наблюдаемые явления и напишите уравнения реакций.

Решение

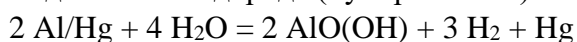
В колбе был раствор соли ртути, например нитрата ртути.

При контакте соли ртути с металлическим алюминием ртуть восстанавливается, алюминий окисляется и переходит в раствор.



Полученная при этом металлическая ртуть и алюминий (ложка) образуют амальгаму Al/Hg.

На основании своего положения в ряду активности металлов алюминий должен бы реагировать с водой, но не может из-за наличия оксидной пленки на поверхности. Однако при образовании амальгамы алюминия оксидная пленка разрушается, и реакция с водой с выделением водорода (пузырьки газа) становится возможна.



Задача 2.

При электролизе расплава 3,4 г некоторой соли на аноде выделяется газ массой 1,84 г, при этом на катоде осаждается металл. При 100°C и нормальном атмосферном давлении объем газа составляет 1,093 л, а при изобарном снижении температуры до 40°C объем уменьшается в 1,8 раза. Газ полностью поглощается раствором щелочи, образуя две соли. При нагревании полученной смеси солей (после выделения из раствора) остается только одна соль, расплав которой и был подвергнут электролизу. Определите, о каких веществах идет речь. Объясните необычные свойства полученного газа. Напишите уравнения упомянутых реакций.

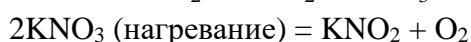
Решение

Расчет молярной массы неизвестного газа по уравнению Менделеева—Клапейрона при 100°C и при 40°C приводит к разным значениям (51,54 и 77,87 г/моль соответственно). Значит при охлаждении состав молекул газа изменяется.

Из условия задачи напрашивается предположение, что газ — NO₂, который существует в равновесии с димером N₂O₄, причем при охлаждении равновесие смещается в сторону N₂O₄

Следовательно исходная соль нитрит металла: M(NO₂)_n. Так как при электролизе получено 0,04 моль газа, то атомная масса металла при n = 1 оставляет 39, а при других n вариантов нет.

Уравнения реакций:

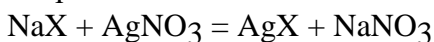


Задача 3.

Юному химику для анализа выдали бесцветный порошок. Он выяснил, что он окрашивает пламя газовой горелки в интенсивный жёлтый цвет. 4,12 г порошка он растворил в воде и разделил раствор на две равные части. При действии избытка раствора нитрата серебра на первую порцию выпадает 3,76 г светло-жёлтого осадка, частично растворимого в водном растворе аммиака. При пропускании хлора во вторую часть раствора может быть получено не более 1,24 г простого вещества. Что представляет собой порошок, выданный для анализа? Определите его качественный и количественный состав. Напишите уравнения упомянутых реакций

Решение

Желтое окрашивание пламени означает, что это натриевая соль.



$$23 + x \quad 108 + x \quad x = 80 \text{ (что соответствует бромиду).}$$

$$2,06 \quad 3,76$$

$$\text{Тогда } 2 \text{ NaBr} + \text{Cl}_2 = \text{Br}_2 + 2 \text{ NaCl} \text{ должно получиться } (2,06 \cdot 160) : 206 = 1,6 \text{ г}$$

брома, что не соответствует условию.

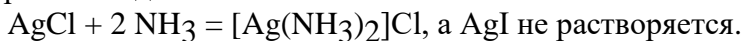
Остается предположить, что исходное в-во — смесь NaCl и NaI

Количество NaI можно найти по количеству иода, выделившегося при пропускании хлора.

$$2 \cdot 1,24 / 127 \cdot 2 = 0,0098 \text{ моль, что составляет } 1,47 \text{ г NaI.}$$

Значит исходная смесь (до деления раствора на две части) содержит 2,94 г NaI и 4,12 - 2,94 = 1,18 г NaCl

Растворение осадка в аммиаке



Задача 4.

В замкнутый сосуд объемом 8 л, содержащий 128 г оксида серы(IV), ввели сначала 25,6 г кислорода, а затем 23 г оксида азота(IV). Во сколько раз изменится давление в сосуде по сравнению с первоначальным (до введения кислорода) по окончании всех возможных реакций? Объемом негазообразных продуктов пренебречь. Температуру в сосуде считать постоянной и равной 0°C. Напишите уравнения реакций.

Решение:

Оксид серы (IV) не взаимодействует с кислородом без катализатора. В промышленности при производстве серной кислоты эту реакцию проводят в присутствии оксида ванадия V_2O_5 , однако в нашем случае катализатора нет, поэтому до введения NO_2 реакция не начинается.

После введения NO_2 он вступает в реакцию с диоксидом серы:



Далее NO окисляется кислородом:



и снова может взаимодействовать с диоксидом серы.

Суммарную реакцию можно записать следующим образом:



Таким образом, происходит окисление диоксида серы в триоксид серы, и пока в системе есть SO_2 и кислород, NO_2 в реакции не расходуется, а служит катализатором.

Этот процесс лежит в основе нитрозного способа производства серной кислоты.

В нашем случае количества компонентов следующие:

$$\text{SO}_2: 128/64 = 2 \text{ моль}$$

$$\text{O}_2: 25,6/32 = 0,8 \text{ моль}$$

$$\text{NO}_2: 23/46 = 0,5 \text{ моль}$$

По отношению к суммарной реакции кислород находится в недостатке. Реакция прекратится, когда он весь израсходуется, при этом в системе будет находиться 1,6 моль SO_3 и останется 0,4 моль SO_2 .

Оставшийся диоксид серы вступит в реакцию (1), при этом он полностью перейдет в триоксид, получится 0,4 моль NO , а 0,1 моль NO_2 останется в избытке.

Таким образом, состав смеси по окончании реакций:

$$1,6 + 0,4 = 2,0 \text{ моль } \text{SO}_3, 0,1 \text{ моль } \text{NO}_2 \text{ и } 0,4 \text{ моль } \text{NO}.$$

При расчете давления мы не будем учитывать триоксид серы, так как при 0°C он находится в твердом состоянии. Суммарное количество газов составляет 0,5 моль, а в самом начале оно было 2,0 моль. Так как давление $P = nRT$ пропорционально количеству молей газа, то оно составит $0,5 / 2 = 0,25$ от исходного давления, т.е. давление уменьшится в 4 раза.

Задача 5.

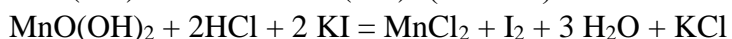
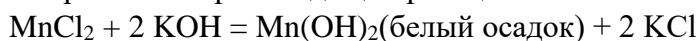
В анализ природной воды входит определение множества параметров, например, цветность, жесткость, содержание металлов, нефтепродуктов, и т.д. Один из параметров носит название БПК и определяется как убыль в воде некоторого компонента за время инкубации (выдержки) воды при 20°C в темноте без доступа воздуха. Этот показатель рассчитывают как разность количеств этого компонента в воде до и после инкубации. Для определения количества указанного компонента к образцу воды прибавляют раствор хлорида или сульфата марганца(II) и щелочной раствор иодида калия. После прибавления выпадает белый осадок, который быстро темнеет. Смесь выдерживают без доступа воздуха от 10 мин до 24 часов. Затем добавляют соляную кислоту, при этом осадок растворяется, а раствор окрашивается в желтый цвет. Раствор титруют тиосульфатом натрия до слабожелтого цвета. После этого добавляют раствор крахмала и титруют до исчезновения синей окраски.

1. Какой компонент определяют по описанной методике?
2. Напишите уравнения происходящих реакций
3. На что расходуется описанный компонент в процессе инкубации?

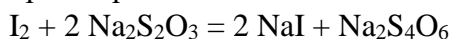
Решение

1. По описанной методике определяют содержание растворенного кислорода

2. Уравнения происходящих реакций



при титровании:



3. БПК – биологическое потребление кислорода, т.е. в процессе инкубации кислород поглощается в результате жизнедеятельности микроорганизмов (а также возможно окисления легкоокисляющихся веществ, присутствующих в природной воде)

Задача 6.

Попытки синтеза частицы Q предпринимались на протяжении почти полутора столетий. Эту частицу впервые получили в 1968 г. в результате многостадийного синтеза с использованием ядерно-химических методов. В качестве исходного было использовано простое вещество химического элемента, названного в 1817 г. М.Берцелиусом в связи с

тем, что он является «спутником» элемента, который, в свою очередь, был назван в честь нашей планеты.

Природный изотопный состав элемента, используемого для получения Q, следующий:

% изотопа:	74	76	77	78	80	82
Мольная доля изотопа (%):	0,87	9,02	7,58	23,52	49,82	9,19

Препарат, обогащенный изотопом с атомной массой 82, облучили нейтронами и растворили в разбавленной азотной кислоте. К полученному раствору добавили избыток гидроксида рубидия, после чего через раствор пропустили озонированный кислород. После этого образовалась частица Q (в результате бета-распада полученного изотопа). Дополнительно известно, что суммарный заряд всех ядер, входящих состав частицы Q равен $1,07 \cdot 10^{-17}$ Кл, а суммарный заряд электронов – $1,09 \cdot 10^{-17}$ Кл.

Изотоп какого химического элемента использовался для получения частицы Q?

Какая связь между составом ядер и распространенностью того или иного изотопа элемента в природе?

Какой состав и заряд частицы Q?

Запишите уравнения реакций, проведенных при получении Q, включая и ядерную).

Какие вещества образуются при взаимодействии частиц Q в кислой среде с ионами Cr^{3+} , Br^- , I^- ?

Решение:

Ключик – в греческих именах: спутником Земли является Луна; по аналогии, спутником теллура является селен (Selenium по-гречески – Луна). Этот вывод согласуется с изотопным составом элемента. Относительная атомная масса наиболее распространенного изотопа – 80, а следующего по распространенности – 78. Мольная доля остальных изотопов существенно меньше, чем у упомянутых. Из этого можно сделать вывод, что относительная атомная масса смеси природных изотопов будет примерно равна 79.

Имеется закономерность, в соответствии с которой изотопов с четным числом нейтронов значительно больше, чем с нечетным.

Очевидно, Q представляет собой анион. Суммарный заряд электронов больше суммарного заряда протонов. Если вспомнить, что заряд электрона приблизительно равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, то, проведя несложные расчеты, можно сделать вывод, что в Q разница между числом электронов и протонов составляет $68 - 67 = 1$. Значит Q – однозарядный анион.

К этому же выводу можно прийти, если проанализировать цепь химических превращений и суть ядерной реакции, описанных в условии задачи:

“Изотопный состав элемента следующий...”: позволяет установить элемент по его атомной массе, которую приближенно можно рассчитать по формуле

$$A = \sum \gamma_i A_i$$

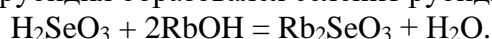
где γ_i – мольные доли изотопов с массовыми числами A_i , отсюда $A = 79$ (точное значение – 78,96).

Для опытов использовался препарат, обогащенный ^{82}X – при облучении нейтронами образовался селен-83.

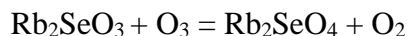
При растворении селена в азотной кислоте получается селенистая кислота (в отличие от серы). Да и зачем тогда нужно было проводить озонирование раствора?



После реакции с гидроксидом рубидия образовался селенит рубидия:



Продуктом реакции с озоном является селенат рубидия:



Таким образом, бета-распаду подвергается изотоп селена, входящий в состав иона SeO_4^{2-} :



Бромат-ион обладает сильными окислительными свойствами.

$2\text{BrO}_4^- + 2\text{Cr}^{3+} + 2\text{H}^+ = \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (исключительно для справки, в решении это не требуется: при больших концентрациях окислителя окисление идет до надхромовых кислот, содержащих в своей структуре пероксидные цепочки);

