



Межрегиональная олимпиада школьников
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

Вариант 1.

9 класс

Задача 9-1

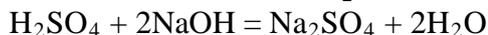
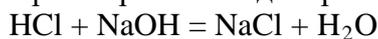
Титриметрия – это классический метод анализа, широко используемый в химии. В этом методе к известному объему анализируемого раствора небольшими порциями приливают раствор реагента известной концентрации, то есть титруют. Процесс титрования заканчивают в тот момент, когда количество прилитого реагента становится эквивалентным количеству определяемого вещества. Этот момент фиксируют с помощью специально подобранного индикатора.

В колбе емкостью 250 мл содержится смесь соляной и серной кислот. На титрование 10 мл этого раствора потребовалось 25 мл 0.01 моль/л раствора гидроксида натрия.

Установите массу каждой кислоты в колбе, если известно, что молярная концентрация соляной кислоты в три раза больше, чем серной. Запишите уравнения протекающих реакций, приведите необходимые расчеты.

Решение

При титровании одновременно протекают следующие реакции:



На титрование 10 мл смеси кислот потребовалось $0.01 \text{ моль/л} \cdot 0.025 \text{ л} = 0.00025 \text{ моль}$ NaOH.

Если принять, что в 10 мл раствора находилось $n(\text{HCl})$ и $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$, то на их титрование потребовалось $[n(\text{HCl}) + 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4)]$ моль NaOH.

Исходя из этого, можно записать $[n(\text{HCl}) + 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4)] = 0.00025 \text{ моль}$.

В условии задачи сказано, что молярная концентрация соляной в три раза больше, чем серной. Следовательно, $n(\text{HCl}) = 3 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4)$. С учетом этого получаем:

$$[3 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) + 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4)] = 0.00025 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.00005 \text{ моль; } n(\text{HCl}) = 3 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.00015 \text{ моль.}$$

Таким образом, в 10 мл раствора смеси кислот находилось 0.00005 моль H_2SO_4 и 0.00015 моль HCl. В 250 мл количество этих кислот в 25 раз больше: 0.00125 моль H_2SO_4 и 0.00375 моль HCl.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.00125 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 0.1225 \text{ г;}$$

$$m(\text{HCl}) = 0.00375 \text{ моль} \cdot 36.5 \text{ г/моль} = 0.1369 \text{ г.}$$

Разбалловка

За уравнения реакции по 5 б

5 б

За расчеты

10 б

За массы кислот по 5 б

10 б

Итого 25 баллов

Задача 9-2

Одним из компонентов воздуха является газ озон O_3 . Хотя его объемная доля чрезвычайно мала, он защищает живую природу от «жесткого» ультрафиолетового излучения. В последнее время ученые сообщают об уменьшении концентрации этого газа и образовании «озоновых дыр». Молекулы озона разрушаются при взаимодействии с атомами хлора, образующимися в атмосфере при разложении фреонов – соединений углерода с фтором и хлором (эти соединения используют в холодильной технике, аэрозольных упаковках). Атомы хлора, образующиеся при разложении 2.09 г соединения с формулой CF_3Cl , могут разрушить 960 г озона.

Определите, сколько молекул озона разрушает один атом хлора.

Простое вещество хлор состоит из двухатомных молекул. Что имеет большую массу – 3 молекулы хлора или 4 молекулы озона?

Где содержится больше атомов – в 1 л хлора или 1 л озона при одинаковых условиях? Во сколько раз?

Все ответы подтвердите соответствующими расчетами.

Решение

Найдем количество вещества CF_3Cl в 2.09 г и O_3 в 960 г:

$$n(CF_3Cl) = 2.09 / 104.5 = 0.02 \text{ моль}; \quad n(O_3) = 960 / 48 = 20 \text{ моль};$$

Число молекул можно найти, умножив количество вещества на число Авогадро:

$$N(Cl) = N(CF_3Cl) = 0.02 \text{ моль} \cdot N_A; \quad N(O_3) = 20 \text{ моль} \cdot N_A.$$

Следовательно, 1 атом Cl может разрушить $N(O_3)/N(Cl) = 20 \text{ моль} \cdot N_A / 0.02 \text{ моль} \cdot N_A = 1000$ молекул O_3 .

Найдем массы 3 молекул Cl_2 и 4 молекул O_3 :

$$m(Cl_2) = 3 \cdot 71 \text{ г/моль} / N_A = 213 / N_A; \quad m(O_3) = 4 \cdot 48 \text{ г/моль} / N_A = 192 / N_A.$$

Три молекулы хлора имеют большую массу, чем четыре молекулы озона.

Найдем число атомов хлора и озона в 1 л:

$$N(Cl) = 2 \cdot 1 \text{ л} \cdot N_A / 22.4 \text{ л/моль};$$

$$N(O) = 3 \cdot 1 \text{ л} \cdot N_A / 22.4 \text{ л/моль};$$

Таким образом, в 1 л озона больше атомов кислорода, чем в 1 л хлора атомов хлора в 1.5 раза:

$$N(O) : N(Cl) = 3 : 2 = 1.5.$$

Разбалловка

За расчет числа молекул озона, которые разрушит один атом хлора	8 б
За сравнение масс 3 молекул хлора и 4 молекул кислорода	8 б
За расчет соотношения атомов кислорода и хлора	9 б

Итого 25 баллов

Задача 9-3

Изотоп ^{10}B обладает уникальной эффективностью поглощать тепловые нейтроны в атомных реакторах (обладает сверхвысоким сечением захвата тепловых нейтронов, примерно в 4000 выше, чем у многих других элементов). Вычислите массовые доли бора в двух твердых веществах $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ (борная кислота) и $\text{Na}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (бура). Сделайте вывод, какое из них будет более эффективно поглощать тепловые нейтроны, если масса каждого по 1 г. Известно, что H_3BO_3 можно получить из $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, и наоборот, с помощью водных растворов кислот или щелочей. Составьте уравнения 2 реакций взаимопревращения.

Решение

Найдем молярные массы веществ:

$$M(\text{H}_3^{10}\text{BO}_3) = 3 + 10 + 48 = 61 \text{ г/моль}$$

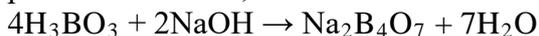
$$M(\text{Na}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 46 + 40 + 112 + 180 = 378 \text{ г/моль.}$$

Найдем массовые доли бора в них:

$$\omega(\text{B в } \text{H}_3^{10}\text{BO}_3) = 10/61 = 0.1639 \text{ (16.39\%)}$$

$$\omega(\text{B в } \text{Na}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 40/378 = 0.1058 \text{ (10.58\%).}$$

Вывод: борная кислота будет более эффективно поглощать тепловые нейтроны, если взять равные массы их, в том числе по 1 г.



Разбалловка

За определение массовой доли бора в 2 веществах по 5б	10 б
За вывод, что борная кислота более эффективна	5 б
За 2 уравнения по 5б	10 б

Итого 25 баллов

Задача 9-4

Для изготовления солонины 10 кг сырого мяса засыпали 1 кг поваренной соли, длительно выдерживали в герметичной емкости при 5°C, затем отделили остатки твердой соли (100 г) и образовавшийся рассол (соленая вода, 8 кг). В полученной солонине массовое соотношение соли и воды составило 1:12, а в слитом рассоле 1:9. Какова масса воды в полученных рассоле и солонине? Какова масса соли в солонине? Какова масса сухого вещества в свежем мясе? Какова масса солонины? Почему в процессе засолки мясо теряет воду? Почему мясо без соли не хранится?

Решение

Зная массу рассола 8 кг и массовое соотношение соли и воды в нем 1:9, можно вычислить массу соли в рассоле 800 г и массу воды в рассоле 7200 г. Масса соли в солонине составляет $1000 - 800 - 100 = 100$ г, а масса воды в солонине в 12 раз больше и равна 1200 г. Общая масса воды составляет $7200 + 1200 = 8400$ г. Масса сухого вещества в свежем мясе равна: $10000 - 8400 = 1600$ г. Масса солонины равна $11000 - 8000 - 100 = 2900$ г.

Если внутриклеточный раствор с низкой концентрацией соли отделен полупроницаемой клеточной мембраной от более концентрированного раствора (рассол), то вода начнет просачиваться из клетки в рассол сквозь мембрану вследствие явления осмоса. Соль является консервантом и не дает развиваться бактериям.

Разбалловка

За расчет массы воды в рассоле 7200 г	4 б
За расчет массы соли в солонине 100 г	4 б
За расчет массы воды в солонине 1200 г	4 б
За расчет массы сухого вещества в свежем мясе 1600 г	4 б
За расчет массы солонины 2900 г	4 б
За знание явления осмоса	3 б
За знание консервирующего действия соли	2 б

Итого 25 баллов



Межрегиональная олимпиада школьников
"Будущие исследователи – будущее науки" 2021/22
Химия. Очный отборочный тур - 90 минут.

Вариант 2.
9 класс

Задача 9-1

За определенной группой соединений закрепилось тривиальное название «сода». Ниже в таблице приведены данные о содержании (в массовых долях) натрия и кислорода в содах.

элемент	сода			
	питьевая	кристаллическая	кальцинированная	каустическая
Na	27	16	43	57.5
O	57	73	45	40

С чем связано общее название этой группы соединений?

Запишите формулы соединений, соответствующих упомянутому тривиальным названиям. Учтите, что, кроме указанных в таблице элементов, питьевая, кристаллическая и каустическая соды содержат также самый распространенный в галактике элемент, а питьевая, кристаллическая и кальцинированная – элемент, по которому определяют возраст археологических находок.

Запишите уравнения таких взаимопревращений этих соединений, которые возможно реализовать в одну стадию.

Как в домашних условиях доказать, что определенный раствор не содержит ни одной из сод?

Решение

1. Все соединения содержат элемент натрия (лат. sodium).
2. Самый распространенный в галактике элемент – водород, H. Элемент, по которому определяют возраст археологических находок – углерод, C. Формулы сод:

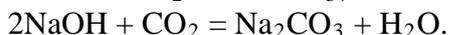
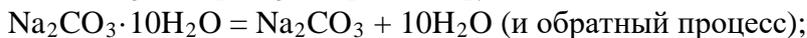
питьевая – NaHCO_3 ;

кристаллическая – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;

кальцинированная – Na_2CO_3 ;

каустическая – NaOH .

3. Запишем уравнения взаимопревращений:



4. Качественной реакцией на катионы натрия является окраска пламени в интенсивный желтый цвет. В домашних условиях такую реакцию можно провести следующим образом: медную проволоку выжигают в пламени газовой плитки, смачивают анализируемым раствором и снова вносят в пламя. Появление желтого окрашивания пламени свидетельствует о наличии катионов натрия в анализируемом растворе. В противном случае делаем вывод, что испытываемый раствор не содержит ни одной из сод.

Разбалловка

За объяснение названия сод	2 б
За установление химических формул соединений по 2 б	8 б
За написание уравнений реакций по 3 б	12 б
За способ идентификации сод в домашних условиях	3 б

Задача 9-2

Вычислите молярную концентрацию раствора, полученного при растворении 112 л хлороводорода в 1 л воды, учитывая, что плотность полученного раствора равна 1.075 г/мл. Эксперимент проводили при нормальных условиях, изменение объема водной фазы при растворении газа не происходило. Установите массовую долю хлороводорода в этом растворе. Чему будет равна молярная концентрация, если к 10 мл полученного раствора добавить 440 мл воды.

Решение

1. Найдем количество и массу растворенного хлороводорода:
 $n(\text{HCl}) = 112 \text{ л} / 22.4 \text{ л/моль} = 5 \text{ моль}$; $m(\text{HCl}) = 5 \text{ моль} \cdot 36.5 \text{ г/моль} = 182.5 \text{ г}$. Масса полученного раствора складывается из массы хлороводорода и воды:
 $m(\text{р-ра}) = m(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{HCl}) + V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 182.5 \text{ г} + 1000 \text{ г} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1182.5 \text{ г}$.
Массовая доля хлороводорода в полученном растворе равна: $\omega(\text{HCl}) = 182.5 / 1182.5 = 0.154$ или 15,4%.

2. Зная плотность, найдем объем полученного раствора и вычислим его молярную концентрацию:

$$V = m / \rho = 1182.5 \text{ г} / 1.075 \text{ г/мл} = 1100 \text{ мл} = 1.1 \text{ л};$$

$$C(\text{HCl}) = n / V = 5 \text{ моль} / 1.1 \text{ л} = 4.5 \text{ моль/л}.$$

3. Найдем количество HCl в 10 мл раствора:
 $n(\text{HCl}) = 4.5 \text{ моль/л} \cdot 0.01 \text{ л} = 0.045 \text{ моль}$.

Теперь вычислим молярную концентрацию полученного раствора:

$$C(\text{HCl}) = 0.045 \text{ моль} / 0.450 \text{ л} = 0.1 \text{ моль/л}.$$

Разбалловка

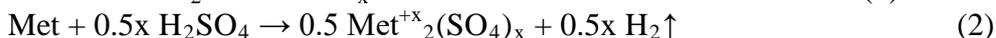
За вычисление массовой доли раствора	8 б
За вычисление молярной концентрации	8 б
За вычисление концентрации после разбавления	9 б

Задача 9-3

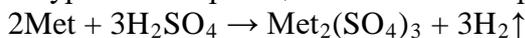
Порошок металла массой 8.1 г прокалили в присутствии 21.3 г хлора до окончания экзотермической реакции. Полученную твердую смесь полностью растворили в избытке разбавленной серной кислоты, при этом выделился водород (3.36 л, н.у.) и получился раствор сульфата металла (в 3 раза меньшем количестве, чем водород), и хлорида металла. Определите металл (он имеет фиксированную степень окисления в солях), напишите уравнения реакций описанных процессов.

Решение

Описание опыта позволяет предположить, что только часть металла хлорируется хлором, оставшаяся часть реагирует с серной кислотой с выделением водорода. На стадии хлорирования хлор в недостатке.



Поскольку количество водорода в 3 раза больше количества сульфата металла, то по уравнению реакции №2 можно определить $x=3$. Формулы солей MetCl_3 и $\text{Met}_2(\text{SO}_4)_3$.



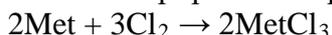
Найдем количество выделившегося водорода:

$$n(\text{H}_2) = 3.36/22.4 = 0.15 \text{ моль.}$$

Найдем количество металла на 2 стадии в соответствии с уравнением:

$$n_2(\text{Met}) = 0.15/1.5 = 0.1 \text{ моль.}$$

Хлорирование протекает по уравнению:



Найдем количество прореагировавшего хлора:

$$n(\text{Cl}_2) = 21.3/71 = 0.3 \text{ моль.}$$

Найдем количество металла на 1 стадии в соответствии с уравнением:

$$n_1(\text{Met}) = 0.3/1.5 = 0.2 \text{ моль}$$

Найдем общее количество металла: $n(\text{Met}) = n_1(\text{Met}) + n_2(\text{Met}) = 0.2 + 0.1 = 0.3 \text{ моль.}$

Отсюда найдем $M(\text{Met}) = 8.1/0.3 = 27$. Металл – алюминий.

Разбалловка

За опр. степени окисления металла	3 б
За опр. количеств H_2 , Cl_2 , по 2б	4 б
За опр. $n_1(\text{Met})$, $n_2(\text{Met})$, $n(\text{Met})$ по 3б	9 б
За опр. алюминия	3 б
За ур. 2 реакций в общем или окончательном виде по 3б	6 б

Итого 25 баллов

Задача 9-4

Водный раствор хлорида кальция используется в качестве охлаждающей жидкости промышленных химических реакторов. Раствор, приготовленный растворением 66.7 г безводной соли в 100 г воды, имеет плотность в 1.396 раз больше, чем вода при 4°C. Он не замерзает даже при -50°C. Какую массу кристаллогидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ потребуется использовать, чтобы приготовить 1 л такого же раствора?

Решение

Массовая доля CaCl_2 в растворе равна $66.7/166.7 = 0.400$. Для 1 л раствора $m(\text{р-ра}) = 1396$ г. Масса безводной соли: $m(\text{CaCl}_2) = 1396 \cdot 0.400 = 558.4$ г. $n(\text{CaCl}_2) = 558.4/111 = 5.03$ моль = $n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$. $m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 5.03 \cdot 219 = 1102$ г.

Разбалловка

За расчет массовой доли CaCl_2	5 б
За расчет массы 1 л водного р-ра	5 б
За расчет массы безводной соли	5 б
За расчет $n(\text{CaCl}_2)$ в 1 л раствора	5 б
За расчет $m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$	5 б

Итого 25 баллов