



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Инженерное дело»

Специализация: «Химия»

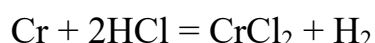
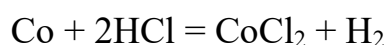
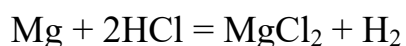
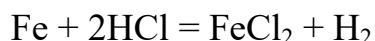
Классы участия: 10-11

Задача 1.

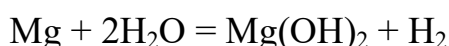
Сплав железа, магния, кобальта и хрома относится к группе сплавов с высокой энтропией. Они отличаются тем, что представляют собой смесь составляющих элементов в равных частях, а не как в большинстве применяемых сплавов с преобладанием одного элемента. Это оказывает значительное влияние на крайне высокие показатели прочности таких сплавов. При исследовании химической стойкости сплава на чашу весов поместили сосуд с соляной кислотой и положили в него 191 г смеси железа, магния, кобальта и хрома с равным количеством их атомов. Для уравнивания на вторую чашу поместили такой же сосуд с водой и смесью того же состава, но после кипячения. Определите массу смеси, помещенной во второй сосуд до кипячения. Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение:

С соляной кислотой прореагируют все металлы смеси



При кипячении с водой прореагирует только магний



Пусть количество вещества атомов каждого из металлов в первом образце смеси x_1 моль. Тогда, зная молярную массу атомов, массу смеси можно выразить как



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

$$56x_1 + 24x_1 + 59x_1 + 52x_1 = 191,$$

откуда можно узнать количество атомов каждого из металлов в этой массе смеси $x_1 = 1$ моль.

В соответствии с уравнениями реакций количество водорода, выделившегося из раствора соляной кислоты по реакции с каждым из металлов, будет такое же, следовательно, всего выделится 4 моль водорода.

Масса выделившегося водорода равна

$$m_1(\text{H}_2) = M(\text{H}_2) \cdot n_1(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль} \cdot 4 \text{ моль} = 8 \text{ г.}$$

Изменение массы чаши весов с раствором соляной кислоты

$$\Delta m_1 = 191 \text{ г} - 8 \text{ г} = 183 \text{ г}$$

Пусть количество атомов каждого из металлов во втором образце смеси x_2 моль. Масса смеси металлов будет равна $191x_2$ г.

По стехиометрическому соотношению количество вещества водорода, выделившегося из воды по реакции с магнием, будет x_2 моль.

Тогда изменение массы чаши весов с водой после кипячения со смесью металлов для установления равновесия равно $191x_2 - 2x_2$.

$$\Delta m_1 = \Delta m_2 = 191x_2 - 2x_2 = 183,$$

откуда находим количество вещества атомов каждого из металлов во второй смеси $x_2 \approx 0,9683$ моль.

А масса смеси, помещенной в воду до кипячения, будет равна

$$m_2(\text{смеси}) = 191 \text{ г/моль} \cdot 0,9683 \text{ моль} \approx 184,94 \text{ г}$$



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написаны уравнения реакций (0,2 балла за каждую).	1
2.	Определено количество вещества атомов каждого из металлов в первой смеси.	1
3.	Рассчитана масса водорода, выделившегося из раствора соляной кислоты и изменение массы на чаше весов.	1
4.	Выражено количество водорода, выделившегося из воды и изменение массы чаши весов.	1
5.	Найдено количество атомов каждого из металлов и масса смеси, помещенной в воду до кипячения.	1
ИТОГО		5

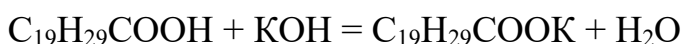


Задача 2.

При использовании древесных растений применяется биорефайнинг, позволяющий полностью перерабатывать всю биомассу дерева, включая смолу, составляющую около 5 % от массы древесины хвойных пород. Методом отгонки с водяным паром из смолы извлекают скипидар, содержание которого достигает около 26 % от ее массы. Остаток после отделения скипидара представляет собой канифоль, в основном состоящую из смоляных кислот с формулой $C_{19}H_{29}COOH$. Определите, сколько процентов смоляных кислот содержится в 1 г канифоли, если для ее нейтрализации потребовалось 168 мг гидроксида калия. Из какого количества сосен по 450 кг можно получить 1 т канифоли?

Решение:

Уравнение реакции канифоли с гидроксидом калия:



Определяем количество гидроксида калия

$$n(KOH) = m(KOH) / M(KOH) = 0,168 / 56 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

В соответствии с уравнением реакции количество вещества смоляных кислот равно $n(KOH)$:

$$n(C_{19}H_{29}COOH) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Определяем молярную массу смоляных кислот

$$M(C_{19}H_{29}COOH) = 302 \text{ г/моль}$$

Масса смоляных кислот будет равна

$$m(C_{19}H_{29}COOH) = M(C_{19}H_{29}COOH) \cdot n(C_{19}H_{29}COOH) = 906 \text{ мг,}$$

что составляет

$$\omega(C_{19}H_{29}COOH) = 906 / 1000 = 0,906 \text{ или } 90,6 \%.$$

Для получения 1 т канифоли потребуется смолы

$$m(\text{смолы}) = 1 / 0,74 \approx 1,35 \text{ т}$$

Требуемая масса сосен составит

$$m(\text{сосен}) = 1,35 / 0,05 \approx 27 \text{ т или } 27000 \text{ кг.}$$

что соответствует их количеству $27000 / 450 = 60$ шт.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 2		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написано уравнение реакции.	1
2.	Определено количество гидроксида калия.	1
3.	Рассчитана масса смоляных кислот.	1
4.	Определена массовая доля смоляных кислот в канифоли.	1
5.	Установлено количество сосен, из которых можно получить 1 т канифоли.	1
ИТОГО		5



Задача 3.

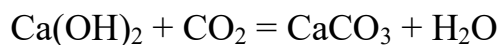
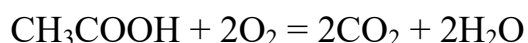
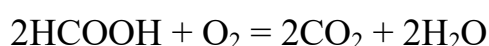
При химической переработке древесины методом пиролиза можно получить муравьиную и уксусную кислоту. Предложите физические и химические способы анализа для идентификации этих соединений. Для химических способов приведите уравнения протекающих реакций.

Решение:

В качестве физического способа можно использовать измерение температуры кипения. Для муравьиной кислоты она составит 100,8 °С, а для уксусной – 118,1 °С. Кроме того, кислоты имеют разный запах.

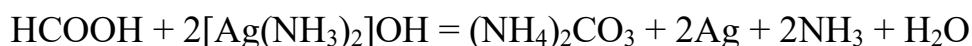
В качестве количественного химического метода можно предложить полное сжигание одинаковых масс этих кислот с улавливанием известковой водой выделяющегося углекислого газа и последующим определением массы образовавшегося карбоната кальция.

Так как массовая доля углерода в муравьиной кислоте составляет $\frac{12}{46} = 26,09\%$, а в уксусной 40,00 %, то образец, дающий большую массу CaCO_3 , будет уксусной кислотой, а меньшую – муравьиной.

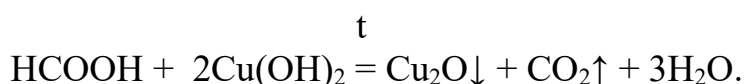


Можно предложить титрование щелочью одинаковых масс кислот. На титрование уксусной кислоты израсходуется меньшее количество щелочи.

Как качественный метод можно использовать реакцию «серебряного зеркала», в которую вступит только муравьиная кислота:



или взаимодействие муравьиной кислоты с гидроксидом меди при нагревании с образованием осадка красного цвета:





Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Предложен физический способ анализа для идентификации соединений.	2
2.	Предложен химический способ количественного анализа для идентификации соединений.	4
3.	Предложен способ распознавания кислот с помощью качественных реакций.	4
ИТОГО		10



Задача 4.

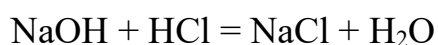
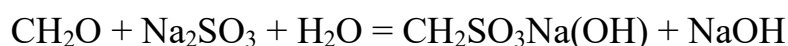
При производстве отделочных материалов для древесно-стружечных плит в качестве связующих применяют синтетические смолы – меламиноформальдегидные олигомеры, получаемые из меламина и формальдегида, которые содержат остаточное количество формальдегида. Содержание этого токсичного вещества определяют сульфитным методом, в котором устанавливают количество сульфита натрия, вступающего в реакцию с формальдегидом в водном растворе. К образующимся продуктам этой реакции добавляют соляную кислоту, по расходу которой и рассчитывают содержание свободного формальдегида в анализируемой пробе. Напишите уравнения двух описанных выше реакций.

Сколько миллилитров 0,01 н. раствора соляной кислоты может быть максимально израсходовано при определении содержания формальдегида в 150 мл воды из водоема хозяйственного назначения, если предельно допустимая концентрация этого вещества составляет 0,01 мг/л?

Напишите уравнения реакций, протекающих при получении меламиноформальдегидного олигомера, если меламин содержит три аминогруппы $C_3N_3(NH_2)_3$. Сколько молекул формальдегида может максимально присоединиться к меламину, и образование каких двух типов связей возможно между получившимися на первой стадии метилольными производными меламина при синтезе олигомерных макромолекул?

Решение:

Уравнения реакций, протекающих при определении формальдегида сульфитным методом:



Одним из продуктов реакции сульфита натрия с формальдегидом является гидроксид натрия, количество вещества которого равно количеству формальдегида. Количество образующегося гидроксида натрия можно определить по количеству соляной кислоты, вступающей с ним реакцию.



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

В 150 мл воды должно содержаться формальдегида не более

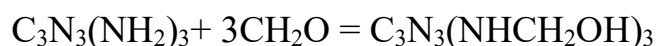
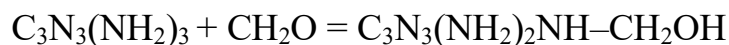
$$m(\text{CH}_2\text{O}) = 0,01 \cdot 0,15 = 0,0015 \text{ (мг)},$$

что соответствует его количеству вещества, равному $1,5 \cdot 10^{-3} / 30 = 5 \cdot 10^{-5}$

моль.

Соляной кислоты потребуется такое же количество, т. е. $5 \cdot 10^{-5}$ моль. Оно содержится в $(1000 \cdot 5 \cdot 10^{-5}) / 0,01 = 5$ мл 0,01 н. раствора HCl.

Уравнения реакций, которые протекают при получении меламина формальдегидного олигомера:



Возможно написание реакций дальнейших процессов поликонденсации метилольных производных с образованием как линейных, так и разветвленных макромолекул.

Присоединиться к меламину может максимально шесть молекул формальдегида. Между метилольными производными меламина при синтезе олигомерных макромолекул возможно образование как метиленовых, так и простых эфирных связей.



Критерии оценивания

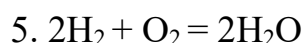
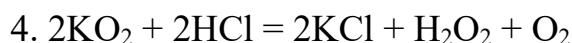
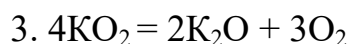
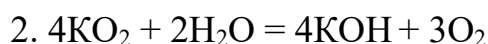
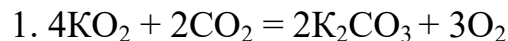
Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написаны уравнения реакций, протекающих при определении содержания свободного формальдегида.	2
2.	Дано пояснение по применению соляной кислоты для определения содержания формальдегида.	1
3.	Рассчитаны масса и количество вещества формальдегида в анализируемой пробе.	2
4.	Определено количество вещества и объем соляной кислоты.	2
5.	Написаны уравнения реакций, протекающих при получении меламиноформальдегидного олигомера.	4
6.	Указано максимальное число молекул формальдегида, которое может присоединиться к меламину.	2
7.	Названы два типа связей между метилольными производными меламина при синтезе олигомерных макромолекул.	2
Итого		15



Задача 5.

В специальных костюмах для выхода космонавтов в открытый космос в целях получения кислорода используется надпероксид (диоксид) калия, который взаимодействует с углекислым газом и парами воды. Надпероксид калия также выделяет кислород и при нагревании в вакууме, и под действием разбавленных кислот. При изучении таких процессов в три колбы поместили пробы надпероксида калия, взятого в избытке. Первую пробу обработали углекислым газом, вторую – парами воды, а третью - хлороводородом, при этом были взяты равные массы добавляемых реагентов. Полученный в трех колбах кислород собрали и полностью израсходовали на окисление водорода с образованием 72 г воды. Рассчитайте объем углекислого газа (н. у.), поглощенного пероксидом калия. Приведите уравнения всех пяти описанных в задании химических реакций.

Решение:



Пусть масса углекислого газа, паров воды и хлороводорода будет равна по x г. Тогда количество вещества углекислого газа

$$n(\text{CO}_2) = x / 44 = 0,0227x \text{ моль};$$

количество вещества паров воды

$$n(\text{H}_2\text{O}) = x / 18 = 0,0556x \text{ моль};$$

количество вещества хлороводорода

$$n(\text{HCl}) = x / 36,5 = 0,0274x \text{ моль}.$$

По стехиометрическому соотношению в уравнениях реакций количество образующегося кислорода в 1,5 раза больше количества поглощенного углекислого газа, т. е. $0,03405x$ моль. Количество кислорода, полученного под действием паров воды, также больше в 1,5 раза, т. е. $0,0834x$ моль, а под действием соляной кислоты – меньше ее количества вещества в 2 раза, т. е. $0,0137x$ моль.



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Суммарное количество вещества кислорода равно:

$$0,03405x + 0,0834x + 0,0137x = 0,13115x \text{ моль.}$$

Зная количество воды, которую можно получить из всего выделившегося кислорода

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 72 / 18 = 4 \text{ моль,}$$

по уравнению реакции можем определить, что общее количество всего кислорода составляет 2 моль.

Тогда $0,13115x = 2$, откуда $x = 15,2497 \approx 15,25$ г – это масса каждого из веществ, в том числе CO_2 .

Количество вещества углекислого газа, поглощенного надпероксидом калия $n(\text{CO}_2) = 15,25 / 44 = 0,3466$ моль, а объем при н. у. равен $0,3466 \cdot 22,4 = 7,764$ л.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написаны уравнения реакций (за каждую 1 балл).	5
2.	Выражено количество каждого вещества, пропущенного через надпероксид калия, через x .	3
3.	Определено общее количество вещества образующегося кислорода.	3
4.	Рассчитана масса каждого из веществ, пропущенных через надпероксид калия.	2
5.	Установлен объем углекислого газа.	2
ИТОГО		15