



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Инженерное дело»

Специализация: «Химия»

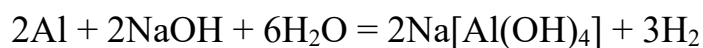
Классы участия: 10-11

Задача 1.

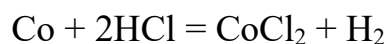
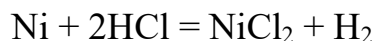
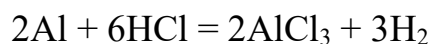
До открытия высокоэнтропийных сплавов считалось, что при смешивании металлов в равных пропорциях механические свойства сплавов ухудшаются, однако российские ученые получили эквимольный сплав из алюминия, никеля, кобальта, меди и циркония, который обладает высокими прочностными показателями. При изучении химической стойкости такого сплава уравнили емкости с раствором гидроксида натрия на одной чаше весов и с раствором соляной кислоты на другой. В емкость с раствором гидроксида натрия поместили 30 г сплава. Какую массу сплава надо поместить в сосуд на другой чаше весов, чтобы весы через некоторое время уравнились? Напишите уравнения реакций, протекающих в растворе гидроксида натрия и в растворе соляной кислоты.

Решение:

С раствором гидроксида натрия прореагирует только алюминий



С раствором соляной кислоты будут взаимодействовать алюминий, никель, кобальт





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

$$27x_1 + 59x_1 + 59x_1 + 64x_1 + 91x_1 = 300x_1 = 30,$$

откуда можно узнать количество вещества каждого из металлов в этой массе смеси

$$x_1 = 0,1 \text{ моль.}$$

Количество вещества водорода, выделившегося из раствора гидроксида натрия, по стехиометрическому соотношению будет равно

$$n_1(\text{H}_2) = 0,15 \text{ моль.}$$

А его масса

$$m_1(\text{H}_2) = M(\text{H}_2) \cdot n_1(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль} \cdot 0,15 \text{ моль} = 0,3 \text{ г}$$

Увеличение массы чаши весов с раствором гидроксида натрия после протекания реакции со сплавом составит:

$$\Delta m_1 = 30 \text{ г} - 0,3 \text{ г} = 29,7 \text{ г}$$

Пусть количество вещества каждого из металлов во втором образце смеси x_2 моль. Масса сплава будет равна

$$27x_2 + 59x_2 + 59x_2 + 64x_2 + 91x_2 = 300x_2.$$

По стехиометрическому соотношению количество вещества водорода, выделившегося из раствора соляной кислоты по реакции с алюминием, будет $1,5x_2$, по реакции с никелем x_2 , по реакции с кобальтом x_2 , а всего $3,5x_2$.

Тогда изменение массы чаши весов с раствором соляной кислоты после установления равновесия

$$\Delta m_2 = \Delta m_1 = 300x_2 - 2 \cdot 3,5x_2 = 29,7,$$

откуда находим количество вещества каждого из металлов

$$x_2 = 0,10137$$

А масса смеси, помещенной в раствор соляной кислоты, будет равна

$$m_2(\text{смеси}) = 300 \text{ г/моль} \cdot 0,10137 \text{ моль} = 30,411 \approx 30,4 \text{ г}$$



Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написаны уравнения реакций (0,25 балла за каждую реакцию).	1
2.	Определено количество вещества каждого из металлов в 30 г сплава, помещенного в раствор гидроксида натрия.	1
3.	Рассчитана масса водорода, выделившегося из раствора гидроксида натрия.	0,5
4.	Определено увеличение массы чаши весов с гидроксидом натрия.	0,5
5.	Выражены количество вещества и масса водорода, выделившегося из раствора соляной кислоты.	0,5
6.	Составлено уравнение для изменения массы чаши весов с соляной кислотой.	0,5
7.	Найдено количество вещества каждого из металлов в образце сплава, помещенного в раствор соляной кислоты, рассчитана масса сплава.	1
ИТОГО		5

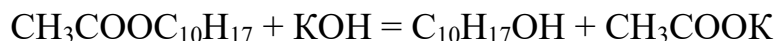


Задача 2.

При переработке древесных растений применяется биорефайнинг, позволяющий полностью использовать всю биомассу дерева, включая хвою, составляющую около 20 % от массы древесины хвойных пород. Методом отгонки с водяным паром из хвои извлекают эфирные масла, содержание которых достигает 2 % от массы хвои. Основным компонентом эфирных масел является сложный эфир борнилацетат с общей формулой $C_{12}H_{20}O_2$. Определите массовую долю борнилацетата в эфирном масле, для омыления 1 г которого потребовалось 70 мг гидроксида калия. Сколько новогодних елей массой в среднем по 7 кг нужно сдать на переработку, чтобы получить 1 кг эфирного масла?

Решение:

Реакция щелочного гидролиза (омыления) борнилацетата:



Определим количество вещества гидроксида калия

$$n(KOH) = \frac{m(KOH)}{M(KOH)} = \frac{0,07 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

По стехиометрическому соотношению количество вещества гидроксида калия равно количеству вещества сложного эфира

$$n(C_{12}H_{20}O_2) = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Определим молярную массу борнилацетата

$$M(C_{12}H_{20}O_2) = 196 \text{ г/моль}$$

Масса борнилацетата будет равна

$$m(C_{12}H_{20}O_2) = M(C_{12}H_{20}O_2) \cdot n(C_{12}H_{20}O_2) = 245 \text{ мг},$$

что составляет

$$\omega(C_{12}H_{20}O_2) = \frac{245}{1000} \cdot 100 \% = 24,5 \%$$

Для получения 1 кг эфирного масла потребуется

$$m(\text{хвои}) = \frac{100 \cdot 1 \text{ кг}}{2} = 50 \text{ кг}$$



Требуемая масса елей составит

$$m(\text{елей}) = \frac{100 \cdot 50 \text{ кг}}{20} = 250 \text{ кг},$$

что соответствует их количеству

$$N(\text{елей}) = \frac{250 \text{ кг}}{7 \text{ кг/шт}} \approx 36 \text{ шт}$$

Критерии оценивания

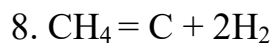
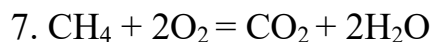
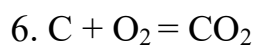
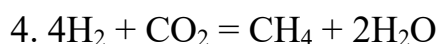
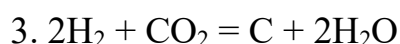
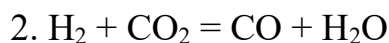
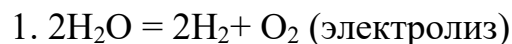
Критерии оценивания задания 2		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написано уравнение реакции омыления борнилацетата.	1
2.	Определено количество вещества гидроксида калия.	0,5
3.	Рассчитана масса борнилацетата.	1
4.	Определена массовая доля борнилацетата в эфирном масле.	1
5.	Определена масса хвои, содержащая 1 кг эфирного масла.	0,5
6.	Определена общая масса елей, содержащих 1 кг эфирного масла.	0,5
7.	Установлено количество елей для переработки.	0,5
ИТОГО		5



Задача 3.

Известно, что на международных космических станциях (МКС) для получения кислорода в основном используют электролиз воды. Образующийся при этом водород применяется для реакции с углекислым газом, что приводит к регенерации воды. Какие еще продукты, кроме воды, могут образовываться в трех разных реакциях водорода с углекислым газом в зависимости от условий проведения реакции? Если смесь этих продуктов, взятых в равных соотношениях по массе, сжечь на воздухе, образуется углекислый газ объемом 4,0656 л (н. у.). Определите объемы газов в сжигаемой смеси, учитывая, что один из них при разложении может служить источником водорода. Приведите уравнения всех восьми описанных в задании химических реакций.

Решение:



Пусть масса угарного газа, углерода и метана, которые могут образоваться при восстановлении водородом углекислого газа, будет по x г. Тогда количество вещества угарного газа

$$n(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{M(\text{CO})} = \frac{x \text{ г}}{28 \text{ г/моль}} = 0,0357x \text{ моль};$$

количество вещества углерода

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{x \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 0,0833x \text{ моль};$$



количество вещества метана

$$n(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} = \frac{x \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,0625x \text{ моль.}$$

По стехиометрическому соотношению количество вещества образующегося углекислого газа в реакции (5) равно количеству вещества сгораемого угарного газа $0,0357x$ моль. Количество вещества углекислого газа при сжигании угля по реакции (6) – $0,0833x$ моль, а при сжигании метана (реакция 7) – $0,0625x$ моль.

Зная общее количество вещества углекислого газа, образовавшегося при сгорании смеси этих веществ

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{4,0656 \text{ л}}{22,4 \text{ моль/л}} = 0,1815 \text{ моль,}$$

можем определить массу каждого из сгораемых веществ из уравнения

$$0,0357x + 0,0833x + 0,0625x = 0,1815.$$

$$\text{Откуда } x = 1(\text{г})$$

Газами в смеси являются угарный газ и метан, объемы которых при н. у. определяются как

$$V(\text{CO}) = n(\text{CO}) \cdot V_m = 0,0357 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,7997 \text{ л}$$

$$V(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_4) \cdot V_m = 0,0625 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 1,4000 \text{ л}$$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написаны уравнения восьми реакций (за каждую реакцию 0,5 балла).	4
2.	Определено количество вещества образующегося углекислого газа.	1
3.	Составлено уравнение с одним неизвестным для расчета массы каждого из сгораемых веществ и вычислена их масса.	2
4.	Установлены объемы газов в смеси.	1
ИТОГО		8



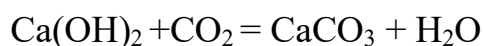
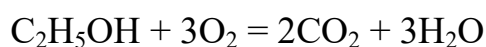
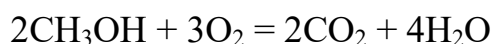
Задача 4.

Из древесины можно получить два различных спирта: путем пиролиза – метиловый (древесный) спирт, а с помощью биохимической переработки продуктов гидролиза древесины – этиловый (гидролизный) спирт. Эти спирты имеют похожий резкий запах. Однако метиловый спирт очень ядовит. Предложите физические и химические способы идентификации этих соединений для того, чтобы их можно было различить. Для химических способов приведите уравнения протекающих реакций.

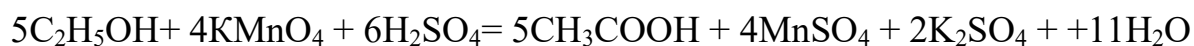
Решение:

В качестве физического способа можно использовать измерение температуры кипения. Для метанола она будет ниже (64,7 °C), а для этанола – выше (78,4 °C).

В качестве количественного химического метода можно предложить полное сжигание одинаковых масс этих спиртов с улавливанием известковой водой выделяющегося углекислого газа и последующим определением массы образовавшегося карбоната кальция. Так как массовая доля углерода в метаноле составляет 37,5 %, а в этаноле 52,2 %, то образец, дающий большую массу CaCO_3 , будет этанолом, а меньшую – метанолом.



Как качественный метод можно использовать окисление этих спиртов раствором перманганата калия в кислой среде. Вследствие того, что метанол окисляется до углекислого газа, а этанол – до уксусной кислоты, выделение пузырьков CO_2 будет свидетельствовать о том, что это метанол.





Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Предложен физический способ идентификации спиртов.	5
2.	Предложен химический способ идентификации спиртов.	5
3.	Написаны уравнения реакций для химического способа.	5
ИТОГО		15

Задача 5.

При производстве древесно-стружечных плит (ДСП) в качестве связующих применяют синтетические смолы – карбамидоформальдегидные олигомеры, которые получают из карбамида (диамида угольной кислоты) и формальдегида. Первой стадией получения карбамидформальдегидных олигомеров является синтез метилольных производных путем присоединения от одной до трех молекул формальдегида к карбамиду. Далее протекает конденсация молекул метилольных производных друг с другом.

1) Напишите уравнение реакции присоединения трех молекул формальдегида к карбамиду.

2) Напишите уравнение реакции конденсации полученных молекул метилольных производных друг с другом путем образования метиленовых связей.

3) Напишите уравнение реакции конденсации полученных молекул метилольных производных друг с другом путем возможного образования простых эфирных связей.

Получаемые карбамидформальдегидные олигомеры содержат некоторое остаточное количество формальдегида. Содержание этого токсичного вещества определяют сульфитным методом, который основан на свойстве альдегидов в водной среде взаимодействовать с сульфитом натрия. К образующимся продуктам этой реакции добавляют соляную кислоту, по расходу которой на реакцию с одним из продуктов и рассчитывают содержание свободного формальдегида в анализируемой пробе.



4) Напишите уравнения двух реакций, протекающих при определении содержания формальдегида описанным способом.

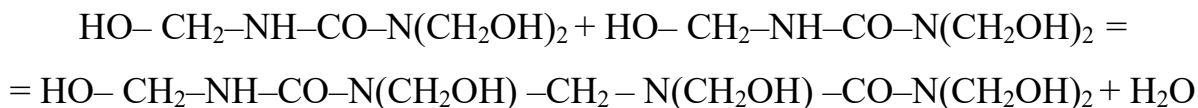
5) Сколько миллилитров 0,001 М раствора соляной кислоты израсходовано при определении содержания формальдегида в 60 мл сточной воды предприятия, если предельно допустимая концентрация этого вещества, составляющая 0,05 мг/л, была превышена в 2 раза?

Решение:

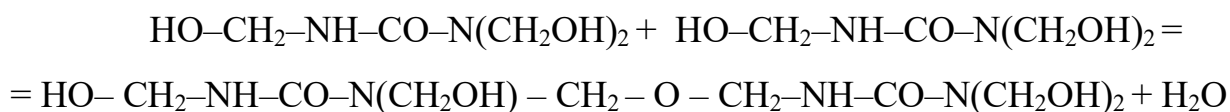
1) Уравнение реакции присоединения трех молекул формальдегида к карбамиду:



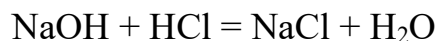
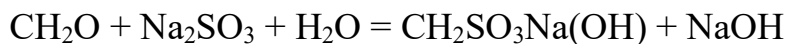
2) Между получившимися метилольными производными карбамида при дальнейшем синтезе олигомерных макромолекул идет образование метиленовых связей:



3) Также возможно образование простых эфирных связей:



4) Реакции, протекающие при определении содержания формальдегида:



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



Концентрация формальдегида в сточной воде составляет

$$C(\text{CH}_2\text{O}) = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ (мг/л)}$$

В 60 мл воды будет содержаться формальдегида

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = 0,1 \cdot 0,06 = 0,006 \text{ (мг)},$$

что соответствует его количеству вещества

$$n(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O})}{M(\text{CH}_2\text{O})} = \frac{0,000006 \text{ г}}{30 \text{ г/моль}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ (моль)}.$$

Соляной кислоты потребуется такое же количество вещества

$$n(\text{HCl}) = 2 \cdot 10^{-7} \text{ (моль)}.$$

Оно будет содержаться в 0,001 М растворе объемом

$$V(\text{HCl}) = 0,2 \text{ мл}.$$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Написано уравнение реакции присоединения трех молекул формальдегида к карбамиду.	3
2.	Написано уравнение реакции взаимодействия метилольных производных карбамида с образованием метиленовой связи.	3
2.	Приведено уравнение реакции взаимодействия метилольных производных карбамида с образованием простой эфирной связи.	3
3.	Написано уравнение реакции взаимодействия формальдегида с сульфитом натрия в водной среде.	2
4.	Написано уравнение реакции взаимодействия соляной кислоты с гидроксидом натрия.	1
5.	Определена концентрация формальдегида в сточной воде.	1
6.	Рассчитаны масса и количество вещества формальдегида в анализируемой пробе.	2
7.	Определено количество вещества и объем соляной кислоты, израсходованной на анализ.	2
ИТОГО		17