



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Химия»

Классы участия: 10-11

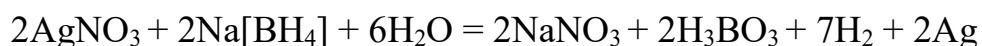
Вариант задания: 2

Задача 1. (10 баллов)

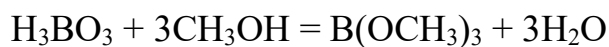
Серебро в лечебных целях использовалось еще в XI в. Ибн Сино (Авиценной). В наши дни ученые создают препараты против резистентных к антибиотикам микробов на основе наночастиц серебра. Наночастицы серебра имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Одним из способов получения наночастиц серебра является его восстановление из водного раствора нитрата серебра под действием боргидрида натрия $\text{Na}[\text{BH}_4]$. Боргидрид натрия, в свою очередь, получают из борной кислоты в три стадии: 1) взаимодействие борной кислоты с метанолом в присутствии концентрированной H_2SO_4 ; 2) взаимодействие образовавшегося борнометилового эфира с гидридом натрия с образованием комплексной соли; 3) выделение из комплексной соли боргидрида натрия под действием диборана B_2H_6 . Напишите уравнения четырех описанных реакций. уравнения всех описанных реакций. Рассчитайте, сколько атомов золота содержится в наночастице массой $3,27 \cdot 10^{-19}$ г?

Решение:

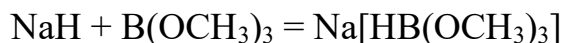
Реакция получения наночастиц серебра:



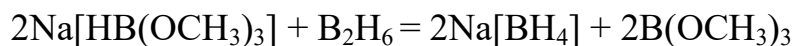
Взаимодействие борной кислоты с метанолом:



Взаимодействие борнометилового эфира с гидридом натрия:



Взаимодействие полученной комплексной соли с дибораном:





Критерии оценивания

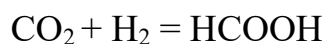
Элемент решения	Балл
Написано уравнение реакции образования наночастиц серебра из нитрата серебра под действием боргидрида натрия.	3
Написано уравнение реакции взаимодействия борной кислоты с метанолом.	2
Составлено уравнение реакции взаимодействия борнометилового эфира с гидридом натрия с образованием комплексной соли натрия.	2
Составлено уравнение реакции взаимодействия комплексной соли натрия с дибораном с образованием боргидрида натрия.	3
Итого	10

Задача 2. (10 баллов)

Климатологи предполагают, что для борьбы с глобальным потеплением необходимо уменьшить уровень выбросов парниковых газов. Химики и инженеры разработали каталитические системы, способные фиксировать один из парниковых газов – диоксид углерода и превращать его в муравьиную кислоту, которая находит широкое применение, в том числе в органическом синтезе. Напишите уравнение реакции получения муравьиной кислоты с использованием углекислого газа и водорода. Определите объемную долю CO_2 в исходной газовой смеси, используемой для синтеза муравьиной кислоты, если в 11,2 л (н. у.) смеси содержится $12,04 \cdot 10^{23}$ электронов.

Решение:

Уравнение реакции получения муравьиной кислоты



В одной молекуле углекислого газа содержится 22 электрона, а в одном моле 22 моль электронов, в одной молекуле водорода – 2 электрона, а в одном моле 2 моль электронов.

Общее количество вещества газов в смеси

$$n = V/V_m = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ (моль)}$$

Зная количество вещества электронов в 1 моль вещества, можем определить количество вещества электронов в смеси

$$n(e) = 12,04 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 2 \text{ (моль)}.$$



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Пусть количество вещества углекислого газа в смеси x моль, а количество вещества водорода y моль. Тогда имеем систему уравнений:

$$x + y = 0,5$$

$$22x + 2y = 2$$

Откуда $x = 0,05$ моль, $y = 0,45$ моль.

Объемная доля углекислого газа будет равна молярной доле:

$$\varphi(\text{CO}_2) = 0,05/0,5 = 0,1 \text{ или } 10 \%$$

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Составлено уравнение реакции получения муравьиной кислоты.	1
Установлено число электронов в одной молекуле и одном моле углекислого газа и водорода.	2
Рассчитано общее количество вещества газов в смеси.	1
Определено количество вещества электронов в смеси.	1
Составлена система из двух уравнений с двумя неизвестными.	2
Рассчитано количество вещества углекислого газа и водорода в смеси.	2
Рассчитана объемная доля углекислого газа в газовой смеси.	1
Итого	10

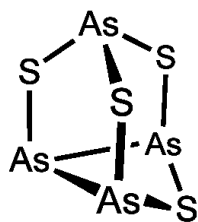


Задача 3. (10 баллов)

Современным исследователям удалось установить, как великий голландский художник Рембрандт добивался неповторимого сияния золотого цвета на своих полотнах. Используя такие молекулярно-специфические методы, как спектроскопия и рентгенография, ученые обнаружили на картинах Рембрандта следы минерала парареальгара имеющего состав As_4S_4 . Постройте возможную графическую формулу молекулы парареальгара, если в нем из четырех атомов мышьяка два связаны с двумя атомами серы и одним атомом мышьяка, третий атом мышьяка связан с одним атомом серы и двумя другими мышьяка, а четвертый атом мышьяка связан с тремя атомами серы. Художник смешивал ярко-желтый парареальгар с красным киноварным и светло-желтым свинцово-оловянным пигментами, чтобы придать краскам золотой блеск. Приведите химическую формулу пигмента на основе киновари – минерала ртути, имеющего алую окраску. Каков химический состав свинцово-оловянного пигмента (станната свинца (II)).

Решение:

Возможная графическая формула парареальгара



Формула красного пигмента на основе киновари – HgS .

Химический состав свинцово-оловянного пигмента – $2PbO \cdot SnO_2$ или Pb_2SnO_4 .

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Построена графическая формула реальгара.	6
Приведена формула красного пигмента на основе киновари.	2
Приведен химический состав свинцово-оловянного пигмента.	2
Итого	10

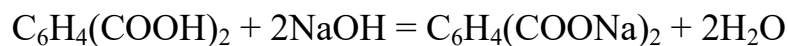


Задача 4. (15 баллов)

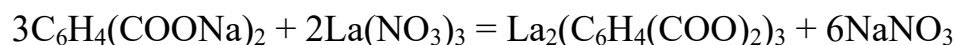
Ученые разработали новый метод получения светящихся материалов для экранов гаджетов. Эти материалы представляют собой гибридные металлоорганические соединения, объединяющие свойства неорганических и органических веществ. Вначале с помощью реакции между терефталевой кислотой и гидроксидом натрия получают соль, раствор которой затем добавляют по каплям к раствору нитрата лантаноида. В результате реакции образуются микрочастицы терефталатов лантаноидов, выпадающие в виде белого осадка. Напишите уравнения описанных реакций для нитрата лантана. Рассчитайте массу образовавшегося продукта, если он будет представлять собой тетрагидрат терефталата лантана (III), а для проведения реакции было взято 8,3 г пентагидрата нитрата лантана (III).

Решение:

Уравнение реакции получения терефталата натрия:



Уравнение реакции образования терефталата лантана (III):



Молярная масса пентагидрата нитрата лантана равна

$$M(\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 139 + 62 \cdot 3 + 18 \cdot 5 = 415 \text{ г/моль}$$

Определяем количество вещества пентагидрата нитрата лантана

$$n(\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = m(\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) / M(\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 8,3 / 415 = 0,02 \text{ (моль)}.$$

Количество вещества нитрата лантана также равно 0,02 моль в соответствии с формулой кристаллогидрата.

Согласно уравнению реакции из 2 моль нитрата лантана (III) образуется 1 моль терефталата лантана (III). Тогда количества вещества образующегося терефталата лантана будет 0,01 моль, соответствующее количество вещества тетрагидрата терефталата лантана (III) также равно 0,01 моль.



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

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Молярная масса тетрагидрата терефталата лантана равна

$$M(\text{La}_2(\text{C}_6\text{H}_4(\text{COO})_2)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 139 \cdot 2 + 76 \cdot 3 + 44 \cdot 6 + 18 \cdot 4 = 278 + 228 + 264 + 72 = 842 \text{ г.}$$

Масса тетрагидрата терефталата лантана равна $842 \cdot 0,01 = 8,42 \text{ г.}$

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Написано уравнение реакции получения терефталата натрия.	2
Приведено уравнение реакции образования терефталата лантана.	3
Рассчитана молярная масса пентагидрата нитрата лантана	2
Определено количество вещества пентагидрата нитрата лантана в кристаллогидрате.	1
Установлено количество вещества нитрата лантана.	1
Определено количества вещества образующегося терефталата лантана и количество вещества тетрагидрата терефталата лантана.	2
Рассчитана молярная масса тетрагидрата терефталата лантана	2
Рассчитана масса тетрагидрата терефталата лантана.	2
Итого	15

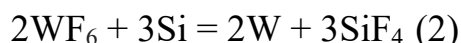
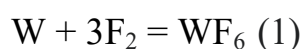


Задача 5. (15 баллов)

В России организовано производство особо чистого фторида вольфрама (VI) или гексафторида вольфрама, который используется в микроэлектронике для осаждения металлического слоя вольфрама из газовой фазы при изготовлении полупроводников. Какой объем займет гексафторид вольфрама при условиях его получения (температура 400 °С и давление 13,8 кПа), если при этом полностью израсходовано 193,1 мг порошка вольфрама? Температура кипения гексафторида вольфрама составляет 17 °С при нормальном давлении. Какой толщины слой вольфрама можно нанести в инертной среде на кремниевую подложку площадью 10 см², если плотность вольфрама составляет 19310 кг/м³? Составьте уравнения описанных реакций.

Решение:

Уравнения описанных реакций следующие:



Зная массу вольфрама, определяем его количество вещества:

$$n(\text{W}) = m / M = 193,1 \cdot 10^{-3} / 184 \approx 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}$$

По уравнению реакции (1)

$$n(\text{W}) = n(\text{WF}_6) = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}$$

При 400 °С гексафторид вольфрама находится в газообразном состоянии, поэтому для расчета его объема используем уравнение Менделеева – Клапейрона

$$PV = nRT,$$

$$\text{откуда } V = nRT / P = (1,05 \cdot 10^{-3} \cdot 8,314 \cdot 673) / 13,8 = 0,4257 \text{ л или } 425,7 \text{ мл.}$$

Объем, который занимают 193,1 мг вольфрама при известной плотности, будет равен $193,1 \cdot 10^{-6} / 19310 = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$.

На площади $10 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$ этот объем вольфрама создаст слой толщиной $10^{-8} \text{ м}^3 / 10^{-2} \text{ м}^2 = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм} = 1 \text{ мкм}$.



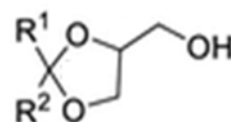
Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Составлено уравнение реакции образования гексафторида вольфрама.	2
Приведено уравнение реакции восстановления вольфрама кремнием при нанесении на кремниевую подложку.	2
Определено количество вещества вольфрама.	1
Установлено количество вещества гексафторида вольфрама.	1
Найден объем гексафторида вольфрама при заданных условиях.	5
Рассчитан объем порошка вольфрама.	2
Определена толщина слоя вольфрама.	2
Итого	15

Задача 6. (20 баллов)

Репелленты на основе глицерина и кетонов представляют собой перспективные средства защиты от насекомых. Эти вещества обладают рядом преимуществ перед традиционными синтетическими препаратами, включая низкую токсичность и экологическую безопасность. Ученые ведут исследования по разработке репеллентов, которые будут действовать длительное время и не раздражать глаза и кожу человека. Одним из направлений таких научных работ является получение циклических гидроксиацеталей. Какой предельный кетон был использован в реакции с глицерином, если в продукте массой 13,2 г содержится 36,36 % кислорода? Напишите уравнение протекающей реакции, используя структурные формулы.

Решение:



Масса кислорода в образующемся циклическом гидроксиацетале будет равна

$$m(O) = 13,2 \cdot 0,3636 = 4,8 \text{ (г)},$$

что соответствует количеству вещества кислорода

$$n(O) = m/M = 4,8/16 = 0,3 \text{ (моль)}$$



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

В формуле циклического гидроксиацетала, полученного с использованием глицерина, содержится три атома кислорода, поэтому количество вещества гидроксиацетала составляет 0,1 моль, а его молярная масса соответственно равна 132 г.

Пусть число атомов углерода в молекуле кетона равно x . Тогда молярную массу циклического гидроксиацетала можно выразить как

$$12x + 12 \cdot 3 + 6 \cdot 1 + 2x \cdot 1 + 16 \cdot 3 = 132$$

Откуда $x = 3$.

В синтезе использовался ацетон $\text{CH}_3\text{—C(O)—CH}_3$.

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Составлена схема протекающей реакции с использованием структурных формул веществ.	5
Рассчитана масса кислорода в образующемся циклическом гидроксиацетале.	1
Определено количество вещества кислорода в циклическом гидроксиацетале.	1
Установлено, что в формуле циклического гидроксиацетала будет три атома кислорода.	3
Определено количество вещества циклического гидроксиацетала.	2
Установлена молярная масса циклического гидроксиацетала.	2
Составлено уравнение с одним неизвестным и рассчитано число атомов углерода в кетоне.	4
Составлена формула и дано название кетона, используемого для синтеза.	2
Итого	20



Задача 7. (20 баллов)

Некоторые недобросовестные производители пищевых продуктов для повышения концентрации белка, которая определяется по содержанию азота, добавляют в продукты меламина (2,4,6-триамино-1,3,5-триазин) – гетероциклическое органическое вещество, тример цианамид. Постройте его структурную формулу и, используя только неорганические реактивы, через ряд химических превращений предложите схему получения меламина. Напишите уравнения протекающих при этом реакций, при необходимости укажите их условия и назовите все образующиеся вещества. Какая масса меламина сгорела в кислороде, если при этом образовалась смесь газообразных веществ объемом 20,16 л (н. у.)? Рассчитайте количество образующейся при этом теплоты, если удельная теплота сгорания меламина составляет 15,67 МДж/кг.

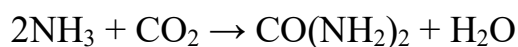
Решение:

Структурная формула меламина ($C_3H_6N_6$):

Получение меламина. Меламин можно получить из карбамида (мочевины).

Мочевину получают из аммиака и диоксида углерода при нагревании под давлением

t, P



карбамид

t, P, кат.



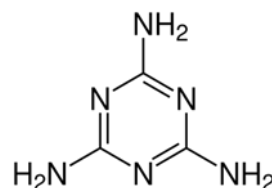
циановая кислота



t, P



Уравнение реакции горения меламина





ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Пусть количество вещества сгоревшего меламина x моль. Тогда объем образовавшихся газов будет определяться как

$$(3x + 3x) \cdot 22,4 = 20,16$$

Откуда $x = 0,15$ моль.

Зная молярную массу меламина

$$M(C_3H_6N_6) = 126 \text{ г/моль},$$

определяем его массу

$$m(C_3H_6N_6) = M \cdot n = 126 \cdot 0,15 = 18,9 \text{ (г)}.$$

Количество теплоты, выделившейся при сгорании этой массы меламина, будет равно

$$Q = 18,9 \cdot 10^{-3} \cdot 15,67 = 296,163 \text{ (кДж)}.$$

Критерии оценивания

Элемент решения	Балл
Построена структурная формула меламина.	4
Через ряд химических превращений получен меламина.	6
Даны названия всех образующихся органических веществ.	2
Написано уравнение реакции горения меламина.	2
Рассчитано количество вещества сгоревшего меламина.	4
Определена масса меламина.	1
Рассчитано количество теплоты, выделившейся при сгорании этой массы меламина.	1
Итого	20