



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Химия»

Классы участия: 10-11

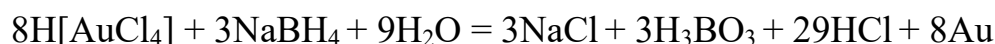
Вариант задания: 1

Задача 1. (10 баллов)

Наночастицы золота могут быть использованы для модификации поверхности материалов с целью придания им антибактериальных свойств. Одним из способов получения наночастиц золота является его восстановление из тетрахлоаурата (III) водорода (тетрахлорозолотой кислоты) под действием тетрагидридобората (боргидрида) натрия $\text{Na}[\text{BH}_4]$. А комплексную тетрахлоауратную кислоту можно получить путем растворения золота в насыщенной хлором соляной кислоте или в царской водке. Способ растворения золота в царской водке был известен еще алхимикам. Напишите уравнения всех описанных реакций. Рассчитайте, сколько атомов золота содержится в наночастице массой $3,27 \cdot 10^{-19}$ г?

Решение:

Реакция получения наночастиц золота:



Реакции взаимодействия золота с соляной кислотой, насыщенной хлором:



Уравнение реакции взаимодействия золота с царской водкой:



Масса атома золота равна 197 а. е. м. Учитывая, что одна атомная единица массы соответствует $1,66 \cdot 10^{-24}$ г, масса атома золота будет равна $197 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 327,02 \cdot 10^{-24} = 3,27 \cdot 10^{-22}$ г. Тогда число атомов в одной наночастице равно

$$N = 3,27 \cdot 10^{-19} / 3,27 \cdot 10^{-22} = 10^3 = 1000 \text{ атомов.}$$



Критерии оценивания

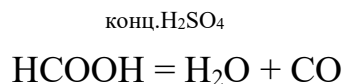
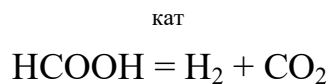
Элемент решения	Балл
Написано уравнение реакции образования наночастиц золота из $\text{H[AuCl}_4\text{]}$ под действием боргидрида натрия.	3
Написано уравнение реакции взаимодействия золота с соляной кислотой, насыщенной хлором.	2
Написано уравнение реакции золота с царской водкой	2
Рассчитано число атомов золота в наночастице.	3
Итого	10

Задача 2. (10 баллов)

Российские ученые получили системы из углеродных нанотрубок, содержащих кукурбитурилы и высокодисперсное золото. Эти композиты проявили каталитическую активность в реакции получения водорода при разложении муравьиной кислоты. Кукурбитурилы – макроциклические органические соединения состава $(\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_2)_n$, где $5 \leq n \leq 10$. Напишите уравнения реакций разложения муравьиной кислоты с выделением водорода, а также в присутствии концентрированной серной кислоты. Рассчитайте массу порции кукурбитурила, в которой содержится $2,59 \cdot 10^{24}$ протонов для $n = 5$.

Решение:

Уравнения реакций разложения муравьиной кислоты:



Число протонов в одной молекуле $(\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_2)_5$ равно $(6 \cdot 6 + 6 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 2) \cdot 5 = 430$. Число молекул кукурбитурила равно $2,59 \cdot 10^{24} / 430 \approx 6,02 \cdot 10^{21}$.

Количество вещества $(\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_2)_5$ равно $6,02 \cdot 10^{21} / 6,02 \cdot 10^{23} = 10^{-2}$ моль.

Молярная масса $(\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_2)_5$ равна $(72 + 6 + 56 + 32) \cdot 5 = 166 \cdot 5 = 830$ г/моль, а масса составляет $830 \cdot 0,01 = 8,3$ 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

Элемент решения	Балл
Составлено уравнение реакции разложения муравьиной кислоты на водород и углекислый газ под действием нового катализатора.	1
Написано уравнение реакции разложения муравьиной кислоты в присутствии концентрированной серной кислоты.	2
Рассчитано число протонов в одной молекуле $(C_6H_6N_4O_2)_5$.	1
Определено число молекул $(C_6H_6N_4O_2)_5$.	1
Рассчитано количество вещества $(C_6H_6N_4O_2)_5$.	2
Рассчитана молярная масса $(C_6H_6N_4O_2)_5$.	2
Определена масса $(C_6H_6N_4O_2)_5$.	1
Итого	10

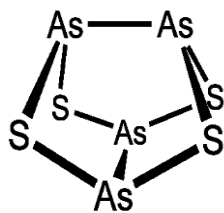


Задача 3. (10 баллов)

Современным исследователям удалось установить, как великий голландский художник Рембрандт добивался неповторимого сияния золотого цвета на своих полотнах. С помощью методов спектроскопии и рентгенографии ученые обнаружили на картинах Рембрандта следы минерала парареальгара, который художник смешивал с красными киноварными и желтыми свинцово-оловянными пигментами, чтобы придать краскам золотой блеск. Элементный состав парареальгара As_4S_4 — идентичен его изомеру реальгару, из которого он постепенно образуется под воздействием света. Постройте возможную графическую формулу молекулы реальгара, если в ней каждый атом мышьяка связан с двумя атомами серы и одним атомом мышьяка. Приведите химическую формулу киноварного пигмента и свинцово-оловянного пигмента – станната свинца (II) – одного из старейших искусственных пигментов в живописи и иконописи.

Решение:

Возможная графическая формула реальгара



Киноварь – минерал ртути HgS , имеет алую окраску.

Свинцово-оловянный желтый пигмент – станнат свинца (II) оксид свинца и олова Pb_2SnO_4 – один из старейших искусственных пигментов в живописи и иконописи.



Критерии оценивания

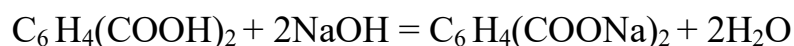
Элемент решения	Балл
Построена графическая формула реальгара.	6
Приведена формула красного пигмента на основе киновари.	2
Приведен химический состав свинцово-оловянного пигмента.	2
Итого	10

Задача 4. (15 баллов)

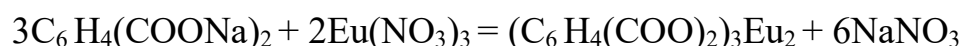
Разработан новый метод получения светящихся материалов для экранов гаджетов. Эти материалы представляют собой гибридные металлоорганические каркасы, объединяющие свойства неорганических и органических соединений. Вначале с помощью реакции между терефталевой кислотой и гидроксидом натрия получают соль, 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 европия (III). Рассчитайте массу образовавшегося продукта, если он будет представлять собой тетрагидрат терефталата европия (III), а для проведения реакции было взято 8,56 г пентагидрата нитрата европия (III).

Решение:

Уравнение реакции получения терефталата натрия:



Уравнение реакции образования терефталата европия (III):



Молярная масса пентагидрата нитрата европия равна

$$M(\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 152 + 62 \cdot 3 + 18 \cdot 5 = 428 \text{ г/моль}$$

Определяем количество вещества пентагидрата нитрата европия:

$$n(\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = m(\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) / M(\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 8,56 / 428 =$$

0,02 (моль).



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

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

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

Молярная масса тетрагидрата терефталата европия равна

$$M(\text{Eu}_2(\text{C}_6\text{H}_4(\text{COO})_2)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 152 \cdot 2 + 76 \cdot 3 + 44 \cdot 6 + 18 \cdot 4 = 304 + 228 + 264 + 72 = 868 \text{ г.}$$

Масса тетрагидрата терефталата европия равна $868 \cdot 0,01 = 8,68 \text{ г.}$

Критерии оценивания

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

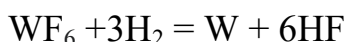
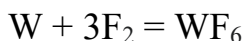
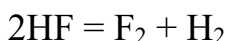


Задача 5. (15 баллов)

Используемый при изготовлении полупроводников гексафторид вольфрама (VI) синтезируют из газообразного фтора и порошка вольфрама. Фтор, выделяемый при электрохимическом разложении безводной плавиковой кислоты, отправляется на фторирование металлического вольфрама. Затем гексафторид вольфрама (VI) конденсируется в жидком виде и передается на восстановление водородом. После восстановления снова образуется плавиковая кислота, которая улавливается конденсацией и направляется на электрохимическое разложение. В результате организуется промышленный оборот фторсодержащих продуктов и водорода. Составьте уравнения всех протекающих при этом реакций. Какой объем будет занимать фтор при температуре 350 °С и давлении 8,3 кПа, если он должен полностью прореагировать с 579,3 мг порошка вольфрама? Какую площадь поверхности можно покрыть этим вольфрамом толщиной 15 мкм, если его плотность составляет 19310 кг/м³?

Решение:

Уравнения описанных реакций следующие:



Зная массу вольфрама, определим его количество вещества

$$n(\text{W}) = m / M = 579,3 \cdot 10^{-3} / 184 \approx 3,15 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}$$

По уравнению реакции

$$n(\text{F}_2) = 3 \cdot n(\text{W}) = 9,45 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}$$

Тогда при н.у. это количество вещества фтора будет занимать объем

$$V_0(\text{F}_2) = V_m \cdot n = 22,4 \cdot 9,45 \cdot 10^{-3} = 211,68 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 211,68 \text{ мл}$$

Согласно объединенному газовому закону

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$$

можем найти объем фтора при заданных условиях как

$$V(\text{F}_2) = \frac{P_0 V_0 T}{T_0 P} = \frac{101,325 \cdot 211,68 \cdot 623}{273 \cdot 8,3} = 5897,171 \text{ мл} \approx 5,9 \text{ (л)}$$



Объем, который занимает 579,3 мг вольфрама при известной плотности будет равен

$$V(W) = \frac{m}{\rho} = \frac{579,3 \cdot 10^{-6}}{19310} = 3 \cdot 10^{-8} (\text{м}^3)$$

Тогда площадь поверхности, которую можно покрыть этим объемом вольфрама будет равна $3 \cdot 10^{-8} / 15 \cdot 10^{-6} = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 = 20 \text{ см}$.

Критерии оценивания

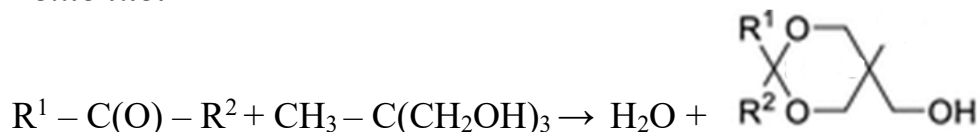
Элемент решения	Балл
Составлены уравнения реакций разложения плавиковой кислоты и образования гексафторида вольфрама.	2
Составлено уравнение реакции восстановления гексафторида вольфрама водородом.	2
Рассчитано количество вещества вольфрама.	1
Определено количество вещества фтора и рассчитан объем фтора при н. у.	1
Найден объем фтора при заданных условиях.	5
Рассчитан объем вольфрама по плотности.	2
Определена площадь поверхности, которую можно покрыть вольфрамом.	2
Итого	15

Задача 6. (20 баллов)

В настоящее время получение репеллентов из многоатомных спиртов и кетонов является эффективным методом создания экологически чистых и безопасных средств защиты от насекомых. При разработке таких средств от комаров ученые синтезируют циклические гидроксиацетали, которые отличаются более длительным действием и приятным запахом. В качестве многоатомного спирта в этих реакциях можно использовать 2-гидроксиметил-2-метилпропан-1,3-диол. Какой предельный кетон вступил в реакцию с этим многоатомным спиртом, если в продукте массой 16 г содержится 30 % кислорода? Напишите уравнение протекающей реакции, используя структурные формулы веществ.



Решение:



Масса кислорода в образующемся циклическом гидроксиацетале будет равна

$$m(O) = 16 \cdot 0,3 = 4,8 \text{ (г)}, \text{ что соответствует количеству вещества}$$

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

В формуле циклического гидроксиацетала, полученного с использованием указанного трехатомного спирта, будет три атома кислорода, поэтому количество вещества гидроксиацетала составляет 0,1 моль, а его молярная масса соответственно равна 160 г/моль.

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

$$12 \cdot 5 + 12x + 10 + 2x \cdot 1 + 16 \cdot 3 = 160$$

$$\text{Откуда } x = 3.$$

В синтезе использовался ацетон $CH_3 - C(O) - CH_3$

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
Дана формула и название кетона, используемого для синтеза.	2
Итого	20

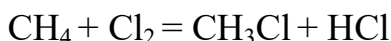


Задача 7. (20 баллов)

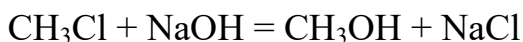
Туристами, военными и спасательными организациями для разогрева или приготовления пищи в полевых условиях применяется «сухой спирт». Но это горючее не относится к спиртам, а является циклическим амином, имеющим название гексаметилентетрамин или уротропин. Постройте его структурную формулу и, используя основной компонент природного газа и любые неорганические реактивы, получите уротропин через ряд химических превращений. Напишите уравнения протекающих при этом реакций и назовите все образующиеся органические вещества по номенклатуре IUPAC. Какая масса уротропина сгорела, если при этом образовалась смесь газообразных веществ объемом 31,36 л (н. у.)? Напишите уравнение реакции горения уротропина и рассчитайте количество образующейся при этом теплоты, если удельная теплотворная способность уротропина составляет 31300 кДж/кг.

Решение:

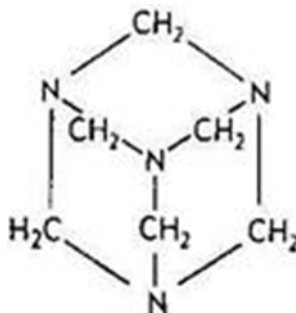
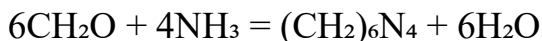
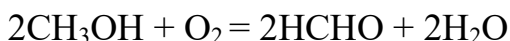
структурная формула уротропина



метан хлорметан



метанол



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

$$(6x + 2x) \cdot 22,4 = 31,36$$

$$\text{Откуда } x = 0,175.$$

Зная молярную массу уротропина

$$M((\text{CH}_2)_6\text{N}_4) = 140 \text{ г/моль},$$

определяем его массу

$$m((\text{CH}_2)_6\text{N}_4) = M \cdot n = 140 \cdot 0,175 = 24,5 \text{ (г)}$$



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

$$Q = 24,5 \cdot 10^{-3} \cdot 31300 = 766,85 \text{ (кДж)}$$

Критерии оценивания

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