



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Инженерное дело»

Специализация: «Химия»

Классы участия: 8-9

Задача 1.

Современные сплавы, обладающие уникальными свойствами и применяемые в аэрокосмической промышленности и биомедицине, создаются с использованием принципа ближнего порядка, который описывает формирование атомами определенных сложноорганизованных структур. С помощью алгоритмов машинного обучения исследователи предсказывают, какими свойствами будут обладать материалы при смешивании компонентов сплавов в разных пропорциях. Так был получен состав $(\text{Ba}_{0,5}\text{La}_{0,5})_2\text{PdO}_2\text{Cl}_2$, отличающийся сверхпроводимостью при высокой температуре. Рассчитайте, во сколько раз количество электронов в этом составе больше количества атомов, и в каких соотношениях в нем находятся массы бария, лантана, палладия, кислорода и хлора.

Решение:

Количество электронов будет складываться из количества электронов каждого атома в структурной единице сплава

$$\bar{e} = \bar{e}(\text{Ba}) + \bar{e}(\text{La}) + \bar{e}(\text{Pd}) + 2\bar{e}(\text{O}) + 2\bar{e}(\text{Cl}) = 56 + 57 + 46 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 17 = 209$$

Тогда отношение количества электронов к количеству атомов будет равно

$$\bar{e} / n = 209 / 7 = 29,857 \approx 29,86.$$

При определении соотношения масс элементов учитываем относительные атомные массы элементов и количество их атомов

$$m(\text{Ba}) : m(\text{La}) : m(\text{Pd}) : m(2\text{O}) : m(2\text{Cl}) = 137 : 139 : 106 : 32 : 71 = 4,28 : 4,34 : 3,31 : 1 : 2,22$$



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

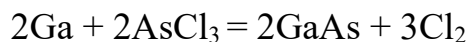
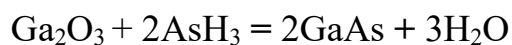
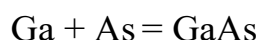
Критерии оценивания задания 1		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Определено общее количество электронов в структурной единице сплава.	2
2.	Рассчитано отношение количества электронов к количеству атомов.	1
3.	Установлено соотношение масс элементов в сплаве.	2
ИТОГО		5



Задача 2.

Арсенид галлия является одним из базовых материалов, используемых в микроэлектронике. Высокомощные лазерные устройства на основе арсенида галлия позволяют создавать 3D-карту окрестностей для автономных транспортных средств и робототехники, инфракрасные светодиоды на его основе используются в медицинских датчиках артериального давления и сахара в крови, а также в датчиках для распознавания жестов в смартфонах и автомобилях. Арсенид галлия получают при высоких температурах при непосредственном взаимодействии расплава галлия с парами мышьяка. Наряду с этим прямым методом синтеза существуют и другие способы: действие при высоких температурах арсина (водородного соединения мышьяка (III)) на оксид галлия (III); действие хлорида мышьяка (III) на галлий как в присутствии водорода, так и без него. Составьте уравнения всех описанных реакций. Во сколько раз будет отличаться масса оксида галлия от массы галлия для получения одинакового количества арсенида галлия?

Решение:



По стехиометрическому соотношению количество вещества арсенида галлия равно количеству галлия и в 2 раза больше количества оксида галлия. Пусть количество арсенида галлия равно x моль. Тогда соотношение масс веществ будет

$$\frac{m(\text{Ga}_2\text{O}_3)}{m(\text{Ga})} = \frac{n(\text{Ga}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Ga}_2\text{O}_3)}{n(\text{Ga}) \cdot M(\text{Ga})} = \frac{x \cdot 188}{2x \cdot 70} = 1,3$$



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.	Записаны уравнения реакций (по 0,5 балла за каждую реакцию).	2
2.	Установлено соотношение между количествами реагирующих веществ.	1
3.	Рассчитано соотношение масс оксида галлия и галлия.	2
ИТОГО		5

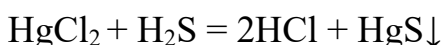


Задача 3.

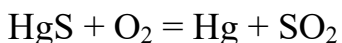
Ученые установили, что Рембрандт получил свою знаменитую золотистую краску для полотна «Ночной дозор», смешивая различные пигменты, включая киноварь, имеющую алую окраску. Киноварь – минерал ртути, представляющий собой сульфид ртути (II). А сульфид ртути, получаемый обработкой растворов солей ртути (II) сероводородной кислотой, выпадает в виде черного осадка, что объясняется другим строением его кристаллической решетки. Прокаливание киновари в токе воздуха является основным способом получения ртути. Напишите уравнения описанных реакций. Определите массу киновари, которую нужно переработать при мировых объемах производства 1200 тонн ртути в год, если выход реакции равен 80 %. В нашей стране ежегодная потребность в ртути составляет 50 тонн, и для ее получения можно использовать производственные отходы. На сколько лет хватит 1 млн. тонн отходов, которые содержат 0,2 % ртути, при организации ее выделения?

Решение:

Сульфид ртути можно получить по реакции хлорида ртути (II) с сероводородной кислотой



Реакция получения ртути из киновари ввиду нестойкости HgO при высоких температурах



Количество вещества ртути равно $1200 \cdot 10^6 / 200,6 = 5,982 \cdot 10^6$ моль. С учетом выхода продукта реакции теоретически надо получить $5,982 \cdot 10^6 / 0,8 = 7,48 \cdot 10^6$ моль. Количество вещества сульфида ртути, которое необходимо израсходовать также равно $7,48 \cdot 10^6$ моль. Масса сульфида ртути равна $232,6 \cdot 7,48 \cdot 10^6$ моль = 1739,8 тонн.

Масса ртути в отходах

$$m(\text{Hg}) = \frac{1000000 \text{ т} \cdot 0,2 \%}{100 \%} = 2000 \text{ т}$$



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

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Период, на который хватит этой массы

$$\tau = \frac{2000 \text{ т}}{50 \text{ т/год}} = 40 \text{ лет}$$

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Составлено уравнение реакции получения сульфида ртути.	1
2.	Составлено уравнение реакции получения ртути.	2
3.	Определено количество вещества ртути, которое нужно получить.	1
4.	Определено количество вещества ртути, которое должно получиться теоретически с учетом выхода.	2
5.	Определена масса киновари, которую нужно переработать.	2
6.	Рассчитана масса ртути в отходах.	1
7.	Рассчитан период времени, на который хватит отходов.	1
ИТОГО		10



Задача 4.

В древесной зелени содержится около 47 % углерода, 40 % кислорода, 7 % водорода, 2 % азота, а остальное приходится на такие элементы, как К, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Co, Zn, Si, P, S и галогены.

1) Определите, какой объем углекислого газа (н. у.), относящегося к парниковым газам, образуется при сжигании на воздухе 1 кг такой древесной зелени в виде опавшей сухой листвы.

2) Какое еще вещество в виде парникового газа с более высоким воздействием на тепловой баланс нашей планеты образуется при этом? Рассчитайте его массу.

3) Какой объем кислорода (н. у.) будет израсходован на образование этих двух газов?

4) За какой промежуток времени тополь, как одно из самых быстрорастущих деревьев, восполнит содержание кислорода в воздухе, если это дерево выделяет до 40 кг кислорода в сутки?

Решение:

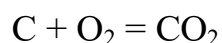
1) Масса атомов углерода в 1 кг сухой листвы составляет

$$m(\text{C}) = \omega(\text{C}) \cdot m(\text{листвы}) / 100 \% = 47 \% \cdot 1000 \text{ г} / 100 \% = 470 \text{ г}$$

Тогда количество вещества атомов углерода равно

$$n(\text{C}) = 470 / 12 \approx 39,17 \text{ моль.}$$

Количество вещества образующегося углекислого газа равно количеству вещества сгораемого углерода по уравнению реакции

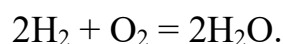


$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 39,17 \text{ моль}$$

А его объем при нормальных условиях составит

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 39,17 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 877,4 \text{ л}$$

2) При горении органических веществ образуются пары воды, которые оказывают самое высокое воздействие на тепловой баланс нашей планеты



Масса атомов водорода в 1 кг сухой листвы составляет



ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

$$m(\text{H}) = \omega(\text{H}) \cdot m(\text{листвы}) / 100 \% = 7 \% \cdot 1000 \text{ г} / 100 \% = 70 \text{ г}$$

Тогда количество вещества атомов водорода

$$n(\text{H}) = 70 / 1 = 70 \text{ моль}$$

Количество вещества образующихся паров воды в два раза меньше количества сгораемых атомов водорода

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 35 \text{ моль}$$

А их масса будет равна

$$m(\text{H}_2\text{O}) = M(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль} \cdot 35 \text{ моль} = 630 \text{ г}$$

3) Количество вещества кислорода, которое будет затрачено на образование углекислого газа и паров воды при горении листвы

$$n(\text{O}_2) = n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) / 2 = 39,17 + 35/2 = 56,67 \text{ (моль)}$$

Объем этого количества вещества кислорода при нормальных условиях составит

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m = 56,67 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 1269,41 \text{ л}$$

4) Масса этого количества вещества кислорода

$$m(\text{O}_2) = M(\text{O}_2) \cdot n(\text{O}_2) = 32 \text{ г/моль} \cdot 56,67 \text{ моль} = 1813,44 \text{ г}$$

Эту массу кислорода тополь восполнит за время

$$1813,44 \text{ г} \cdot 24 \text{ час} / 40000 \text{ г} = 1,088 \text{ час или } \approx 65,3 \text{ мин.}$$



Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Определена масса атомов углерода в 1 кг сухой листвы.	1
2.	Рассчитано количество вещества атомов углерода.	1
3.	Определено количество вещества образующегося углекислого газа.	1
4.	Рассчитан объем углекислого газа.	1
5.	Отмечено, что пары воды являются парниковым газом с более высоким воздействием на тепловой баланс нашей планеты.	1
6.	Определена масса атомов водорода в 1 кг сухой листвы.	1
7.	Рассчитано количество вещества атомов водорода.	1
8.	Определено количество вещества образующихся паров воды.	1
9.	Рассчитана масса паров воды.	1
10.	Вычислено количество вещества кислорода, которое будет затрачено на образование углекислого газа и паров воды.	2
11.	Определен объем кислорода.	1
12.	Рассчитана масса кислорода.	1
13.	Установлено время, за которое тополь восполнит этот кислород.	2
Итого		15



Задача 5.

Для хранения энергии, вырабатываемой солнечными электростанциями, вместо расплавов нитрата натрия и нитрата калия ученые предложили использовать вулканический пепел.

1) Какое количество теплоты отдаст 1 тонна вулканического пепла при его охлаждении от $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, если удельная теплоемкость пепла составляет $c = 1100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$?

2) Рассчитайте, массу расплава, содержащего 60 % нитрата натрия с молярной теплоемкостью $93,05\text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K})$ и 40 % нитрата калия с молярной теплоемкостью $96,27\text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K})$, которую может заменить 1 тонна вулканического пепла.

3) Какова массовая доля оксида кремния (IV) в составе частиц вулканического пепла, если кремния в таком пепле 22,4 %?

4) Предложите другие области применения вулканического пепла, если в нем также содержатся оксиды алюминия, кальция, железа, магния, натрия и калия.

Решение:

1) Количество теплоты определим, воспользовавшись известной формулой

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 1100 \cdot 1000 \cdot (750 - 250) = 550 \text{ (МДж)}$$

2) Удельная теплоемкость нитрата натрия при его молярной массе 85 г/моль

$$c(\text{NaNO}_3) = \frac{93,05 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K}) \cdot 1000 \text{ г}}{85 \text{ г/моль}} = 1094,71 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

Удельная теплоемкость нитрата калия при его молярной массе 101 г/моль

$$c(\text{KNO}_3) = \frac{96,27 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{K}) \cdot 1000 \text{ г}}{101 \text{ г/моль}} = 953,17 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

Удельная теплоемкость смеси

$$c(\text{смеси}) = 1094,71 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}) \cdot 0,6 + 953,17 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}) \cdot 0,4 = 1038,1 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

Соотношение удельной теплоемкости пепла и смеси

$$1100/1038,1 = 1,0596$$

Следовательно, 1 т вулканического пепла может заменить 1,0596 т смеси



нитрата натрия и нитрата калия.

3) Пусть масса пепла 100 г. Тогда кремния в нем 22,4 г, что соответствует количеству вещества

$$n(\text{Si}) = \frac{m(\text{Si})}{M(\text{Si})} = \frac{22,4 \text{ г}}{28 \text{ г/моль}} = 0,8 \text{ моль}$$

По стехиометрическому соотношению количество оксида кремния равно количеству кремния. Тогда масса оксида кремния

$$m(\text{SiO}_2) = M(\text{SiO}_2) \cdot n(\text{SiO}_2) = 60 \text{ г/моль} \cdot 0,8 \text{ моль} = 48 \text{ г},$$

что соответствует 48 %.

4) Вулканический пепел имеет химический состав, позволяющий использовать его для изготовления стекла (оксиды натрия, кальция, магния и алюминия), цемента и бетона (оксиды кальция, кремния (IV), алюминия, железа (III)). За счет наличия ионов калия он может быть эффективным удобрением.

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5		
№	Элемент решения	Баллы
1.	Определено количество теплоты, которое выделит вулканический пепел массой 1 т.	2
2.	Рассчитана удельная теплоемкость нитрата натрия.	2
3.	Рассчитана удельная теплоемкость нитрата калия.	2
4.	Рассчитана удельная теплоемкость смеси солей.	1
5.	Определена масса смеси, которая может заменить пепел.	2
6.	Рассчитано количество вещества кремния.	1
7.	Определено количество вещества оксида кремния.	1
8.	Вычислена масса оксида кремния и установлена его массовая доля в вулканическом пепле.	2
9.	Предложено использовать вулканический пепел для изготовления стекла, цемента, бетона.	1
10.	Предложено использовать вулканический пепел в качестве удобрения.	1
ИТОГО		15