

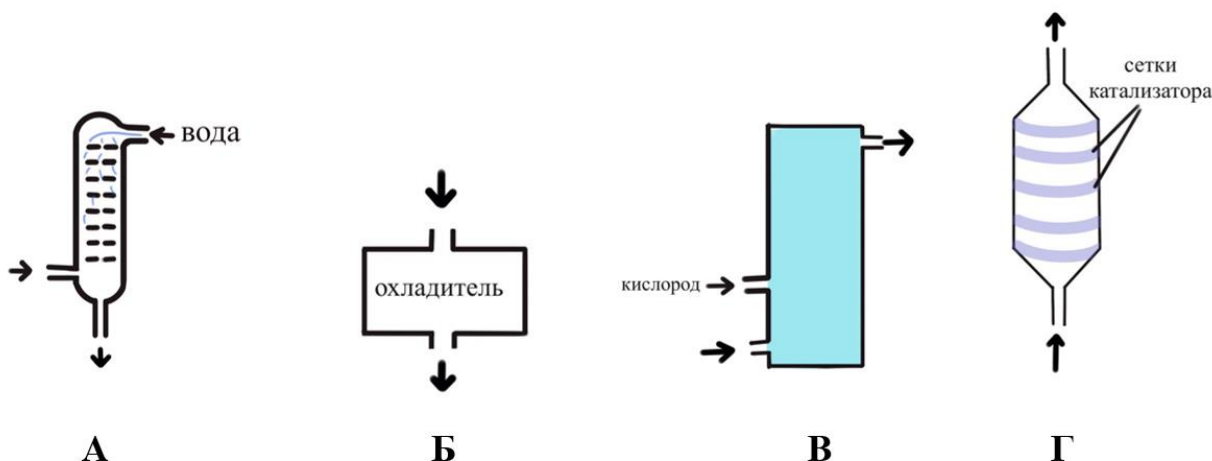
8 класс

Из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом!

Указания: а) при решении задач используйте значения атомных масс с точностью до целых, кроме хлора ($A_r(Cl) = 35,5$) б) в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов

Задача 1. Азотная кислота по объему производства среди неорганических кислот занимает второе место после серной кислоты. Около 75% произведенной кислоты расходуется для получения минеральных удобрений. Сырьем для производства азотной кислоты служат аммиак, кислород воздуха и вода. На первой стадии аммиак с использованием платинового катализатора окисляется кислородом воздуха. Далее полученный охлажденный газ направляют в кислородную камеру. Продукт реакции с избытком кислорода пропускают через поглотительную башню с водой, в результате чего образуется азотная кислота.

1. Расположите элементы производственного цикла так, чтобы слева цикл начинался, а справа – заканчивался. Например, АБВГ.



2. Напишите уравнения реакций, описывающих каждую из стадий процесса (где это возможно).

3. Определите степень окисления атома азота в каждом азотсодержащем соединении.

4. Что произойдет, если в качестве материала поглотительной башни использовать медь? Приведите уравнение реакции.

Как правило, в качестве материала поглотительной башни используют сталь с высоким содержанием никеля и хрома. В этой стали на один атом никеля приходится 7 атомов железа и 1,5 атома хрома.

5. Определите массовую долю никеля в материале поглотительной башни, если помимо указанных металлов, в нём содержатся и другие компоненты, составляющие 10% по массе.

Задача 2.

Золото с давних пор привлекало человека своим нетускнеющим блеском и ярко-жёлтым цветом. Золото бывает не только жёлтым: широко известно, что путём добавления к нему других ценных металлов получают ювелирные сплавы белых, розовых и красных оттенков. Однако палитра сплавов золота не ограничивается этими цветами. При сплавлении золота с индием или галлием образуется соединение синеватого цвета, а с металлом X – ярко-фиолетового, известное как пурпурное золото.

Известно, что металл X реагирует с кислотами и щелочами (реакции 1,2), обладает высокой химической активностью, однако, при хранении на воздухе на его поверхности моментально образуется тонкая оксидная плёнка толщиной около 10 нм (реакция 3), препятствующая дальнейшему окислению, из-за чего X широко используется в промышленности и в быту. Если же избавиться от оксидной плёнки, например, используя соли аммония или растворив металл X в ртути, или погрузив металлическую пластинку в раствор нитрата ртути(II), то он способен реагировать даже с водой (реакция 4). Соли металла X склонны к гидролизу. По этой причине не удаётся получить соли металла X и слабых кислот, например, смешивая раствор хлорида X и сульфида или карбоната натрия (реакции 5,6).

1. Определите металл X, запишите уравнения указанных реакций.

Юный химик Петя узнал о необычном соединении и решил попытаться получить «фиолетовое золото». Он определил, что для реакции с 5г металла X потребуется столько чистого золота, сколько его содержится в 31,2г золота 585-й пробы (значение пробы равно количеству массовых частей основного благородного металла из 1000 массовых частей ювелирного сплава).

2. Определите, какая масса чистого золота необходима для реакции с 5г металла X. Найдите массовую и мольную долю золота в «фиолетовом золоте».

Петя планирует смешать два металла в железном тигле и нагреть эту смесь мощной горелкой.

3. Предположите, какие сложности могут возникнуть у Пети и как их можно решить.

4. Если бы у Пети была возможность использовать очень маленькие частицы золота и металла X (размером 10 нм), Вы посоветовали бы ему использовать их для сплавления?

Задача 3.

Юный химик Петя получил от друга необычную химическую загадку – 6 баночек с кристаллическими веществами с подписями A_1 – A_6 и записку: «Если считать молярные массы элементов целыми числами, то молярные массы этих веществ образуют арифметическую прогрессию (то есть отличаются на одинаковую величину, или $M_{A_2} - M_{A_1} = M_{A_3} - M_{A_2} = M_{A_4} - M_{A_3}$ и т.д.). Определи, что это за вещества».

Поскольку солей было немного, Пете удалось провести лишь по одному опыту с каждым из веществ, получив следующие результаты:

1) При добавлении к раствору соли A_1 нитрата кальция выпал осадок (реакция 1), который растворился в соляной кислоте (реакция 2), при этом выделился газ с резким запахом.

2) Соль A_2 окрашивает пламя горелки в ярко-красный (малиновый) цвет.

3) При добавлении в раствор A_3 солей аммония не выпадают никакие осадки

4) К раствору соли A_4 Петя последовательно приливал растворы нитратов алюминия, магния, железа (II) и бария, пока при добавлении последнего не выпал осадок (реакция 3). Этот осадок не растворился ни в кислотах, ни в щелочах.

5) При добавлении к раствору соли A_5 соляной кислоты выделяется газ с резким запахом (реакция 4).

6) Соль A_6 окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет.

7) Все соли A_1 – A_6 представляют собой белые порошки, хорошо растворяются в воде, образуя прозрачные бесцветные растворы. Соли A_1 – A_6 состоят из катионов и анионов, представленных в таблице растворимости.

1. Помогите Пете определить соли A_1 – A_6 , запишите уравнения описанных выше реакций.

2. В результате анализа каких опытов Петя может определить катион соли, и в результате анализа каких опытов – её анион?

3. Почему Петя использовал именно нитраты в опытах 1 и 4 и соли аммония в опыте 3?

Задача 4. Представим, что вы являетесь участником миссии, целью которой является основание колонии на Марсе. После прибытия на красную планету вам как специалисту со знанием химии было поручено воссоздать земную атмосферу внутри купола, защищающего вашу миссию от суровых марсианских условий. Купол имеет форму цилиндра с радиусом основания 40 м и высотой 6 м.

1. Рассчитайте, какова масса воздуха под куполом вашей миссии. Целесообразно ли везти его с собой в сжатом виде?

Вы решаете использовать марсианскую атмосферу для воссоздания земного воздуха. Однако атмосфера Марса очень разрежена (давление у поверхности составляет всего лишь 610 Па), и вам приходится использовать насос. Через некоторое время под куполом устанавливается давление в одну земную атмосферу, и вы определяете состав марсианского воздуха (в объёмных процентах): 95,3% – CO₂, 2,7% – N₂, 1,6% – Ar, 0,145% – O₂, 0,15% – H₂O, 0,08% – CO, а также малые доли инертных газов – неон, криптон, ксенон. Кислорода в такой атмосфере недостаточно для дыхания, и вы решаете преобразовать в него часть CO₂. Для этого у вас есть специально выведенный эффективный мох. И пока он при помощи фотосинтеза преобразует CO₂ в кислород, вы решаете немного помечтать о том, что когда-нибудь человечество сделает Марс пригодным для жизни и без защитных куполов.

2. Считая, что один гектар деревьев перерабатывает в год 3,6 тонн CO₂, а масса марсианской атмосферы составляет $2,5 \cdot 10^{16}$ кг, определите, сколько лет потребуется для переработки CO₂, если высадить деревья на всей поверхности Марса (144 миллиона км²)? Считайте, что массовая доля CO₂ равна 95,9%.

Пока вы мечтали, концентрация кислорода повысилась до земного уровня. Вы решаете снять шлем скафандра и осторожно вдохнуть, но ощущаете слабость и головокружение. Похоже, вы забыли о том, что в марсианской атмосфере достаточно много угарного газа.

3. Определите содержание угарного газа в полученном вами воздухе (в мг/м³). Во сколько раз его содержание выше, чем предельно допустимая концентрация (ПДК) для человека (20 мг/м³)? Как вы можете избавиться от CO? Запишите уравнение соответствующей химической реакции.

Разобравшись с угарным газом, вы всё же снимаете шлем и ещё раз пытаетесь осторожно вдохнуть, но снова ощущаете духоту. Похоже, вам необходимо заменить углекислый газ в атмосфере на азот и аргон. Рядом с вашим куполом обнаружены месторождения оксида железа III, каолина (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O), известняка и хлорида натрия. Если подвергнуть один из этих минералов термическому разложению (отжигу), вы получите вещество, которое может поглотить углекислый газ.

4. Какой из минералов может вам помочь поглотить углекислый газ? Вещество, которое образуется при отжиге, может поглотить ещё один компонент марсианской атмосферы. Определите этот компонент.

Запишите уравнения реакций: 1) разложения выбранного минерала; 2) поглощения углекислого газа продуктом первой реакции; 3) поглощения выбранного компонента марсианской атмосферы также продуктом первой реакции

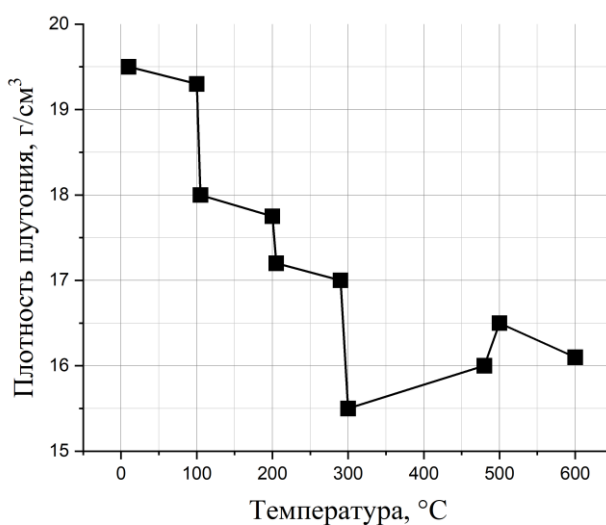
Поглотив лишний углекислый газ, вы заменяете его аргоново-азотной смесью, которую вы получаете, убирая из марсианской атмосферы все остальные газы описанными выше способами.

5. Рассчитайте состав (в объёмных процентах) полученной вами атмосферы, считая, что она состоит лишь из трёх основных компонентов – кислорода, аргона и азота. На сколько процентов ваш воздух тяжелее земного?

Закончив все действия, вы ещё раз проверяете давление под куполом. Убедившись, что оно равно одной земной атмосфере, вы вдыхаете полной грудью. Пускай ваш воздух не совсем как земной, дышать им так же приятно, ведь вы сделали его сами при помощи своих знаний.

Задача 5.

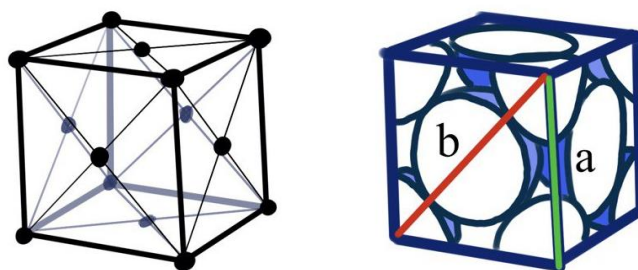
Большинство металлов при нагревании расширяются. Плутоний же обладает интересным свойством сжиматься при нагревании в определенном диапазоне температур. Зависимость плотности плутония от температуры приведена на графике.



1. Укажите весь диапазон температур, в котором происходит сжатие металла при нагревании.

2. Во сколько раз происходит уменьшение объема металла при нагревании в диапазоне температур, указанном вами в пункте 1?

Свойство сжатия металла при увеличении температуры связано с переходом между его аллотропными модификациями. При переходе из одной аллотропной модификации в другую происходит изменение элементарной ячейки, описывающей расположение атомов в структуре. Элементарной ячейкой одной из аллотропных модификаций, называемой δ -Pu, является гранецентрированная кубическая ячейка (ГЦК). Она представляет собой куб, в вершине и центре каждой грани которого находится атом плутония. Радиус атома определяет объем ячейки, который, в свою очередь, определяет плотность материала. Ниже приведены рисунки ГЦК без учета размера атома (слева) и с учетом (справа).



3. Выразите через радиус атома r длину диагонали грани ячейки ГЦК (отмечена на рисунке как b) и длину ребра (a).

4. Физико-химическими методами исследования была определена длина ребра ячейки a , она составила $4,7114 \cdot 10^{-8}$ см. Определите, при какой температуре были проведены измерения. Учтите, что на одну элементарную ячейку приходится 4 атома плутония.

Задача 6.

Когда $8+8 \neq 16$?

Занимательное явление, называемое «дефект массы», можно обнаружить при точном рассмотрении значений масс ядер химических элементов. Рассмотрим ядро изотопа кислорода ^{16}O , которое состоит из 8 нейтронов и 8 протонов. Массу такого ядра можно точно определить на современных масс-спектрометрических приборах, она составляет 15,994915 а.е.м. Независимыми экспериментами была также найдена масса протона, равная 1,007276 а.е.м., и нейтрона – 1,008665 а.е.м.

1. Рассчитайте массу ядра кислорода-16 исходя из масс протона и нейтрона.

Несовпадение наблюдаемой и расчетной массы происходит из-за того, что при соединении нейтронов и протонов выделяется энергия. В соответствии с уравнением Эйнштейна масса и энергия связаны:

$$E = mc^2,$$

где c – скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

2. Рассчитайте, какое количество энергии выделится при образовании 1 грамма кислорода ^{16}O из изолированных протонов и нейтронов. Примите, что 1 а.е.м. составляет $1,66056 \cdot 10^{-27}$ кг.

3. Значения масс, приведенных в Периодической таблице, учитывают распространенность изотопов в природе. Указанная в таблице масса является суммой масс всех изотопов, умноженных на их природное содержание (мольную долю). Определите распространенность изотопа ^{16}O в мольных процентах. Учтите, что вторым по распространенности в природе является ^{18}O с массой 17,999160 а.е.м., присутствием других изотопов в природе можно пренебречь. При расчете этого пункта используйте точную атомную массу кислорода, указанную в Периодической таблице.

4. Сколько разных видов молекул кислорода может быть образовано из изотопов ^{16}O и ^{18}O ?

5. Рассчитайте, сколько «наиболее легких» молекул кислорода приходится на одну «наиболее тяжелую» молекулу кислорода в природе?

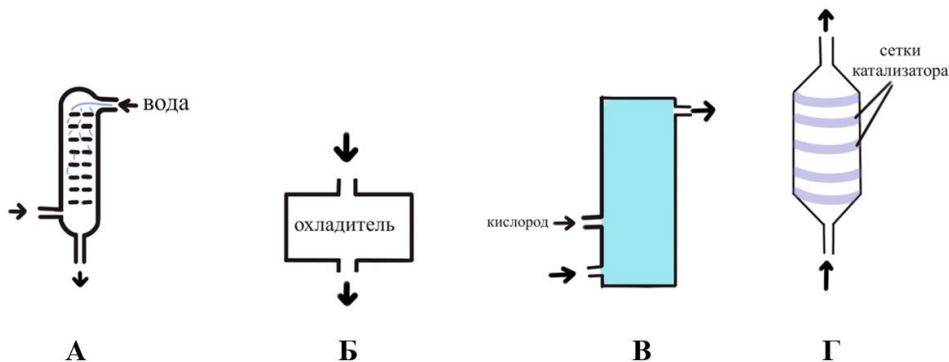
LXXXI Московская олимпиада школьников по химии
Заключительный этап Теоретический тур 16.02.2025 г.
8 класс

Из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом!

Указания: а) при решении задач используйте значения атомных масс с точностью до целых, кроме хлора ($A_r(Cl) = 35,5$) б) в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов

Задача 1. Азотная кислота по объему производства среди неорганических кислот занимает второе место после серной кислоты. Около 75% произведенной кислоты расходуется для получения минеральных удобрений. Сырьем для производства азотной кислоты служат аммиак, кислород воздуха и вода. На первой стадии аммиак с использованием платинового катализатора окисляется кислородом воздуха. Далее полученный охлажденный газ направляют в кислородную камеру. Продукт реакции с избытком кислорода пропускают через поглотительную башню с водой, в результате чего образуется азотная кислота.

1. Расположите элементы производственного цикла так, чтобы слева цикл начинался, а справа – заканчивался. Например, АБВГ.



2. Напишите уравнения реакций, описывающих каждую из стадий процесса (где это возможно).

3. Определите степень окисления атома азота в каждом азотсодержащем соединении.

4. Что произойдет, если в качестве материала поглотительной башни использовать медь? Приведите уравнение реакции.

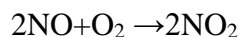
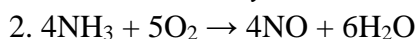
Как правило, в качестве материала поглотительной башни используют сталь с высоким содержанием никеля и хрома. В этой стали на один атом никеля приходится 7 атомов железа и 1,5 атома хрома.

5. Определите массовую долю никеля в материале поглотительной башни, если помимо указанных металлов, в нём содержатся и другие компоненты, составляющие 10% по массе.

Решения и критерии оценивания:

1. ГБВА. +1 балл за каждый верный ответ, - 1 за каждый неверный ответ, но не меньше 0.

Всего 4 балла за пункт 1



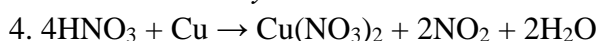
Каждая реакция по 2 балла. Если реакция не уравнена – 1 балл. Если пропущен или указан неверно хотя бы один реагент или продукт – 0 баллов.

Всего 6 баллов за пункт 2.

3. Степени окисления азота: NH_3 (-3), NO (+2), NO_2 (+4), HNO_3 (+5)

За каждую правильно определенную степень окисления + 0,5 балла.

Всего 2 балла за пункт 3.



За верно приведенное уравнение реакции 2 балла (в качестве продукта реакции также принимать NO , но не H_2 , N_2 , NH_4NO_3). Если реакция не уравнена – 1 балл. Если пропущен или указан неверно хотя бы один реагент или продукт – 0 баллов.

Всего 2 балла за пункт 4.

5. Рассмотрим часть сплава, содержащую 1 моль атомов никеля, 7 моль атомов железа и 1,5 моль атомов хрома.

Масса металлов составит: $59 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} + 56 \text{ г/моль} \cdot 7 \text{ моль} + 52 \text{ г/моль} \cdot 1,5 \text{ моль} = 529 \text{ г}$.

Согласно условию, в стали также содержатся другие компоненты, составляющие 10%.

Исходя из пропорции $m(\text{стали}) = 529 \text{ г}/0,9 = 587,8 \text{ г}$

Массовая доля никеля $59/587,8 = 0,100 = 10,0 \%$

6 баллов за правильный расчет массовой доли (при погрешности более 5 % – 0 баллов). За неправильное значение массовой доли, но верный промежуточный расчет – частичный балл.

Всего 6 баллов за пункт 5.

Итого $4 + 6 + 2 + 2 + 6 = 20$ баллов за задачу.

Задача 2. Золото с давних пор привлекало человека своим нетускнеющим блеском и ярко-жёлтым цветом. Золото бывает не только жёлтым: широко известно, что путём добавления к нему других ценных металлов получают ювелирные сплавы белых, розовых и красных оттенков. Однако палитра сплавов золота не ограничивается этими цветами. При сплавлении золота с индием или галлием образуется соединение синеватого цвета, а с металлом X – ярко-фиолетового, известное как пурпурное золото.

Известно, что металл X реагирует с кислотами и щелочами (реакции 1,2), обладает высокой химической активностью, однако, при хранении на воздухе на его поверхности моментально образуется тонкая оксидная плёнка толщиной около 10 нм (реакция 3), препятствующая дальнейшему окислению, из-за чего X широко используется в промышленности и в быту. Если же избавиться от оксидной плёнки, например, используя соли аммония или растворив металл X в ртути, то он способен реагировать даже с водой (реакция 4). Соли металла X склонны к гидролизу (распаду соли на соответствующие кислоты и основания), из-за чего не удаётся получить соли металла X и слабых кислот, например, смешивая раствор хлорида X и сульфида или карбоната натрия (реакции 5,6).

1. Определите металл X, запишите уравнения указанных реакций.

Юный химик Петя узнал о необычном соединении и решил попытаться получить «фиолетовое золото». Он определил, что для реакции с 5 г металла X потребуется столько чистого золота, сколько его содержится в 31,2 г золота 585-й пробы (значение пробы равно количеству массовых частей основного благородного металла из 1000 массовых частей ювелирного сплава).

2. Определите, какая масса чистого золота необходима для реакции с 5 г металла X. Найдите массовую и мольную долю золота в «фиолетовом золоте».

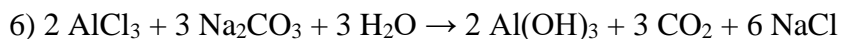
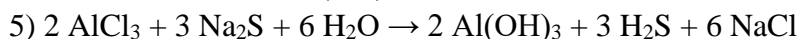
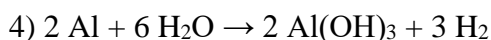
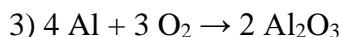
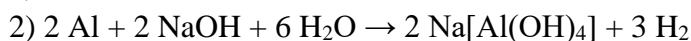
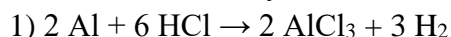
Петя планирует смешать два металла в железном тигле и нагреть эту смесь мощной горелкой.

3. Предположите, какие сложности могут возникнуть у Пети и как их можно решить.

4. Если бы у Пети была возможность получить очень маленькие частицы золота и металла X (размером 10 нм), Вы бы посоветовали ему использовать их для сплавления?

Решения и критерии оценивания:

1. По описанным в условиях химическим свойствам, X – алюминий (1 балл); реакции:



по 1 баллу за реакции 1,3,4 (0,5 балла, если неправильные коэффициенты), по 2 балла за реакции 2,5,6 (1 балл, если неправильные коэффициенты); итого – 10 баллов за п.1

2. $31,2\text{г}/0,585 = 18,25 \text{ г}$ чистого золота (1 балл); массовая доля золота = $18,25\text{г}/(5\text{г}+18,25\text{г}) \cdot 100\% = 78,5\%$ (1 балл), мольная доля золота = $(18,25\text{г}/197\text{г/моль})/(5\text{г}/27\text{г/моль} + 18,25\text{г}/197\text{г/моль}) = 33,3\%$ (2 балла)

3. Кислород может окислить алюминий, эту проблему можно решить проведением реакции в инертной атмосфере; кроме того, алюминий может прореагировать с материалом тигля и разрушить его, вместо предложенного можно использовать тигель из оксида алюминия. 2 балла за описание возможной проблемы при синтезе, 2 балла за вариант её решения (итого – 4 балла, для полного балла за подпункт достаточно описать одну проблему и её решение)

4. Нет, поскольку, как было сказано ранее, на воздухе на поверхности алюминия моментально образуется тонкий слой оксида, его толщина такова, что в данном случае весь алюминий превратится в оксид. 2 балла за правильный ответ

Итого $10 + 4 + 4 + 2 = 20$ баллов за задачу.

Задача 3. Юный химик Петя получил от друга необычную загадку – 6 баночек с кристаллическими веществами с подписями A_1 – A_6 и записку: «Если считать молярные массы элементов целыми числами, то молярные массы этих веществ образуют арифметическую прогрессию (то есть отличаются на одинаковую величину, или $M_{A_2} - M_{A_1} = M_{A_3} - M_{A_2} = M_{A_4} - M_{A_3}$ и т.д.). Определи, что это за вещества».

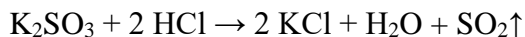
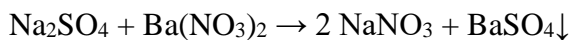
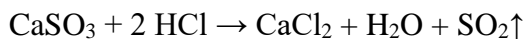
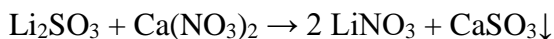
Поскольку солей было немного, Пете удалось провести лишь по одному опыту с каждым из веществ:

- 1) При добавлении к раствору соли A_1 нитрата кальция выпал осадок (реакция 1), который растворился в соляной кислоте (реакция 2), при этом выделился газ с резким запахом.
- 2) Соль A_2 окрашивает пламя горелки в ярко-красный/малиновый цвет
- 3) При добавлении в раствор A_3 солей аммония не выпадают никакие осадки
- 4) К раствору соли A_4 Петя последовательно приливал растворы нитратов алюминия, магния, железа II и бария, пока при добавлении последнего не выпал осадок (реакция 3). Этот осадок не растворился ни в кислотах, ни в щелочах.
- 5) При добавлении к раствору соли A_5 соляной кислоты выделяется газ с резким запахом (реакция 4).
- 6) Соль A_6 окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет.
- 7) Все соли $A_1 - A_6$ представляют собой белые порошки, хорошо растворяются в воде, образуя прозрачные бесцветные растворы. Соли $A_1 - A_6$ состоят из катионов и анионов, представленных в таблице растворимости.

1. Помогите Пете определить соли $A_1 - A_6$, запишите уравнения описанных выше реакций.
2. В результате анализа каких опытов Петя может определить катион соли, и в результате анализа каких опытов – её анион?
3. Почему Петя использовал именно нитраты в опытах 1 и 4 и соли аммония в опыте 3?

Решения и критерии оценивания:

1. Соли А₁–А₆ – Li₂SO₃, Li₂SO₄, Na₂SO₃, Na₂SO₄, K₂SO₃, K₂SO₄ (за каждое вещество – по 2 балла, всего 12 баллов), реакции:



За каждую реакцию по 1 баллу (при неверных коэффициентах – по 0,5 баллов за реакцию), всего 4 балла; итого за п.1 – 16 баллов

2. Анион – в опытах 1,4,5, катион – в опытах 2,3,6. 2 балла за верный ответ

3. Нитраты не образуют нерастворимых солей с катионами из таблицы растворимости, а ионы аммония не образуют осадков с анионами из таблицы растворимости, поэтому, используя их, можно определять по образующимся осадкам отдельно анион (в опытах 1 и 4) и отдельно катион (в опыте 3). 2 балла за верное объяснение

Итого $16 + 2 + 2 = 20$ баллов за задачу.

Задача 4. Представим, что вы являетесь участником миссии, целью которой является основание колонии на Марсе. После прибытия на красную планету вам как специалисту со знанием химии было поручено воссоздать земную атмосферу внутри купола, защищающего вашу миссию от суровых марсианских условий. Купол имеет форму цилиндра с радиусом основания 40 м и высотой 6 м.

1. Рассчитайте, сколько будет весить воздух под куполом вашей миссии. Целесообразно ли везти его с собой в сжатом виде?

Вы решаете использовать марсианскую атмосферу для воссоздания земного воздуха. Однако атмосфера Марса очень разрежена (давление у поверхности составляет всего лишь 610 Па), и вам приходится использовать насос. Через некоторое время под куполом устанавливается давление в одну земную атмосферу, и вы определяете состав марсианского воздуха (в объёмных процентах): 95,3% – CO₂, 2,7% – N₂, 1,6% – Ar, 0,145% – O₂, 0,15% – H₂O, 0,08% – CO, а также малые доли инертных газов – неон, криптон, ксенон. Вы понимаете, что кислорода в такой атмосфере недостаточно для дыхания и решаете преобразовать в него часть CO₂. Для этого у вас есть специально выведенный особенно эффективный мох. И пока он при помощи фотосинтеза преобразует CO₂ в кислород, вы решаете немного помечтать о том, что когда-нибудь человечество сделает Марс пригодным для жизни и без защитных куполов.

2. Считая, что один гектар деревьев перерабатывает в год 3,6 тонн CO₂, а масса марсианской атмосферы составляет $2,5 \cdot 10^{16}$ кг, определите, сколько лет потребуется для переработки CO₂, если высадить деревья на всей поверхности Марса (144 миллиона км²)? Считайте, что массовая доля CO₂ равна 95,9%.

Пока вы мечтали, концентрация кислорода повысилась до земного уровня. Вы решаете снять шлем скафандра и осторожно вдохнуть, но ощущаете слабость и головокружение. Похоже, вы забыли о том, что в марсианской атмосфере достаточно много угарного газа.

3. Определите содержание угарного газа в полученном вами воздухе (в мг/м³). Во сколько раз это выше, чем предельно допустимая концентрация для человека (20 мг/м³)? Как вы можете избавиться от CO? Запишите уравнение соответствующей химической реакции.

Разобравшись с угарным газом, вы всё же снимаете шлем и ещё раз пытаетесь осторожно вдохнуть, но снова ощущаете духоту. Похоже, вам необходимо заменить углекислый газ в атмосфере на азот и аргон. Рядом с вашим куполом обнаружены месторождения Fe₂O₃, каолина Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O, CaCO₃ и NaCl. Вы понимаете, что если отжечь один из этих минералов, вы получите вещество, которое может поглотить углекислый газ.

4. Какой из минералов может вам помочь? Запишите уравнение реакции, протекающей при отжиге, и реакции поглощения углекислого газа. Вещество, которое образуется при отжиге, может поглотить ещё один компонент марсианской атмосферы. Какой? Запишите уравнение протекающей реакции.

Поглотив лишний углекислый газ, вы заменяете его аргоново-азотной смесью, которую вы получаете, убирая из марсианской атмосферы все остальные газы описанными выше способами.

5. Рассчитайте состав (в объёмных процентах) полученной вами атмосферы, считая, что она состоит лишь из трёх основных компонентов – кислорода, аргона и азота. На сколько процентов ваш воздух тяжелее земного?

Закончив все действия, вы ещё раз проверяете давление под куполом. Убедившись, что оно равно одной земной атмосфере, вы вдыхаете полной грудью. Пускай ваш воздух не совсем как земной, дышать им так же приятно, ведь вы сделали его сами при помощи своих знаний.

Решения и критерии оценивания:

1. Найдём объём воздуха: она равна площади цилиндра, умноженную на его высоту:
 $\pi r^2 \cdot h = \pi \cdot (40\text{м})^2 \cdot 6\text{м} = 30160\text{м}^3$. В одном кубическом метре воздуха (что равно 1000 литрам воздуха) содержится $1000\text{л}/22,4\text{л/моль} = 44,64$ моль воздуха. Средняя молярная масса воздуха равна 29 г/моль, значит 1м^3 весит $44,64 \text{ моль} \cdot 29 \text{ г/моль} = 1294 \text{ г} = 1,3 \text{ кг}$. Тогда весь воздух весит $30160\text{м}^3 \cdot 1,3\text{кг/м}^3 = 39046\text{кг}$ или *39 тонн (3 балла)*. Везти с собой его нецелесообразно, так как его масса сопоставима с грузоподъёмностью тяжёлой ракеты (1 балл)

2. В одном квадратном километре содержится 100 гектар, в тонне – 1000 кг, а CO_2 будет перерабатываться: $0,959 \cdot 2,5 \cdot 10^{16} \text{кг} / (3600 \cdot 100 (\text{кг/год} \cdot \text{км}^2) \cdot 144000000 \text{км}^2) = 463$ года (2 балла)

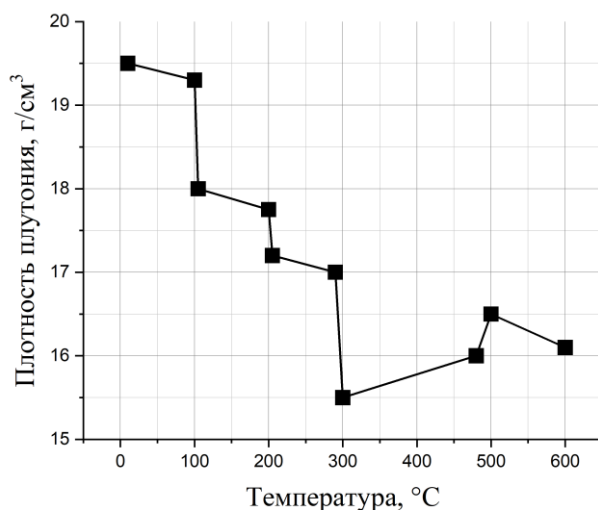
3. При давлении газа, равном земной атмосфере, в одном м^3 содержится 44,64 моль газа. Для газов объёмную долю можно считать равной мольной, тогда в одном м^3 содержится $44,64 \text{ моль} \cdot 0,0008 = 0,0357$ моль CO , что равно $0,0357 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 1 \text{ г}$ или 1000 мг/м^3 (3 балла), что в 50 раз выше ПДК (1 балл), избавиться от CO можно, дожигая его с избытком кислородом (1 балл): $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$ (1 балл)

4. Помочь может CaCO_3 (2 балла). При отжиге – $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (1 балл), при поглощении протекает обратная реакция: $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ (1 балл). CaO также может поглощать воду (1 балл): $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ (1 балл)

5. Как было сказано в условии, содержание кислорода в таком воздухе и его давление такие же, как в земной атмосфере, тогда кислорода – 21%. Остаток занимают азот и аргон, полученные из марсианской атмосферы, их отношение такое же, как в ней: азота – $(100\% - 21\%) \cdot (2,7 / (2,7 + 1,6)) = 50\%$, аргона – $(100\% - 21\%) \cdot (1,6 / (2,7 + 1,6)) = 29\%$ (1 балл). Такой воздух имеет среднюю молярную массу $0,5 \cdot 28 \text{ г/моль} + 0,29 \cdot 40 \text{ г/моль} + 0,21 \cdot 32 \text{ г/моль} = 32,3 \text{ г/моль}$, что примерно на 11-12% тяжелее земного (1 балл)

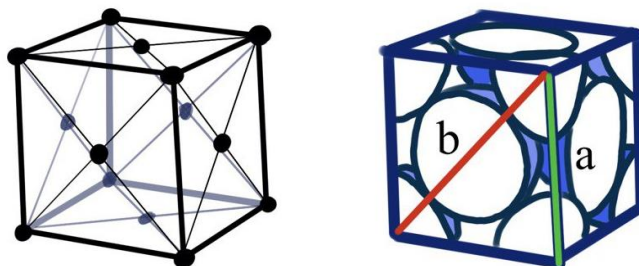
Итого $4 + 2 + 6 + 6 + 2 = 20$ баллов за задачу.

Задача 5. Большинство металлов при нагревании расширяются. Плутоний же обладает интересным свойством сжиматься при нагревании в определенном диапазоне температур. Зависимость плотности плутония от температуры приведена на графике.



1. Укажите весь диапазон температур, в котором происходит сжатие металла при нагревании.
2. Во сколько раз происходит уменьшение объема металла при нагревании в диапазоне температур, указанном вами в пункте 1?

Свойство сжатия металла при увеличении температуры связано с переходом между его аллотропными модификациями. При переходе из одной аллотропной модификации в другую происходит изменение элементарной ячейки, описывающей расположение атомов в структуре. Элементарной ячейкой одной из аллотропных модификаций, называемой δ -Pu, является гранецентрированная кубическая ячейка (ГЦК). Она представляет собой куб, в вершине и центре каждой грани которого находится атом плутония. Радиус атома определяет объем ячейки, который, в свою очередь, определяет плотность материала. Ниже приведены рисунки ГЦК без учета размера атома (слева) и с учетом (справа).



3. Выразите через радиус атома r длину диагонали грани ячейки ГЦК (отмечена на рисунке как **b**) и длину ребра (**a**).
4. Физико-химическими методами исследования была определена длина ребра ячейки **a**, она составила $4,7114 \cdot 10^{-8}$ см. Определите, при какой температуре были проведены измерения. Учтите, что на одну элементарную ячейку приходится 4 атома плутония.

Решения и критерии оценивания:

1. При увеличении плотности происходит уменьшение объема, поскольку масса металла не меняется. Согласно приведенному графику, плотность металла увеличивается в диапазоне температур от 300 до 500 °С.

3 балла за верно определенный диапазон температур.

Всего 3 балла за пункт 1.

2. Увеличение объема происходит в 1,06 раз:

$$\frac{V_{300\text{K}}}{V_{500\text{K}}} = \frac{m}{\rho_{300\text{K}}} \cdot \frac{\rho_{500\text{K}}}{m} = \frac{\rho_{500\text{K}}}{\rho_{300\text{K}}} = \frac{16,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{15,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = 1,06$$

3 балла за верный ответ.

Всего 3 балла за пункт 2.

3. Согласно рисунку задачи, длина диагонали грани ячейки составляет 4 радиуса атома:

$$b = 4r$$

Длину ребра (a) можно определить по теореме Пифагора:

$$b^2 = a^2 + a^2$$

$$16 r^2 = 2 a^2$$

$$a = 2\sqrt{2} r$$

2 балла за верно выраженную диагональ грани ячейки (b), 4 балла за выраженную длину ребра (a).

Всего 6 баллов за пункт 3.

5. Для того, чтобы определить температуру, необходимо определить плотность металла. На одну элементарную ячейку приходится 4 атома плутония, то масса одной элементарной ячейки: $m = \frac{4 \cdot 244 \text{ г/моль}}{N_A} = \frac{4 \cdot 244 \text{ г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 1,621 \cdot 10^{-21} \text{ г}$ *4 балла за верно определенную массу элементарной ячейки.*

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,621 \cdot 10^{-21} \text{ г}}{a^3} = \frac{1,621 \cdot 10^{-21} \text{ г}}{(4,7114 \cdot 10^{-8} \text{ см})^3} = 15,5 \text{ г/см}^3$$

Согласно графику, приведенному в условии задачи, полученной плотности соответствует температура 300 °С.

4 балла за верно определенную плотность металла и сопоставление плотности с графиком.

Всего 8 баллов за пункт 5.

Итого 3+3+6+8 = 20 баллов за задачу.

Задача 6.

Когда $8+8 \neq 16$?

Занимательное явление, называемое «дефект массы», можно обнаружить при точном рассмотрении значений масс ядер химических элементов. Рассмотрим ядро изотопа кислорода ^{16}O , которое состоит из 8 нейтронов и 8 протонов. Массу такого ядра можно точно определить на современных масс-спектрометрических приборах, она составляет 15,994915 а.е.м. Независимыми экспериментами была также найдена масса протона, равная 1,007276 а.е.м., и нейтрона – 1,008665 а.е.м.

1. Рассчитайте массу ядра кислорода-16 исходя из масс протона и нейтрона.

Несовпадение наблюдаемой и расчетной массы происходит из-за того, что при соединении нейтронов и протонов выделяется энергия. В соответствии с уравнением Эйнштейна масса и энергия связаны:

$$E = mc^2,$$

где c – скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

2. Рассчитайте, какое количество энергии выделится при образовании 1 грамма кислорода ^{16}O из изолированных протонов и нейтронов. Примите, что 1 а.е.м. составляет $1,66056 \cdot 10^{-27}$ кг.

3. Значения масс, приведенных в Периодической таблице, учитывают распространенность изотопов в природе. Указанная в таблице масса является суммой масс всех изотопов, умноженных на их природное содержание (мольную долю). Определите распространенность изотопа ^{16}O в мольных процентах. Учтите, что вторым по распространенности в природе является ^{18}O с массой 17,999160 а.е.м., присутствием других изотопов в природе можно пренебречь. При расчете этого пункта используйте точную атомную массу кислорода, указанную в Периодической таблице.

4. Сколько разных видов молекул кислорода может быть образовано из изотопов ^{16}O и ^{18}O ?

5. Рассчитайте, сколько «наиболее легких» молекул кислорода приходится на одну «наиболее тяжелую» молекулу кислорода в природе?

Решения и критерии оценивания:

1. $m(^{16}\text{O}) = 8 \cdot 1,007276 + 8 \cdot 1,008665 = 16,127528$ а. е. м.

Всего 2 балла за пункт 1.

2. Энергия, которая выделится при образовании одного атома кислорода:

$$\Delta E = \Delta mc^2 = (16,127528 - 15,994915) \cdot 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 1,982 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

При образовании 1 грамма кислорода-16:

$$1,982 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \cdot \frac{1 \text{ г}}{16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} \cdot N_A = 1,982 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} \cdot \frac{1 \text{ г}}{16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} =$$
$$= 7,5 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$$

Всего 4 балла за пункт 2.

3. Атомная масса кислорода в Периодической таблице 15,9994. Примем за x распространенность кислорода-16:

$$15,9994 = 15,994915 \cdot x + 17,999160 \cdot (1-x)$$

$$15,9994 = 17,999160 - 2,004245x$$

$$x = 0,9978 = 99,78\%$$

6 баллов за верное значение распространенности кислорода-16 (при погрешности более 2 % – 0 баллов). За неправильное значение распространенности изотопа, но верный промежуточный расчет – частичный балл.

Всего 6 баллов за пункт 3.

4. Может быть образовано три вида молекул кислорода: при образовании связи между ^{16}O и ^{16}O , ^{16}O и ^{18}O , ^{18}O и ^{18}O .

1 балл за каждый из вариантов.

Всего 3 балла за пункт 4.

5. «Наиболее тяжелой» молекуле кислорода соответствует молекула, образованная двумя атомами ^{18}O , а «наиболее легкой» – двумя атомами ^{16}O . Исходя из распространенности изотопов ^{18}O и ^{16}O :

$$\text{Вероятность нахождения в природе «наиболее легкой» молекулы} = 99,78 \cdot 99,78 = 9956$$

$$\text{Вероятность нахождения в природе «наиболее тяжелой» молекулы} =$$

$$= (100-99,78) \cdot (100-99,78) = 0,0484$$

$$\text{Таким образом отношение количества молекул в природе: } 9956:0,0484 = 205702:1$$

5 баллов за верное значение (при погрешности более 20 % – 0 баллов). За неправильное значение, но верный промежуточный расчет – частичный балл.

Всего 5 баллов за пункт 5.

Итого $2+4+6+3+5=20$ баллов за задачу.