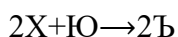


Время выполнения заданий – 240 минут.
Максимальное количество баллов – 100.

Напоминание: вычисления в расчетных задачах необходимо вести с точностью приведенных в условии значений

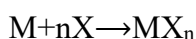
Задача 1. Газ X.

Бинарный газ X (при н.у. $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$), имеющий самую высокую энергию связи в природе, способен вступать в реакцию с другим бинарным газом Ю, имеющем такую же плотность, как X, в соотношении 2:1 соответственно, с образованием единственного продукта (аддукта) – Ъ:



Вещество Ъ состоит из четырех элементов, один из которых является самым распространенным элементом во Вселенной. Один из атомов Ъ имеет искаженное тетраэдрическое окружение.

Также газ X способен реагировать с некоторыми переходными металлами напрямую с образованием ядовитых и легколетучих продуктов присоединения:



Формулу данных соединений можно выразить следующим образом $MX_{\frac{18-G}{2}}$, где G – номер группы металла. Любопытно, что сами металлы в подобных соединениях имеют формальную степень окисления равную нулю. Яркий пример такого соединения является вещество Щ, молекула которого имеет 84 электрона, а металл находится в 10 группе.

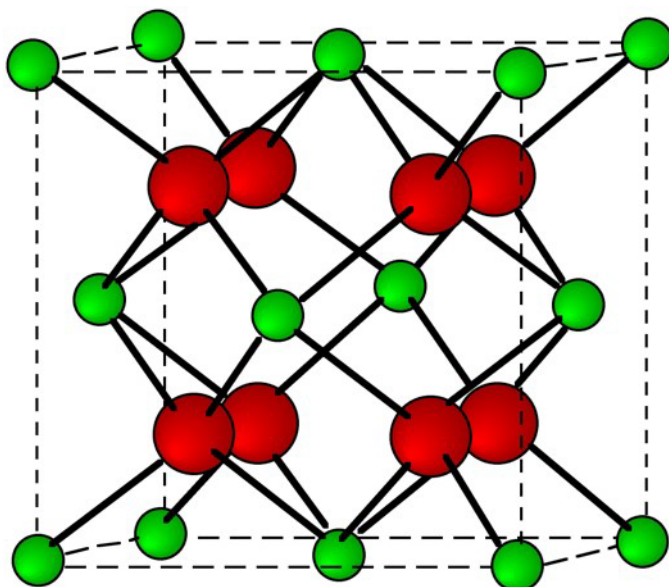
1. Определите X, Ю, Ъ. Какая связь в молекуле Ъ самая длинная? Какая у нее природа? Изобразите строение молекул X, Ю, Ъ.
2. Определите вещество Щ. Изобразите строение этой молекулы. Решение обоснуйте.
3. При попадании в организм, соединение Щ способно вызывать гипоксию (удушение). Почему?

Задача 2. Земля и Луна, лекарство и яд.

Происхождение названия элемента X очень символично, так как он часто сопутствует минералам элемента, названного в честь Земли – Y, поэтому X назван в честь спутника Земли – Луны.

1. Определите элементы X и Y.

При реакции калия с простым веществом Y серебристо-белого цвета образуются светло-желтые кристаллы соединения A (реакция 1). Ниже представлена кубическая кристаллическая решетка данного соединения (длина ребра куба $a = b = c = 0,8168 \text{ нм}$, $\rho = 2,509 \text{ г/см}^3$).



2. Определите **A**. Ответ подтвердите расчетом.

Соединения элементов **X** и **Y** являются достаточно токсичными. Для количественного выражения токсичности используют показатель полулетальной дозы ЛД₅₀ – это масса вещества на кг живой массы организма, при которой погибнет половина всех особей. Так, например, ЛД₅₀ **X** для мышей составляет 5 мг/кг.

3. Рассчитайте, погибнет ли половина популяции мышей из 150 особей, если популяцию накормили 0,5 кг проса, загрязненного **X** (содержание **X** по массе 40 ppm). Примите, что мыши целиком съели всё просо и каждой особи досталась одинаковая порция зерна. Известно, что средняя масса мыши 20 граммов. Ответ подтвердите расчетом.

Примечание: ppm – частей на миллион; 1 ppm = 0,0001 %.

Однако, некоторые соединения **X** могут быть, наоборот, лечебными. Так, например, в дерматологии применяется лекарство сульфен (основной компонент соединения **B**). Для его получения при нагревании перетирают 100 г порошка **X** с 81,19 г порошка серы, и получается бинарное соединение **B** массой 181,19 граммов (**реакция 2**).

4. Определите формулу соединения **B**. Ответ подтвердите расчетом.

Однако, при подобном способе синтеза помимо **B**, в состав сульфена могут входить другие бинарные соединения в примесных количествах, например, **C**. Для определения его состава образец 1.00 г **C** сожгли в избытке кислорода; при этом получилось 838,1 мг **D** и 282,24 мл (при н.у.) сернистого газа (**реакция 3**).

5. Определите формулы веществ **C** и **D**. Ответ подтвердите расчетом. Изобразите одну из возможных структурных формул вещества **C**, если учесть, что оно циклическое и валентность всех элементов равна 2.
6. Напишите реакции 1–3.

Задача 3. Димер.

Безводный хлорид **A** (массовая доля металла 20,24%) получить достаточно сложно. Одним из способов является прямое взаимодействие газообразного хлора с металлом (**реакция 1**). Альтернативным способом получения **A** является осушка кристаллогидрата **B** с использованием тионилхлорида (**реакция 2**). Для осушки 100 г **B** потребовалось 180,3 мл SOCl_2 ($\rho = 1,64 \text{ г/см}^3$).

1. Напишите формулы веществ **A** и **B**, а также реакции 1-2. Ответ подтвердите расчетом. Объясните, почему нельзя получить **A** простым нагреванием кристаллогидрата **B**, подтвердите ваше объяснение реакцией 3.

При нагревании до 180°C **A** при постоянном давлении (1 атм) сублимируется, и образуется димер **AA** (**реакция 4**). Однако, при ещё большем нагревании доля димеризации уменьшается.

2. Напишите реакцию 4. Рассчитайте ΔH_r^{298} , ΔS_r^{298} а также ΔG_r^{453} и K_c при 180°C . Считайте, что ΔH_r и ΔS_r не зависят от температуры.
3. Объясните, почему при нагревании доля димеризации уменьшается?
4. При какой температуре степень димеризации составит 50%? Считайте, что ΔH_r и ΔS_r не зависят от температуры.
5. Нарисуйте структурную формулу **AA**.

Справочная информация:

$$\Delta H_f^{298}(\text{A}) = -585 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_f^{298}(\text{AA}) = -1299 \text{ кДж/моль}$$

$$S^{298}(\text{A}) = 313 \text{ Дж/моль}$$

$$S^{298}(\text{AA}) = 470 \text{ Дж/моль}$$

$$\Delta G_r = \Delta H_r - T\Delta S_r$$

$$\Delta G_r = -RT \ln K_c$$

$$K_c = e^{-\frac{\Delta G_r}{RT}}$$

Задача 4. Минералы в морозилке.

Юный химик Ю. в ходе одной из своих экспедиций обнаружил красивый оксидный минерал черного цвета, содержащий металлы **M1** и **M2**, и решил отдать его в аналитическую лабораторию для установления состава. В лаборатории провели следующие операции:

1. Растворили образец минерала в горячей концентрированной серной кислоте (**реакция 1**), при этом образовался раствор желтого цвета и выделился газ без цвета с резким запахом.
2. Добавили в раствор воды и довели до кипения (**реакция 2**), при этом выпал осадок белого цвета переменного состава (**P1**), а цвет раствора практически не изменился.
3. Полученный осадок отделили от раствора и прокалили, получили белое твердое вещество **P2** (**реакция 3**). Оказалось, что **P2** не реагирует с разбавленными кислотами и щелочами.

4. На оставшийся в п.2 раствор действовали избытком натриевой щёлочи (**реакция 4**), в результате чего выпал бурый осадок **P3**, а при добавлении к оставшемуся полученному раствору брома (**реакция 5**) осадок растворился, а раствор приобрел красно-фиолетовый цвет.

В ходе дополнительных исследований выяснено следующее:

- а) металл **M1** присутствует в минерале в степени окисления +2;
- б) массовое содержание **M2** в минерале равно 31,55%;
- в) твердое вещество **P2** вступает в реакцию с графитом и азотом при 800°C (**реакция 6**), образуя буро-желтое вещество **P4** с кристаллической решетка типа NaCl.

1. Определите металлы **M1-M2**, твердые вещества **P1-P4**. Установите формулу минерала, ответ подтвердите расчетом.
2. Напишите уравнения реакций 1-6.
3. Твердое вещество **P2** обладает хорошей химической и термической стойкостью, а также полезными оптическими свойствами, благодаря чему нашло широкое применение в быту, промышленности и науке. Назовите известные Вам две области применения этого вещества, где используются данные свойства. А также назовите область применения твердого вещества **P4** в декоре.
4. Океанолог Юрий заинтересовался найденным минералом и решил заглянуть в геологический справочник, где со смехом обнаружил схожесть названия минерала с названием блюда, которое лежало в его морозилке и состояло в основном из теста и мяса. Схожее название также имеет озеро в районе Великого Новгорода, однако, не имеющее отношение к названию минерала. Назовите минерал, блюдо и озеро.

Задача 5. Взрывы для спасения жизни.

За 2022 год в автокатастрофах по всему миру погибло около 1,3 миллиона людей, пострадало около 50 миллионов человек. Эти цифры выглядят пугающе. Однако, в настоящий момент автомобили стараются делать максимально безопасными и комфортными для пассажиров и водителей. Например, в 80-х годах двадцатого века химики крупных автомобильных концернов разработали новый способ защиты для автомобилистов – подушку безопасности. Она изготовлена из прочного полиамидного волокна и в сложенном виде занимает так мало места, что ее можно упрятать в стойку рулевого колеса. В случае лобового столкновения мешок почти мгновенно надувается и мягко принимает на себя поступательное движение как корпуса, так и головы водителя, спасая тем самым ему жизнь. Это изобретение действительно спасло много жизней.

Как же работает такая подушка? Поскольку счет в аварии идет на секунды, никакой механический компрессор не способен надуть мешок за нужное время. На помощь химикам приходит разложение химического вещества с большим выделением газа. Выбор основного взрывчатого вещества пал на вещество **A**, соль кислоты **Y** и металла **X**, хоть оно и устойчиво при комнатной температуре, однако, при нагревании до 300°C может очень быстро разлагаться (**реакция 1**). Из 32,5 грамм вещества **A** при н.у. получается около 16,8 л газа. Чтобы увеличить выход газа, а также связать очень реакционноспособный и легко загорающийся на воздухе металл **X**, который получается в результате разложения **A**, в смесь добавляют вещество **B** (**реакция 2**). Полученный в результате **реакции 2** оксид металла **X** – тоже не подарок, поэтому для его связывания в смесь добавляют мелкокристаллический порошок диоксида кремния (**реакция 3**).

Остается решить еще одну проблему: как инициировать взрыв вещества **A**? Для этого используют **C** – соль тяжелого металла и кислоты **Y**, массовая доля самого легкого компонента этой соли равна 28,86%.

Для получения вещества **A** проводят синтез в несколько стадий. Для начала берут газ **D** (плотность при н.у. 0,7589 г/л) и сжижают его при температуре около -33°C . Затем растворяют в нем металл **X** (**реакция 4**). На полученный продукт действуют газом **E** (плотность при н.у. 1,964 г/л), который обладает опьяняющим эффектом (**реакция 5**).

Вещество **A** нашло применение еще и в другой области: в связи с его бактерицидными свойствами его используют в качестве консерванта биохимических препаратов. В конце 20-го века в американских клиниках стали происходить необычные явления. Время от времени из сливной раковины наблюдали звуки, напоминающие пистолетные выстрелы, а однажды взорвалась сливная труба. Оказалось, что сотрудники, не сильно беспокоясь о технике безопасности, просто выливали остатки консерванта в канализацию. Большая часть труб в канализационной системе была сделана из металла **F** или же его сплавов. Металл **F** может окисляться под действием даже слабо концентрированного водного раствора кислоты **Y** (образуется из соли **A**). Для полного взаимодействия с 100 г металла **F** требуется 203 г кислоты **Y** (**реакция 6**). Продукт, полученный в этой реакции, как и все соли тяжелых металлов кислоты **Y** очень взрывоопасны (**реакция 7**).

Окислительная способность кислоты **Y** может сравниться с азотной. Так, например, для растворения благородных металлов, таких как золото или платина, можно использовать вместо царской водки, смесь кислоты **Y** и соляной кислоты (**реакция 8, 9**).

1. Определите вещества **A-F**, **X**, **Y** если известно, что раствор вещества **B** окрашивает пламя в фиолетовый цвет, а также массовая доля металла 38,6%.
2. Напишите реакции 1-9, реакцию инициации взрыва веществом **C**.
3. Предложите, как можно было бы избежать взрывов в канализации при работе с веществом **A**. (Не менее двух идей)
4. Посчитайте сколько теплоты выделится при детонации 20 грамм вещества **A**, если стандартная энтальпия образования вещества **A** при 25°C равна 21,3 кДж/моль.