

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Олимпиада школьников по химии и химической технологии
«Потомки Менделеева» 2023/24 учебный год**

Комплект заданий теоретического тура

9-й класс

Контактные данные

сайт: <https://malun.kpfu.ru/mendelev>

telegram: <https://t.me/potomkimendeleva>

email: ammoniy.olimpiada@mail.ru

тел.: +7(843)233-72-12

Теоретический тур. 9 класс

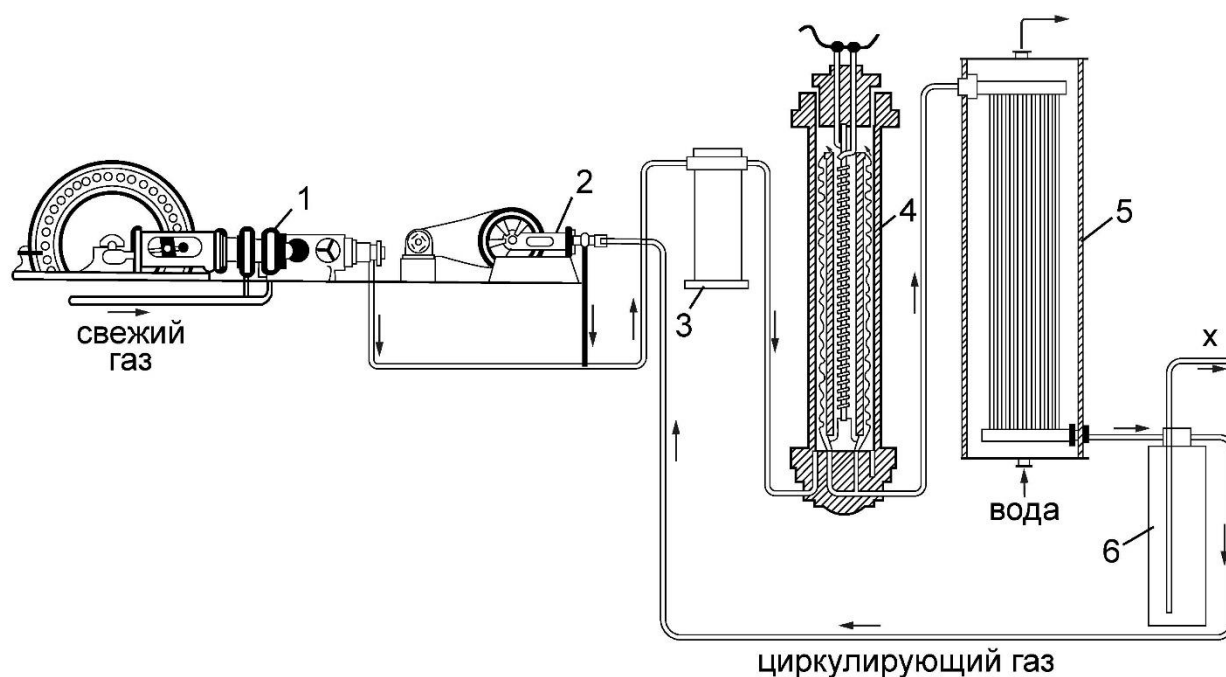
Задача 9-1

Вещество **X** является крупнотоннажным продуктом неорганического синтеза и обычно в промышленности получается взаимодействием простых веществ **A** и **B** при повышенном давлении и нагревании над катализатором (*р-ция 1*). Необходимый для синтеза **A** получают фракционированием воздуха, а для получения **B** могут применяться различные способы (химические, электрохимические и другие). Одним из химических способов получения **B** является взаимодействие газа **B** (с относительной плотностью по водороду равной 14) с парами воды (*р-ция 2*). Схожим с этим способом является взаимодействие газа **Г** с парами воды (*р-ция 3*), причем в этом случае получают такие же продукты, как и при *реакции 2*, однако количество образующегося в *реакции 3* газа **B** в четыре раза больше, чем в *реакции 2*, при условии использования одинаковых количеств **B** и **Г**.

1. Приведите формулы и названия веществ **A-Г** и **X**, а также запишите уравнения *реакций 1-3*, не забыв расставить коэффициенты.

Другим химическим способом получения газа **B** является взаимодействие простого вещества **Д** (также получаемого в промышленности в огромных масштабах) с парами воды (*р-ция 4*). Получающийся при этом побочный продукт **Е** способен к дальнейшему взаимодействию с парами воды (*р-ция 5*), давая при этом дополнительное количество газа **B** и вещество **Ж**, содержащее 72,36% элемента **Д** по массе. Простое вещество **Д** можно регенерировать с помощью газа **B**. При этом вещество **Ж** переходит в **Е** (*р-ция 6*), а далее **Е** переходит в **Д** (*р-ция 7*).

2. Установите вещества **Д-Ж**, приведите уравнения реакций *4-7*.



Несмотря на кажущуюся простоту получения **X** по *реакции 1* в реальности это превращение производится не настолько просто, что связано как с использованием повышенного давления, так и с тем, что *реакция 1* протекает со сравнительно небольшими выходами. Ниже приведена схема одной из промышленных установок получения **X** под высоким давлением.

3. Соотнесите основные элементы **1-6** на приведенной схеме со следующими модулями (перечислены в алфавитном порядке): водяной холодильник, газоотделитель, колонна синтеза, компрессор, фильтр, циркуляционный насос. Кратко поясните роль каждого модуля в промышленном процессе.

Задача 9-2

Вещества **I-X** могут быть свободно приобретены в любой аптеке, некоторые – в виде сложных смесей, другие – практически в чистом виде.

Среди веществ **I-X** только **I** и **II** являются простыми. Реальный состав продаваемого в аптеках **I** несколько сложнее, чем у соответствующего простого вещества. Вещество **II**, обладающее противомикробным действием и используемое для обработки ран, продаётся в виде раствора в смеси **III** и **IV**; для повышения его растворимости в смеси также содержится соль **A**. Вещество **III** обычно служит как растворитель и для других лекарственных средств, однако высокочистое **III** также можно найти в аптеке: его продают для самостоятельного приготовления растворов для инъекций. **IV** выступает растворителем для веществ, нерастворимых в **III**, однако сам может быть использован для дезинфекции.

Бинарное вещество **V**, проявляющее антисептические свойства, отличается низкой стабильностью в чистом виде, поэтому его обычно продают в виде жидкой смеси с **III** или твёрдого комплекса с **VI (B)**, массовая доля самого лёгкого элемента в котором составляет 6.43 %. Само вещество **VI**, состоящее из четырёх элементов, содержит 6.71 массовых % самого лёгкого из них и является частым компонентом увлажняющих кремов.

Кальциевая соль **VII** ($\omega(\text{Ca}) = 9.31 \%$) используется для лечения гипокальцемии. Интересна реакция термического разложения **VII** (*Реакция 1*), которая носит название «Фараонова змея»: в ходе нагревания из относительно небольшого кусочка **VII** вырастает большая чёрная «змея», состоящая главным образом из вещества **I**. Среди продуктов термического разложения **VII** также можно обнаружить вещество **III**.

Интересно, что **VII** может быть получено при взаимодействии вещества **VIII** с **II** в растворе гидроксида кальция (*Реакция 2*). Само соединение **VIII** обычно продаётся в виде растворов и часто служит наполнителем в таблетках других лекарственных средств, придавая им сладкий вкус. Пиролиз вещества **VIII** сопровождается образованием **I** и **III**.

Кислоту **IX** можно купить в аптеке в порошкообразном виде или в растворе в смеси **III** и **IV**. Реакция **IX** с веществом **IV** в присутствии каталитических количеств серной кислоты позволяет получить летучее соединение **C**, которое горит пламенем зелёного цвета.

Соединение **X**, газообразное при н.у. и обладающее резким запахом, продают в виде смеси с **III**. Эту смесь применяют при обмороках, прочистке носовых путей, обработки кожи после укусов насекомых.

1. Установите формулы веществ **I-X**, **A-C**. Там, где возможно, ответ подтвердите расчётом.

2. Запишите уравнения реакций 1-2.

Задача 9-3

Твердое вещество **X** изучается из-за своих оптических свойств: это сильно анизотропное вещество, которое может использоваться для генерации когерентного ИК-излучения. Для подтверждения состава **X** его навеску массой 1.000 г поместили в горячий концентрированный раствор HCl (*р-ция 1*). Весь выделившийся газ **A** при н.у. занимает объём 241 мл. Выделение газа **A** можно обнаружить по почернению смоченной раствором нитрата свинца бумажки (*р-ция 2*).

Весь полученный раствор разделили пополам. Первую часть раствора обработали избытком раствора NaOH , образовавшийся белый осадок **B** (*р-ция 3*) отфильтровали и прокалили (*р-ция 4*). Масса полученного вещества **B** составила 373.4 мг. Вторую часть раствора довели до слабокислого pH и обработали раствором сульфида натрия, избегая добавления большого его избытка (во избежание *реакции 5*). При этом выпал осадок **Г** (*р-ция 6*) массой 438.2 мг. Вещества **B** и **Г** содержат 1 общий элемент в своем составе.

В качестве теста, подтверждающего наличие катиона этого элемента в составе солянокислого раствора, можно провести реакцию с концентрированным раствором сульфата цезия: на холоду выпадает осадок вещества **Д** (*р-ция 7*).

1. Определите формулы неизвестных веществ **A – Д**, **X**. Подтвердите состав **X**, **B** и **Г** расчетом.

2. Запишите уравнения *реакций 1 – 7*.

3. Наличие каких элементов можно было дополнительно подтвердить анализом окраски пламени исходного соединения **X** или продуктов его превращения? Запишите элемент (или элементы) и соответствующую окраску пламени.

Металл, входящий в состав **B** и **Г**, при взаимодействии с хлоридом этого металла в наиболее устойчивой степени окисления в зависимости от условий процесса образует одно из соединений **E**, **Ж** или **З**. Массы металла, необходимые для реакции с одним и тем же количеством хлорида, для получения **E**, **Ж** и **З** соотносятся как 6:3:2, соответственно. При этом в одном из этих веществ содержится только металл в низшей положительной степени окисления, а в других – два типа атомов металла в различных степенях окисления, причем высшая проявляется в обоих случаях в составе различных комплексных анионов.

4. Определите эмпирические и истинные (отражающие состав катионов и анионов) формулы **E**, **Ж**, **З**. Изобразите структурные формулы комплексных анионов, если известно, что в них КЧ центральных атомов одинаково.

Задача 9-4

Элементы **X** и **Y** образуют летучие соединения X_2Y и XY_2 . Соединения неустойчивы к разложению. Для их изучения было проведено 2 опыта.

Опыт 1. При полном термическом разложении смеси 451 миллимоль X_2Y с 131 ммоль XY_2 образуется смесь простых веществ, при нормальных условиях остающаяся полностью

газообразной и имеющая плотность 2.456 г/л (н.у.). Объем продуктов разложения в 1.5 раза превышает объем исходных веществ.

1. Сколько атомные простые вещества образуют X и Y ?

2. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси простых веществ, образовавшихся в этом опыте.

Опыт 2. При полном разложении смеси равных масс X_2Y и XY_2 образуется газообразная смесь простых веществ, имеющая плотность 0.744 г/л при 600°C и 800 мм рт. ст.

3. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси простых веществ, полученной в опыте 2.

4. На основании опытов 1 и 2 вычислите молярные массы простых веществ, образованных X и Y . Приведите ваши выкладки. Определите элементы X и Y .

5. Рассчитайте энтальпию образования XY_2 , если известно, что энтальпия образования X_2Y равна +80.3 кДж/моль, а в опыте 1 выделилось 49.7 кДж теплоты.

6. Известно, что одно из соединений X_2Y и XY_2 парамагнитно, а другое – диамагнитно. Соотнесите соединения с их магнитными свойствами и укажите причину парамагнетизма одного из соединений.

7. Известно, что валентные углы и длины связей в молекулах X_2Y и XY_2 составляют 117.6°, 110.9° и 170 пм, 147.3 пм (порядок произвольный). Соотнесите молекулы с их геометрическими характеристиками: изобразите их структурные формулы и подпишите на них длины связей и величины валентных углов. Кратко объясните свой выбор соотнесения.

Задача 9-5

Аммиак, как и прочие вещества, способен существовать не только в газообразном, но также и в конденсированном состоянии. При температуре -33 °C и давлении 1 атм аммиак сжижается в бесцветную жидкость. Жидкий аммиак характеризуется протеканием автопротолиза – частичной диссоциации молекул растворителя по ионному пути (аналогично жидкой воде).

1. Запишите уравнение реакции автопротолиза жидкого аммиака. Учтите, что ион H^+ является чрезвычайно активным и в свободном состоянии в указанных условиях не существует.

2. Ионное произведение (константа равновесия реакции автопротолиза) жидкого аммиака при -33 °C, выраженная через концентрации в моль/л, равняется 10^{-29} . Рассчитайте значение pH в чистом жидком аммиаке.

Вещество X , имеющее ионную кристаллическую решётку при н.у., растворили в жидком аммиаке, в результате чего получили раствор с массовой долей X 3.85%. Данный раствор подвергли экспериментам по криоскопии и эбулиоскопии.

3. В какую сторону отклонятся температуры плавления и кипения полученного раствора X относительно чистого аммиака? Ответ аргументируйте.

В ходе опытов было установлено, что температура плавления раствора в сравнении с чистым аммиаком изменилась на $0.81\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как температура кипения отклонилась на $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Считая, что кажущаяся степень диссоциации **X** изменяется от 0.705 при плавлении раствора до 0.750 при кипении, рассчитайте:

- а) число ионов n , на которые распадается **X** в растворе;
- б) моляльную концентрацию **X**;
- в) молекулярную массу **X**.

Известно, что вещество **X** может быть получено в одну стадию из аммиака и так же легко может быть превращено в аммиак.

5. Установите молекулярную формулу **X**. Приведите уравнения получения **X** из аммиака и превращения **X** в аммиак.

6. К какому классу электролитов (кислота, основание, соль) можно отнести **X** по отношению к жидкому аммиаку? Ответ аргументируйте.

7. Рассчитайте рН раствора **X** в жидком аммиаке при $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ с точностью до сотых. Примите плотность раствора равной 0.70 г/мл , а истинную степень диссоциации **X** за 0.99.

Дополнительная информация:

$$pH = -\lg([H^+]_{\text{сольв}})$$

$$\Delta T_{\text{пл}} = i \cdot K \cdot C_m; \quad K(NH_3) = -0.95\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{кг/моль}$$

$$\Delta T_{\text{кип}} = i \cdot E \cdot C_m; \quad E(NH_3) = 0.24\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{кг/моль}$$

$i = \alpha(n - 1) + 1$; α – кажущаяся степень диссоциации электролита; n – число ионов, на которые распадается электролит в растворе; C_m – моляльная концентрация растворённого вещества ($\frac{\text{моль вещества}}{\text{кг растворителя}}$).