

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

2025–2026

10 класс

В решении приводите подробные расчеты, все ответы обосновывайте!

Ответы без расчетов и обоснования не оцениваются!

Задача 10-1

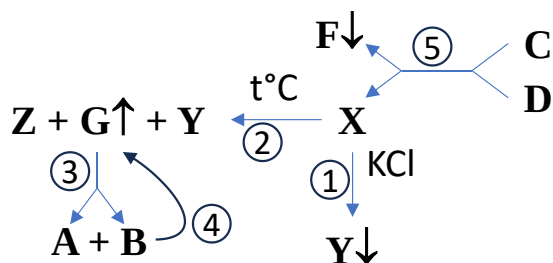
Токсичная задача

Токсичная белая соль **X** ограниченно растворима в воде. При добавлении к ее насыщенному раствору концентрированного раствора хлорида калия выпадает осадок токсичной соли **Y** (*р-ция 1*).

Соль **X** разлагается при 150 °С с образованием трех продуктов: соли **Y**, токсичного твердого бинарного соединения **Z** и токсичного жёлто-зеленого газа **G** (*р-ция 2*). Масса соли **Y**, образующейся при разложении **X**, в 7 раз меньше, чем получается при осаждении раствором хлорида калия из такого же количества **X**.

При растворении в воде газ **G** очень медленно реагирует с ней, при этом образуется смесь двух токсичных кислот **A** и **B** (*р-ция 3*). Кислота **B** неустойчива и разлагается с выделением газа **G** (*р-ция 4*).

Соль **X** была получена путем взаимодействия в разбавленном водном растворе двух токсичных солей **C** и **D**. При этом в осадок выпала белая нетоксичная и нерастворимая в кислотах соль **F** (*р-ция 5*). Соль **D** используется в пиротехнике и придает фейерверку зеленую окраску. Из 3.04 г соли **D** образуется 5.75 г соли **X**.



Вопросы:

1. Определите формулу газа **G**. Установите с помощью расчета формулы веществ **X**, **Y**, **Z**
2. Запишите уравнения реакций 1 – 5.
3. Предложите ещё один способ получения газа **G**? Запишите уравнение реакции.

Задача 10-2

С открытием радиоактивности появилось много различных изотопов элементов, которые тогда считали самостоятельными элементами. Таблица Д.И. Менделеева не могла их всех вместить и даже названий не хватало, поэтому их стали называть по элементу, в продуктах распада которого они обнаруживались. Так появились Радий А (RaA), Радий В (RaB), Мезоторий-1 (MsTh1), Торий D (ThD) и другие.

В природе элемент **Q** представлен в основном изотопом **RaF** ($T_{1/2} = 138$ дней), который при альфа-распаде превращается в стабильный **RaG**. Радий входит в ряд радиоактивного распада, который начинается с ^{238}U ($T_{1/2} = 4.468 \cdot 10^9$ лет¹).

Простое вещество, состоящее из изотопа **RaF**, реагирует с хлором при нагревании, при этом образуется смесь соединений **X** и **Y** (*р-ция 1 и 2*). Соединения **X** и **Y** – твердые вещества красно-рубинового и лимонно-желтого цвета, соответственно. При нагревании в вакууме **Y** превращается в **X**, а потеря массы при этом составляет 20.15 % (*р-ция 3*). При добавлении к водному солянокислому раствору **Y** раствора хлорида аммония выпадает осадок комплексной соли **Z** (*р-ция 4*). При пропускании сероводорода через раствор **Y** выпадает осадок **A**, содержащий **RaF** (*р-ция 5*), который растворяется в концентрированной соляной кислоте (*р-ция 6*). Осадок **A** аналогично может быть выделен и из раствора **X**.

Взаимодействие **Y** ($A = 3.70 \cdot 10^{10}$) с избытком 0.5 М раствора азотной кислоты приводит к образованию белого кристаллического осадка **B** массой 346 ± 1 мкг² (*р-ция 7*). После отделения осадка и высушивания вакууме при комнатной температуре полученное вещество проанализировали на содержание нитрат-ионов. В пробе обнаружили 1.59 мкмоль нитрат-ионов. В реакции **Y** с азотной кислотой с.о. **RaF** не изменяется.

Дополнительная информация:

Активность $A = \lambda N$, [Бк] = [распад/с], где $\lambda = \frac{0.69315}{T_{1/2}}$ – вероятность распада ядра в единицу времени, с⁻¹, N – количество атомов радиоактивного изотопа.

Удельная активность $A_{\text{уд}} = \frac{A}{m}$ соли **Z** равна $7.628 \cdot 10^{13}$ Бк/г. **RaG** образует соль, имеющую такие же состав и строение, что и соль **Z**.

За долгое время устанавливается так называемое «вековое равновесие», при котором активности (A) всех радиоактивных изотопов образующихся из ^{238}U равны.

Вопросы:

1. Расшифруйте **RaF** и **RaG**, если известно, что в природных радиоактивных рядах только α - и β^- -распады приводят к изменению порядкового номера и массы элемента.
2. Напишите уравнения описанных реакций и приведите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**, **A** и **B**.
3. Какое количество вещества **RaF** (моль) содержится в 1 тонне урановой руды, если массовая доля урана в ней составляет 0.205%, а массовая доля изотопа ^{238}U в природной смеси составляет 99.3%.

¹ В среднем в году 365.2425 суток

² Столь маленькие массы невозможно определить с высокой точностью, расчеты нужно проводить с приведенной массой 346 мкг, но необходимо понимать, что полученные результаты могут иметь некоторую погрешность в третьей значащей цифре

Задача 10-3

“Ultra” (за) + “Marinus” (морской) = “Y” (заморский)

Простое вещество **X** растворяется в бензоле, сероуглероде, взаимодействует с концентрированным раствором гидроксида металла **M** с образованием **A** (*p-ция 1*).

Ярко-желтое вещество **B** можно получить тремя способами:

(I) Нагреванием твердых **A** и **X** в запаянной ампуле при 500°C до образования гомогенного расплава с последующим медленным охлаждением и кристаллизацией (*p-ция 2*);

(II) Кипячением с обратным холодильником спиртового раствора **C** и стехиометрического количества металла **M** в инертной атмосфере (*p-ция 3*);

(III) Нагреванием твёрдых **A** и **C** при 200°C, взятых в соотношении 8 : 9 по массе, соответственно (*p-ция 4*).

Желтые кристаллы вещества **B** реагируют с порошком **X** в мольном соотношении 4 к 1, соответственно, с образованием оранжевых кристаллов **C**.

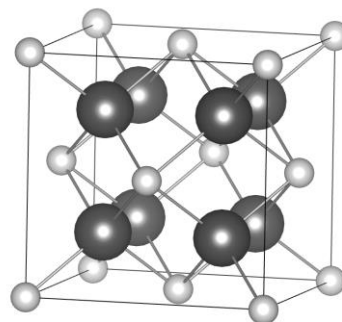
Галогениды щелочных металлов можно использовать для стабилизации анион-радикалов **D** и **E**. Так, бесцветные кристаллы иодида калия способны менять окраску в присутствии паров **X** на желтую при внедрении **D** (*p-ция 5*) или синюю при внедрении **E** (*p-ция 6*).

С древних времен известен интенсивно-синий пигмент **Y**. Его окраска обусловлена наличием анион-радикалов **D** и **E**, которые замещают хлорид-анионы, в структуре минерала **Z**.

Вопросы и задания:

1. Определите состав **X**, неизвестные вещества **A** – **C**, состав 33e⁻-частицы **D** и 49e⁻-частицы **E**. Ответ обоснуйте.
2. Напишите уравнения *реакций 1-6*. Реакции 5-6 запишите в сокращенной ионной форме.
3. Определите формулу алюмосиликата **Z** с минимальными целыми индексами, если массовые доли Na, Al, Si и Cl равны 18.98%, 16.70%, 17.39% и 7.31%, соответственно.
4. Укажите название пигмента **Y**. Какого цвета будет **Z** при эквимольном соотношении внедрений **D** и **E** в его структуре?

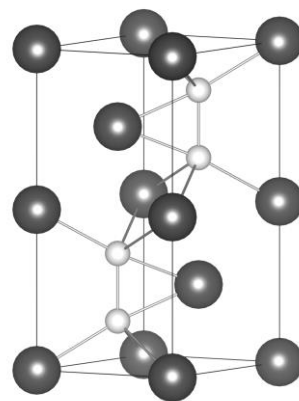
Элементарная ячейка **A**



Бесцветные кристаллы

$$\begin{aligned} &1.856 \text{ г/см}^3 \\ &a = b = c = 6.545 \text{ \AA} \\ &\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \end{aligned}$$

B



Желтые кристаллы

$$\begin{aligned} &2.040 \text{ г/см}^3 \\ &a = b = 4.494 \text{ \AA} \\ &c = 10.228 \text{ \AA} \\ &\alpha = \beta = 90^\circ \\ &\gamma = 120^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{яч}} &= a \cdot b \cdot c \cdot \sin(\gamma), \\ \sin(120^\circ) &= \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \sin(90^\circ) = 1 \end{aligned}$$

Задача 10-4

Уроборос

Уроборос – свернувшийся в кольцо змей или дракон, кусающий себя за хвост. Является одним из древнейших символов, известных человечеству.

В растворе ω -гидроксиальдегиды $\text{HO}-(\text{CH}_2)_n-\text{CHO}$ существуют в виде смеси двух таутомеров: линейного (L) и циклического (C); содержание енольной формы в большинстве растворителей пренебрежимо мало. Соотношение между циклической и линейной формами зависит от температуры, растворителя и величины n .

В таблице приведены экспериментально определённые молярные доли линейной формы в водно-диоксановых растворах ω -гидроксиальдегидов с $n = 3, 4$ и 5 :

Соединение	A	B	C
$\chi(L) / \% (25^\circ\text{C})$	6.1	11.4	85.0
$\chi(L) / \% (35^\circ\text{C})$	6.7	13.4	89.0
n			

1. Сопоставьте соединения A–C со значениями n . Ответ объясните.
2. Рассчитайте значения констант равновесия для процесса превращения L в C при 25°C для всех трёх соединений.
3. Определите знаки величин $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ для процесса превращения L в C . Ответ объясните. Вычислите эти величины для вещества C. Какой фактор – энтальпийный или энтропийный – контролирует образование циклической формы? **Ответ объясните.**
4. С учётом ошибки эксперимента измеренная $\chi(L)$ для C составляет $85.0 \pm 1.0 \%$ при 25°C и $89.0 \pm 1.0 \%$ при 35°C . Принимая во внимание эти ошибки, оцените, насколько величины K , $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ могут отклоняться от средних значений, полученных в вопросах 2 и 3, если температура измерена точно. Как можно повысить точность определения $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$, если точность определения констант равновесия повысить невозможно?
5. В действительности в растворе в равновесии находятся не две, а три изомерные формы гидроксиальдегида (если пренебречь содержанием енольной формы). Объясните этот факт и рассчитайте константы равновесия взаимопревращений трёх форм для соединения B при 25°C .

Необходимые формулы:

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T\Delta_r S^\circ$$

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K$$

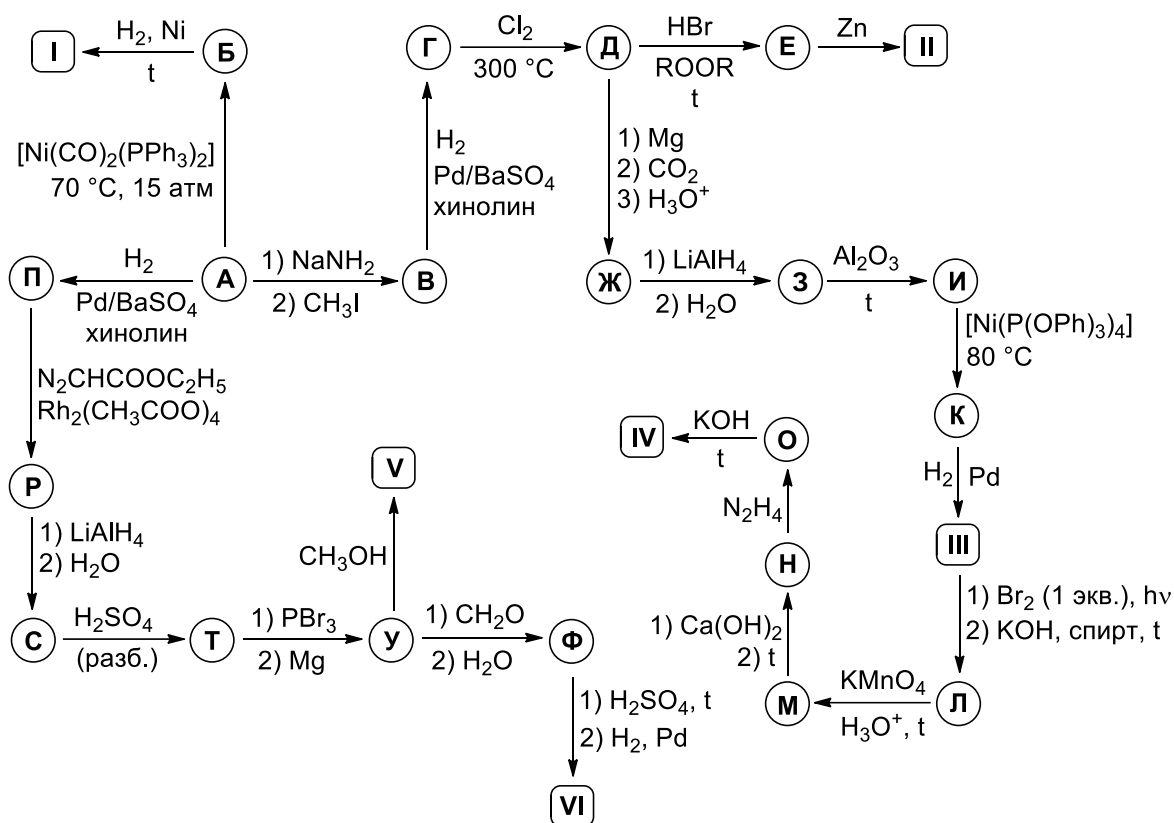
Задача 10-5

Властелин колец

«Не доверяй своей голове, Сэмуайз, это далеко не лучшее, что у тебя есть!»
(с) Гэндальф.

Дж. Р. Р. Толкин, «Властелин колец»

Вещества I–VI относятся к одному классу соединений, хотя химические свойства некоторых из них заметно отличаются друг от друга. Все они могут быть получены из соединения А, которое сгорает в кислороде с образованием двух продуктов. Если продукты сгорания 1.000 г А пропустить через пентаоксид фосфора, а оставшийся после этого газ – через твердый едкий натр, то масса пентаоксида фосфора увеличится на 0.692 г, а масса едкого натра – увеличивается на 3.38 г. Известно, что молярная масса А не превышает 50 г/моль.



Процесс образования Н из М сопровождается образованием семичленного цикла и выделением карбоната кальция, а при получении Р из П происходит формирование трехчленного цикла и выделение азота. Реакция А → Б – тримеризация, а И → К – димеризация, причем в первом случае образуется цикл из n атомов углерода, а во втором – из $n + 2$.

1. Определите молекулярную формулу А, ответ подтвердите расчетами.
2. Приведите структурные формулы соединений А-Ф и I-VI.