

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

2024–2025

## Теоретический тур

### Десятый класс

#### Задача 10-1

##### Притягательный элемент

Металл **X** достаточно редкий, №28 по распространенности в земной коре (по Taylor). В соединениях для него характерна в основном одна степень окисления. Самым важным из его соединений является оксид (рис. 1): это диэлектрик с минимальным коэффициентом теплового расширения, материал для инфракрасных лазеров, а стеклам, содержащим этот оксид, свойствен «александритовый эффект». Названия стёкол и лазера происходят от названия элемента **X**.

Элемент **X** слабо радиоактивен за счет радионуклида  $^*X$  (содержание в природной смеси из семи изотопов 23,80 ат. %) – самого легкого из известных  $\alpha$ -излучателей, в котором числа нейтронов и протонов относятся как 7 : 5 ( $T_{1/2} = 2,29 \cdot 10^{15}$  лет, энергия  $\alpha$ -частиц  $T_\alpha = 1,905$  МэВ). При  $\alpha$ -распаде  $^*X$  образуется стабильный изотоп элемента **Y**, для которого характерны степени окисления +3 и +4. В природе **X**, **Y** и их многочисленные «однорупники» встречаются вместе.

Мощные постоянные магниты состава  $X_k Q_l Z$ , получили свое название от элемента **X** (индексы *l* и *k* – натуральные числа) получают спеканием металла **X** с простыми веществами **Z** и **Q** в печи. В магните массовая доля **Z** составляет 1,000 %. При растворении магнита  $X_k Q_l Z$  массой 1,0000 г в горячей концентрированной азотной кислоте (*p-ция 1*) получают вещества **X1**, **Q1** и **Z1**. После упаривании азотнокислого раствора и аккуратного разложения твердого остатка, получается смесь твердых веществ **X2**, **Z2** и **Q2**, принадлежащих к одному классу неорганических соединений массой 1,3774 г (*p-ция 2-4*). Степени окисления элементов **X**, **Q** и **Z** одинаковы. Эта смесь частично растворяется в водной щелочи (*p-ция 5*), а масса нерастворившегося остатка составляет 1,3452 г. При спекании **Z2** может реагировать с **X2** и **Q2**.

##### Вопросы:

- 1) Определите соотношение элементов в оксиде элемента **X**.
- 2) Определите металл **X** и его радионуклид  $^*X$ . Свой ответ обоснуйте.  
Напишите уравнение радиоактивного распада  $^*X$ .
- 3) Рассчитайте удельную активность (Бк/кг) **X** природного изотопного состава и начальную скорость  $\alpha$ -частиц (км/с).

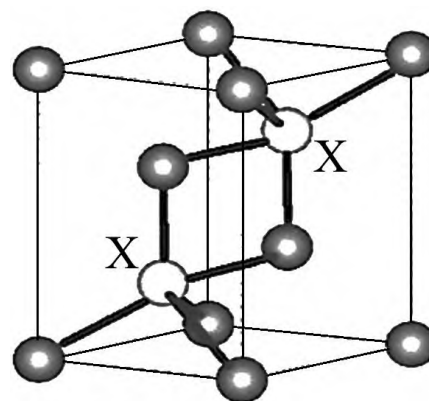


Рис. 1. Элементарная ячейка кристаллической решетки оксида металла **X**

- 4) Определите качественный и количественный состав магнита  $X_kQ_lZ$ . Свой ответ обоснуйте, приведите расчеты.
- 5) Напишите уравнения реакций 1 – 5.
- б) Что такое «александритовый эффект»?

**Справочная информация:**

Период полураспада  $T_{1/2}$  – время, за которое распадается половина ядер радионуклида.

$\alpha$ -частица – ядро гелия-4.

Активность  $A$  – количество распадов в секунду (единица измерения – беккерель,

$1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$ ),  $A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N$ , где  $N$  – количество радиоактивных атомов.

$1 \text{ эВ} \approx 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

Средняя продолжительность года – 365,2425 дней.

Число Авагадро  $6,022 \cdot 10^{23}$ .

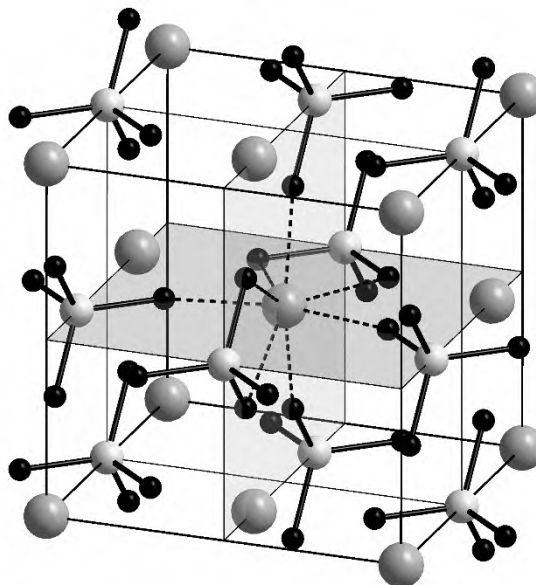
**Задача 10-2**

**Похожие, но разные**

Вещества **A** и **B** обладают схожими формулами и почти идентичными свойствами. Однако в одном из свойств они кардинально различаются, это и определяет область применения более лёгкого вещества **A**. Более того, при нагревании до  $800^\circ\text{C}$  оно реагирует с газообразным веществом **C**, вносящим основной вклад в парниковый эффект на Земле, с выделением лёгкого газа и образованием твёрдого вещества **D** (*р-ция 1*). Эта реакция приобрела широкую известность в медиа после события, произошедшего в марте 2011 года на острове Хонсю.

Для получения веществ **A** и **B** используют многостадийный процесс, основанный на переработке природного минерала **X**, использующегося в ювелирном деле. На первой стадии его подвергают щелочному вскрытию путём спекания с карбонатом натрия (*р-ция 2*) и последующей обработки разбавленным раствором азотной кислоты (*р-ции 3-4*). При этом из раствора выпадает белый аморфный осадок гидратированного оксида с кислотными свойствами, а фильтрат представляет собой бесцветный раствор, содержащий соль **E**. Далее в ходе сложной цепочки превращений вещество **E** очищают от примеси **F**, содержащей один из элементов, который также в небольшом количестве встречается в минерале **X**. При обработке соединения **E** с помощью плавиковой кислоты образуется осадок вещества **G** (*р-ция 5*), который прокаливают до  $150^\circ\text{C}$ , переводя в **H** (*р-ция 6*), а далее нагревают с металлическим кальцием (*р-ция 7*), переводя в **A**. Потеря массы в ходе реакции разложения вещества **G** до **H** составляет 9,73%.

На рисунке представлена тетрагональная элементарная ячейка ( $a = b = 6,607 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,982 \text{ \AA}$ ) природного минерала **X** с плотностью  $4660 \text{ кг/м}^3$ . Из всех атомов, изображенных на рисунке, лишь 9 находятся внутри ячейки, 8 лежат в вершинах, 16 атомов находятся вне ячейки, остальные лежат на гранях или ребрах ячейки. В состав минерала **X**, помимо элементов, содержащихся в **D**, входит также достаточно распространённый неметалл, образующий твёрдый оксид.



**Вопросы и задания:**

- 1) Установите формулу минерала **X**. Не забудьте подтвердить ваш ответ расчётом.
- 2) Определите состав соединений **A-H**. Не забудьте подтвердить ваш ответ расчётом или логическими рассуждениями. Напишите формулы установленных вами веществ в виде таблицы, аналогичной представленной ниже:

<b>X</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>

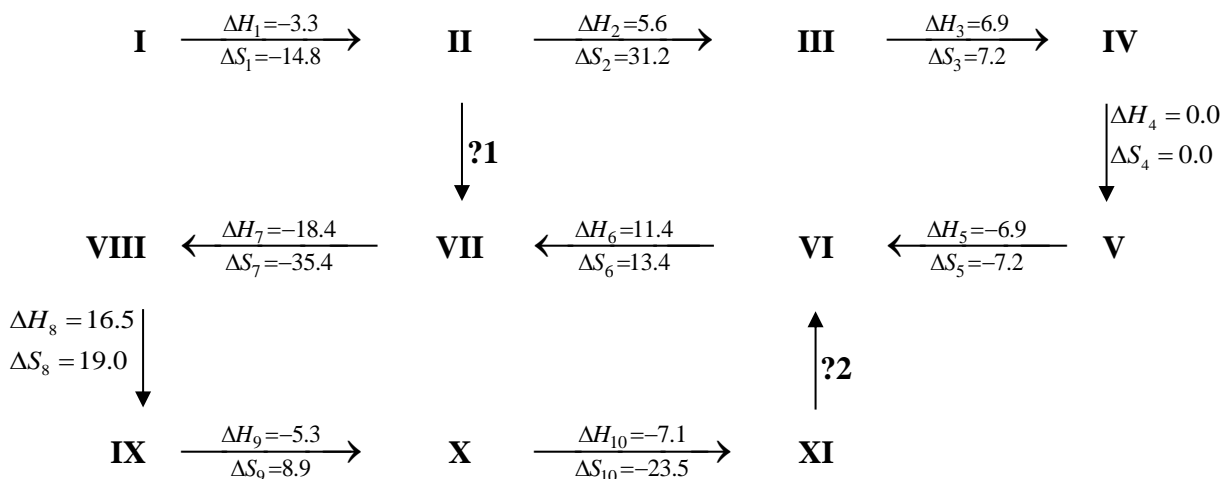
- 3) Напишите уравнения *реакций 1-7*.
- 4) Приведите название *реакции 1*, если известно, что в её состав входит единственное прилагательное, образованное от тривиальных названий веществ **C** и **A**.

**Задача 10-3**

**Изомеризация алканов**

В начале прошлого века в связи с развитием нефтехимии и органической химии исследователи активно определяли термодинамические характеристики простейших органических соединений, главным образом алканов. Немало внимания уделялось реакциям изомеризации, в которых неразветвлённые алканы превращались в разветвлённые изомеры с более высоким октановым числом. Исследования показали, что при низких температурах в смесях преобладают более разветвлённые изомеры.

На схеме представлены термодинамические характеристики взаимопревращений всех изомеров алкана **A** в газовой фазе при  $298.15 \text{ K}$  ( $\Delta H$  – в кДж моль<sup>-1</sup>,  $\Delta S$  – в Дж моль<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).



### Вопросы:

1. Установите молекулярную формулу алкана **A**. Свой ответ обоснуйте.
2. Вычислите изменение энтальпии и энтропии в переходах, обозначенных на схеме ?1 и ?2.
3. Изобразите качественный вид зависимости  $\Delta_r G^\circ$  от температуры для превращений: а) VI  $\rightarrow$  VII, б) X  $\rightarrow$  XI.
4. Изобразите качественный вид зависимости константы равновесия от температуры (в удобных для Себя координатах) для превращений: а) VI  $\rightarrow$  VII, б) X  $\rightarrow$  XI.
5. Константа равновесия какого из превращений, указанных на схеме, не зависит от температуры? Почему? Чему она равна?
6. Изобразите структурные формулы изомеров **I–XI**, если известно, что число типов атомов водорода в соединениях **I**, **II** и **XI** равно между собой, а число типов атомов углерода в соединениях **I** и **II** также одинаково.

### Необходимые формулы:

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

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

### Задача 10-4

Минерал молибденит  $\text{MoS}_2$  – это серый гидротермальный минерал, основная доля добычи которого приходится на рудные месторождения Чили, Перу, КНР и США. Он имеет слоистую структуру. Силы, действующие между слоями, довольно слабы, поэтому  $\text{MoS}_2$  может использоваться в качестве смазочного материала.

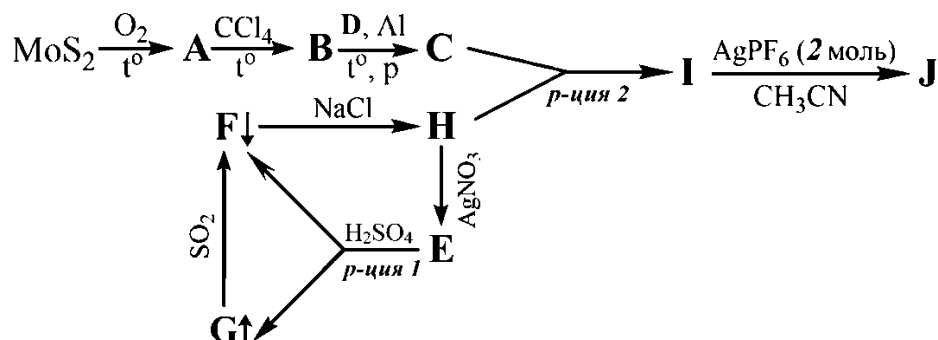
Дисульфид молибдена массой 10.00 г окислили на воздухе при нагревании и получили **A** со слоистой структурой из искажённых октаэдров. Выход составил 85%. Затем кристаллы **A** поместили в ампулу с раствором хлора в тетрахлорметане и нагрели до  $240^\circ\text{C}$ . В результате образовались чёрные парамагнитные кристаллы **B** с выходом в 60% и массой 8.718 г. Кристаллы **B** легко гидролизуются водой. Их нагрели в бензоле в присутствии алюминия и газа **D** под давлением до образования белого твердого вещества **C** (*p-ция 1*),

имеющего молекулярное строение, его состав подчиняется правилу 18 электронов. Плотность газа **D** при 200°C и давлении 28МПа составляет 199.4 г/л.

При нагревании диамагнитной практически бесцветной при 0 °С жидкости **E** образуется смесь двух газообразных веществ. При нагревании цвет этой смеси изменяется от светло-коричневого до красно-бурого. **E** – бинарное соединение, в состав которого входят наиболее распространенные в воздухе элементы. При взаимодействии твёрдого **E** с безводной серной кислотой образуется ионное соединение **F** и дымящая жидкость **G**. **F** можно получить при пропускании сернистого ангидрида через жидкость **G**. При небольшом нагревании **F** реагирует с избытком хлорида натрия с образованием желтого газа **H**. При взаимодействии ляписа с этим газом и конденсацией газообразных продуктов реакции образуется **E**.

Полимерный комплекс **I** может быть получен взаимодействием стехиометрических количеств веществ **C** и **H** (*р-ция 2*). В ходе этой реакции образуется два продукта, а давление в системе возрастает в 3 раза (при постоянных объёме и температуре). Один из лигандов в составе **I** изoeлектронен газу **D**. При добавлении к **I** в ацетонитриле  $\text{AgPF}_6$  (в количестве 2 моль на 1 моль **Mo**) образовались зелёные кристаллы **J**, растворимые в растворителях с диэлектрической проницаемостью от умеренной до высокой. КЧ атома молибдена в **J** равняется шести.

*Схема описанных превращений:*



**Вопросы:**

1. Рассчитайте молярную массу **D**.
2. Определите вещества **A - J**. Состав **B** подтвердите расчётом.
3. Запишите уравнения реакций **1** и **2**.
4. Для катиона вещества **J** изобразите все возможные изомеры
5. Запишите реакции частичного и полного гидролиза вещества **B**.
6. Вещество **I** нерастворимо в тетрахлориде углерода, хлороформе и предельных углеводородах, но хорошо растворимо в безводном ацетонитриле, запишите реакцию и объясните причину её протекания.

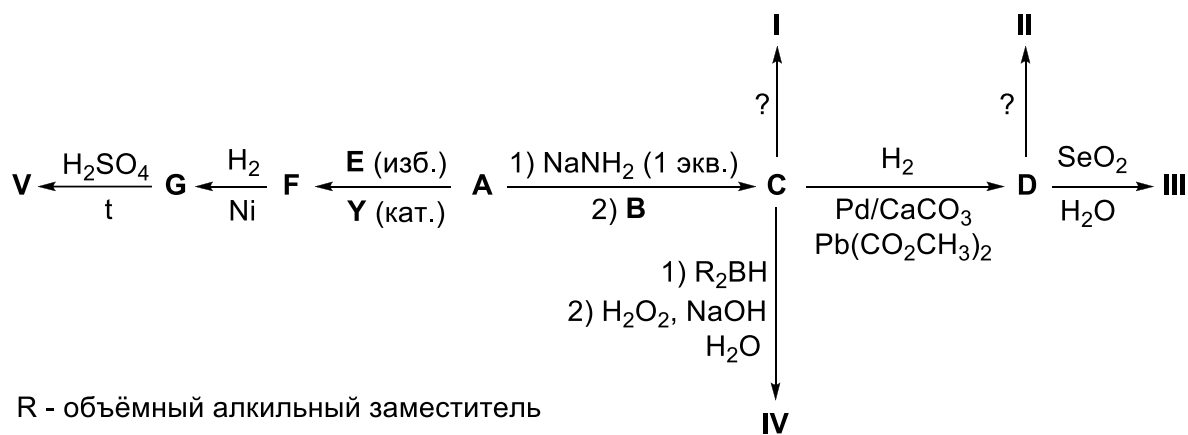
### Задача 10-5

Изомерные органические соединения I–V представляют собой бесцветные жидкости с различными температурами кипения (см. таблицу ниже) и плотностью паров ниже плотности криптона. Масса воды, образующейся при сжигании любого из этих веществ в кислороде, с высокой точностью равна массе исходной навески, а единственный газообразный (при комнатной температуре и атмосферном давлении) продукт сжигания полностью поглощается известковой водой.

Вещество	I	II	III	IV	V
Температура кипения, °C	80	97	65	75	66

При действии некоторого реагента X (широко распространённого в органическом синтезе восстановителя) соединения I и II дают один и тот же продукт P. Соединение III не восстанавливается при действии X, однако его можно превратить в P гидрированием на металлической платине. Вместе с тем вещество IV при действии X даёт продукт Q (изомерный P), а вещество V не реагирует ни с X, ни с водородом в присутствии платины.

Каждое из веществ I–V можно получить в две или три стадии из газа A, используя в качестве дополнительных источников углерода алкилбромид B или кислородсодержащее вещество E. Приведённая далее схема иллюстрирует эти превращения. Катализатор Y представляет собой бинарное вещество, содержащее 15.9 масс. % углерода, которое можно получить из газа A в одну стадию.



1. Установите брутто-формулу веществ I–V, обосновав своё ответ расчётами.
2. Приведите структурные формулы соединений A–G, P, Q, I–V, а также молекулярные формулы реагента X и катализатора Y.
3. Предложите по одному варианту реагентов, позволяющих провести одностадийные превращения C → I и D → II. Также предложите реагент для получения катализатора Y из газа A.