

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

2025–2026

9 класс

Задача 9-1

Press Start

Омографы – слова, которые совпадают в написании, но различаются в произношении, например «дúхи» и «духí». В химии тоже можно найти подобные пары: No (нобелей) и NO (оксид азота(II)). Омографичными можно назвать и соединения: NoF₃ (фторид нобелия(III)) и NOF₃ (трифторид-оксид азота). В этой задаче вам предстоит иметь дело с подобными парами.

Первая такая пара – **A** и **B**. Причём **A** – это бесцветный токсичный газ, а **B** – серебристый металл. Соединения **A**₁ и **B**₁ могут быть получены реакцией жёлто-зелёного газа **I** с **A** и **B** соответственно (*р-ции 1-2*). **A**₁ представляет собой ядовитый газ, а **B**₁ – растворимую в воде соль. Интересно, что **A** и **B** могут реагировать друг с другом с образованием красно-оранжевых кристаллов кластерного соединения **II** ($\omega(\text{A}) = 65.53\%$) (*р-ция 3*), в котором выполняется правило 18 электронов для металла.

Пара других веществ **C** и **D** – это твёрдые бинарные соединения, причём **C** растворимо в воде, а **D** известно как полупроводник. Получить их можно восстановлением водородом веществ **C**₁ и **D**₁ (*р-ции 4-5*), продуктом обеих реакций также является H₂O. **C**₁ осаждают из раствора посредством обменной реакции любых двух соединений, содержащих ионы, которые образуют **C**₁ (*р-ция 6*), а **D**₁ синтезируют кипячением смеси двух трёхосновных кислот: **III** ($\omega(\text{O}) = 77.63\%$) и **IV** ($\omega(\text{O}) = 45.09\%$) (*р-ция 7*).

Вопросы:

1. Определите пары омографов **A-B**, **C-D**, их омографичные производные **A**₁-**B**₁, **C**₁-**D**₁ и вещества **I-IV**.
2. Напишите уравнения *реакций 1-7*. Реакцию **6** запишите в сокращенной ионной форме.

Задача 9-2

Элементы на букву В

Символы элементов **B**₁, **B**₂, **B**₃, **B**₄ и **B**₅ начинаются на одну и ту же букву, а их порядковые номера в таблице Д.И. Менделеева меньше 90.

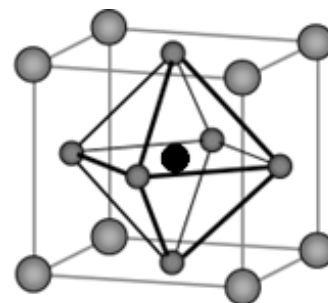
Простое вещество **B**₁ при комнатной температуре – это бурая жидкость, которая реагирует со всеми остальными простыми веществами **B**₂ – **B**₅ (*р-ции 1 - 4*).

Простое вещество **B**₂ реагирует с водой (*р-ция 5*). При спекании простых веществ **B**₂ и **B**₃ образуется соединение **A**. Если 100.0 мг **A** растворить при нагревании

в концентрированной азотной кислоте (**р-ция 6**) и добавить к полученному раствору избыток раствора сульфата натрия, то выпадет 115.4 мг белого осадка (**р-ция 7**).

Простое вещество **B4** реагирует с водным раствором щелочи (**р-ция 8**). При прокаливании стехиометрической смеси карбоната **B2** и оксида **B4** образуется твердое вещество **C** (**р-ция 9**). Потеря массы составляет 18.74%.

B2 и **B5** образуют сложный оксид **D** со структурой перовскита при высокой температуре (см. рисунок элементарной ячейки). При низкой температуре наблюдается искажение из-за того, что атомы одного из элементов **B?** находятся в различных характерных для него степенях окисления.



Элементы **B1** и **B3** образуют необычное соединение **E**, которое возгоняется в вакууме (плотность газа 0.8238 г/л при давлении 2500 Па и температуре 25 °С). Молекула **E** содержит менее 40 атомов. Закон Менделеева-Клапейрона: $pV = \nu RT$, $R = 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

1. Запишите уравнения реакций (**1 – 9**).
2. Определите вещества **A**, **C**, **D**, **E**. Ответ подтвердите расчетом.
3. В каких степенях окисления находится элемент **B?** в **D** при низкой температуре?

Задача 9-3

Химия времен золотого века

*«Счастливей день! Могу сегодня я
В шестой сундук, сундук еще неполный
Горсть золота накопленного всыпать...»
А.С. Пушкин «Скупой рыцарь»*

В фильме «Маленькие трагедии» в сцене, в которой скупой рыцарь приносит в подвал несколько золотых монет, чтобы добавить их к своим сокровищам, хранимым в сундуках, показаны сундуки весьма большого размера, которые использовались скорее для хранения одежды, чем для денег (точные размеры знают только люди, работавшие над картиной, но в первом приближении размеры сундуков можно оценить как 80×40×40 см).

1. Сколько должен весить сундук с золотыми монетами, показанный в фильме, если содержание золота в монетах, ходивших во времена Пушкина составляло 90% по объёму, а при «насыпании» золотых монет в сундук они занимают 80% об его объема? Посчитайте, какое количество золота (в кг) было у скупого рыцаря «по версии фильма», при наличии у него 6 сундуков. Оцените состояние скупого рыцаря, принимая цену золота за 10000 руб/г и пренебрегая ценой всего остального его имущества. Считайте, что кроме золота монеты

содержали только медь, ценой которой можно пренебречь. Плотность золота равна 19.3 г/см^3 , а плотность меди – 8.92 г/см^3 .

«Он разобьёт священные сосуды...

Он грязь елеем царским напоит...»

А.С. Пушкин «Скупой рыцарь»

Реагент **A** трудно назвать елеем, но его действительно называют «царским», в первую очередь именно потому, что он растворяет золото.

2. Дайте тривиальное название реагента **A**. Приведите его состав и напишите уравнение реакции между **A** и золотом (*р-ция 1*).

A был первым реагентом, который использовался для растворения золота, но позже была обнаружена еще одна кислота, также способная реагировать с этим благородным металлом. Концентрированная трехэлементная кислота **B** при 200°C растворяет золото до образования желтого осадка соли **C** (*р-ция 2*), содержание золота в которой составляет 47.9%. Кроме **C** в этих условиях образуется кислота **D**, при взаимодействии которой с перекисью водорода регенерируется кислота **B** (*р-ция 3*). Массовая доля кислорода в **D** составляет 37.22%, при этом его мольная доля в **D** составляет ровно половину.

3. Напишите формулы соединений **B** - **D**. Приведите уравнения реакций 2 и 3.

В то же время обсуждавшиеся выше превращения не имеют серьезного практического значения, в отличие от реакции золота с раствором трехэлементной натриевой соли **E** в присутствии простого вещества **F**, также приводящей к растворению золота с образованием комплексной соли **G** (*р-ция 4*), массовое содержание золота в которой составляет 72.42%. Этот процесс используется при промышленном извлечении золота из его руд.

4. Приведите формулы веществ **E** – **G**, если известно, что вещество **E** – сильнейший яд, препятствующий усвоению тканями вещества **F**. Напишите уравнение реакции 4.

Задача 9-4

Два друга с химическими фамилиями

Пипеточкин нашел в лаборатории 20.0 г запечатанного белого порошка **A** с почти стертой надписью «...ОН, ЧДА, безводный, бескарбонатный». После чего Пипеточкин предложил своему другу, Бюреточкину, оттитровать **A** с фенолфталеином. Для этого друзья растворили 20.0 г **A** в мерной колбе на 1 л (**раствор 1**), отобрали две аликвоты по 10.0 мл в конические колбы и начали титровать 0.250 М HCl. Пипеточкин титровал первый, но в ходе эксперимента отвлекся и перетитровал до 16.0 мл. Бюреточкин делал все внимательно, но кислота закончилась, когда он добавил всего 13.0 мл, что точно было

недостаточно для полной нейтрализации. Тем не менее это не помешало друзьям справиться с идентификацией найденного вещества.

После определения состава порошка **А**, Бюреточкин продолжил ревизию в лаборатории и обнаружил закрытую колбу с жидким оксидом **В**, из которого он решил получить раствор кислоты **С** с массовой долей 95%. Первым за задачу взялся Бюреточкин, к 10.0 мл воды он добавил 34.55 г **В** и был абсолютно уверен, что в полученном двухкомпонентном **растворе 2** массовая доля **С** составляет 95%. Однако Пипеточкин был не согласен с экспериментом своего коллеги, он же считал, что к полученному Бюреточкиным **раствору 2** нужно добавить еще дополнительно 12.76 г **В**, и в этом случае уже как раз получится двухкомпонентный **раствор 3** с нужной массовой долей **С**, где второй компонент также представляет собой бинарное вещество.

Вопросы:

1. Определите **А**, **В** и **С**. Какая молярная концентрация **А** получилась в **растворе 1**?
2. Какой второй компонент, помимо **С**, был в **растворе 3** по мнению Пипеточкина?
3. Кто из персонажей оказался прав и сделал раствор **С** с требуемой массовой долей?

Задача 9-5

Щелочные металлы образуют несколько типов ионных соединений с кислородом: оксиды M_2O , пероксиды M_2O_2 , содержащие ион O_2^{2-} , супероксиды MO_2 , содержащие ион O_2^- .

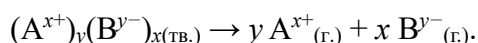
При грубой оценке того, какое из этих соединений образуется при реакции металла с кислородом, рассчитывают тепловой эффект реакции: преимущественно протекает реакция, в которой выделяется больше всего теплоты.

1. Сколько теплоты выделяется при взаимодействии 1.00 г металлического калия с кислородом с образованием: а) K_2O , б) K_2O_2 , в) KO_2 ? Сделайте вывод о том, какой продукт реакции калия с кислородом – наиболее вероятный.

	K_2O	K_2O_2	KO_2
$\Delta_f H^\circ$, кДж/моль	-363.17	-495.80	-284.51

Энергетика данных химических реакций определяется следующими величинами:

- энергия решётки (ΔH_{lat}) – энтальпия разрушения 1 моль твёрдого ионного соединения с образованием отдельных ионов в газовой фазе:



- энергия связи ($E_{св}$) – энтальпия разрыва 1 моль ковалентных связей в газовой фазе;
- сродство к электрону (A_e) – энтальпия присоединения к атому или молекуле одного электрона в газовой фазе;

- энергия ионизации (I) – энтальпия отрыва одного электрона от атома или молекулы в газовой фазе.

Когда говорят не об одном, а нескольких электронах, присоединяющихся или отрывающихся от атома, отдельно указывают первое, второе и т. д. сродство к электрону (или энергию ионизации), например, энтальпия процесса $O^-(г.) + e^- \rightarrow O^{2-}(г.)$ – второе сродство к электрону атома кислорода ($A_{e2}(O)$).

Так, например, энтальпия **реакции 1** может быть рассчитана следующим образом:

$$\Delta H_1 = -E_{св}(O=O) + 2A_{e1}(O_2) + 2A_{e2}(O_2) + n \cdot \Delta H_{lat}(X_1) - 2A_{e1}(O) - 2A_{e2}(O) - m \cdot \Delta H_{lat}(X_2),$$

где X_1, X_2 – соединения калия с кислородом, n, m – числа.

А энтальпия **реакции 2** – с помощью такого выражения:

$$\Delta H_2 = E(O=O) + 2A_{e1}(O) + 2A_{e2}(O) - p \cdot \Delta H_{lat}(Y_1) + 3I_1(K) - A_{e1}(O_2) + q \cdot \Delta H_{lat}(Y_2),$$

где Y_1, Y_2 – также соединения калия с кислородом (возможны повторы с X_1, X_2), p, q – числа.

2. Определите формулы веществ X_1, X_2, Y_1, Y_2 , запишите уравнения **реакций 1** и **2** с коэффициентами. Не забудьте указать агрегатные состояния всех участников реакций.

Ответ кратко объясните.

В действительности направление реакций зависит от температуры и давления. Так, давление кислорода (в Па), при котором устанавливается равновесие между KO_2 и K_2O_2 , зависит от температуры (в К) следующим образом:

$$p = 10^{8.817 - \frac{3825}{T}}.$$

Равновесие же между K_2O_2 и K_2O устанавливается при другом давлении кислорода, которое также зависит от температуры (единицы измерения те же):

$$p = 10^{13.738 - \frac{13856}{T}}.$$

3. Сколько процентов KO_2 разложится, если поместить 10.00 г KO_2 в сосуд объёмом 1.00 л при температуре 600 °С? Считайте, что устанавливается только равновесие разложения KO_2 с образованием K_2O_2 .

4. Какое соединение (оксид, пероксид, супероксид) образуется из калия и кислорода в равновесных условиях, если калий реагирует с воздухом (21 мольный % кислорода) при атмосферном давлении и температуре 200 °С? Ответ подтвердите расчётом.

5. Могут ли все три соединения (оксид, пероксид, супероксид) теоретически одновременно находиться в равновесии в атмосфере кислорода? Если да – то при каких давлении и температуре, если нет – кратко объясните. Считайте, что иных реакций, кроме взаимопревращений трёх соединений с участием кислорода, не протекает.