

LXXXII Московская олимпиада школьников по химии

Заключительный этап

Теоретический тур

15.02.2026 г.

10 класс

Из предложенных шести задач, нужно выбрать пять!

Указание: — при расчетах значения атомных масс следует округлять до целых, кроме хлора ($A_r(\text{Cl}) = 35,5$)
— в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчёты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов

Задача 1. Анализ неизвестного вещества

Химик Колбочкин, проводя инвентаризацию в сейфе с взрывчатыми веществами, обнаружил белые кристаллы неорганической соли **A**, содержащей октаэдрический анион. При осторожном нагревании **A** в атмосфере азота при 360°C соль полностью разложилась, при этом в остатке образовалось только бесцветное вещество **B** (реакция 1). При его нагревании в атмосфере кислорода образуется бинарное соединение **C** (реакция 2), при этом масса вещества в лодочке увеличивается на 25,8 %. При охлаждении газовой смеси, полученной при разложении соли, от 360°C до 25°C её объём уменьшается в 7,77 раз при постоянном давлении. После охлаждения её пропустили через трубку с раскалёнными медными стружками, поглотившими две трети газа (реакция 3). Плотность образовавшегося индивидуального вещества оказалась на 101,7% больше, чем до пропускания через трубку.

1. Определите формулы веществ **A–C**, ответ подтвердите рассуждениями или расчётом. *Ответ без расчёта или обоснования не оценивается.*
2. Какие газообразные вещества образуются при термическом разложении соли **A**? Определите качественный и количественный состав образующейся смеси (в объёмных процентах).
3. Напишите уравнения реакций 1-3.
4. Какое вещество **D** выделится при обработке соли **A** с помощью олеума?

Задача 2. Тонкости анализа органических веществ

Современный анализ органических веществ практически невозможно представить без двух лёгких бесцветных жидкостей — **A** и **B**. Для получения жидкости **A** используют следующий трёхстадийный процесс: на первом этапе бесцветный газ **C** пропускают через теплообменник с жидкостью **B**, а далее помещают в детандер — устройство, в котором газовая смесь охлаждается и расширяется, совершая механическую работу. Наконец, финальный третий этап представляет собой дросселирование смеси через расширительный клапан — вентиль Джоуля-Томсона — в камеру с низким давлением порядка одной атмосферы. При этом удаётся получить жидкость **A** с выходом порядка 20% за один цикл. Жидкости **A** и **B** ведут себя очень бурно при попадании в горячую воду, выделяя большое количество газообразных веществ **C** и **D** соответственно, последний из которых входит состав воздуха. При этом на дне сосуда также возможно образование бесцветных кристаллов **E**. Только вдумайтесь, из 5,0 л жидкости **A** с плотностью $\rho = 135 \text{ кг/м}^3$ удаётся

получить $3,778 \text{ м}^3$ газа **С** (при н.у.), что сопровождается увеличением объёма более, чем в 750 раз!

1. Установите формулы веществ **А–Е**. Ответ обоснуйте или подтвердите расчётом.
Ответ без расчёта или обоснования не оценивается.
2. С какой целью используют жидкости **А** и **В** в анализе органических веществ?
3. Для проведения химического анализа органических веществ на одном ЯМР-спектрометре в течение месяца необходимо порядка 40 л **А** и 250 л **В**. Рассчитайте стоимость обслуживания прибора в течение одного года, если стоимость **А** и **В** составляет 3500 руб/л и 90 руб/л соответственно. Не забудьте учесть также энергопотребление прибора, составляющее порядка 192 кВт·ч за день. Стоимость 1 кВт·ч энергии составляет порядка 8 рублей.

Задача 3. Растворяется или не растворяется?

Одной из важных характеристик, описывающих способность плохо растворимых веществ распадаться на ионы в водных растворах, является произведение растворимости K_s . Для вещества ионного строения A_xB_y оно записывается в виде $K_s = [A^{y+}]^x[B^{x-}]^y$, где $[A^{y+}]$ и $[B^{x-}]$ — равновесные концентрации катиона и аниона соответственно, выраженные в моль/л.

1. Рассчитайте массовую растворимость (в г/л) сульфида ртути HgS в чистой дистиллированной воде. Протеканием побочных процессов пренебрегите. Произведение растворимости сульфида ртути равно $1,6 \cdot 10^{-52}$.

Однако при помещении соли в раствор кислоты её растворимость способна существенно повышаться за счёт связывания катиона или аниона в малодиссоциирующую частицу. Например, в кислой среде существенная доля сульфид-ионов оказывается связана в гидросульфид и сероводород. Мольная доля сульфид-иона может быть рассчитана по формуле:

$$\alpha(S^{2-}) = \frac{[S^{2-}]}{C_{\text{общ}}(S^{2-})} = \frac{K_{a_1} \cdot K_{a_2}}{[H^+]^2 + K_{a_1} \cdot [H^+] + K_{a_1} \cdot K_{a_2}}$$

где K_{a_1} и K_{a_2} – константы кислотности сероводородной кислоты, равные $1,0 \cdot 10^{-7}$ и $2,5 \cdot 10^{-13}$ соответственно.

2. Рассчитайте массовую растворимость (в г/л) сульфида ртути HgS в 0,50 М растворе хлорной кислоты. Считайте, что катион ртути присутствует в растворе только в форме Hg^{2+} .

В растворе иодоводородной кислоты, также являющейся комплексообразователем, катион двухвалентной ртути способен связываться в устойчивый комплекс $[HgI_4]^{2-}$, характеризующийся константой устойчивости

$$\beta_4 = \frac{[HgI_4^{2-}]}{[Hg^{2+}][I^-]^4} = 1,50 \cdot 10^{30}.$$

- Получите выражение для зависимости мольной доли катиона ртути(II) $\alpha(\text{Hg}^{2+}) = \frac{[\text{Hg}^{2+}]}{C_{\text{общ}}(\text{Hg}^{2+})}$ от концентрации иодид-ионов $[\text{I}^-]$ в растворе. Считайте, что ртуть(II) в нём находится только в форме Hg^{2+} и $[\text{HgI}_4]^{2-}$.
- Рассчитайте массовую растворимость (в г/л) сульфида ртути HgS в 0,50 М растворе иодоводородной кислоты.

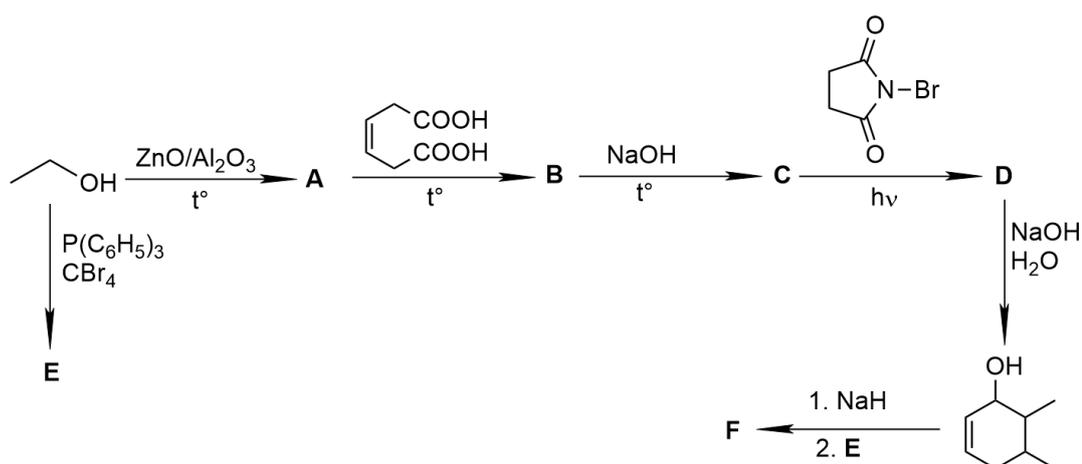
Задача 4. Настоящая палитра красок

Серебристый металл **X** в настоящее время используется в большом количестве отраслей промышленности и даже в быту! Его обычно получают в ходе двухстадийного процесса из белого высшего оксида **A**, который сначала подвергают обработке углём и хлором при повышенной температуре, переводя в бесцветную жидкость **B** (реакция 1), а после её восстанавливают магнием до простого вещества (реакция 2). Металл **X** при нагревании способен растворяться в разбавленной серной кислоте с образованием фиолетового раствора соли **C** (реакция 3), которая в ходе одноэлектронного окисления под действием перманганата калия в сернокислой среде превращается бесцветную соль **D** (реакция 4), содержащую атомы металла **X** и кислорода в соотношении 1:5. Наконец, при нагревании хлорида **B** с аммиаком образуется золотистое бинарное соединение **E** (реакция 5), которое часто используют для создания твёрдых и прочных покрытий, имитирующих золото.

- Установите состав соединений **A–E**. Ответ без обоснования не оценивается.
- Напишите уравнения реакций 1-5.

Задача 5. Как тебя зовут?

В органической химии известно большое число реакций, названных в честь видных деятелей науки. Их знание позволяет существенно упростить решение многих задач, поскольку по характерным условиям можно догадаться о тех или иных группах атомов, присутствующих в реагентах и продуктах. Цепочка превращений, представленная ниже, содержит ровно шесть «именных» реакций.



- Установите структурные формулы соединений **A–F**.
- Укажите названия не менее четырёх «именных» реакций, представленных на схеме.

Задача 6. Быстро или медленно?

В живых организмах особое значение имеют ферментативные процессы, протекающие при участии биологических катализаторов. Зависимость скорости ферментативной реакции r от концентрации субстрата $C(S)$ и концентрации фермента $C(E)$ определяется уравнением Михаэлиса-Ментен:

$$r = kC_0(E) \frac{C(S)}{K_M + C(S)},$$

где k — константа скорости распада фермент-субстратного комплекса, а K_M — характеристика фермента, называемая константой Михаэлиса.

1. Определите общий порядок ферментативной реакции при предельно больших и предельно малых концентрациях субстрата. Общим порядком реакции называется сумма показателей степеней при концентрациях.
2. Постройте график зависимости скорости ферментативной реакции r от концентрации субстрата $C(S)$ и от общей концентрации фермента $C_0(E)$.
3. Скорость реакции, катализируемой ферментом, при увеличении концентрации субстрата от 14 мМ до 31 мМ увеличилась с 93 мМ/мин до 175 мМ/мин. Рассчитайте константу Михаэлиса и максимальную скорость данной ферментативной реакции при той же концентрации фермента.
4. К какому классу ферментов относится фермент алкогольдегидрогеназа? Какое превращение он катализирует?